

การวิเคราะห์ปัจจัยในการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลของหม้อกำเนิดไอน้ำฟลูอิดไธซ์เบดแบบฟองแก๊ส



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2561

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

FACTORS ANALYSIS FOR BIOMASS COMBUSTION IN BUBBLING FLUIDIZED BED BOILER



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2018

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์ปัจจัยในการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลของหม้อ กำเนิดไอน้ำฟลูอิดเบดแบบฟองแก๊ส
โดย	นายธนกร พุ่มชุมพล
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

.....	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ (ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ประธานกรรมการ (รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ)
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก (รองศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ)
.....	กรรมการ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสวงศ์ โอสถศิลป์)
.....	กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันทชัย กานตานันทะ)

ธนกร พุ่มชุมพล : การวิเคราะห์ปัจจัยในการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลของหม้อกำเนิดไอน้ำฟลูอิดไรซ์เบดแบบฟองแก๊ส. ( FACTORS ANALYSIS FOR BIOMASS COMBUSTION IN BUBBLING FLUIDIZED BED BOILER) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร. วิชาวี ธรรมมาภรณ์พิลาศ

งานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลของหม้อกำเนิดไอน้ำฟลูอิดไรซ์เบดแบบฟองแก๊ส โดยพิจารณาใช้เชื้อเพลิงที่มีต้นทุนต่ำและโรงงานสามารถจัดหาได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ศึกษาสูตรเชื้อเพลิงทั้งหมด 3 สูตร คือ สูตรเชื้อเพลิง A (ไม้สับ:แกลบ:ไฟเบอร์:ซีเลื้อย 8:6:1:1) สูตร B (ไม้สับ:แกลบ:ไฟเบอร์:ซีเลื้อย 5:5:1:1) และสูตร C (ไม้สับ:แกลบ:ไฟเบอร์ 5:2:2) จากการวิเคราะห์สมการถดถอยพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตไอน้ำแรงดันสูงและเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนคือ ค่าความชื้น อัตราการป้อนเชื้อเพลิง อัตราการป้อนอากาศ ความดันเตาเผาไหม้ และอุณหภูมิเตาเผาไหม้ วิเคราะห์ด้วยวิธีการพื้นผิวตอบสนองเพื่อให้ได้อัตราการผลิตไอน้ำที่ 43 kg/s ค่าออกซิเจนส่วนเกินในช่วง 3-4.5% และมีต้นทุนเชื้อเพลิงต่อตันไอน้ำเฉลี่ยลดลง พบว่าค่าที่เหมาะสมสำหรับสูตรเชื้อเพลิง A B และ C มีผลดังนี้ ค่าความชื้นเชื้อเพลิงอยู่ที่ 33 % อัตราการป้อนเชื้อเพลิงอยู่ที่ 1455 ton/d 1469 ton/d 1504 ton/d อัตราการป้อนอากาศอยู่ที่ 54.00 kg/s 58.23 kg/s 56.52 kg/s ความดันเตาเผาไหม้อยู่ที่ -1.00 mbar -1.10 mbar -1.21 mbar และอุณหภูมิเตาเผาไหม้อยู่ที่ 881 °C 870 °C 848 °C ตามลำดับ

หลังปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยใช้สภาวะที่กำหนดพบว่าอัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูง สูตรเชื้อเพลิง A B และ C มีค่า 43.32 kg/s, 43.26 43.44 kg/s ตามลำดับ และค่าออกซิเจนส่วนเกิน มีค่า 4.00%, 4.11%, 4.13% ตามลำดับ สำหรับต้นทุนเชื้อเพลิงของสูตรเชื้อเพลิง A B และ C มีค่า 557.11 บาท/ตันไอน้ำ 553.78 บาท/ตันไอน้ำ และ 573.06 บาท/ตันไอน้ำ ตามลำดับ

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ  
ปีการศึกษา 2561

ลายมือชื่อนิสิต .....  
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....



# # 5970927521 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORD: Factor analysis Combustion Biomass Bubbling fluidized bed boiler

Tanakorn Pumchumpol : FACTORS ANALYSIS FOR BIOMASS COMBUSTION IN BUBBLING FLUIDIZED BED BOILER. Advisor: Assoc. Prof. Wipawee Tharmmaphornphilas, Ph.D.

This paper focuses on factor analysis for biomass combustion in a bubbling fluidized bed boiler. Considering low cost and available types of fuel. By studying the 3 fuel formulas are as follows formula A (wood chip: rice husk: fiber: sawdust; 8:6:1:1) formula B (wood chip: rice husk: fiber: sawdust; 5:5:1:1).and formula C (wood: rice husk: fiber: saw dust; 5:2:2). From the regression analysis found the factors that affect to high pressure steam production and percent excess oxygen are moisture content, fuel feed rate, air feed rate, boiler pressure and boiler temperature. Then analyze with the response surface method to achieve high pressure steam rate at 43 kg/s, excess oxygen between 3 - 4.5 % and reduce average fuel cost per ton of steam. The appropriate values of fuel formula A, B and C are fuel moisture content at 33% , Fuel feed rate at 1455 ton/d, 1469 ton/d, 1504 ton/d, Air feed rate at 54.00 kg/s, 58.23 kg/s, 56.52 kg/s, Boiler pressure at -1.00 mbar, -1.10 mbar, -1.21 mbar and Boiler temperature at 881 °C, 870 °C, 848 °C.

With the best operating condition, high pressure steam production rate of formula A, formula B and formula C were 43.32 kg/s, 43.26 kg/s and 43.44 kg/s. The excess oxygen were 4.00%, 4.11% and 4.13%. The fuel cost of steam generation were 557.11 baht/ton-steam, 553.78 baht/ton-steam and 573.06 baht/ton-steam respectively.

Field of Study: Industrial Engineering

Student's Signature .....

Academic Year: 2018

Advisor's Signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์การวิเคราะห์ปัจจัยในการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลของหม้อกำเนิดไอน้ำฟลูอิดไคซ์เบดแบบฟองแก๊สฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีจากความอนุเคราะห์ช่วยเหลือจากบุคคลหลายท่าน ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะ ตลอดจนแนวทางแก้ไขปรับปรุงงานวิจัยฉบับนี้เป็นอย่างดีเสมอมา

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตลิตเจริญ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสวงศ์ โอสถศิลป์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันทชัย กานตานั้นทะ กรรมการจากภายนอกมหาวิทยาลัย ที่กรุณารับเชิญเป็นกรรมการสอบตลอดจนให้คำแนะนำ รวมถึงข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ทำให้วิทยานิพนธ์มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณโรงงานกรณีศึกษาที่ให้โอกาสผู้วิจัยในการศึกษา ให้ความร่วมมือในการดำเนินงานวิจัยและให้คำแนะนำเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ให้คำแนะนำ รวมถึงเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาทุกท่านที่อำนวยความสะดวกจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และผู้มีพระคุณทุกท่าน ที่คอยสนับสนุนและให้กำลังใจ รวมทั้งขอบคุณความช่วยเหลือ กำลังใจจากผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในงานวิจัยทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวถึงมา ณ ที่นี้ด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ธนกร พุ่มชุมพล

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ข้อมูลทั่วไปของโรงงานกรณีศึกษา .....	4
1.1.1 กระบวนการผลิตไอน้ำแรงดันสูงของหม้อกำเนิดไอน้ำ .....	5
1.1.2 แผนภาพกระบวนการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้ากรณีศึกษา.....	13
1.2 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	13
1.3 วัตถุประสงค์งานวิจัย .....	18
1.4 ขอบเขตงานวิจัย.....	19
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย .....	19
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	20
1.7 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	20
1.8 แผนดำเนินงานวิจัย .....	21
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	23
2.1 ระบบการเผาไหม้ของหม้อกำเนิดไอน้ำแบบฟลูอิดซ์เบดแบบฟองแก๊ส.....	23
2.2 หลักการเผาไหม้เชื้อเพลิง.....	26
2.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร (Correlation) และการวิเคราะห์สมการถดถอย (Regression Analysis) .....	32
2.3.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร (Pearson correlation).....	32

2.3.2 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear regression analysis).....	36
2.3.3 การวิเคราะห์การถดถอยไม่เชิงเส้น (Nonlinear regression analysis).....	37
2.3.4 การวิเคราะห์การถดถอยพหุนาม (Polynomial regression analysis).....	37
2.3.5 การตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบสถิติ (Model adequacy checking).....	40
2.3.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ (correlation) และการถดถอย (Regression analysis).....	41
2.3.7 การวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง (Response surface methodology, RSM) .....	44
2.3.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ (correlation) และการถดถอย .....	45
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย .....	48
3.1 ภาพรวมระบบการเผาไหม้และผลิตไอน้ำของโรงไฟฟ้าการศึกษา.....	48
3.2 การเลือกปัจจัยนำเข้าสำหรับดำเนินงานวิจัย.....	50
3.3 การสร้างสมการถดถอยสำหรับทำนายตัวแปรตอบสนอง .....	55
3.3.1 การวิเคราะห์สมการถดถอยของสูตรเชิงพีชคณิต A .....	57
3.3.1.1 การวิเคราะห์ตัวแปรนำเข้าแบบปกติ .....	57
3.3.1.1.1 พิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัวในสมการ (Full model).....	58
3.3.1.1.2 การเลือกตัวแปรโดยการเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอน (Stepwise regression).....	66
3.3.1.1.3 การเลือกตัวแปรแบบเดินหน้า (Forward selection).....	72
3.3.1.1.4 การกำจัดตัวแปรแบบถอยหลัง (Backward elimination) .....	78
3.3.1.2 การวิเคราะห์ตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการ .....	84
3.3.1.2.1 พิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัวในสมการ (Full model).....	85
3.3.1.2.2 การเลือกตัวแปรโดยการเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอน (Stepwise regression).....	93
3.3.1.2.3 การเลือกตัวแปรแบบเดินหน้า (Forward selection).....	99
3.3.1.2.4 การกำจัดตัวแปรแบบถอยหลัง (Backward elimination) .....	105
3.3.1.3 การวิเคราะห์ตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการ.....	111

3.3.1.3.1	พิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัวในสมการ (Full model).....	112
3.3.1.3.2	การเลือกตัวแปรโดยการเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอน (Stepwise regression) .....	118
3.3.1.3.3	การเลือกตัวแปรแบบเดินหน้า (Forward selection).....	124
3.3.1.3.4	การกำจัดตัวแปรแบบถอยหลัง (Backward elimination) .....	130
3.3.1.4	สรุปเปรียบเทียบการวิเคราะห์สมการถดถอยของสูตรเชื้อเพลิง A.....	136
3.3.2	การวิเคราะห์สมการถดถอยของสูตรเชื้อเพลิง B.....	138
3.3.2.1	การวิเคราะห์ตัวแปรนำเข้าแบบปกติ .....	138
3.3.2.2	การวิเคราะห์ตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการ .....	139
3.3.2.3	การวิเคราะห์ตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการ.....	140
3.3.2.4	สรุปเปรียบเทียบการวิเคราะห์สมการถดถอยของสูตรเชื้อเพลิง B.....	141
3.3.3	การวิเคราะห์สมการถดถอยของสูตรเชื้อเพลิง C .....	143
3.3.3.1	การวิเคราะห์ตัวแปรนำเข้าแบบปกติ .....	143
3.3.3.2	การวิเคราะห์ตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการ .....	144
3.3.3.3	การวิเคราะห์ตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการ.....	146
3.3.3.4	สรุปเปรียบเทียบการวิเคราะห์สมการถดถอยของสูตรเชื้อเพลิง C.....	147
3.4	การหาสถานะที่เหมาะสมของตัวแปรโดยวิธีการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง (Response surface methodology).....	149
3.5	การวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตอบสนอง .....	154
บทที่ 4	การปรับปรุงกระบวนการผลิต.....	169
4.1	การทดลองการเดินเครื่องจักรจริงเพื่อยืนยันผล .....	169
4.2	สรุปและเปรียบเทียบผลก่อนและหลังการทดลองของสูตรเชื้อเพลิง A B และ C.....	171
4.2.1	ผลทดลองจริงของสูตรเชื้อเพลิง A B และ C .....	171
4.2.2	เปรียบเทียบผลก่อนและหลังการทดลอง.....	175

บทที่ 5 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ .....	183
5.1 สรุปผลงานวิจัย.....	183
5.2 ข้อจำกัดสำหรับงานวิจัย .....	186
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	186
บรรณานุกรม.....	191
ภาคผนวก.....	196
ภาคผนวก ก.....	197
ข้อมูลการตัวแปรต้นและตัวแปรตอบสนองที่พิจารณาของสูตรเชื่อเพลิงสูตรเชื่อเพลิง A B และ C	197
ภาคผนวก ข.....	209
การวิเคราะห์สมการถดถอยของสูตรเชื่อเพลิง B.....	209
พิจารณาตัวแปรนำเข้าแบบปกติ.....	209
1. พิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัวในสมการ (Full model).....	209
2. การเลือกตัวแปรโดยการเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอน (Stepwise regression).....	215
3. การเลือกตัวแปรแบบเดินหน้า (Forward selection).....	227
4. การกำจัดตัวแปรแบบถอยหลัง (Backward elimination) .....	239
พิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการ .....	253
1. พิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัวในสมการ (Full model).....	253
2. การเลือกตัวแปรโดยการเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอน (Stepwise regression).....	259
3. การเลือกตัวแปรแบบเดินหน้า (Forward selection).....	271
4. การกำจัดตัวแปรแบบถอยหลัง (Backward elimination) .....	283
พิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการ .....	296
1. พิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัวในสมการ (Full model).....	296
2. การเลือกตัวแปรโดยการเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอน (Stepwise regression).....	301
3. การเลือกตัวแปรแบบเดินหน้า (Forward selection).....	312

4. การกำจัดตัวแปรแบบถอยหลัง (Backward elimination) .....	323
ภาคผนวก ค.....	338
การวิเคราะห์สมการถดถอยของสูตรเชื้อเพลิง C.....	338
พิจารณาตัวแปรนำเข้าแบบปกติ.....	338
1. พิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัวในสมการ (Full model).....	338
2. การเลือกตัวแปรโดยการเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอน (Stepwise regression).....	344
3. การเลือกตัวแปรแบบเดินหน้า (Forward selection).....	355
4. การกำจัดตัวแปรแบบถอยหลัง (Backward elimination) .....	367
พิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการ .....	382
1. พิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัวในสมการ (Full model).....	382
2. การเลือกตัวแปรโดยการเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอน (Stepwise regression).....	387
3. การเลือกตัวแปรแบบเดินหน้า (Forward selection).....	400
4. การกำจัดตัวแปรแบบถอยหลัง (Backward elimination) .....	411
พิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการ .....	427
1. พิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัวในสมการ (Full model).....	427
2. การเลือกตัวแปรโดยการเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอน (Stepwise regression).....	432
3. การเลือกตัวแปรแบบเดินหน้า (Forward selection).....	443
4. การกำจัดตัวแปรแบบถอยหลัง (Backward elimination) .....	456
ภาคผนวก ง .....	470
การวิเคราะห์สมการถดถอยของสูตรเชื้อเพลิง A.....	470
พิจารณาตัวแปรนำเข้าแบบปกติ.....	470
1. การเลือกตัวแปรโดยการเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอน (Stepwise regression).....	470
2. การเลือกตัวแปรแบบเดินหน้า (Forward selection).....	477
3. การกำจัดตัวแปรแบบถอยหลัง (Backward elimination) .....	485

พิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการ .....	495
1. การเลือกตัวแปรโดยการเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอน (Stepwise regression).....	495
2. การเลือกตัวแปรแบบเดินหน้า (Forward selection).....	503
3. การกำจัดตัวแปรแบบถอยหลัง (Backward elimination) .....	511
พิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการ .....	521
1. การเลือกตัวแปรโดยการเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอน (Stepwise regression).....	521
2. การเลือกตัวแปรแบบเดินหน้า (Forward selection).....	529
3. การกำจัดตัวแปรแบบถอยหลัง (Backward elimination) .....	537
ภาคผนวก จ คู่มืออ้างอิงในการทดลอง.....	546
ประวัติผู้เขียน .....	549





## สารบัญตาราง

### หน้า

ตารางที่ 1.1 ปริมาณเชื้อเพลิงชีวมวลที่ยังไม่ได้นำไปใช้ของประเทศไทย.....	3
ตารางที่ 1.2 ตัวแปรควบคุมด้านพลังงานความร้อนของน้ำป้อนก่อนเข้าหม้อกำเนิดไอน้ำ .....	8
ตารางที่ 1.3 ตัวแปรควบคุมสำหรับอากาศป้อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้ของโรงไฟฟ้ากรณีศึกษา.....	10
ตารางที่ 1.4 การวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมีของเชื้อเพลิงชีวมวลแต่ละชนิด .....	13
ตารางที่ 1.5 สัดส่วนเชื้อเพลิงของโรงไฟฟ้ากรณีศึกษาที่นำเข้าผลิต.....	14
ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบความแตกต่างของหม้อกำเนิดไอน้ำแต่ละชนิด [11] .....	24
ตารางที่ 2.2 เกณฑ์การจำแนกระดับความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ .....	33
ตารางที่ 3.1 ตัวแปรต้นที่พิจารณาในการหาความสัมพันธ์กับตัวแปรตอบสนอง .....	49
ตารางที่ 3.2 ตัวแปรตอบสนองที่พิจารณาในการวิเคราะห์หาสถานะที่เหมาะสมกับการเผาไหม้ .....	50
ตารางที่ 3.3 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันแบบเมตริกซ์ระหว่างตัวแปรของสูตรเชื้อเพลิง A.	51
ตารางที่ 3.4 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันแบบเมตริกซ์ระหว่างตัวแปรของสูตรเชื้อเพลิง B.	52
ตารางที่ 3.5 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันแบบเมตริกซ์ระหว่างตัวแปรของสูตรเชื้อเพลิง C.	53
ตารางที่ 3.6 เปรียบเทียบ ตัวแปร X1-X7 ที่สัมพันธ์กับ Y1 ของสูตรเชื้อเพลิงแต่ละสูตร .....	54
ตารางที่ 3.7 เปรียบเทียบ ตัวแปร X1-X7 ที่สัมพันธ์กับ Y2 ของสูตรเชื้อเพลิงแต่ละสูตร .....	54
ตารางที่ 3.8 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัวในสมการของตัวแปรตอบสนอง Y1 สูตรเชื้อเพลิง A .....	58
ตารางที่ 3.9 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัวในสมการของตัวแปรตอบสนอง Y1 สูตรเชื้อเพลิง A .....	59
ตารางที่ 3.10 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัวในสมการของตัวแปรตอบสนอง Y2 สูตรเชื้อเพลิง A .....	62
ตารางที่ 3.11 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัวในสมการของตัวแปรตอบสนอง Y2 สูตรเชื้อเพลิง A .....	63

ตารางที่ 3.12 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง A .....	66
ตารางที่ 3.13 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง A.....	67
ตารางที่ 3.14 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง A .....	69
ตารางที่ 3.15 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง A.....	70
ตารางที่ 3.16 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยแบบเลือกตัวแปรแบบเดินทางของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง A .....	72
ตารางที่ 3.17 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยแบบเลือกตัวแปรแบบเดินทางของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง A.....	73
ตารางที่ 3.18 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยแบบเลือกตัวแปรแบบเดินทางของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง A .....	75
ตารางที่ 3.19 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยแบบเลือกตัวแปรแบบเดินทางของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง A.....	76
ตารางที่ 3.20 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยแบบกำจัดตัวแปรแบบถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง A .....	78
ตารางที่ 3.21 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยแบบกำจัดตัวแปรแบบถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง A.....	79
ตารางที่ 3.22 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยแบบกำจัดตัวแปรแบบถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 สูตรเชื้อเพลิง A .....	81
ตารางที่ 3.23 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยแบบกำจัดตัวแปรแบบถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 สูตรเชื้อเพลิง A .....	82
ตารางที่ 3.24 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบทุกตัวแปรของตัวแปรตอบสนอง Y1 สูตรเชื้อเพลิง A .....	85







ตารางที่ 3.54 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปร อิทธิพลหลักในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตร เชื้อเพลิง A.....	133
ตารางที่ 3.55 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทน ตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง A.....	134
ตารางที่ 3.56 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่าของสมการถดถอยสูตรเชื้อเพลิง A.	136
ตารางที่ 3.57 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่าของสมการถดถอยสูตรเชื้อเพลิง B.	142
ตารางที่ 3.58 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่าของสมการถดถอยสูตรเชื้อเพลิง C.	147
ตารางที่ 3.59 ค่าควบคุมของตัวแปรต้นของโรงงานกรณีศึกษา .....	149
ตารางที่ 3.60 ค่าควบคุมของตัวแปรตอบสนองของโรงงานกรณีศึกษา.....	149
ตารางที่ 3.61 ผลการวิเคราะห์หาสถานะที่เหมาะสมด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนองของเชื้อเพลิงแต่ละสูตร .....	153
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการผลิตไอน้ำของสูตรเชื้อเพลิง A.....	172
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการผลิตไอน้ำของสูตรเชื้อเพลิง B.....	173
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองการผลิตไอน้ำของสูตรเชื้อเพลิง C.....	174
ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบอัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูงหลังปรับปรุงกับสมการของสูตรเชื้อเพลิงแต่ละ สูตร.....	179
ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบอัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูงก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงของสูตร เชื้อเพลิงแต่ละสูตร.....	179
ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบค่าออกซิเจนส่วนเกินของการเผาไหม้หลังปรับปรุงกับสมการของสูตร เชื้อเพลิงแต่ละสูตร.....	179
ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบค่าออกซิเจนส่วนเกินของการเผาไหม้ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงของ สูตรเชื้อเพลิงแต่ละสูตร .....	180
ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบผลลัพธ์ของสูตรเชื้อเพลิงแต่ละสูตรสำหรับการเลือกใช้.....	185
ตารางที่ 5.2 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่าของสมการถดถอยสูตรเชื้อเพลิง A...	188

ตารางที่ 5.3 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่าของสมการถดถอยสูตรเชิง B... 189

ตารางที่ 5.4 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่าของสมการถดถอยสูตรเชิง C... 190



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## สารบัญญภาพ

### หน้า

รูปที่ 1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างรายได้ประชาชาติและการใช้ไฟฟ้า [1] .....	1
รูปที่ 1.2 การผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงชนิดต่างของประเทศไทยปี 2557 [2].....	2
รูปที่ 1.3 ภาพรวมการเผาไหม้ในระบบหม้อกำเนิดไอน้ำ .....	4
รูปที่ 1.4 ภาพรวมกระบวนการผลิตไฟฟ้าและไอน้ำของโรงงานกรณีศึกษา .....	5
รูปที่ 1.5 กระบวนการผลิตไอน้ำแรงดันสูงของหม้อกำเนิดไอน้ำ .....	6
รูปที่ 1.6 ตัวอย่างชีวมวลที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าของโรงงานกรณีศึกษา.....	7
รูปที่ 1.7 กระบวนการเตรียมและป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่หม้อกำเนิดไอน้ำ .....	7
รูปที่ 1.8 ระบบผลิตน้ำป้อนสำหรับป้อนหม้อกำเนิดไอน้ำ .....	8
รูปที่ 1.9 ถังบรรจุน้ำป้อนสำหรับป้อนน้ำเข้าหม้อกำเนิดไอน้ำ .....	8
รูปที่ 1.10 ระบบลมที่ป้อนเข้าห้องเผาไหม้ในหม้อกำเนิดไอน้ำ .....	10
รูปที่ 1.11 ปฏิกริยาการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลในหม้อกำเนิดไอน้ำ .....	11
รูปที่ 1.12 ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนภายในหม้อกำเนิดไอน้ำ .....	12
รูปที่ 1.13 กระบวนการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้ากรณีศึกษา .....	13
รูปที่ 1.14 อัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูงแต่ละวันของสูตรเชื้อเพลิงสูตรเชื้อเพลิง A .....	15
รูปที่ 1.15 อัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูงแต่ละวันของสูตรเชื้อเพลิงสูตร B .....	16
รูปที่ 1.16 อัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูงแต่ละวันของสูตรเชื้อเพลิงสูตร C .....	16
รูปที่ 1.17 เปอร์เซ็นต์ออกซิเจนที่ปล่อยระบายอากาศของเชื้อเพลิงสูตรเชื้อเพลิง A .....	17
รูปที่ 1.18 เปอร์เซ็นต์ออกซิเจนที่ปล่อยระบายอากาศของเชื้อเพลิงสูตร B .....	17
รูปที่ 1.19 เปอร์เซ็นต์ออกซิเจนที่ปล่อยระบายอากาศของเชื้อเพลิงสูตร C .....	18
รูปที่ 2.1 ลักษณะของอนุภาคของแข็งภายในหม้อกำเนิดไอน้ำแต่ละชนิด.....	24
รูปที่ 2.2 ภาพรวมของระบบหม้อกำเนิดไอน้ำฟลูอิดเบดแบบฟองแก๊ส [12].....	25
รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ของสัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงกับประสิทธิภาพการเผาไหม้ [40].....	28



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ของปริมาณสารระเหยกับขนาดของเปลวไฟและตำแหน่งของเปลวไฟ ..... 29

รูปที่ 2.5 แบบจำลองการเกิดปฏิกิริยาของถ่านหินในระบบการเผาไหม้และแก๊ซซีพีเคชั้น ..... 30

รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเผาไหม้กับสัดส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศ ..... 31

รูปที่ 2.7 ความชื้นเชื้อเพลิงและสัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้ ..... 31

รูปที่ 2.8 สัดส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงที่ส่งผลต่ออุณหภูมิเผาไหม้ ..... 32

รูปที่ 2.9 กราฟ A และ B แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปรแบบเชิงบวก ..... 34

รูปที่ 2.10 กราฟ C และ D แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปรแบบเชิงลบ ..... 34

รูปที่ 2.11 ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ..... 34

รูปที่ 2.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรต้นและตัวแปรตอบสนอง ..... 38

รูปที่ 2.13 หลักการวิเคราะห์การถดถอยหรือ regression analysis ที่มีตัวแปรแตกต่างกัน [20] ... 39

รูปที่ 2.14 ตัวอย่างพื้นผิวตอบสนองแบบ 3 มิติ ..... 45

รูปที่ 2.15 การหาสถานะที่เหมาะสมของตัวแปรตอบสนอง 2 ตัวแปรและตัวแปรต้น 3 ตัวแปร ..... 46

รูปที่ 2.16 การหาพื้นผิวตอบสนองของการเผาไหม้ในหม้อกำเนิดไอน้ำ ..... 47

รูปที่ 3.1 ภาพรวมระบบการเผาไหม้ของหม้อกำเนิดไอน้ำของโรงไฟฟ้าการศึกษา ..... 48

รูปที่ 3.2 แผนภาพการเปลี่ยนน้ำป้อนเป็นไอน้ำและไฟฟ้าเมื่อผ่านหม้อกำเนิดไอน้ำและกังหันไอน้ำ ..... 49

รูปที่ 3.3 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการการถดถอย Y1 แบบตัวแปรนำเข้าปกติ พิจารณาทุกตัวแปรสูตรเชื้อเพลิง A ..... 61

รูปที่ 3.4 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการการถดถอย Y2 แบบตัวแปรนำเข้าปกติ พิจารณาทุกตัวแปรสูตรเชื้อเพลิง A ..... 65

รูปที่ 3.5 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการการถดถอยแบบตัวแปรนำเข้าปกติเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอน Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง A ..... 68

รูปที่ 3.6 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการการถดถอยแบบตัวแปรนำเข้าปกติเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอน Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง A ..... 71

รูปที่ 3.7 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการการถดถอยเลือกตัวแปรแบบเดิหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง A ..... 74



รูปที่ 3.19 การวิเคราะห์ส่วนตักค้ำของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบพิจารณาตัวแปรทุกตัวของตัวแปรตอบสนอง Y1 สูตรเชื่อเพลิง A.....	114
รูปที่ 3.20 การวิเคราะห์ส่วนตักค้ำของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบพิจารณาตัวแปรทุกตัวของตัวแปรตอบสนอง Y2 สูตรเชื่อเพลิง A.....	118
รูปที่ 3.21 การวิเคราะห์ส่วนตักค้ำของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื่อเพลิง A.....	120
รูปที่ 3.22 การวิเคราะห์ส่วนตักค้ำของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชื่อเพลิง A.....	123
รูปที่ 3.23 การวิเคราะห์ส่วนตักค้ำของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชื่อเพลิง A.....	126
รูปที่ 3.24 การวิเคราะห์ส่วนตักค้ำของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชื่อเพลิง A.....	129
รูปที่ 3.25 การวิเคราะห์ส่วนตักค้ำของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชื่อเพลิง A.....	132
รูปที่ 3.26 การวิเคราะห์ส่วนตักค้ำของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชื่อเพลิง A.....	135
รูปที่ 3.27 ผลวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองของสูตรเชื่อเพลิง A.....	152
รูปที่ 3.28 ผลวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองของสูตรเชื่อเพลิง B.....	152
รูปที่ 3.29 ผลวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองของสูตรเชื่อเพลิง C.....	153
รูปที่ 3.30 อิทธิพลร่วมของตัวแปรต้นแต่ละตัวที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y1 สูตรเชื่อเพลิง A... 155	
รูปที่ 3.31 อิทธิพลหลักของตัวแปรต้นแต่ละตัวที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y1 สูตรเชื่อเพลิง A.. 156	

รูปที่ 3.32 อิทธิพลร่วมของตัวแปรต้นแต่ละตัวที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y1 สูตรเชื้อเพลิง A... 157

รูปที่ 3.33 อิทธิพลหลักของตัวแปรต้นแต่ละตัวที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y1 สูตรเชื้อเพลิง A.. 158

รูปที่ 3.34 อิทธิพลร่วมของตัวแปรต้นแต่ละตัวที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y1 สูตรเชื้อเพลิง B... 159

รูปที่ 3.35 อิทธิพลหลักของตัวแปรต้นแต่ละตัวที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y1 สูตรเชื้อเพลิง B.. 160

รูปที่ 3.36 อิทธิพลร่วมของตัวแปรต้นแต่ละตัวที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y2 สูตรเชื้อเพลิง B... 162

รูปที่ 3.37 อิทธิพลหลักของตัวแปรต้นแต่ละตัวที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y2 สูตรเชื้อเพลิง B.. 163

รูปที่ 3.38 อิทธิพลร่วมของตัวแปรต้นแต่ละตัวที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y1 สูตรเชื้อเพลิง C... 165

รูปที่ 3.39 อิทธิพลหลักของตัวแปรต้นแต่ละตัวที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y1 สูตรเชื้อเพลิง C.. 166

รูปที่ 3.40 อิทธิพลร่วมของตัวแปรต้นแต่ละตัวที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y2 สูตรเชื้อเพลิง C... 167

รูปที่ 3.41 อิทธิพลหลักของตัวแปรต้นแต่ละตัวที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y2 สูตรเชื้อเพลิง C.. 168

รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบอัตราการผลิตไอน้ำก่อนและหลังปรับปรุงของสูตรเชื้อเพลิง A ..... 176

รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบอัตราการผลิตไอน้ำก่อนและหลังปรับปรุงของสูตรเชื้อเพลิง B ..... 176

รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบอัตราการผลิตไอน้ำก่อนและหลังปรับปรุงของสูตรเชื้อเพลิง C ..... 177

รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนส่วนเกินก่อนและหลังปรับปรุงของสูตรเชื้อเพลิง A. 177

รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนส่วนเกินก่อนและหลังปรับปรุงของสูตรเชื้อเพลิง B. 178

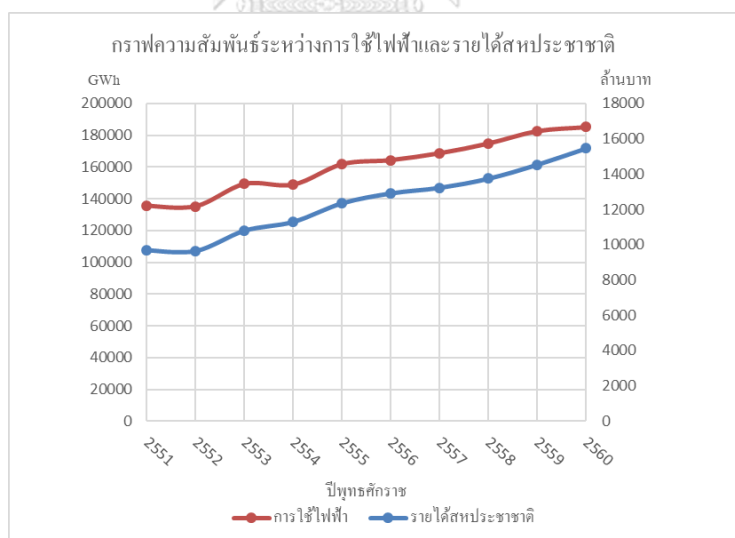
รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนส่วนเกินก่อนและหลังปรับปรุงของสูตรเชื้อเพลิง C. 178

รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบต้นทุนเชื้อเพลิงต่อตันไอน้ำก่อนและหลังปรับปรุงของสูตรเชื้อเพลิงแต่ละสูตร  
 ..... 182

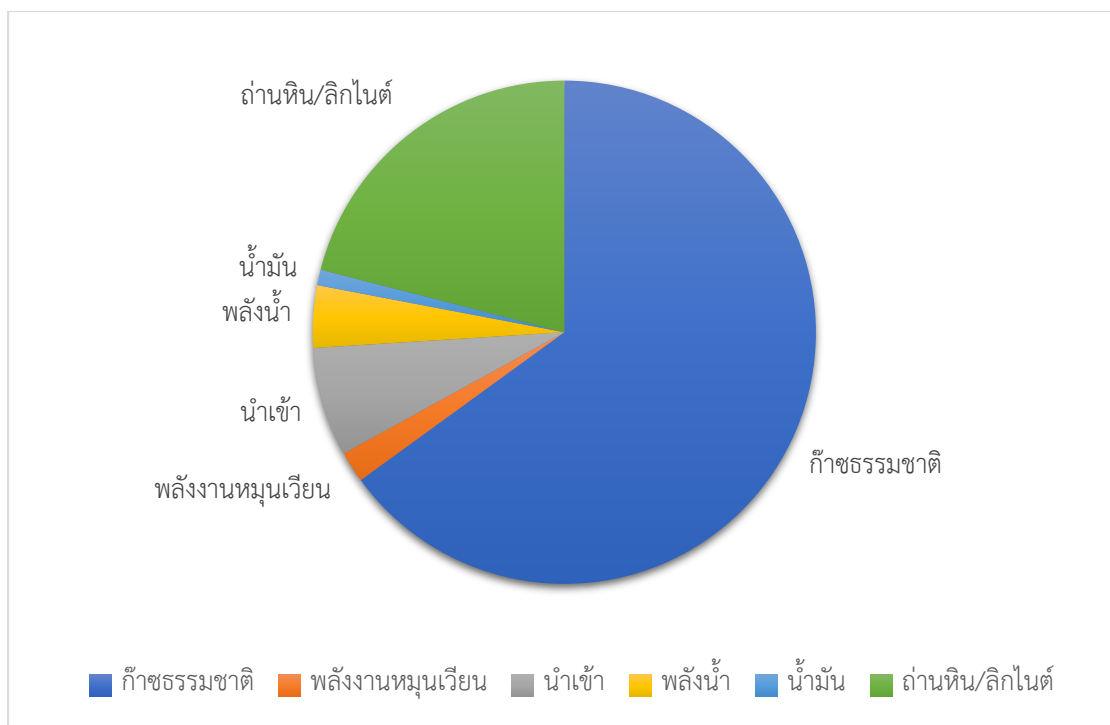
## บทที่ 1

### บทนำ

พลังงานเป็นปัจจัยที่สำคัญ ในการตอบสนองความต้องการขั้นพื้นฐานของประชาชน และเป็นปัจจัยการผลิต ที่สำคัญในภาคธุรกิจและอุตสาหกรรม ประเทศไทยมีอัตราการใช้ไฟฟ้าสัมพันธ์กับอัตราการเติบโตของรายได้ประชาชาติ เฉลี่ยปีละประมาณ 3.2% และมีอัตราการเจริญเติบโตของการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยปีละประมาณ 3.5% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการมีไฟฟ้าใช้อย่างทั่วถึงเพียงพอจะช่วยพัฒนาเศรษฐกิจ ขณะเดียวกันความเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจก็ทำให้ความต้องการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยข้อมูลจากสำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงพลังงาน (2561) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างรายได้ประชาชาติและการใช้ไฟฟ้างบรูปที่ 1.1 และจากแผนยุทธศาสตร์พลังงานของประเทศของกระทรวงพลังงาน (12 พฤศจิกายน 2557) แสดงการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ ของประเทศไทยดังรูปที่ 1.2 จะเห็นได้ว่าประเทศไทยยังมีการพึ่งพาก๊าซธรรมชาติในการผลิตไฟฟ้าคิดเป็นสัดส่วนถึง 65% ซึ่งบางส่วนต้องนำเข้าจากต่างประเทศทำให้อาจเกิดการผันผวนของราคาและมีผลต่อเสถียรภาพด้านพลังงานของประเทศอีกด้วย



รูปที่ 1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างรายได้ประชาชาติและการใช้ไฟฟ้า [1]



รูปที่ 1.2 การผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงชนิดต่างของประเทศไทยปี 2557 [2]

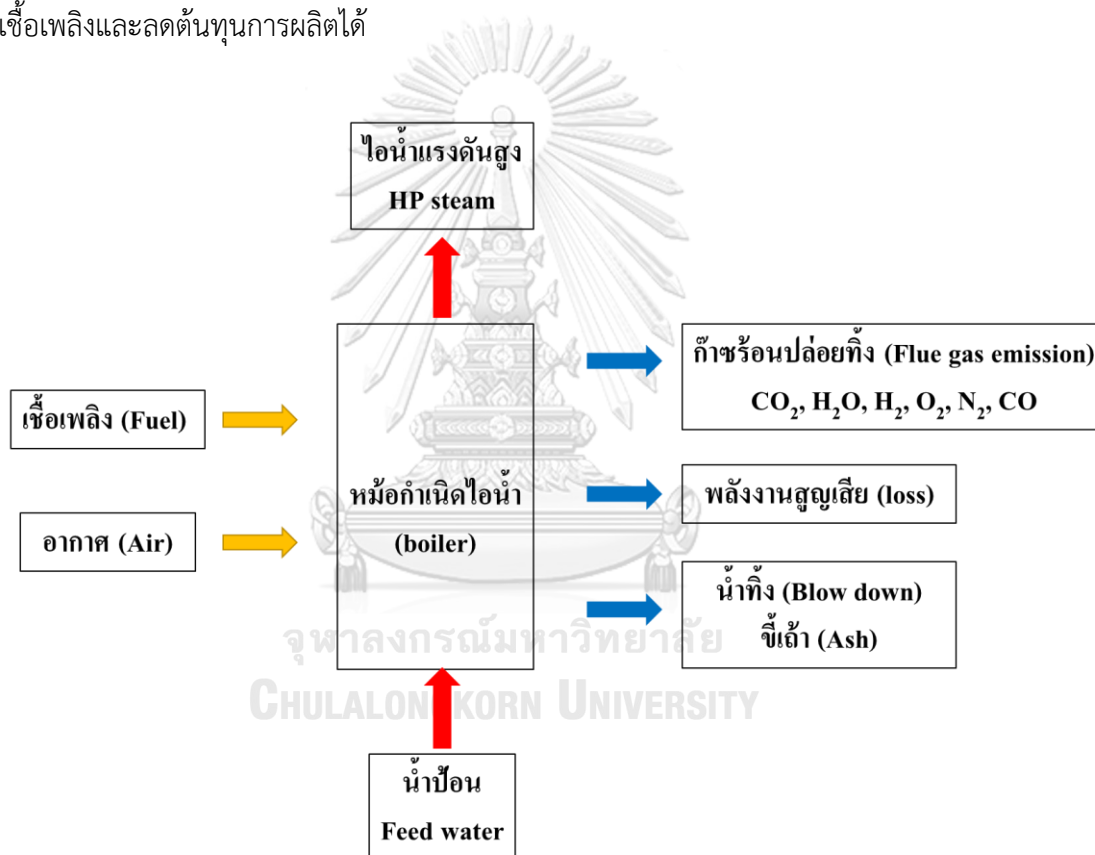
ปัจจุบันโรงไฟฟ้าพลังงานชีวมวลเป็นพลังงานทางเลือกที่รัฐบาลให้การสนับสนุนซึ่งจากข้อมูลของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงานพบว่าประเทศไทยมีปริมาณชีวมวลที่ไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์มากถึง 62.84 ล้านตันต่อปี และยังสามารถผลิตไฟฟ้าได้อีก 3943.76 MW ซึ่งปริมาณเหลือใช้ของชีวมวลดังกล่าวหากสามารถนำมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าในประเทศไทยได้อย่างมีประสิทธิภาพ จะช่วยเพิ่มความมั่นคงด้านพลังงานและลดการพึ่งพาการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศได้ ข้อมูลปริมาณชีวมวลเหลือใช้แสดงในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ปริมาณเชื้อเพลิงชีวมวลที่ยังไม่ได้นำไปใช้ของประเทศไทย

ชนิดชีวมวล	ปริมาณที่เกิด (ตัน)	ปริมาณที่ นำไปใช้ ประโยชน์แล้ว (ตัน)	ปริมาณคงเหลือ (ตัน)	สามารถ ผลิตไฟฟ้า ได้ (เมกะวัตต์)
1. ฟางข้าว	19,005,628.14	8,112,801.26	10,892,826.88	942.12
2. แกลบ	8,145,269.20	8,006,283.36	138,985.84	13.18
3. ใบและยอดอ้อย	17,016,248.08	1,845,487.74	15,170,760.34	1,647.33
4. ยอด ใบและลำต้น ข้าวโพด	9,315,603.52	465,780.18	8,849,823.34	610.23
5. ชังข้าวโพด	1,215,078.72	1,094,081.58	120,997.14	8.16
6. เหม้ามันสำหรับ ปศุสัตว์	6,045,508.40	164,196.52	5,881,311.88	226.49
7. ลำต้นปาล์มน้ำมัน	1,957,280.00	-	1,957,280.00	103.52
8. ใบและทางปาล์ม	18,065,006.01	1,707,454.87	16,357,551.14	201.95
9. ทะลายปาล์มเปล่า	4,099,859.52	1,891,985.90	2,207,873.62	112.13
10. ใบและลำต้นถั่ว เหลือง เขียว ลิสง	65,017.48	3,250.87	61,766.61	7.03
11. ตอ รากและกิ่งก้าน ไม้ยางพารา	1,094,365.00	218,873.00	875,492.00	40.35
12. จั่นและทะลาย มะพร้าว	292,909.57	56,824.46	236,085.11	25.5
13. เปลือกและกาบ มะพร้าว	333,310.89	329,976.78	3,334.11	0.38
14. กะลามะพร้าว	252,508.25	230,540.03	21,968.22	2.76
15. เปลือกมะม่วงหิม พานต์	70,038.56	1,674.28	68,364.28	2.63
<b>รวม</b>	<b>86,973,631.34</b>	<b>24,129,210.83</b>	<b>62,844,420.51</b>	<b>3,943.76</b>

หมายเหตุ ตารางที่ 1.1 กำลังผลิตติดตั้งของโรงไฟฟ้า (เมกะวัตต์) อ้างอิงโรงไฟฟ้าเดินเครื่อง 24 ชั่วโมง/วัน 330 วัน/ปี ที่ประสิทธิภาพโรงไฟฟ้า 20 % (ข้อมูลปีการเพาะปลูก พ.ศ. 2556) [3]

สำหรับการเผาไหม้เชื้อเพลิงของโรงไฟฟ้าชีวมวล จะมีการป้อนเชื้อเพลิงชีวมวล (biomass) และอากาศ (air) ที่ใช้ในการเผาไหม้ในหม้อกำเนิดไอน้ำ ทำให้เกิดก๊าซร้อน (flue gas) ไหลเวียนและแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำที่ป้อนเข้าสู่ระบบ (feed water) ผ่านท่อไอน้ำ จนกระทั่งได้ไอน้ำแรงดันสูง (high pressure steam) สำหรับนำไปปั่นกังหันไอน้ำ (steam turbine) ต่อไป โดยส่วนที่หลงเหลือจากการเผาไหม้จะกลายเป็นขี้เถ้า (ash) ก๊าซร้อนปล่อยทิ้ง (flue gas emission) และน้ำบางส่วนในหม้อกำเนิดไอน้ำจะถูกระบายออกเพื่อรักษาคุณภาพน้ำ (blow down) ดังรูปที่ 1.3 ทั้งนี้การควบคุมสถานะการเดินเครื่องจักรที่เหมาะสมกับเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้าหม้อไอน้ำ จะช่วยให้กระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงในหม้อกำเนิดไอน้ำอยู่ในสภาวะที่เหมาะสม ได้ปริมาณไอน้ำตามเป้าหมาย ประหยัดเชื้อเพลิงและลดต้นทุนการผลิตได้



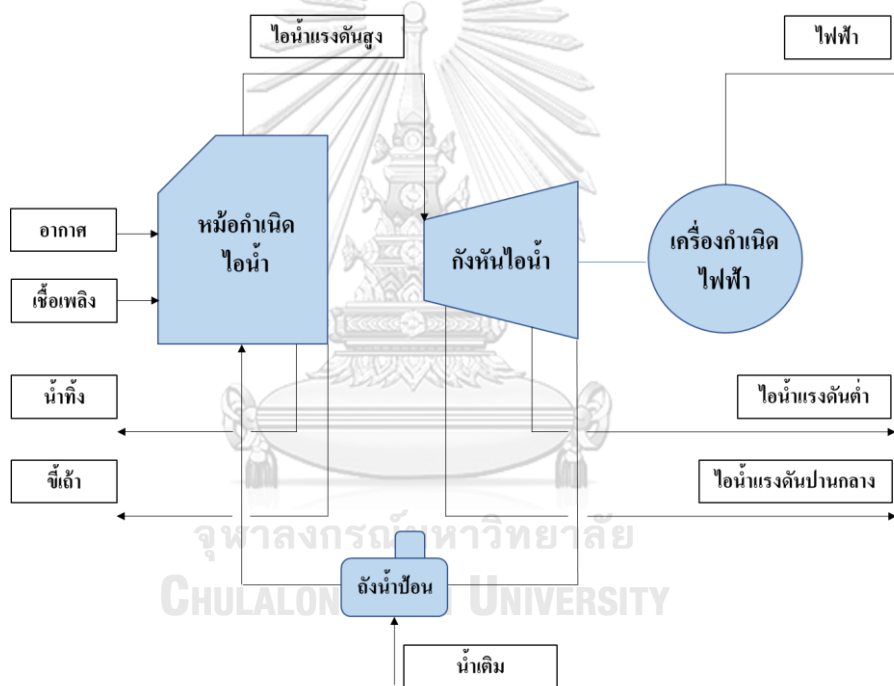
รูปที่ 1.3 ภาพรวมการเผาไหม้ในระบบหม้อกำเนิดไอน้ำ

### 1.1 ข้อมูลทั่วไปของโรงงานการศึกษา

โรงไฟฟ้าการศึกษาเป็นผู้ดำเนินการธุรกิจโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน ปัจจุบันมีสัญญาการขายไฟฟ้าให้การไฟฟ้าอยู่ที่ 31 เมกกะวัตต์ โดยมีแผนผลิตไอน้ำแรงดันสูง 43 kg/s สำหรับปั่นกังหันไอน้ำ เมื่อไอน้ำแรงดันสูงผ่านกังหันไอน้ำจะได้กระแสไฟฟ้า หลังจากนั้นไอน้ำจะลดพลังงานลงกลายเป็นไอน้ำแรงดันปานกลาง (MP steam) และไอน้ำแรงดันต่ำ (LP steam) โดยไอน้ำส่วนนี้



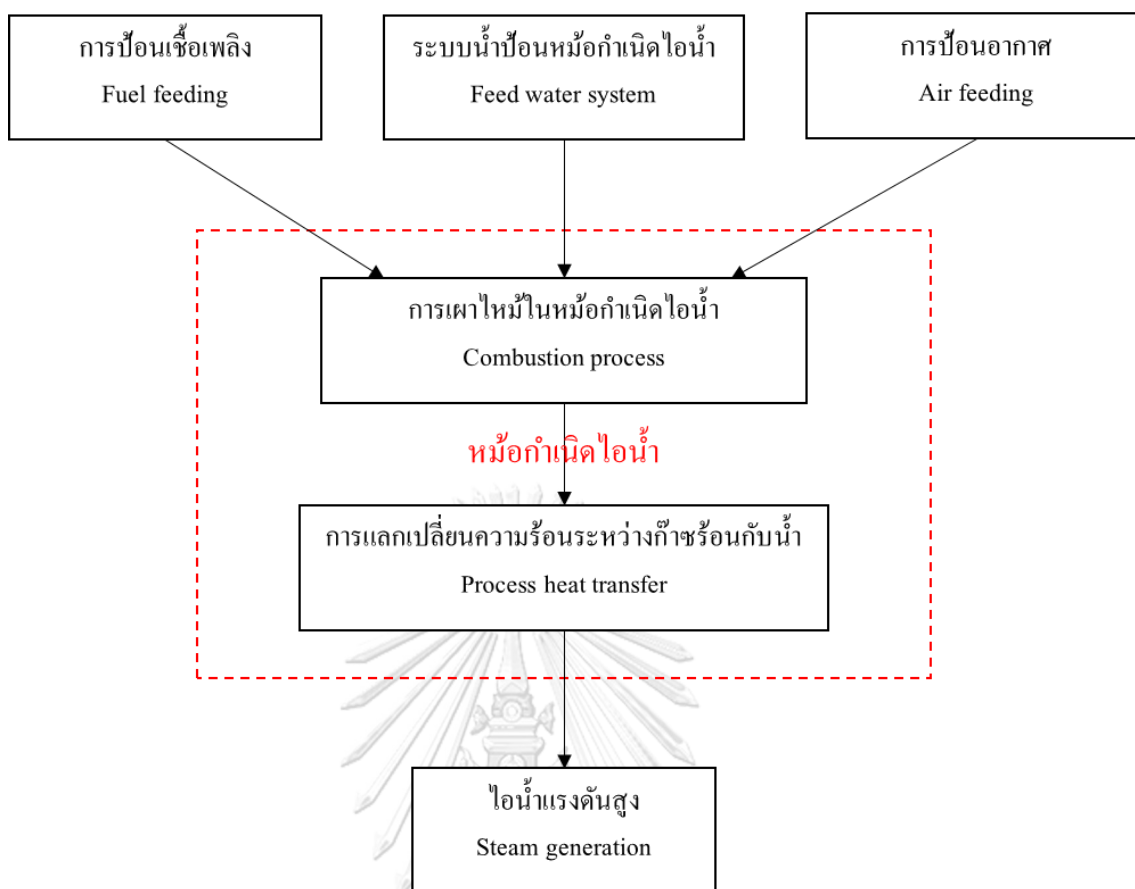
สามารถจ่ายให้ลูกค้าสำหรับอุตสาหกรรมต่าง ๆ ซึ่งปัจจุบันจ่ายไอน้ำแรงดันปานกลาง (MP steam) อยู่ที่ 10 – 12 kg/s และไอน้ำแรงดันต่ำ (LP steam) อยู่ที่ 0.5 – 1 kg/s สำหรับกระบวนการผลิต ใช้เทคโนโลยีหม้อกำเนิดไอน้ำชนิดฟลูอิดเบดแบบฟองก๊าซ (Bubbling Fluidized Bed, BFB Boiler) ใช้เชื้อเพลิงแกลบ ชี้นไม้สับเป็นเชื้อเพลิงหลักและผสมชีวมวลทางเลือกอื่น ๆ เช่น เปลือกไม้ กะลามะพร้าว ทะลายปาล์ม และขี้เลื่อย ก่อนป้อนเข้าสู่หม้อกำเนิดไอน้ำ หลังจากการเผาไหม้ชีวมวล น้ำที่ป้อนเข้าสู่ระบบจะแลกเปลี่ยนความร้อนกับก๊าซร้อนกลายเป็นไอน้ำแรงดันสูงแล้วนำไปปั่นกังหันไอน้ำสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าต่อไป ในส่วนน้ำทิ้งจะถูกนำกลับเข้าระบบหล่อเย็นและขี้เถ้าจะถูกส่งกำจัด โดยภาพรวมกระบวนการผลิตไฟฟ้าดังรูปที่ 1.4 ทั้งนี้ในงานวิจัยนี้มีขอบเขตการศึกษาใน ส่วนการผลิตไอน้ำแรงดันสูงของหม้อกำเนิดไอน้ำ



รูปที่ 1.4 ภาพรวมกระบวนการผลิตไฟฟ้าและไอน้ำของโรงงานกรณีศึกษา

### 1.1.1 กระบวนการผลิตไอน้ำแรงดันสูงของหม้อกำเนิดไอน้ำ

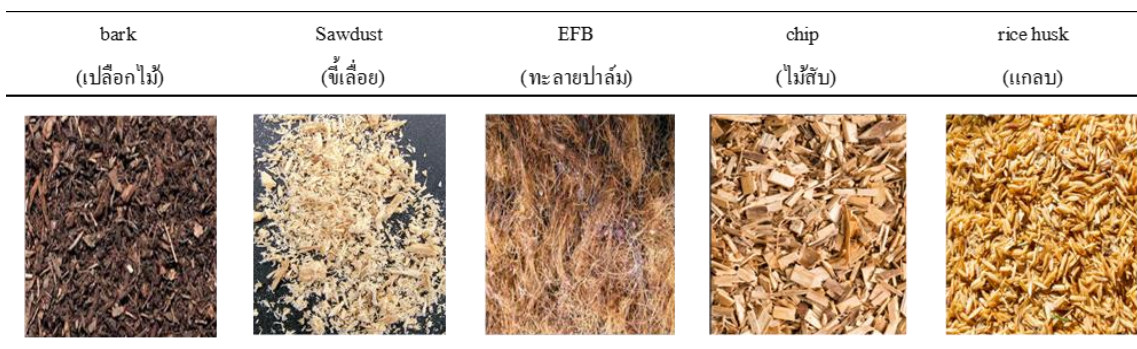
กระบวนการผลิตแบ่งออกเป็น



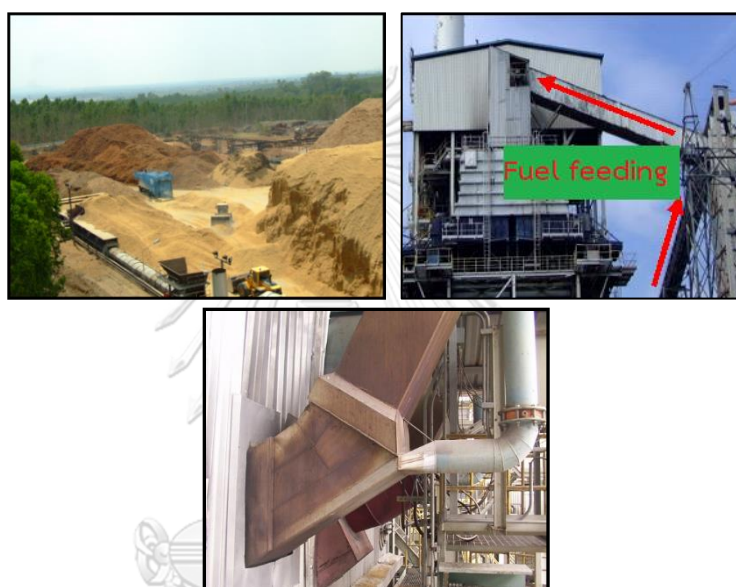
รูปที่ 1.5 กระบวนการผลิตไอน้ำแรงดันสูงของหม้อกำเนิดไอน้ำ

1) การป้อนเชื้อเพลิงสำหรับหม้อกำเนิดไอน้ำ

โรงไฟฟ้าการณศึกษามีการเตรียมเชื้อเพลิงจากฝ่ายวางแผนและฝ่ายปฏิบัติการ โดยกำหนดสูตรการผสมเชื้อเพลิงสำหรับป้อนหม้อไอน้ำ มีเชื้อเพลิงหลักที่ใช้คือ แกลบ ชั้ไม้สับ และผสมกับชีวมวลทางเลือกคือ เปลือกไม้ กะลามะพร้าว ทะลายปาล์ ชี้เลื่อย และไฟเบอร์ (ไฟเบอร์คือ สัดส่วนผสมของ เปลือกไม้ กะลามะพร้าว และทะลายปาล์ ในอัตราส่วน 4:1:1) ตัวอย่างดังรูปที่ 1.6 ซึ่งชีวมวลต่าง ๆ จะถูกกองแยกประเภททั้งในและนอกโกดังของโรงไฟฟ้า หลังจากนั้นจะผสมด้วยรถตัก (loader) ในสัดส่วนการผสมที่กำหนดก่อนป้อนเข้าสู่ถังบรรจุเชื้อเพลิงชีวมวล (Fuel silo) และป้อนผ่านท่อลำเลียงเข้าสู่หม้อกำเนิดไอน้ำต่อไป ดังรูปที่ 1.7



รูปที่ 1.6 ตัวอย่างชีวมวลที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าของโรงงานกรณีศึกษา



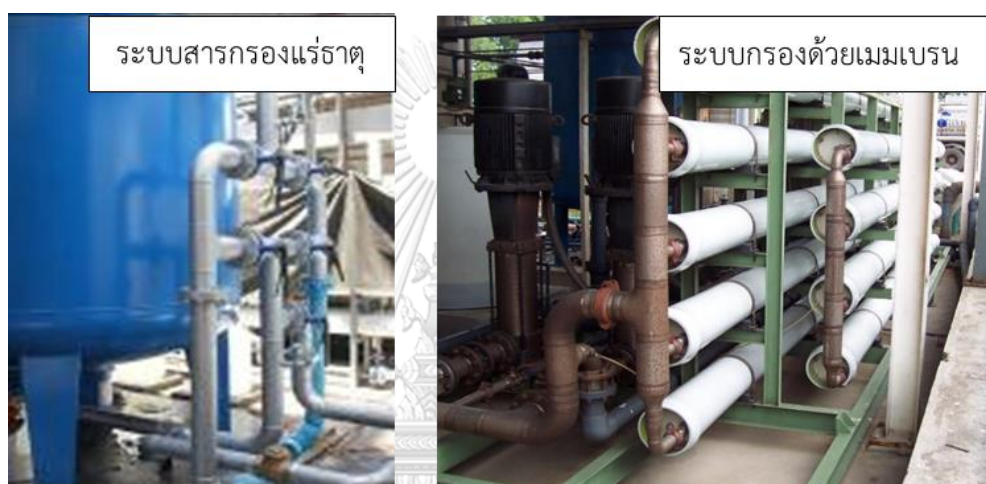
รูปที่ 1.7 กระบวนการเตรียมและป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่หม้อกำเนิดไอน้ำ

ทั้งนี้การป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลเข้าสู่หม้อกำเนิดไอน้ำจะขึ้นกับค่าความร้อน และความชื้นของเชื้อเพลิงโดยอัตราการป้อนจะพิจารณาจากสถานะภายในหม้อกำเนิดไอน้ำเช่น อุณหภูมิ ความดัน เป็นต้น ในส่วนขนาดเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับป้อนหม้อกำเนิดไอน้ำของโรงงานกรณีศึกษาจะมีการควบคุมขนาดของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดดังนี้

- ไม้สับรับซื้อควบคุมที่ขนาดกว้าง 2 เซนติเมตร ยาว 2 เซนติเมตร หยา 0.5 เซนติเมตร
- เชื้อเพลิงประเภทเส้นใยคือ ทะลายปาล์ม ไฟเบอร์ (ไฟเบอร์คือ สัตส่วนผสมของ เปลือกไม้ กะลามะพร้าว และทะลายปาล์ม ในอัตราส่วน 4:1:1) จะถูกนำมาสับผ่านเครื่องตัด (chipper) จนมีขนาดความยาวเส้นใยไม่เกิน 5 เซนติเมตร
- ในส่วนของแกลบและขี้เลื่อยมีขนาดเล็กและลักษณะค่อนข้างยูนิฟอร์ม (uniform)

2) ระบบน้ำป้อนหม้อกำเนิดไอน้ำ (Feed water system)

ในการป้อนน้ำเข้าสู่หม้อกำเนิดไอน้ำสำหรับผลิตไอน้ำนั้นโรงไฟฟ้าต้องควบคุมคุณภาพน้ำ เพื่อป้องกันการเกิดตะกรันและการกัดกร่อนหม้อไอน้ำโดยโรงไฟฟ้าการศึกษาใช้การผลิตน้ำ 2 แบบ คือ ระบบสารกรองแร่ธาตุ (Demineral water) และระบบกรองด้วยเมมเบรน (RO-membrane) ดังรูป 1.8 ซึ่งน้ำที่ผ่านระบบดังกล่าว จะมีคุณภาพน้ำเพียงพอที่จะเติมเข้าถังบรรจุน้ำป้อน (feed water tank) ดังรูป 1.9 รวมกับน้ำคอนเดนเสทที่หมุนเวียนในระบบและส่งเข้าหม้อกำเนิดไอน้ำต่อไป ทั้งนี้ การควบคุมตัวแปรในด้านพลังงานความร้อนของน้ำป้อนก่อนเข้าหม้อกำเนิดไอน้ำจะควบคุมอัตราการไหลและอุณหภูมิดังตารางที่ 1.2



รูปที่ 1.8 ระบบผลิตน้ำป้อนสำหรับป้อนหม้อกำเนิดไอน้ำ



รูปที่ 1.9 ถังบรรจุน้ำป้อนสำหรับป้อนน้ำเข้าหม้อกำเนิดไอน้ำ

ตารางที่ 1.2 ตัวแปรควบคุมด้านพลังงานความร้อนของน้ำป้อนก่อนเข้าหม้อกำเนิดไอน้ำ

Parameter	หน่วย	ค่าที่ยอมรับได้
Flow	kg/s	30-50
Temperature	°C	115

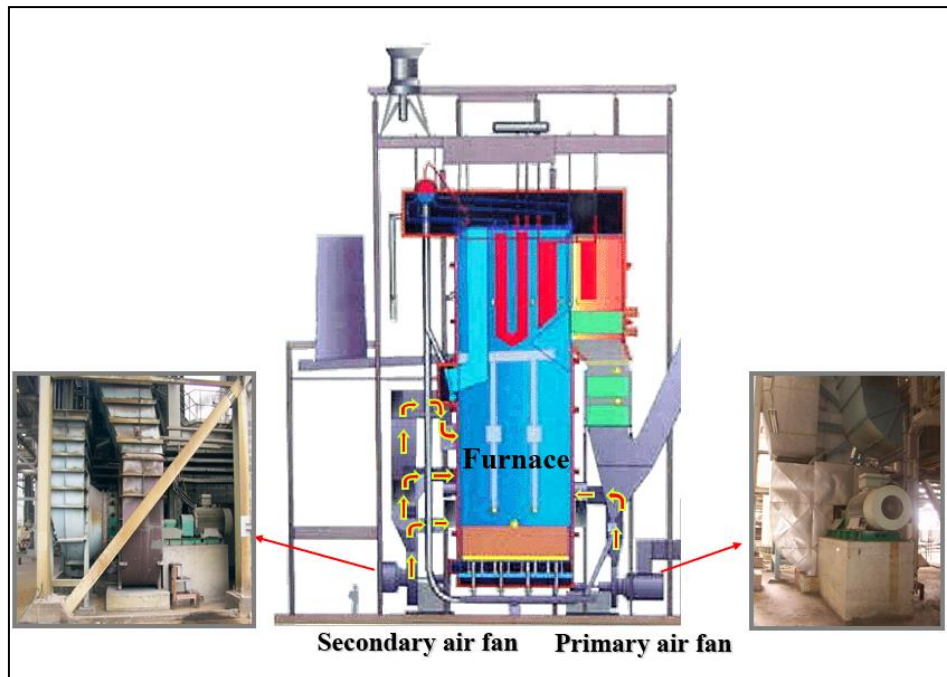
### 3) การป้อนอากาศ (Air feeding)

การป้อนอากาศเข้าหม้อกำเนิดไอน้ำเพื่อช่วยให้เกิดการเผาไหม้ (combustion) บริเวณห้องเผาไหม้ (furnace zone) แบ่งออกเป็นสองส่วนคือ

- ลมปฐมภูมิ (primary air) จะถูกป้อนจากพัดลม (primary air fan) ดังรูปที่ 1.10 ซึ่งดึงอากาศจากภายนอกเข้าสู่ห้องเผาไหม้หลังจากนั้นเชื้อเพลิงจะผสมกับอากาศส่วนแรกและเกิดการสันดาป
- ลมทุติยภูมิ (secondary air) จะถูกป้อนจากพัดลม (primary air fan) ดังรูปที่ 1.10 และจ่ายอากาศเข้ายังห้องเผาไหม้ส่วนที่ 2 โดยมีหัวฉีด (Nozzle) ช่วยกระจายอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ช่วยให้การเผาไหม้สมบูรณ์ขึ้น

สำหรับการควบคุมระบบการป้อนอากาศในสภาวะปกติจะมีการปรับเปลี่ยนในส่วนของลมปฐมภูมิและลมทุติยภูมิเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์พิจารณาได้จากเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนที่ปล่อยออกจากปล่องระบายอากาศโดยปกติควบคุมที่ 3.0 – 4.5 เปอร์เซ็นต์ รวมถึงอุณหภูมิก๊าซร้อนที่ออกจากปล่องระบายอากาศอยู่ที่ 146 °C หากป้อนอากาศน้อยเกินไปจะทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์จะส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนจะต่ำลง หากป้อนอากาศมากเกินไปความร้อนจะสูญเสียไปกับอากาศทำให้อุณหภูมิก๊าซร้อนที่ออกจากปล่องระบายอากาศมีค่าสูงขึ้น โดยมีตัวแปรควบคุมสำหรับการป้อนอากาศดังตารางที่ 1.3





รูปที่ 1.10 ระบบลมที่ป้อนเข้าห้องเผาไหม้ในหม้อกำเนิดไอน้ำ

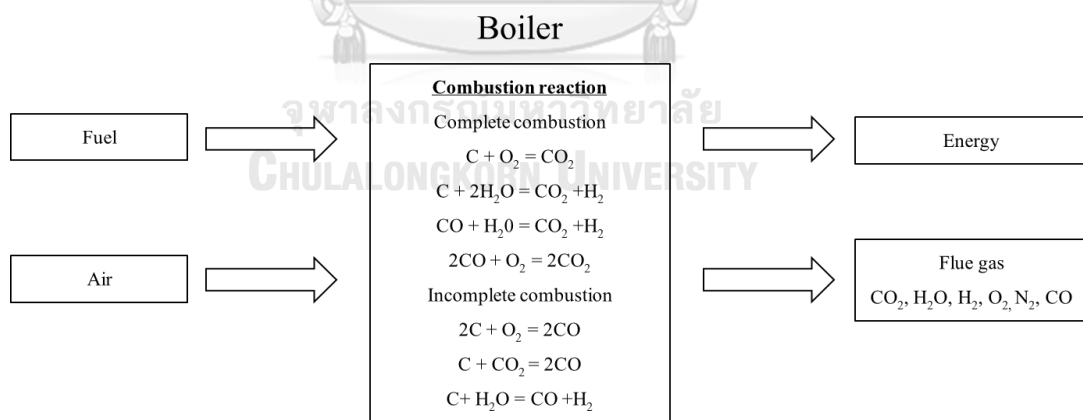
ตารางที่ 1.3 ตัวแปรควบคุมสำหรับอากาศป้อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้ของโรงไฟฟ้ากรณีศึกษา

ตัวแปร		หน่วย	ค่าที่ยอมรับได้
ลมปฐมภูมิ	อัตราการไหล	Nm <sup>3</sup> /s*	14-25
	อุณหภูมิ	°C	45 - 60
ลมทุติยภูมิ	อัตราการไหล	Nm <sup>3</sup> /s*	11-40
	อุณหภูมิ	°C	30 - 40
มวลอากาศรวม	อัตราการไหล	Kg/s	39.3-66.1
อากาศที่ปล่อยระบาย	ออกซิเจน	%	3.0 - 4.5
	อุณหภูมิ	°C	146

\* หมายถึง ลูกบาศก์เมตรปกติ หรือ Nm<sup>3</sup> (normal cubic meter) คืออัตราการไหลของสารที่มีสถานะเป็นก๊าซเทียบกับก๊าซอุดมคติ (Ideal gas) ที่อุณหภูมิ 20 °C ความดัน 1 atm

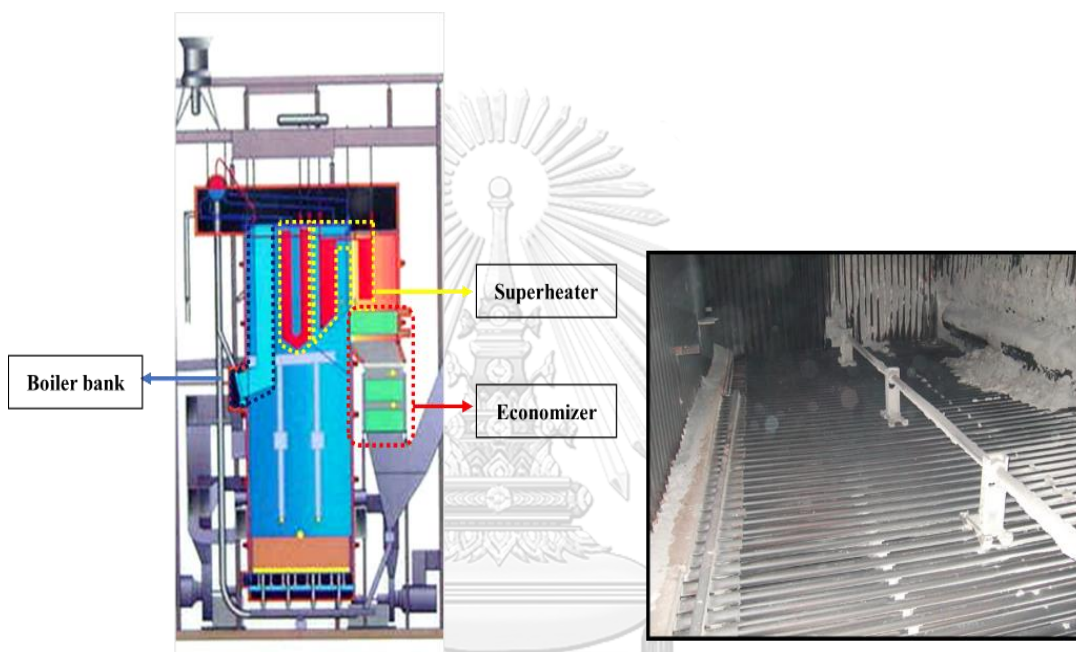
4) การเผาไหม้และแลกเปลี่ยนความร้อนในหม้อกำเนิดไอน้ำ (Combustion and heat transfer process)

เมื่อพิจารณาด้านการเผาไหม้ เชื้อเพลิงและอากาศจะถูกป้อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้ที่มีการควบคุมอุณหภูมิและความดัน เกิดการสันดาประหว่างสารอินทรีย์ หรือสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (C) กับก๊าซออกซิเจน ( $O_2$ ) ซึ่งหากสามารถควบคุมสภาวะการเผาไหม้และมีการป้อนเชื้อเพลิงกับอากาศที่เหมาะสม (air to fuel ratio, AF ratio) จะทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) และน้ำ ( $H_2O$ ) หากเผาไหม้ไม่สมบูรณ์จะเกิดเป็นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และก๊าซไฮโดรเจน ( $H_2$ ) ที่ยังสามารถเผาไหม้และให้พลังงานได้อีก ซึ่งหากสูญเสียก๊าซที่สามารถเผาไหม้ได้อีกไปกับก๊าซร้อนที่ระบายออกทางปล่องระบายอากาศจะทำให้สูญเสียพลังงานในระบบ รวมถึงหากการป้อนอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้มากเกินไป ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้จะสูญเสียไปกับอากาศที่ระบายออกทางปล่องระบายอากาศด้วยเช่นกัน ทั้งนี้ก๊าซร้อนที่ปล่อยทางปล่องระบายจะมีองค์ประกอบอื่น ๆ ที่มากับอากาศป้อนด้วย เช่น ไนโตรเจน ( $N_2$ ) และน้ำ ( $H_2O$ ) เป็นต้น [3] โดยสามารถพิจารณาประสิทธิภาพการเผาไหม้ได้จากเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนส่วนเกินที่ออกมาจากปล่องระบายดังรูปที่ 1.11 ซึ่งโรงงานกรณีศึกษาควบคุมค่าออกซิเจนส่วนเกินที่ 3-4.5% หากมีค่าต่ำกว่า 3% แสดงว่ามีการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และก๊าซไฮโดรเจน ( $H_2$ ) มาก และหากมากกว่า 4.5% แสดงว่ามีการเผาไหม้สมบูรณ์แต่ป้อนอากาศมากเกินไปทำให้ความร้อนในระบบสูญเสียไปกับอากาศส่วนเกิน



รูปที่ 1.11 ปฏิกริยาการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลในหม้อกำเนิดไอน้ำ

หลังจากการเผาไหม้ความร้อนจะลอยไปกับก๊าซร้อนในระบบและแลกเปลี่ยนความร้อนกับท่อน้ำที่อยู่ในท่อ (Process heat transfer) โดยท่อน้ำที่อยู่ในหม้อกำเนิดไอน้ำแบ่งออกเป็น ท่ออีโคโนไมเซอร์ (Economizer) ท่อบอยเลอร์แบงก์ (boiler bank) และท่อซูเปอร์ฮีทเตอร์ (superheater) ดังรูปที่ 1.12 กลุ่มท่อเหล่านี้จะแลกเปลี่ยนความร้อนกับก๊าซร้อนจนกระทั่งกลายเป็นไอน้ำร้อนยิ่งยวด (superheat steam) ก่อนส่งไปยังกังหันไอน้ำโดยอุณหภูมิอยู่ที่ 480 °C และความดันอยู่ที่ 61 bar หรือเรียกว่าไอน้ำแรงดันสูง (High pressure steam, HP steam)

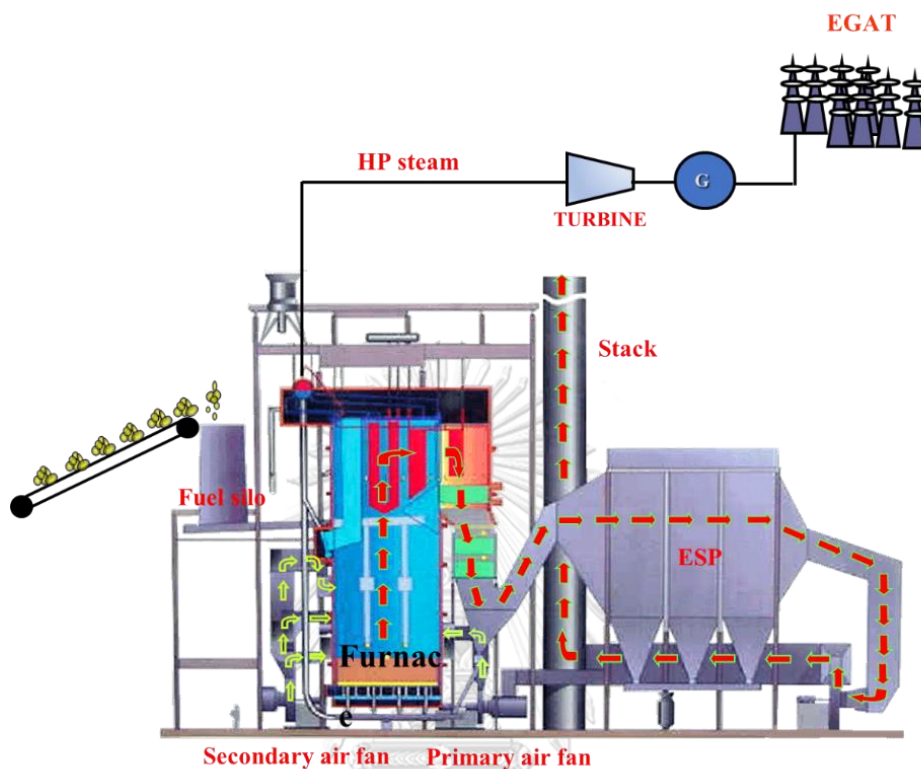


รูปที่ 1.12 ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนภายในหม้อกำเนิดไอน้ำ



### 1.1.2 แผนภาพกระบวนการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้ากรณีศึกษา

แผนภาพกระบวนการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้ากรณีศึกษาดังรูปที่ 1.13



รูปที่ 1.13 กระบวนการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้ากรณีศึกษา

## 1.2 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

การใช้เชื้อเพลิงของโรงไฟฟ้าชีวมวลกรณีศึกษาได้ใช้ชิ้นไม้สับและแกลบเป็นเชื้อเพลิงหลักในการผลิตกระแสไฟฟ้า อย่างไรก็ตามราคาแกลบและชิ้นไม้สับกลับมีแนวโน้มปรับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้ต้นทุนการผลิตกระแสไฟฟ้ามีแนวโน้มสูงขึ้นตาม อีกทั้งปริมาณเชื้อเพลิงหลักก็มีไม่เพียงพอต่อความต้องการในการผลิตไฟฟ้า ฝ่ายผลิตและฝ่ายจัดซื้อจัดหาเชื้อเพลิงจึงต้องนำผลผลิตที่เหลือใช้จากการเกษตรที่มีต้นทุนต่ำ อาทิเช่น เปลือกไม้ ทะลายปาล์ม กะลาปาล์ม และขี้เลื่อย มาผสมกับเชื้อเพลิงหลักเพื่อให้เพียงพอต่อการผลิต ซึ่งชีวมวลแต่ละชนิดจะมีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันดังตารางที่ 1.4 ทั้งนี้การกำหนดสัดส่วนชีวมวลจะสอดคล้องกับแผนการจัดซื้อจัดหา จากการเก็บข้อมูลเดือน กันยายน 2560 - กุมภาพันธ์ 2561 มีสูตรผสมสำหรับนำเข้ามาผลิตทั้งหมด 11 สูตร สามารถเรียงลำดับความถี่ในการผลิตจากมากไปน้อยดังตารางที่ 1.5 โดยงานวิจัยนี้จะพิจารณาสูตรเชื้อเพลิงที่ใช้ 80% ของความถี่สะสมคือ สูตรเชื้อเพลิง A B และ C

ตารางที่ 1.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเชื้อเพลิงชีวมวลแต่ละชนิด

การวิเคราะห์	หน่วย	ไม้สับ	แกลบ	เปลือก ไม้	ทะลาย ปาล์ม	กะลามะ พร้าว	ขี้เลื่อย
การวิเคราะห์หึ่งค์ประกอบโดยประมาณ (Proximate analysis, As received basis)							
ความชื้นรวม	%	35.15	10.33	55.59	37.42	29.46	25.49
เถ้า	%	1.22	15.76	2.35	6.26	12.11	0.57
สารระเหย	%	51.03	59.59	35.40	46.34	48.94	63.49
คาร์บอนคงตัว	%	12.59	14.32	6.66	9.98	9.49	10.45
ผลรวม	%	100	100	100	100	100	100
ค่าความร้อน	Kcal/kg	3,012	3,588	2,005	2,812	2,749	3,693
เชื้อเพลิง	MJ/kg	12.61	15.02	8.39	11.77	11.51	15.46

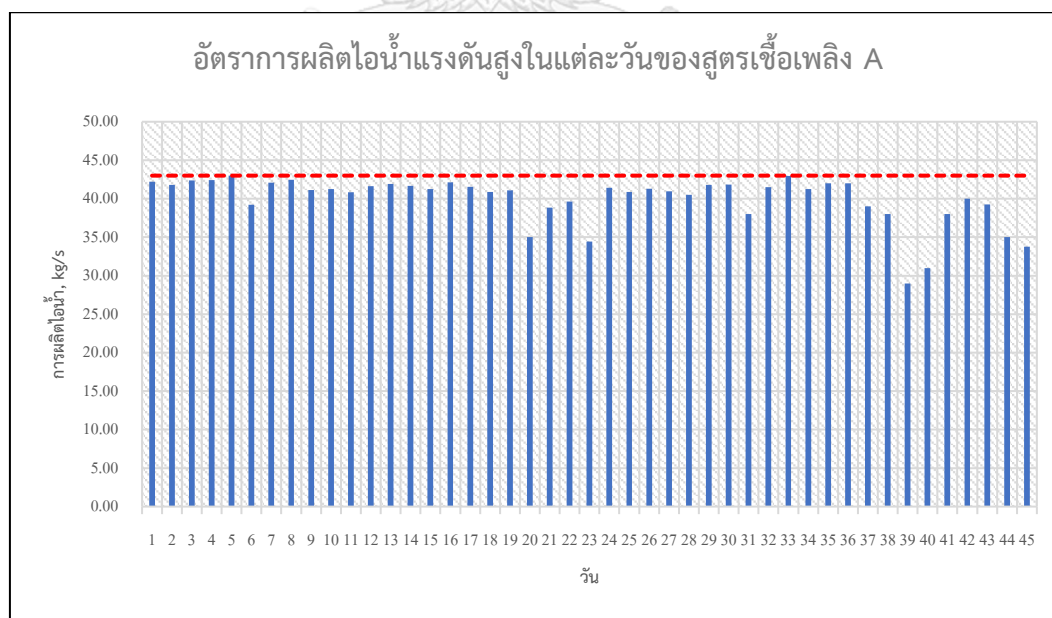
ตารางที่ 1.5 สัดส่วนเชื้อเพลิงของโรงไฟฟ้าการศึกษาที่นำเข้ามาผลิต

สูตรผสม	ชนิดเชื้อเพลิง	สัดส่วน ผสม (ต่อตันกรด)	ความถี่ในการใช้ต่อ 6 เดือน		
			วัน	%การใช้	%สะสม
A	ไม้สับ:แกลบ:ไฟเบอร์:ขี้เลื่อย	8:6:1:1	54	31.58%	31.58%
B	ไม้สับ:แกลบ:ไฟเบอร์:ขี้เลื่อย	5:5:1:1	47	27.49%	59.06%
C	ไม้สับ:แกลบ:ไฟเบอร์	5:2:2	44	25.73%	84.80%
D	ไม้สับ:แกลบ:ไฟเบอร์	3:6:1	9	5.26%	90.06%
E	ไม้สับ:แกลบ:เปลือกไม้	4:4:1	5	2.92%	92.98%
F	ไม้สับ:แกลบ:ทะลายปาล์ม	5:4:1	3	1.75%	94.74%
G	ไม้สับ:ไฟเบอร์:ทะลายปาล์ม	5:2:1	3	1.75%	96.49%
H	แกลบ:ไฟเบอร์:ขี้เลื่อย	5:1:1	2	1.17%	97.66%
I	แกลบ:ทะลายปาล์ม:ขี้เลื่อย	3:2:1	2	1.17%	98.83%
J	แกลบ:ไฟเบอร์:ทะลายปาล์ม	4:1:1	1	0.58%	99.42%
K	แกลบ:ไฟเบอร์:ทะลายปาล์ม	4:2:1	1	0.58%	100.00%

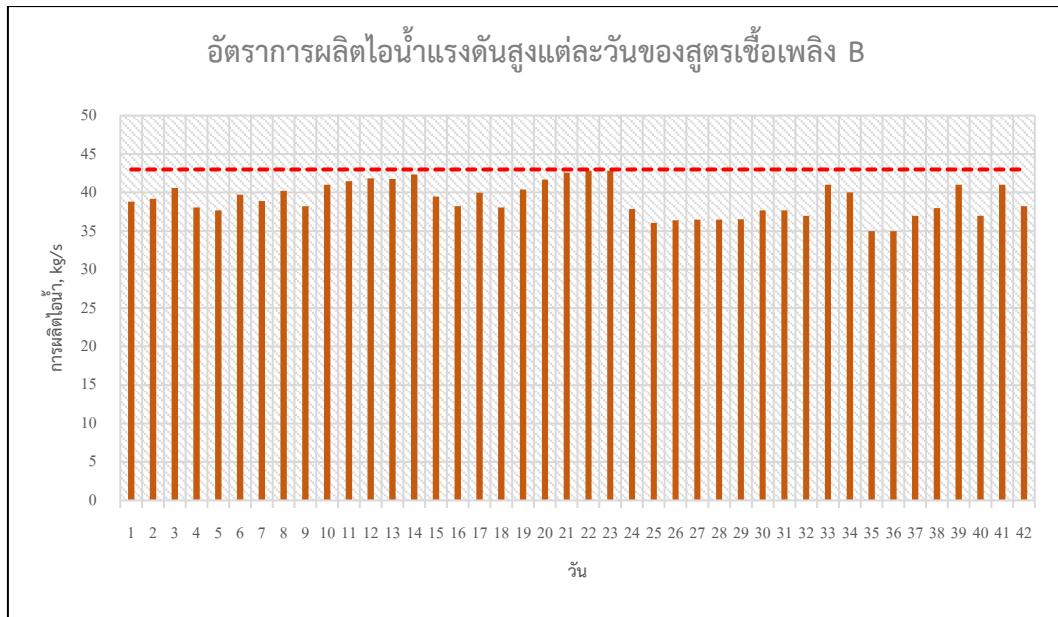
หมายเหตุ จากตารางที่ 1.5

- ไฟเบอร์คือ สัดส่วนผสมของ เปลือกไม้ กะลามะพร้าว และทะเลสาปาล์ม ในอัตราส่วน 4:1:1
- จำนวนวันไม่รวมวันหยุดซ่อมบำรุงเครื่องจักร
- ช่วงเวลาที่พิจารณาในช่วงเดือน กันยายน 2560 - กุมภาพันธ์ 2561

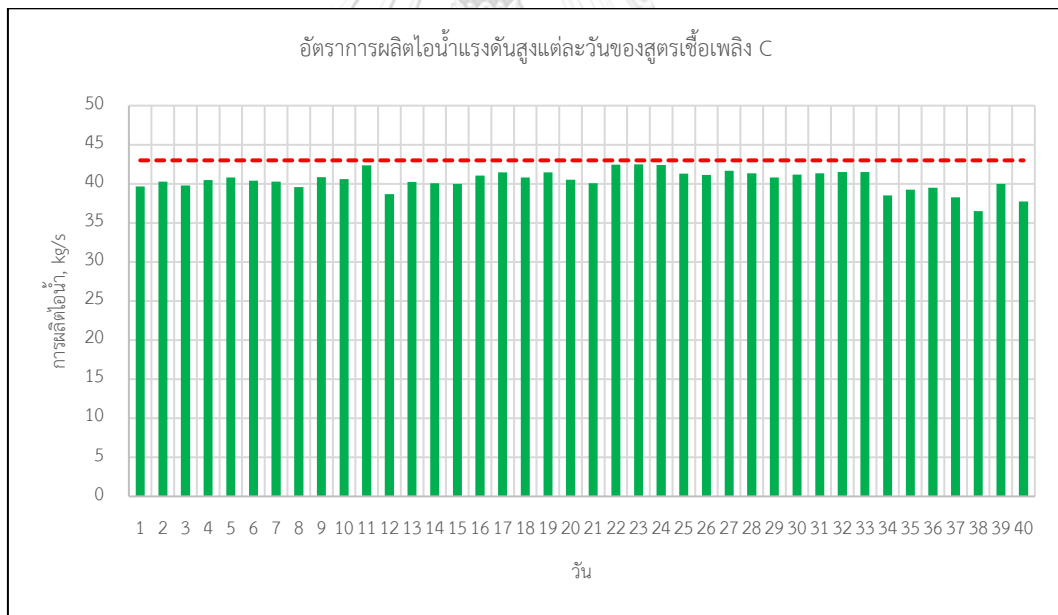
อย่างไรก็ตามการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลที่มีความหลากหลาย กลับก่อให้เกิดปัญหาด้านการผลิต ฝ่ายผลิตต้องทำการปรับเปลี่ยนสภาวะการเดินเครื่องตลอดเวลาส่งผลให้ปริมาณไอน้ำที่ผลิตและปริมาณการใช้เชื้อเพลิงไม่คงที่ ส่งผลต่อต้นทุนในการผลิตซึ่งงานวิจัยนี้มีเป้าหมายลดต้นทุนเชื้อเพลิงต่อตันไอน้ำให้น้อยกว่าค่าเฉลี่ยเดิม จากการเก็บข้อมูลต้นทุนเชื้อเพลิงต่อปริมาณไอน้ำแรงดันสูงที่ผลิตในช่วงเดือน กันยายน 2560 - กุมภาพันธ์ 2561 โดยพิจารณาจำแนกการผลิตเป็นสูตรเชื้อเพลิง A B และ C ทั้งหมด 45 วัน 42 วัน และ 40 วัน ตามลำดับ (ไม่รวมวันที่มีการซ่อมบำรุงหรือมีการทดลองเชื้อเพลิงพิเศษ) พบว่าต้นทุนเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตต่อปริมาณไอน้ำแรงดันสูงเฉลี่ยอยู่ที่ 581.19 บาทต่อตันไอน้ำ 565.36 บาทต่อตันไอน้ำ และ 575.89 บาทต่อตันไอน้ำ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้พบว่ยังมีการแกว่งตัวต่ำกว่าค่าเป้าหมายโดยค่าเฉลี่ย สูตรเชื้อเพลิง A B และ C อยู่ที่ 39.96 kg/s 39.08 kg/s และ 40.46 kg/s ตามลำดับ จากเป้าหมาย 43 kg/s ดังรูป 1.14 – 1.16



รูปที่ 1.14 อัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูงแต่ละวันของสูตรเชื้อเพลิงสูตรเชื้อเพลิง A



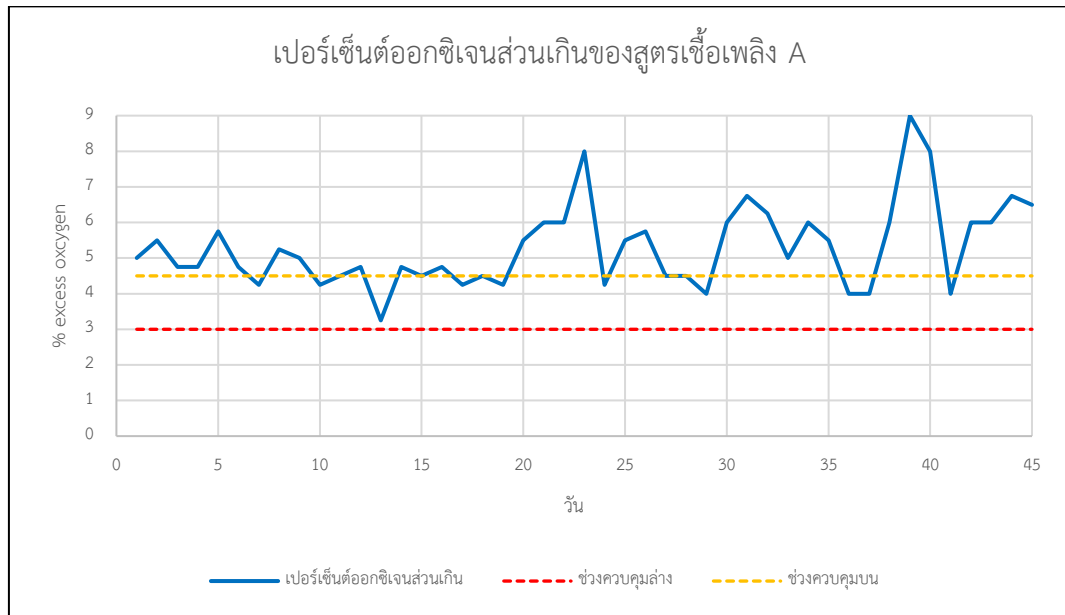
รูปที่ 1.15 อัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูงแต่ละวันของสูตรเชื้อเพลิงสูตร B



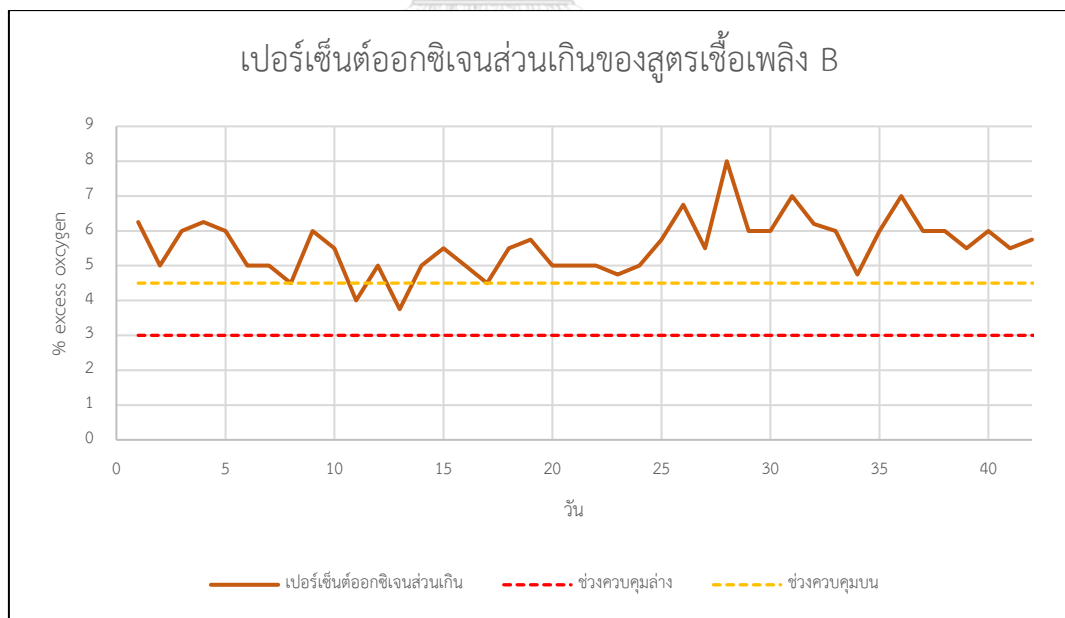
รูปที่ 1.16 อัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูงแต่ละวันของสูตรเชื้อเพลิงสูตร C

เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนที่ออกจากปล่องระบายอากาศซึ่งสื่อถึงการป้อนอากาศสำหรับเผาไหม้เชื้อเพลิงพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนมีการแกว่งตัวสูงกว่าค่าการออกแบบที่ 3.0 –

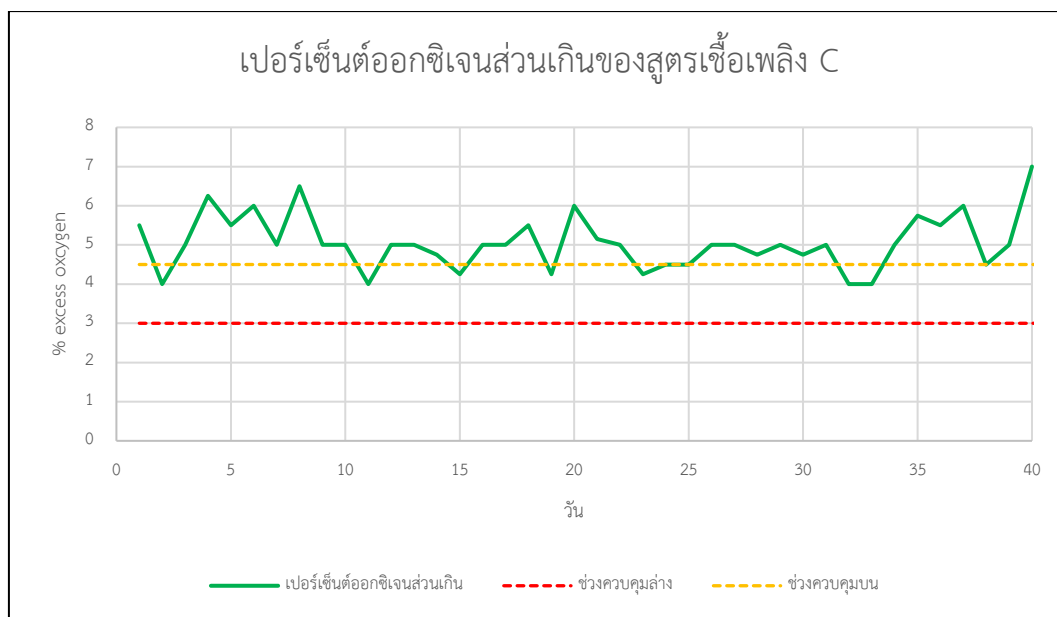
4.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าเฉลี่ยของสูตรเชื้อเพลิง A B และ C อยู่ที่ 5.30% 5.57% และ 5.05% ตามลำดับ ดังรูปที่ 1.17 – 1.19



รูปที่ 1.17 เปอร์เซ็นต์ออกซิเจนที่ปล่อยระบายอากาศของเชื้อเพลิงสูตรเชื้อเพลิง A



รูปที่ 1.18 เปอร์เซ็นต์ออกซิเจนที่ปล่อยระบายอากาศของเชื้อเพลิงสูตร B



รูปที่ 1.19 เปอร์เซ็นต์ออกซิเจนที่ปล่อยระบายอากาศของเชื้อเพลิงสูตร C

จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่าสภาวะการเดินเครื่องจักรของหม้อกำเนิดไอน้ำกรณศึกษา ยังไม่ได้ตามเป้าหมายดังนั้นการพิจารณาการเผาไหม้ของโรงไฟฟ้าชีวมวล โดยใช้หลักวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis) พิจารณาองค์ประกอบของเชื้อเพลิงและการปรับสภาวะเครื่องจักรและหาสภาวะที่เหมาะสมด้วยวิธีวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง (Respond surface methodology) จะช่วยให้การเผาไหม้มีประสิทธิภาพ สามารถลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงสามารถผลิตไอน้ำได้ปริมาณและคุณภาพตามเป้าหมาย

### 1.3 วัตถุประสงค์งานวิจัย

- ศึกษาและวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเผาไหม้ของหม้อกำเนิดไอน้ำของโรงไฟฟ้ากรณศึกษา
- หาสภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรที่ส่งผลให้อัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูงตามเป้าหมายที่ 43 กิโลกรัมต่อวินาที
- ควบคุมค่าเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนส่วนเกินจากการเผาไหม้ให้อยู่ในช่วงที่กำหนดคือ 3.00-4.50%
- ลดต้นทุนเชื้อเพลิงต่อตันไอน้ำที่ผลิตให้น้อยกว่าค่าเฉลี่ยเดิมของเชื้อเพลิงแต่ละสูตร

#### 1.4 ขอบเขตงานวิจัย

- 1) ศึกษาการเผาไหม้ของหม้อกำเนิดไอน้ำของโรงงานกรณีศึกษารวมถึงข้อมูลการผลิตและต้นทุนโดยสัดส่วนเชื้อเพลิงที่พิจารณาคือ สูตรเชื้อเพลิง A สูตรB และสูตรC
- 2) วิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อระบบการเผาไหม้ด้วยการวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis) และหาสภาวะที่เหมาะสมในการเผาไหม้ด้วยวิธีวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง (Respond surface methodology)
- 3) เปรียบเทียบต้นทุนเชื้อเพลิงต่อตันไอน้ำที่ผลิตได้ก่อนและหลังงานวิจัยโดยมีเป้าหมายลดต้นทุนให้น้อยกว่าค่าเฉลี่ยเดิมจากการเดินเครื่องจักรจริง
- 4) ไม่พิจารณากรณีเครื่องจักรหยุดซ่อมบำรุงฉุกเฉิน

#### 1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

- 1) ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเผาไหม้ของโรงไฟฟ้าชีวมวลโดยใช้การวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis)
- 2) ศึกษาสภาวะปัจจุบันของการผลิตไอน้ำของโรงไฟฟ้าชีวมวลกรณีศึกษา
- 3) รวบรวมข้อมูลการเดินเครื่องจักรของโรงไฟฟ้ากรณีศึกษาสำหรับการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง
- 4) วิเคราะห์ตัวแปรต้นเพื่อหาความสัมพันธ์เชิงเส้นเบื้องต้นเพื่อคัดกรองตัวแปรที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง
- 5) สร้างสมการถดถอยเชิงพหุคูณโดยหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตอบสนองด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis)
- 6) พิจารณาเปรียบเทียบสมการถดถอยที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่าหรือ R-sq(adj) มีค่ามากที่สุด
- 7) หาสภาวะที่เหมาะสมในการเดินเครื่องจักรด้วยหลักการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง (response surface methodology)
- 8) นำสภาวะที่เหมาะสมไปทดสอบกับการเดินเครื่องจักรจริงของโรงไฟฟ้ากรณีศึกษาและเปรียบเทียบผลก่อนและหลังทำการทดลอง
- 9) สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ
- 10) จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

### 1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สมการที่ใช้สำหรับทำนายการผลิตไอน้ำแรงดันสูงของโรงไฟฟ้ากรณีศึกษา
- 2) สภาวะที่เหมาะสมในการเดินเครื่องจักรของสูตรเชื้อเพลิง A B และ C
- 3) ทราบถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อการเผาไหม้ในหม้อกำเนิดไอน้ำของโรงไฟฟ้ากรณีศึกษา

### 1.7 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1) ลดต้นทุนเชื้อเพลิงในการผลิตและได้ไอน้ำตามเป้าหมายที่กำหนด
- 2) เพิ่มเสถียรภาพในการผลิตไฟฟ้าและส่งจ่ายไอน้ำให้กับลูกค้า
- 3) เป็นแนวทางในการปรับกระบวนการผลิตไอน้ำของโรงไฟฟ้าชีวมวล สามารถนำไปต่อยอดและพัฒนางานวิจัยอื่นได้





### 1.8 แผนดำเนินงานวิจัย

รายละเอียด	วันที่		พ.ศ. 2561								พ.ศ. 2562				
	เริ่ม	สิ้นสุด	ม.ย	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย	ธ.ค	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.
1) ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการเผาไหม้ของโรงไฟฟ้าชีวมวลโดยใช้การวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis)	1/6/61	30/06/61													
2) ศึกษาสถานะปัจจุบันของการผลิตเอทานอลของโรงไฟฟ้าชีวมวลกรณีศึกษา	1/6/61	30/06/61													
3) รวบรวมข้อมูลการเดินเครื่องจักรของโรงไฟฟ้ากรณีศึกษาสำหรับการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนอง	1/7/61	31/07/61													
4) วิเคราะห์ตัวแปรต้นเพื่อหาความสัมพันธ์เชิงเส้นเบื้องต้นเพื่อคัดกรองตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนอง	1/7/61	31/07/61													
5) สร้างสมการถดถอยเชิงพหุคูณโดยหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัว	1/8/61	31/9/61													



## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในบทนี้ กล่าวถึงหลักการที่เกี่ยวข้องกับการเผาไหม้ของหม้อกำเนิดไอน้ำแบบฟลูอิดไคซ์เบดแบบฟองแก๊ส และการปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล เพื่อให้เกิดการเผาไหม้ในหม้อกำเนิดไอน้ำของโรงไฟฟ้ากรณีศึกษาอย่างมีประสิทธิภาพ โดยแบ่งหัวข้อดังต่อไปนี้

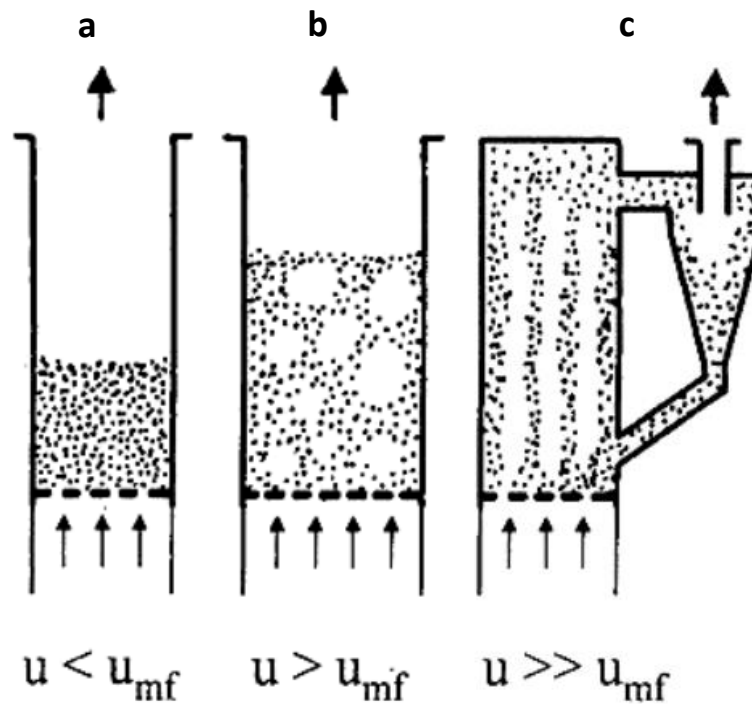
- 2.1 ระบบการเผาไหม้ของหม้อกำเนิดไอน้ำแบบฟลูอิดไคซ์เบดแบบฟองแก๊ส
- 2.2 หลักการเผาไหม้เชื้อเพลิงในหม้อกำเนิดไอน้ำ
- 2.3 การวิเคราะห์สมการถดถอย (Regression Analysis)

#### 2.1 ระบบการเผาไหม้ของหม้อกำเนิดไอน้ำแบบฟลูอิดไคซ์เบดแบบฟองแก๊ส [10]

ในระบบการเผาไหม้ของหม้อกำเนิดไอน้ำแบ่งประเภทการเผาไหม้ของอนุภาคที่อยู่ในหม้อกำเนิดไอน้ำโดยพิจารณาสภาพของแข็งที่ประพัตต์ตัวคล้ายของไหลซึ่งสัมพันธ์กับอนุภาคของเชื้อเพลิงและการป้อนอากาศภายในเตาเผาไหม้ซึ่งอัตราการป้อนลมของหม้อกำเนิดไอน้ำแต่ละชนิดจะแตกต่างกันสามารถจำแนกตามความเร็วของการป้อนอากาศได้เป็น

- a. หม้อไอน้ำแบบฟิกส์เบด (fixed bed) ความเร็วของอากาศป้อนน้อยกว่าความเร็วต่ำสุดที่ทำให้อนุภาคลอยขึ้นหรือเกิดฟลูอิดไคซ์เซชัน ( $u < u_{mf}$ ) ลักษณะของอนุภาคเชื้อเพลิงจะอยู่กับที่เกิดการเผาไหม้บนผิวเบดประสิทธิภาพการเผาไหม้ค่อนข้างต่ำ ผลกระทบทางอากาศที่ปล่อยระบายสูง ค่าซ่อมบำรุงเครื่องจักรสูง เมื่อเทียบกับหม้อไอน้ำฟลูอิดไคซ์เบดแบบฟองแก๊สและหม้อไอน้ำฟลูอิดไคซ์เบดแบบหมุนเวียน
- b. หม้อไอน้ำฟลูอิดไคซ์เบดแบบฟองแก๊ส (bubbling fluidized bed, BFB) ความเร็วของอากาศป้อนมากกว่าความเร็วต่ำสุดที่ทำให้อนุภาคลอยขึ้นหรือเกิดฟลูอิดไคซ์เซชัน ( $u > u_{mf}$ ) ลักษณะของอนุภาคเชื้อเพลิงจะประพัตต์ตัวคล้ายการเกิดฟองแก๊สในของไหล เกิดการคลุกเคล้าของอนุภาคกับกับอากาศได้ดีทำให้การเผาไหม้มีประสิทธิภาพ ผลกระทบทางอากาศที่ปล่อยระบายปานกลาง ค่าซ่อมบำรุงเครื่องจักรปานกลาง เมื่อเทียบกับหม้อไอน้ำแบบฟิกส์เบด และหม้อไอน้ำฟลูอิดไคซ์เบดแบบหมุนเวียน
- c. หม้อไอน้ำฟลูอิดไคซ์เบดแบบหมุนเวียน (circulating fluidized bed, CFB) ความเร็วของอากาศป้อนมากกว่าความเร็วต่ำสุดที่ทำให้อนุภาคลอยขึ้นหรือเกิดฟลูอิดไคซ์เซชันมาก ( $u \gg u_{mf}$ ) ลักษณะของอนุภาคเชื้อเพลิงจะหลุดลอยไปตามอากาศป้อนซึ่งการออกแบบ

จะทำให้เกิดการหมุนเวียนในระบบหม้อกำเนิดไอน้ำเกิดการเผาไหม้ในระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงมาก ผลกระทบทางอากาศที่ปล่อยระบายต่ำ ค่าซ่อมบำรุงเครื่องจักรต่ำ เมื่อเทียบกับหม้อไอน้ำแบบฟิกส์เบด และหม้อไอน้ำฟลูอิดไรเซดแบบฟองแก๊ส จากลักษณะหม้อกำเนิดไอน้ำที่กล่าวมาข้างต้นสามารถเปรียบเทียบได้ดังรูปที่ 2.1 และตารางที่ 2.1



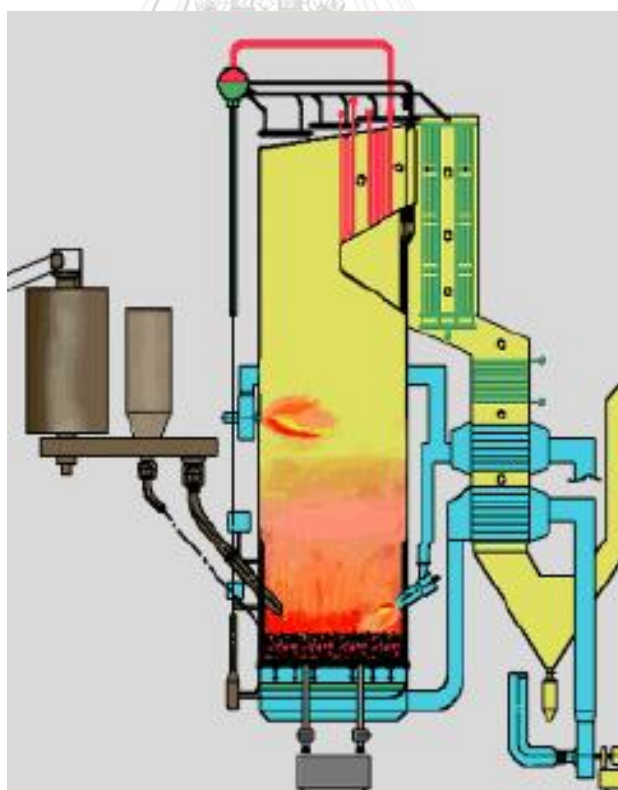
รูปที่ 2.1 ลักษณะของอนุภาคของแข็งภายในหม้อกำเนิดไอน้ำแต่ละชนิด

a. Fixed bed, b. Bubbling bed, c. Circulating fluidized bed

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบความแตกต่างของหม้อกำเนิดไอน้ำแต่ละชนิด [11]

		ความเร็วอากาศป้อน				
		ต่ำ	กลาง	สูง		
ผลกระทบทางอากาศ	สูง	Fixed	Fixed	N/A	ค่าซ่อมบำรุง	สูง
	กลาง	BFB	BFB	CFB		กลาง
	ต่ำ	BFB	BFB	CFB		ต่ำ
		ต่ำ	กลาง	สูง		
ประสิทธิภาพการเผาไหม้						

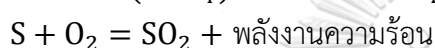
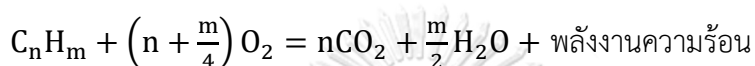
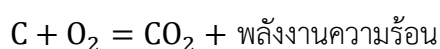
ระบบการเผาไหม้ของหม้อกำเนิดไอน้ำฟลูอิดไรซ์เบดแบบฟองแก๊ส (bubbling fluidized bed boiler) ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก เหมาะกับเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนต่ำและความชื้นสูง โดยหลักการของระบบการเผาไหม้ของหม้อกำเนิดไอน้ำฟลูอิดไรซ์เบดแบบฟองแก๊ส จะมีห้องเผาไหม้อยู่ด้านล่างของหม้อกำเนิดไอน้ำ โดยห้องเผาไหม้จะมีการป้อนด้วยอิฐทนไฟ และมีระบบน้ำไหลเวียนในท่อเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนจากการเผาไหม้ ซึ่งการฟลูอิดไรซ์ของเชื้อเพลิงและอนุภาคภายในเตาเผาไหม้จะถูกกำหนดด้วยการจ่ายลมปฐมภูมิ (primary air) ผ่านหัวฉีดเพื่อให้อากาศผสมกับเชื้อเพลิง ทำให้เกิดการเผาไหม้ ทั้งนี้การป้อนอากาศจะต้องเพียงพอสำหรับการยกตัวของอนุภาค (minimum fluidization velocity) โดยทั่วไปปริมาตรการป้อนลมปฐมภูมิ (primary air) ประมาณ 30% ของอากาศป้อนทั้งหมดสำหรับเผาไหม้ และส่วนที่เหลือจะป้อนผ่านลมทุติยภูมิ (secondary air) สำหรับให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ต่อไป ซึ่งความเร็วของก๊าซในห้องเผาไหม้ประมาณ 2-4 เมตร/วินาที อุณหภูมิเผาไหม้อยู่ระหว่าง 800 – 950 องศาเซลเซียส หลังจากเผาไหม้เชื้อเพลิงจะมีคาร์บอนหลงเหลือจากการเผาไหม้ค่อนข้างน้อยมาก ประมาณ 0.3-0.7% โดยน้ำหนัก รูปแบบหม้อกำเนิดไอน้ำฟลูอิดไรซ์เบดแบบฟองแก๊สทั่วไปดังรูปที่ 2.2 [12]



รูปที่ 2.2 ภาพรวมของระบบหม้อกำเนิดไอน้ำฟลูอิดไรซ์เบดแบบฟองแก๊ส [12]

## 2.2 หลักการเผาไหม้เชื้อเพลิง

Prabir Basu [13] กล่าวถึง การเผาไหม้เชื้อเพลิงในหม้อกำเนิดไอน้ำเป็นปฏิกิริยาเคมีอย่างหนึ่ง เมื่อเชื้อเพลิงได้รับความร้อนองค์ประกอบในเชื้อเพลิงจะทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนและปลดปล่อยความร้อนออกมา ส่วนที่เหลือจากการเกิดปฏิกิริยาจะกลายเป็นสารประกอบออกไซด์ ซึ่งหากเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์จะได้ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ กรณีการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์จะทำให้สูญเสียความร้อนจากปฏิกิริยา เกิดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงไปโดยเปล่าประโยชน์ส่งผลให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ลดลง โดยสมการการเผาไหม้แสดงดังนี้



U. P. Onochie [14] ได้แสดงถึงกรรมวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเชื้อเพลิงชีวมวล คือกากปาล์มอัดเม็ดเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์การเผาไหม้ซึ่งการวิเคราะห์มีสองวิธีคือ

1. วิธีการวิเคราะห์โดยประมาณ (Proximate Analysis) จะตรวจสอบเฉพาะองค์ประกอบที่สำคัญๆต่อพฤติกรรมเผาไหม้ ได้แก่ คาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) ของเถ้า (Ash) ของความชื้น (Moisture) และของสารระเหยง่าย (Volatile Matter)
2. การวิเคราะห์อย่างละเอียด (Ultimate Analysis) เป็นการหาสัดส่วนร้อยละขององค์ประกอบของธาตุต่าง ๆ ในเชื้อเพลิงได้แก่ คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ออกซิเจน (O) ไนโตรเจน (N) กำมะถัน (S) และเถ้า (Ash) โดยจะใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณการเผาไหม้ เช่น การคำนวณหาปริมาณอากาศที่ต้องการเพื่อการเผาไหม้

Bureau of Energy Efficiency Ministry of Power [15] กล่าวถึง ประสิทธิภาพการเผาไหม้เชื้อเพลิงจะขึ้นกับปริมาณอากาศที่ป้อนเข้าไปทำปฏิกิริยาโดยปกติการป้อนอากาศสำหรับเผาไหม้เชื้อเพลิงจะป้อนเกินค่าความต้องการทางทฤษฎี เนื่องจากในความเป็นจริงออกซิเจนทุกตัวไม่ได้ทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงทั้งหมด เกิดการเผาไหม้ในลักษณะที่อากาศไม่เพียงพอ ส่งผลให้ได้พลังงานความร้อนน้อยกว่าการเผาไหม้สมบูรณ์ เกิดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ เขม่า และควันสีดำ ทั้งนี้ในทางปฏิบัติการป้อนอากาศสำหรับเผาไหม้เชื้อเพลิงต้องป้อนอากาศให้มากกว่าค่าทางทฤษฎี ซึ่งเรียกอากาศส่วนเกินนี้ว่า (Excess air) การป้อนอากาศมากเกินไปจะทำให้เกิดการเสียพลังงานไปกับก๊าซร้อนที่ปล่อยออกทางปล่องระบายด้วยเช่นกัน โดยการคำนวณอากาศส่วนเกินดังสมการด้านล่าง

ปริมาณอากาศส่วนเกิน = [ร้อยละของออกซิเจนจากปล่องระบายอากาศ  $\times$  100]  $\div$  [21-ร้อยละของออกซิเจนจากปล่องระบายอากาศ] (2.1)

อย่างไรก็ตามค่าอากาศส่วนเกินที่เหมาะสมจะขึ้นกับประเภทของหม้อกำเนิดไอน้ำแต่ละชนิด ซึ่งขึ้นกับค่าการออกแบบของผู้ผลิต

นอกจากอากาศส่วนเกินที่มีผลต่อการเผาไหม้ในหม้อกำเนิดไอน้ำแล้วค่าความชื้นในเชื้อเพลิง ซึ่งสัมพันธ์กับค่าความร้อนสุทธิในเชื้อเพลิงมีผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้เช่นกัน โดยสามารถคิดเป็นร้อยละของการสูญเสียได้ดังสมการด้านล่าง

%พลังงานสูญเสียในการระเหยน้ำ (L) = [พลังงานในการระเหยน้ำ  $\times$  100]  $\div$  พลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิง

$$L = \frac{M \times [(584) + C_p(T_f - T_a)] \times 100}{GCV} \quad (2.2)$$

L	=	เปอร์เซ็นต์พลังงานความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำต่อพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงสุทธิ
M	=	ปริมาณความชื้น (kg) ในเชื้อเพลิง 1 kg
C <sub>p</sub>	=	ค่าความจุความร้อนของไอน้ำร้อนยิ่งยวด (kCal/kg <sup>o</sup> C)
T <sub>f</sub>	=	อุณหภูมิก๊าซร้อนขาเข้า (°C)
T <sub>a</sub>	=	อุณหภูมิบรรยากาศ (°C)
GCV	=	ค่าความร้อนสุทธิของเชื้อเพลิง (kCal/kg) (หักความชื้นในเชื้อเพลิงออก)

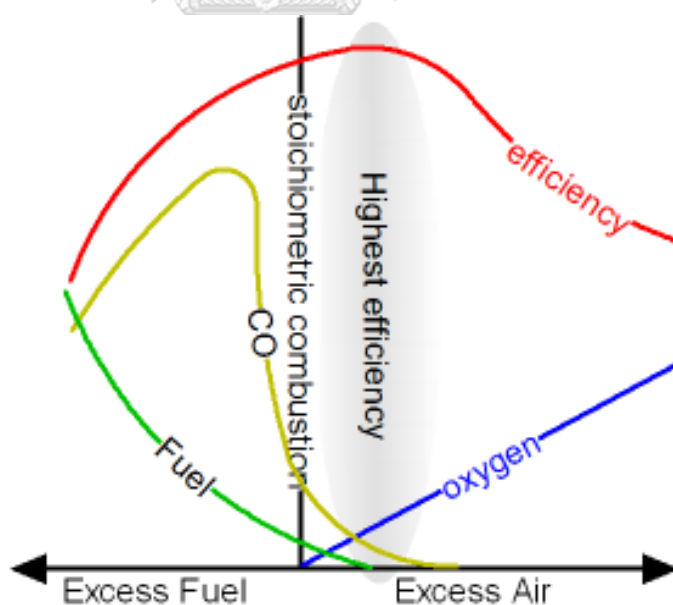
ประสิทธิภาพหม้อกำเนิดไอน้ำคือความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานในเชื้อเพลิงไปเป็นพลังงานความร้อนในรูปของไอน้ำ หรือปริมาณความร้อนที่ใช้สำหรับผลิตไอน้ำหารด้วยปริมาณความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่ป้อนเข้าหม้อกำเนิดไอน้ำ ทั้งนี้เมื่อพิจารณาด้านการเผาไหม้ ประสิทธิภาพของหม้อกำเนิดไอน้ำขึ้นกับชนิดของเชื้อเพลิงที่ป้อน ปริมาณเชื้อเพลิง องค์ประกอบทางเคมี ความชื้น และค่าความร้อน ดังสมการด้านล่าง

ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ = [พลังงานความร้อนที่ได้จากไอน้ำ  $\times$  100]  $\div$  พลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิง

$$\text{ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ} = \frac{Q \times (H-h)}{q \times \text{GCV}} \times 100 \quad (2.3)$$

- Q = ปริมาณการผลิตไอน้ำของหม้อน้ำ (kg/h)  
 H = ค่าเอนทัลปีของไอน้ำที่ทางออกหม้อกำเนิดไอน้ำ (kCal/kg)  
 h = ค่าเอนทัลปีของน้ำที่ทางเข้า (kCal/kg)  
 q = ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ไป (kg/h)  
 GCV = ค่าความร้อนสุทธิของเชื้อเพลิง (kCal/kg) (หักความชื้นในเชื้อเพลิงออก)

สำหรับการเผาไหม้เชื้อเพลิงปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้คือการป้อนเชื้อเพลิงและอากาศในการเผาไหม้ ทั้งนี้การป้อนอากาศที่เหมาะสมกับเชื้อเพลิงจะส่งผลให้มีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ได้พลังงานจากเชื้อเพลิงเต็มที่ทำให้ประหยัดต้นทุน อย่างไรก็ตามการป้อนอากาศที่มากเกินไปจะทำให้พลังงานความร้อนที่ได้หลุดลอยออกมากับปล่องระบายอากาศเช่นกัน โดยจะสื่อในรูปของเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนที่ปล่องระบายอากาศ โดยแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการเผาไหม้กับสัดส่วนการป้อนอากาศและเชื้อเพลิงดังรูปที่ 2.3



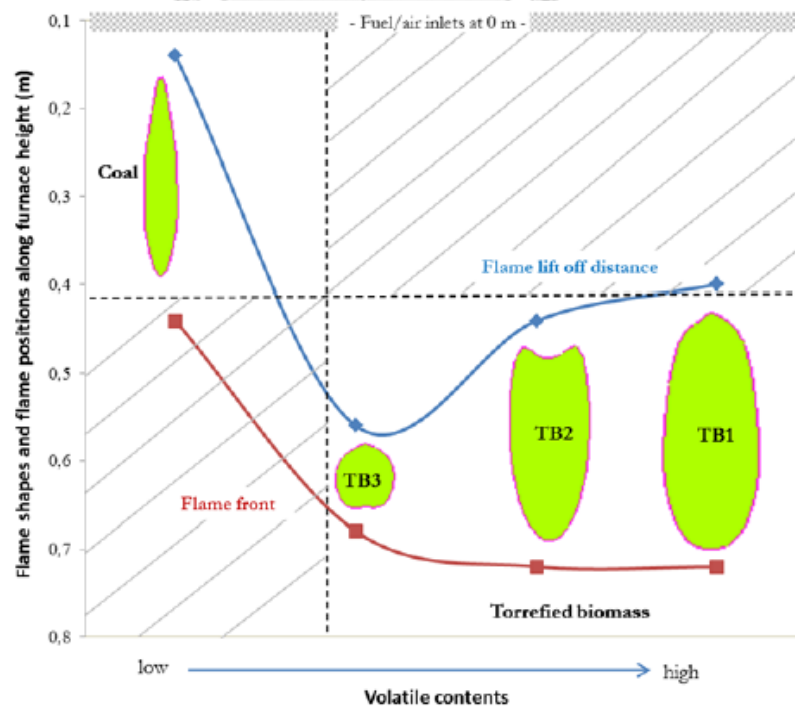
รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ของสัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงกับประสิทธิภาพการเผาไหม้ [40]



งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเผาไหม้เชื้อเพลิง

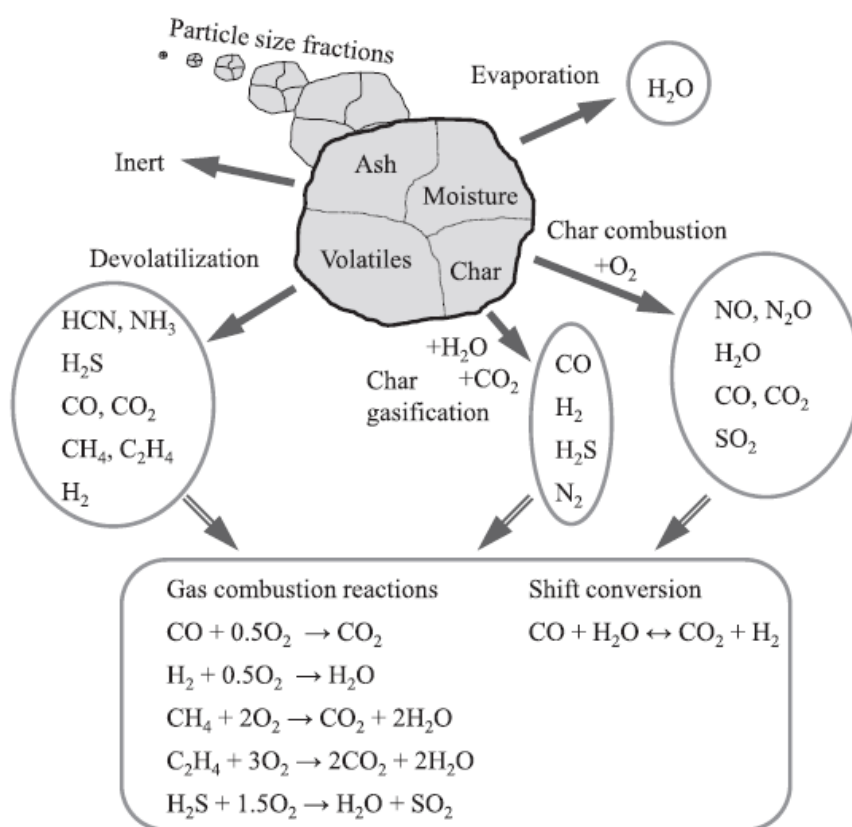
ชัยวัฒน์ พรหมภูเบศร์ [4] ได้ศึกษาการเผาไหม้เชื้อเพลิงผสมถ่านหินและชีวมวลในเตาเผาไหม้ฟลูอิดไคซ์เบดแบบหมุนเวียนขนาด 3.5 kW โดยพิจารณาตัวแปรคือสัดส่วนเชื้อเพลิงผสมระหว่างถ่านหินและชีวมวล (100:0, 65:35 และ 80:20) อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 5.8 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ปรับเปลี่ยนสัดส่วนลมปฐมภูมิ 480 – 920 ลิตรต่อนาที ปริมาณอากาศทุติยภูมิ 0 – 330 ลิตรต่อนาที จากการทดลองพบว่าช่วงอุณหภูมิตลอดไโรเซอร์ 800 – 1000 องศาเซลเซียส และอากาศป้อนรวม 920 ลิตรต่อนาทีขึ้นไปปริมาณสัดส่วนของการป้อนอากาศทุติยภูมิไม่มีผลต่ออุณหภูมิไโรเซอร์ ในส่วนขององค์ประกอบของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ จะสูงมากบริเวณส่วนล่างของไโรเซอร์และลดลงอย่างรวดเร็วบริเวณที่ป้อนอากาศทุติยภูมิ เมื่อปรับเปลี่ยนสัดส่วนเชื้อเพลิงจากถ่านหินเป็นถ่านหินผสมแกลบ จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิของไโรเซอร์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณแกลบที่เพิ่มขึ้นด้วย

Jun Li [16] ได้ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อขนาดของเปลวไฟและตำแหน่งของเปลวไฟจากจุดป้อนเชื้อเพลิงและอากาศ ผลการศึกษาแสดงดังรูปที่ 2.4 พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของเชื้อเพลิง เช่นปริมาณสารระเหย และปริมาณการป้อนอากาศจะสัมพันธ์กับขนาดของเปลวไฟในเตาเผาไหม้ กล่าวคือปริมาณสารระเหยมีผลต่อขนาดของเปลวไฟ หากปริมาณสารระเหยที่มากขึ้นทำให้ขนาดของเปลวไฟใหญ่ขึ้นตาม



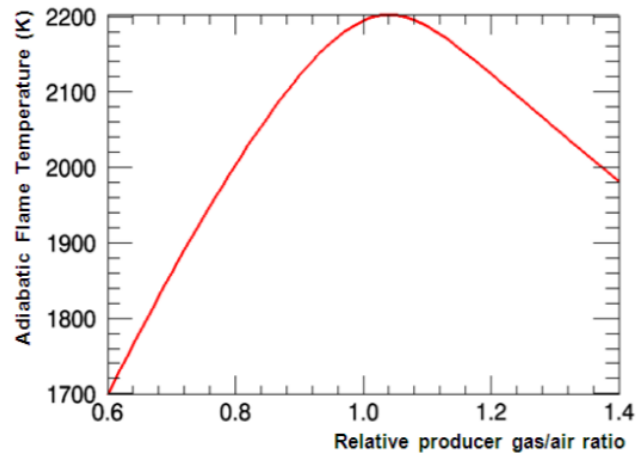
รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ของปริมาณสารระเหยกับขนาดของเปลวไฟและตำแหน่งของเปลวไฟ

Rahiala และคณะ [17] วาดแบบจำลองการเกิดปฏิกิริยาของถ่านหินในระบบการเผาไหม้ (combustion) และแกซิฟิเคชัน (gasification) แสดงในรูปที่ 2.5 โดยงานวิจัยนี้จะเน้นเรื่องการปลดปล่อยสารระเหย (devolatilization) และ การเผาไหม้ถ่านชาร์ (char combustion) ซึ่งถือเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดหนึ่งจากแบบจำลองการเกิดปฏิกิริยาจะทำให้เห็นภาพรวมของผลิตภัณฑ์ก๊าซหลังการเผาไหม้ จะเห็นได้ว่าองค์ประกอบทางเคมีในเชื้อเพลิงจะสัมพันธ์กับปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาการเผาไหม้



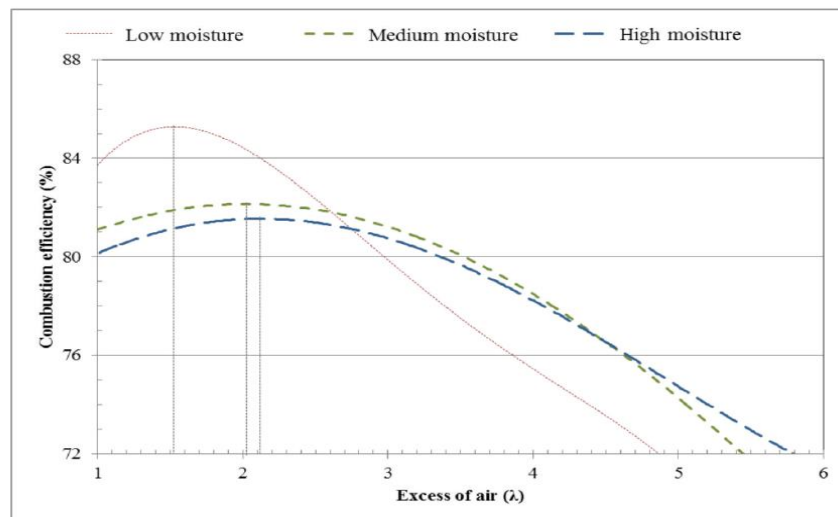
รูปที่ 2.5 แบบจำลองการเกิดปฏิกิริยาของถ่านหินในระบบการเผาไหม้และแกซิฟิเคชัน

J.J. HERNÁNDEZ, 2012 [32] พิจารณาสถานะภายในหม้อกำเนิดไอน้ำกับสัดส่วนเชื้อเพลิงกับอากาศ (รูป 2.6) จะเห็นได้ว่าสัดส่วนเชื้อเพลิงกับอากาศที่เหมาะสมประมาณ 1.04 จะทำให้อุณหภูมิในเตาเผาไหม้สูงสุดที่ 2200 องศาเซลวิน ซึ่งสื่อถึงการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ จะทำให้เกิดการประหยัดพลังงานที่ใช้ในการเผาไหม้ได้



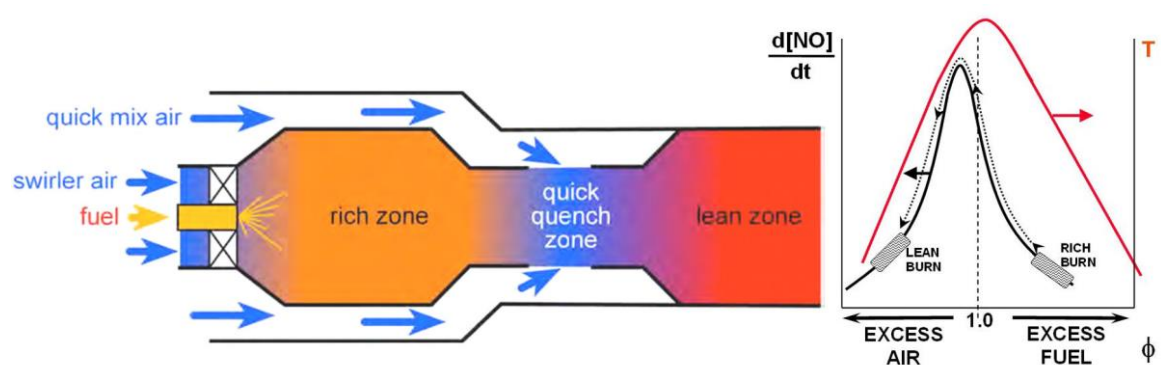
รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเผาไหม้กับสัดส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศ

Carlos Torres-Fuchslocher, 2015 [33] การพิจารณาตัวแปรสำหรับการเผาไหม้ในหม้อกำเนิดไอน้ำนอกจากปริมาณการป้อนเชื้อเพลิงแล้วยังต้องคำนึงถึงความชื้นในเชื้อเพลิงด้วยเช่นกัน จากรูป 2.7 จะเห็นได้ว่าที่ความชื้นเชื้อเพลิงที่ต่างกัน จะส่งผลต่อสัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่เหมาะสมและประสิทธิภาพในการเผาไหม้ในหม้อกำเนิดไอน้ำ โดยที่ความชื้นเชื้อเพลิงต่ำจะมีแนวโน้มประสิทธิภาพการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่สูงกว่าความชื้นเชื้อเพลิงสูง



รูปที่ 2.7 ความชื้นเชื้อเพลิงและสัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้

M. Khosravy et al., 2013 [39] ศึกษาการเผาไหม้ของโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซ โดยพิจารณาการป้อนอากาศ กับการป้อนเชื้อเพลิงที่เหมาะสมทำให้เกิดการเผาไหม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งการป้อนอากาศที่เหมาะสมกับเชื้อเพลิงจะทำให้อุณหภูมิห้องเผาไหม้มีอุณหภูมิสูงที่สุด สามารถปลดปล่อยพลังงานความร้อนได้มาก ทำให้สามารถประหยัดพลังงานเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 สัดส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงที่ส่งผลต่ออุณหภูมิเผาไหม้

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเผาไหม้เชื้อเพลิงสามารถพิจารณาปัจจัยที่เกี่ยวข้องแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

1. ด้านเชื้อเพลิง มีองค์ประกอบแตกต่างกันตามชนิดของเชื้อเพลิง เช่น ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง ค่าความชื้นของเชื้อเพลิง องค์ประกอบทางเคมีของเชื้อเพลิง สัดส่วนเชื้อเพลิงที่ผสมกัน
2. ด้านเครื่องจักร ต้องควบคุมสภาวะการเผาไหม้ให้เหมาะสมและเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ โดยตัวแปรที่พิจารณาเช่น ปริมาณอากาศป้อน ปริมาณเชื้อเพลิงป้อน อุณหภูมิเตาเผาไหม้ อุณหภูมิน้ำป้อน ปริมาณออกซิเจน

## 2.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร (Correlation) และการวิเคราะห์สมการถดถอย (Regression Analysis)

### 2.3.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร (Pearson correlation)

สำหรับการวิเคราะห์ตัวแปรตั้งแต่ละตัวแปรที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง กรณีที่ตัวแปรต้นตัวหนึ่งส่งผลต่อตัวแปรตอบสนองหนึ่ง โดยมีทิศทางไปในทางเดียวกันคือเมื่อตัวแปรต้นเพิ่มขึ้นตัวแปร

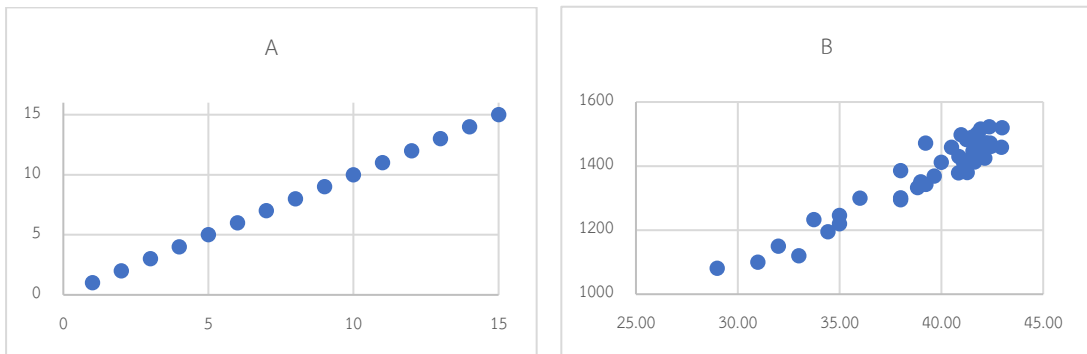
ตอบสนองจะเพิ่มขึ้นเรียกว่า สหสัมพันธ์เชิงบวก (positive correlation) หรือตัวแปรต้นลดลงตัวแปรตอบสนองจะลดลงด้วยเช่นกันเรียกว่า สหสัมพันธ์เชิงลบ (negative correlation)

การคำนวณหาตัวชี้วัดระดับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรคือ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ซึ่งจะใช้สัญลักษณ์  $r$  สำหรับตัวอย่าง และ  $p$  สำหรับประชากร กำลังสองของ  $r$  ( $r^2$ ) แทนค่าสัมประสิทธิ์ของการทำนาย ซึ่งแสดงปริมาณความสัมพันธ์ในรูปของตัวเลขโดยค่าน้อยที่สุดคือ  $-1$  และมากที่สุดคือ  $1$  หากค่าความสัมพันธ์ของตัวแปรเข้าใกล้  $-1$  หรือ  $1$  แสดงว่ามีความสัมพันธ์กับในระดับสูง และหากเข้าใกล้  $0$  แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำ ทั้งนี้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะขึ้นกับขนาดของตัวอย่างด้วยเช่นกัน ในการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สามารถจำแนกเกณฑ์ดังตารางที่ 2.2 [37]

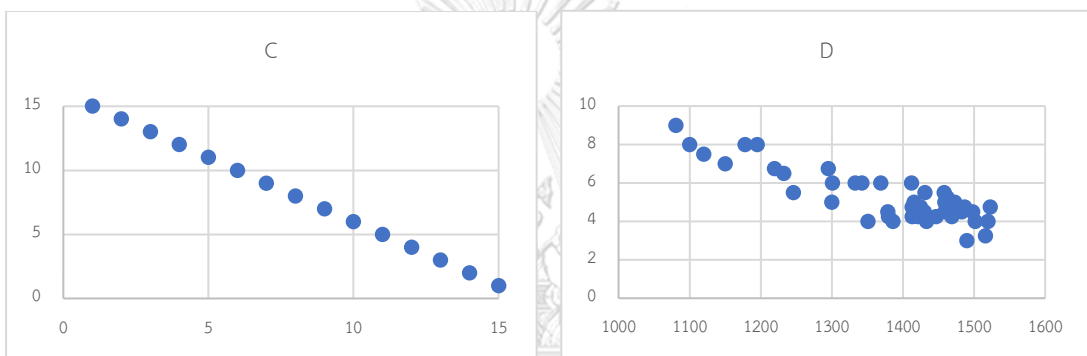
ตารางที่ 2.2 เกณฑ์การจำแนกระดับความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $r$ )	ระดับความสัมพันธ์
0.9 – 1.0	สูงมาก
0.7 – 0.9	สูง
0.5 – 0.7	ปานกลาง
0.3 – 0.5	ต่ำ
0.0	ต่ำมาก

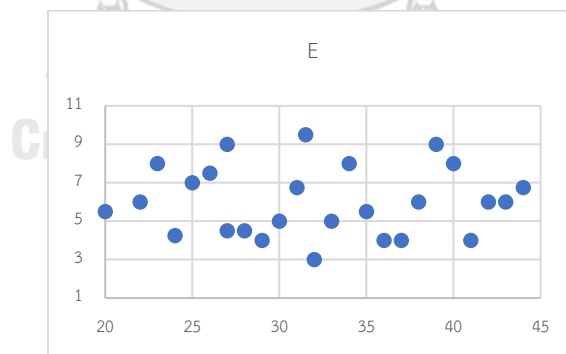
การพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสามารถตรวจสอบได้โดยใช้แผนภาพกระจาย (scatterplot) ซึ่งแผนภาพการกระจายของจุดแสดงค่าที่ร่วมกันระหว่างตัวแปรบ่งชี้ความสัมพันธ์ดังรูปที่ 2.9-2.11



รูปที่ 2.9 กราฟ A และ B แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปรแบบเชิงบวก



รูปที่ 2.10 กราฟ C และ D แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปรแบบเชิงลบ



รูปที่ 2.11 ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร

สามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันได้ดังนี้ [38]

$$r = \frac{n\Sigma xy - (\Sigma x \Sigma y)}{\sqrt{[n\Sigma x^2 - (\Sigma x)^2][n\Sigma y^2 - (\Sigma y)^2]}} \quad (2.4)$$

โดย  $r$  คือค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน

$\Sigma x$  คือผลรวมของข้อมูลที่วัดได้จากตัวแปรตัวที่ 1 ( $x$ )

$\Sigma y$  คือผลรวมของข้อมูลที่วัดได้จากตัวแปรตัวที่ 2 ( $y$ )

$\Sigma xy$  คือผลรวมของผลคูณระหว่างข้อมูลตัวแปรที่ 1 และ 2

$\Sigma x^2$  คือผลรวมของกำลังสองของข้อมูลจากตัวแปรตัวที่ 1

$\Sigma y^2$  คือผลรวมของกำลังสองของข้อมูลจากตัวแปรตัวที่ 2

$n$  คือขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

โดยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์  $r$  จะมีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1

กรณี  $r = 1$  แสดงถึงตัวแปร  $x$  และ  $y$  มีความสัมพันธ์เชิงบวกโดยสมบูรณ์

กรณี  $r = 0$  แสดงถึงตัวแปร  $x$  และ  $y$  ไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง

กรณี  $r = -1$  แสดงถึงตัวแปร  $x$  และ  $y$  มีความสัมพันธ์เชิงลบโดยสมบูรณ์

การทดสอบนัยสำคัญของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สันใช้สถิติทดสอบที (t-test) สมมติฐานของการทดสอบ  $H_0; \rho = 0$  (ตัวแปร  $x$  และ  $y$  ไม่มีความสัมพันธ์กัน) หรือ

$H_1; \rho \neq 0$  (ตัวแปร  $x$  และ  $y$  มีความสัมพันธ์กัน)

$H_0; \rho = 0$  (ตัวแปร  $x$  และ  $y$  ไม่มีความสัมพันธ์กัน) หรือ

$H_1; \rho > 0$  (ตัวแปร  $x$  และ  $y$  มีความสัมพันธ์กัน)

$H_0; \rho = 0$  (ตัวแปร  $x$  และ  $y$  ไม่มีความสัมพันธ์กัน) หรือ

$H_1; \rho < 0$  (ตัวแปร  $x$  และ  $y$  มีความสัมพันธ์กัน)

สถิติทดสอบ  $t = \frac{\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}, df = n - 2 \quad (2.5)$

หากค่าสถิติ  $t$  (significant  $> \alpha$ ) นั่นคือยอมรับ  $H_0$  แสดงว่า  $x$  และ  $y$  ไม่มีความสัมพันธ์กัน  
 หากค่าสถิติ  $t$  (significant  $< \alpha$ ) นั่นคือปฏิเสธ  $H_0$  ยอมรับ  $H_1$  แสดงว่า  $x$  และ  $y$  มีความสัมพันธ์กัน  
 ซึ่งงานวิจัยนี้พิจารณาที่ระดับนัยยะสำคัญที่  $p\text{-value} < 0.05$  [36]

### 2.3.2 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear regression analysis)

การวิเคราะห์การถดถอยหรือ regression analysis เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรประเภทคือ ตัวแปรต้น (independent variable) และตัวแปรตอบสนอง (dependent variable) ซึ่งหากมีตัวแปรต้นและตัวแปรตอบสนองอย่างละหนึ่งตัวจะเรียกว่า การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นเดี่ยว (simple linear regression) หากมีตัวแปรต้นมากกว่าหนึ่งตัว เรียกว่า การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ (multiple linear regression) [9]

#### 1. การถดถอยเชิงเส้นเชิงเดี่ยว (Simple linear regression analysis)

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นเชิงเดี่ยวเป็นการหาความสัมพันธ์ของตัวแปรต้นและตัวแปรตอบสนองอย่างละ 1 ตัว ซึ่งสามารถนำค่าของตัวแปรต้น ( $x$ ) ไปพยากรณ์ตัวแปรตอบสนอง ( $y$ ) ได้ โดยสามารถเขียนสมการได้ดังนี้ [9]

$$y = \alpha + \beta x + \varepsilon \quad (2.6)$$

$y$  คือ ตัวแปรตอบสนองที่ต้องการวัดค่า

$x$  คือ ตัวแปรต้นที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง

$\alpha$  คือ ค่าคงที่ของสมการและเป็นจุดตัดแกน  $y$

$\beta$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรต้นที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง

$\varepsilon$  คือ ค่าความคลาดเคลื่อนของตัวแปรตอบสนอง

#### 2. การถดถอยเชิงพหุคูณ (Multiple linear regression analysis)

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณเป็นการหาความสัมพันธ์ของตัวแปรต้นมากกว่า 1 ตัวกับตัวแปรตาม 1 ตัว ซึ่งสามารถนำค่าของตัวแปรต้น ( $x$ ) ไปพยากรณ์ตัวแปรตอบสนอง ( $y$ ) ได้โดยสามารถเขียนสมการได้ดังนี้ [9]

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n + \varepsilon \quad (2.7)$$



$y$  คือ ตัวแปรตอบสนองที่ต้องการวัดค่า

$x$  คือ ตัวแปรต้นแต่ละตัวที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง

$n$  คือ จำนวนตัวแปรต้นในสมการ

$\beta_0$  คือ ค่าคงที่ของสมการและเป็นจุดตัดแกน  $y$

$\beta_n$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรต้นแต่ละตัวที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง

$\varepsilon$  คือ ค่าความคลาดเคลื่อนของตัวแปรตอบสนอง

### 2.3.3 การวิเคราะห์การถดถอยไม่เชิงเส้น (Nonlinear regression analysis)

การวิเคราะห์การถดถอยไม่เชิงเส้นเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตอบสนอง โดยความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแทนด้วยสมการที่ไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinear model) ดังสมการ [9]

$$y = \exp(\beta_0 + \beta_1 x) \quad (2.8)$$

$y$  คือ ตัวแปรตอบสนองที่ต้องการวัดค่า

$x$  คือ ตัวแปรต้นแต่ละตัวที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง

$\beta_0$  คือ ค่าคงที่ของสมการและเป็นจุดตัดแกน  $y$

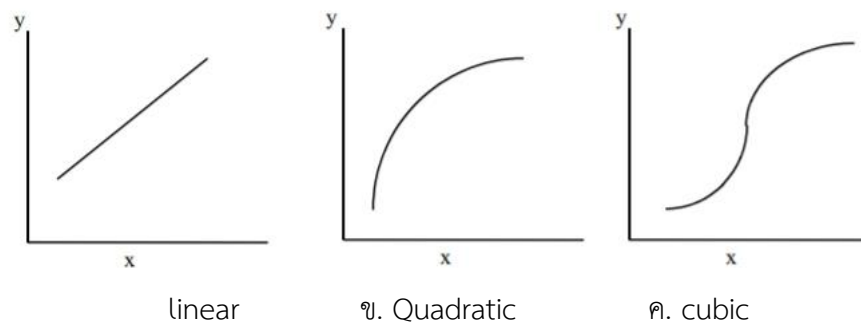
$\beta_1$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรต้นที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง

### 2.3.4 การวิเคราะห์การถดถอยพหุนาม (Polynomial regression analysis)

การวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุนามเป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตอบสนอง โดยมีความสัมพันธ์ไม่เป็นเชิงเส้น โดยตัวแปรต้นมากกว่า 1 ตัว โดยสมการมีหลายรูปแบบอธิบายได้ด้วยสมการ (2.9) [16]

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \dots + \beta_n x^n + \varepsilon \quad (2.9)$$

แสดงกราฟของสมการ เทอมกำลังหนึ่ง (linear) เทอมกำลังสอง (quadratic) และเทอมกำลังสาม (cubic) ดังรูป 2.12



รูปที่ 2.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรต้นและตัวแปรตอบสนอง

- การถดถอยพหุนาม 1 ตัวแปร ยกกำลังลำดับ  $n$  ( $n^{\text{th}}$  Order polynomial regression models in one variable) เป็นความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตอบสนองที่มีตัวแปรต้น 1 ตัว ดังสมการ (2.10) [9] [20]

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \dots + \beta_n x^n \quad (2.10)$$

- การถดถอยพหุนาม 2 ตัวแปรหรือมากกว่า (Polynomial regression models in two or more variable) [17] เป็นความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตอบสนองที่มีตัวแปรต้นตั้งแต่ 2 ตัวแปรขึ้นไป ดังสมการ (2.11) [8]

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (2.11)$$

$(i = 1, 2, \dots, k), (j = i + 1, \dots, k + 1)$

$y$	คือ ตัวแปรตอบสนองที่ต้องการวัดค่า
$x_i$	คือ ตัวแปรต้นแต่ละตัวที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง
$x_i x_j$	คือ ตัวแปรอิทธิพลร่วมที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง
$\beta_i$	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรต้นแต่ละตัวที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง
$\beta_{ij}$	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรต้นที่มีอิทธิพลร่วมกัน
$\beta_0$	คือ ค่าคงที่ของสมการและเป็นจุดตัดแกน $y$
$\varepsilon$	คือ ค่าความคลาดเคลื่อนของตัวแปรตอบสนอง



$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{11} z_1 + \beta_{22} z_{22} + \beta_{12} z_{12} \quad (2.12)$$

โดยที่

$$\beta_{11} x_1^2 = \beta_{11} z_1$$

$$\beta_{22} x_2^2 = \beta_{22} z_{22}$$

$$\beta_{22} x_2^2 = \beta_{22} z_{22}$$

สำหรับการวิเคราะห์สมการการถดถอยแบบหลายตัวแปรหรือสมการการถดถอยแบบพหุ จะเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นที่พิจารณากับตัวแปรตอบสนอง ทั้งนี้ในการสร้างสมการสำหรับทำนายจะพิจารณาตัวแปรต้นในการนำเข้าสู่ระบบสมการ ซึ่งตามหลักสถิติที่นิยมใช้มี 4 วิธีคือ

1. พิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัวในสมการ (Full model) คือการนำตัวแปรทั้งหมดทั้งอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วม เข้ามาวิเคราะห์ในระบบสมการ
2. การเลือกตัวแปรโดยการเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอน (Stepwise regression) คือพิจารณาเลือกตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดทำให้ได้รูปแบบสมการที่ประหยัด ซึ่งลำดับขั้นตอนจะคล้ายการวิเคราะห์แบบเดินหน้าแต่จะมีการทดสอบตัวแปรนำเข้าสู่ทุกครั้งที่มีการนำตัวแปรใหม่เข้ามาสมการ นั่นคือการนำตัวแปรบางตัวที่นำเข้าสู่วิเคราะห์สามารถกำจัดออกจากสมการได้หากไม่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
3. การเลือกตัวแปรแบบเดินหน้า (Forward selection) เป็นวิธีที่เลือกตัวแปรนำเข้าสู่โดยพิจารณาเลือกตัวแปรที่ส่งผลต่อสมการมากที่สุดก่อน จากนั้นจึงพิจารณาตัวแปรที่เหลือที่ส่งผลต่อสมการรองลงมาทีละตัว และจะหยุดการนำเข้าสู่ตัวแปรกรณีในตัวแปรนำเข้าสู่ไม่ส่งผลต่อสมการอย่างมีนัยสำคัญ
4. การกำจัดตัวแปรแบบถอยหลัง (Backward elimination) เป็นวิธีที่นำตัวแปรต้นหรือตัวแปรอิสระทุกตัวเข้าสู่สมการก่อน หลังจากนั้นพิจารณาดึงตัวแปรอิสระที่ส่งผลต่อสมการน้อยที่สุด (ไม่มีนัยยะสำคัญ) ทีละตัว กระทั่งเหลือเฉพาะตัวแปรที่ส่งผลต่อสมการ

### 2.3.5 การตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบสถิติ (Model adequacy checking)

การตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบสถิติ เป็นการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของตัวแบบสถิติโดยตรวจสอบข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ จากสมมุติฐาน 3 ข้อดังนี้

1. การกระจายตัวของค่าส่วนเหลือ (residual) มีการกระจายแบบปกติ (Normal distribution) มีการกระจายตามแนวเส้นตรง 45 องศา โดยพิจารณาค่า p-value จากการทดสอบการแจกแจงปกติของ Anderson-Darling ต้องมีค่ามากกว่า 0.05

2. การตรวจสอบส่วนตกค้างตามลำดับเวลา (Plot of Residuals in Time Sequence) ค่าส่วนเหลือเกิดขึ้นอย่างสุ่มรอบ ๆ ค่าเฉลี่ยศูนย์
3. การทดสอบเสถียรภาพของความแปรปรวน (Plot of Residuals Versus Fitted Values) มีการกระจายตัวเป็นอิสระต่อกัน

### 2.3.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ (correlation) และการถดถอย (Regression analysis)

Wen Xiaoqiang et al. [21] ได้ศึกษาการแก้ปัญหาอุณหภูมิไอน้ำหลักที่มีค่าไม่ปกติ ที่กำลังการผลิตไฟฟ้า 300 เมกะวัตต์ในหม้อกำเนิดไอน้ำจากเชื้อเพลิงถ่านหิน โดยงานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูล โดยใช้โปรแกรม SPSS ในการคำนวณหาปัจจัยหลักที่ส่งผลต่ออุณหภูมิไอน้ำหลัก (main steam) หลังจากนั้นได้ใช้วิธี non-linear ซึ่งใช้ในการกำหนดจำนวนของส่วนประกอบที่ถูกแยกออกมา และสุดท้ายใช้การจำลองแบบสมการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด (The partial least squares regression model) ของไอน้ำหลัก จากโปรแกรม MATLAB โดยสมการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุดของตัวแปรมาตรฐานและตัวแปรต้นแบบถูกสร้างขึ้นโดยใช้ความถูกต้องของแบบจำลองที่ถูกทดสอบโดยใช้ตัวอย่างทดสอบ โดยจากการทำนาย พบว่า มีค่าความถูกต้องสูง และสามารถทำนายอุณหภูมิของไอน้ำหลักในโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนขนาดใหญ่ได้

Chayalakshmi C.L et al. [22] ได้ศึกษาการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ โดยการทำนายประสิทธิภาพของหม้อกำเนิดไอน้ำจากปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการสูญเสียของหม้อกำเนิดไอน้ำ ได้แก่ dry flue gas, hydrogen ในเชื้อเพลิง และ ความชื้นในเชื้อเพลิง เพอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพของหม้อกำเนิดไอน้ำถือเป็นสิ่งสำคัญอย่างมากในการเข้าใจถึงปัญหาที่เกี่ยวข้องต่อหม้อกำเนิดไอน้ำ แต่การวิเคราะห์แบบเดิม ๆ (conventional method) ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพหม้อกำเนิดไอน้ำนี้ ต้องใช้เวลาและมีค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้นในงานวิจัยนี้วิเคราะห์การทำนายประสิทธิภาพหม้อกำเนิดไอน้ำจากงานวิจัยนี้ พบว่า สมการการถดถอยพหุคูณเชิงเส้นสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์และพัฒนาในแบบจำลองนี้ได้ การสูญเสียประสิทธิภาพของหม้อกำเนิดไอน้ำเนื่องจาก dry flue gas, hydrogen ในเชื้อเพลิง และความชื้นในเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นปัจจัยหลักนี้ ได้ถูกนำมาพิจารณาสำหรับการพัฒนาแบบจำลองนี้

Xiaofei Mao. [23] ได้วิเคราะห์หาการถดถอยที่เหมาะสม สำหรับอุณหภูมิ flue gas ขาออกที่ตำแหน่งเตาเผาไหม้ โดยมีปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ boiler load rate, ปริมาณเถ้า (as received basis), volatile (as received basis), net calorific value (as received basis), ขนาดอนุภาค

ของถ่านหิน, bed pressure, primary air ratio, upper secondary air ratio, lower secondary air ratio และ ปริมาณออกซิเจนขาออกที่ตำแหน่งเตาเผาไหม้ จากงานวิจัย พบว่า สมการการถดถอย มีค่า total correlation coefficient R เท่ากับ 0.99, regressed residual standard deviation S เท่ากับ 7.1845, ค่า maximum absolute error ระหว่างการคำนวณและค่าที่วัดได้เท่ากับ 11.824 องศาเซลเซียส, the maximum relative error เท่ากับ 1.31% และจากการวิเคราะห์ข้อมูล 30 conditions พบว่า ขนาดของถ่านหินที่ป้อนเข้าและปริมาณออกซิเจน จะส่งผลต่ออุณหภูมิ flue gas ที่ตำแหน่งเตาเผาไหม้ขาออก

Jose A. P. P. [24] อธิบายข้อดีของเทคโนโลยีฟลูอิดเบด ได้แก่ เทคโนโลยีฟลูอิดเบดแบบ ฟองแก๊ส (Bubbling fluidized bed technology) และเทคโนโลยีฟลูอิดเบดแบบหมุนเวียน (Circulating fluidized bed technology) โดยเทคโนโลยีฟลูอิดเบดแบบฟองแก๊สเหมาะสำหรับ เชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนต่ำและมีความชื้นของเชื้อเพลิงที่สูง ความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดเซชัน 1-2 เมตรต่อวินาที, อุณหภูมิการเผาไหม้อยู่ระหว่าง 800 – 950 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเบดประมาณ 850 องศาเซลเซียส เทคโนโลยีนี้มีค่าใช้จ่ายและการดูแลรักษาต่ำ ส่วนเทคโนโลยีฟลูอิดเซชันแบบ หมุนเวียน มีการใช้ในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ซึ่งเทคโนโลยีนี้สามารถแยกอนุภาคของแข็ง แล้วนำ อนุภาคกลับมาเผาไหม้ใหม่ ความเร็วฟลูอิดเซชันในเทคโนโลยีนี้มีค่าสูงกว่าเทคโนโลยีแบบฟองแก๊ส อยู่ระหว่าง 4-5 เมตรต่อวินาที การพิจารณาในการเลือกเทคโนโลยีมี 4 ปัจจัยหลัก ได้แก่ ค่าใช้จ่าย, คุณสมบัติของไอน้ำ, เชื้อเพลิง และการปลดปล่อยแก๊สที่เป็นมลพิษ

Jan S. et al. [25] ได้นำเสนอข้อมูลการทดลองเกี่ยวกับลักษณะการเผาไหม้ของหม้อกำเนิด ไอน้ำแบบฟองแก๊ส ที่มีกำลังผลิต 31 เมกะวัตต์ โดยวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ เพื่อแสดงให้เห็น ว่าค่าของพารามิเตอร์ของการเผาไหม้ที่มีการวัดที่ตำแหน่งแตกต่างกัน การทดลองนี้เกี่ยวข้องกับการ คำนวณการอุณหภูมิของแก๊สเผาไหม้ และความเข้มข้นของแก๊สชนิดต่าง ๆ อาทิเช่น ออกซิเจน, คาร์บอนไดออกไซด์, คาร์บอนมอนอกไซด์ และ ไนโตรเจนมอนอกไซด์ ที่ตำแหน่งแตกต่างกันใน เตาเผาไหม้และแนวโน้มของแก๊สไอเสีย ความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าสูงขึ้นเมื่อใกล้ กับผนังของเตาเผาไหม้ ซึ่งอาจบ่งชี้ได้ว่าบรรยากาศที่ลดลง และทำให้เสี่ยงต่อการกัดกร่อน ผลการ ทดลองแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของค่าที่วัดได้ของหน่วยวัดทั้งหมดขึ้นอยู่กับระยะทางตาม แนวทางจากผนังถึงศูนย์กลางของหม้อกำเนิดไอน้ำ

Wen X. et al. [26] สร้างแบบจำลอง เพื่อทำนายไฮโดรเจนในถ่านหินในการเผาไหม้ของ เชื้อเพลิงถ่านหิน โดยใช้สมการการถดถอยกำลังสองที่น้อยที่สุด ซึ่งมีพารามิเตอร์การป้อน 4 พารามิเตอร์ ได้แก่ ความชื้น, เถ้า, volatile matter และค่าความร้อนต่ำ และพารามิเตอร์ที่สนใจคือ

ไฮโดรเจน จากการเปรียบเทียบผลการทดลอง พบว่า ค่าความผิดพลาดสูงสุดของแบบจำลองนี้มีค่าน้อยกว่า 10 % ดังนั้นรูปแบบสมการการถดถอยกำลังสองน้อยสุดมีความสมเหตุสมผลและมีความเป็นไปได้ สมการการถดถอยนี้มีประสิทธิภาพสำหรับหน่วยงานปฏิบัติการ เพื่อประเมิน ค่าการณ้องค์ประกอบของไฮโดรเจน ภายใต้เงื่อนไขที่ทราบองค์ประกอบของถ่านหินที่ใช้ในอุตสาหกรรม

Ali B. et al. [27] วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของถ่านหิน ประกอบด้วย 4 พารามิเตอร์ ได้แก่ ความชื้น, เถ้า, สารระเหย และค่าคาร์บอนคงที่ โดยพารามิเตอร์เหล่านี้สามารถคำนวณได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี ASTM ซึ่งการวิเคราะห์นี้ ต้องใช้เวลาและต้องใช้เครื่องมืออุปกรณ์มากในการวิเคราะห์นี้ ค่าความร้อน ถือเป็นหนึ่งในสมบัติที่มีความสำคัญของเชื้อเพลิง งานวิจัยนี้ได้พัฒนาโดยใช้คณิตศาสตร์ของแบบจำลอง ANFIS สำหรับประมาณค่าพารามิเตอร์ 2 ตัวแปรขององค์ประกอบทางเคมี นอกจากนี้การประมาณค่าความร้อนของตัวอย่างถ่านหิน โดยใช้ปัจจัยการวิเคราะห์ที่ใกล้เคียง โดยใช้สมการการถดถอยพหุแบบหลายตัวแปรจากโปรแกรม Minitab 16 , ANFIS และ MATLAB จากผลการทดลอง พบว่า ANFIS เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดสำหรับการประมาณค่าองค์ประกอบทางเคมีและค่าความร้อนมากกว่าโปรแกรมอื่น ๆ

Guang L. et al. [28] ได้กล่าวไว้ว่า เพื่อให้เข้าใจประสิทธิภาพของแก๊สซิฟิเคชัน จึงได้มีการนำสมการถดถอยโครงข่ายประสาทเทียม (general regression neural network; GRNN) มาพัฒนาเป็นแบบจำลองผสมฟลูอิดไอเซชัน (integrated fluidized bed; IFB) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ที่ป้อนเข้ากับที่ป้อนออก นอกจากนี้ได้ทำการเปรียบเทียบความแม่นยำในการทำนายของแบบจำลอง GRNN กับวิธีการถดถอยแบบไม่เชิงเส้นหลายตัวแปร (the multivariate nonlinear regression; MNR) ทั้งสองวิธีถูกประเมินโดยใช้ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ย (mean relative error; MRE), ความคลาดเคลื่อนของรากที่สอง (the root mean square error; RMSE) และสัมประสิทธิ์การกำหนด (the coefficient of determination;  $R^2$ ) โดยแบบจำลอง GRNN ที่ถูกจำลองใน IFB gasifier มีค่า  $R^2$  ที่สูงกว่า RMSE ที่ต่ำและ MRE ที่ต่ำ ค่าต่าง ๆ เหล่านี้แสดงถึงความแม่นยำในการคาดการณ์ของแบบจำลอง GRNN ที่ดีกว่าวิธี MNR นอกจากนี้ผลกระทบของอัตราส่วนออกซิเจนต่อถ่านหิน, อัตราส่วนระหว่างไอน้ำกับถ่านหิน, อัตราส่วนของออกซิเจนต่อถ่านหินและอัตราไอน้ำต่อถ่านหินถูกนำมาวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลอง GRNN ที่นำเสนอ

Handong W. et al. [29] วิเคราะห์ปัจจัยการเกิด carbon oxidation ที่มีผลต่อความถูกต้องในการคำนวณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากโรงงานไฟฟ้าถ่านหิน ในงานวิจัยนี้ การประมาณความแม่นยำของ Carbon oxidation สำหรับโรงไฟฟ้าถ่านหิน ถูกเสนอโดยใช้ข้อมูล 240 ชุด การทดลองนี้ศึกษาที่กำลังการผลิตไฟฟ้า 300 เมกะวัตต์ โดยทำการวิเคราะห์แบบจำลองนี้ทั้งคุณภาพและ

ปริมาณ การประเมินค่าความจุที่เพิ่มขึ้นเป็นลักษณะเส้นตรง และมีประสิทธิภาพที่ดีภายใต้กำลังการเดินเครื่องต่ำ สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณ พบว่า ความผิดพลาดสัมพัทธ์ (relative error) ของแบบจำลองนี้มีค่าน้อยกว่า 2% ขณะที่ค่าความผิดพลาดที่ทั่วไปยอมรับได้อยู่ที่ 7%

Jan H. et al. [30] ได้เสนอการคำนวณขั้นตอนในการประเมินอัตราการไหลของสายแก๊ส, อุณหภูมิการเผาไหม้ทางทฤษฎี (adiabatic flame temperature) และความเข้มข้นของแก๊สต่าง ๆ ในแก๊สไอเสีย โดยทดลองในห้องปฏิบัติการขนาดกำลังการผลิต 30 กิโลวัตต์ ในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไบทเบดแบบฟองแก๊ส และแสดงผลการทดลองที่ semi-oxyfuel และ full oxyfuel ซึ่งตัวแปรหลักที่คำนวณและวัด นั่นก็คือ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ โดยจากทดลองและวัด พบว่า ที่มีความแตกต่างน้อยกว่า 10% และฟลูอิดไอเซชันที่กรณีสึกษาต่าง ๆ มีค่าอุณหภูมิการเผาไหม้ทางทฤษฎี (adiabatic flame temperature) ลดลง โดยกำลังการผลิตทางความร้อนเพิ่มขึ้นจาก 3.3 เป็น 4.1 MW/m<sup>3</sup>

### 2.3.7 การวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง (Response surface methodology, RSM)

หลักการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง เป็นการนำเอาเทคนิคทางคณิตศาสตร์และเทคนิคทางสถิตินำมาประยุกต์และสร้างแบบจำลอง ในการวิเคราะห์ปัญหาโดยสามารถหาผลตอบสนองที่ผู้วิเคราะห์สนใจพิจารณาได้หลายตัวแปร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าที่ดีที่สุดของตัวแปรตอบสนองซึ่งปัญหาส่วนมากผู้วิเคราะห์จะไม่ทราบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตอบสนอง ดังนั้นการประมาณค่าที่เหมาะสมของตัวแปรตอบสนองจะใช้เป็นตัวแทนแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตอบสนองและเซตของตัวแปรต้น ซึ่งโดยปกติส่วนมากการวิเคราะห์จะใช้ฟังก์ชันพหุนามภายใต้ขอบเขตของตัวแปรต้น หรือความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นกำลังหนึ่ง ดังนี้ [8]

สมการพหุนาม

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon$$

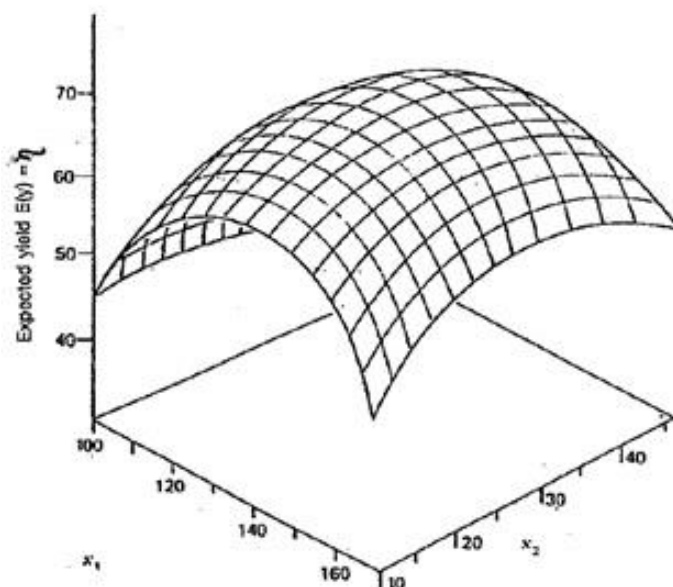
$$(i = 1, 2, \dots, k), (j = i + 1, 2, \dots, k + 1)$$

สมการเชิงเส้น

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n + \varepsilon$$



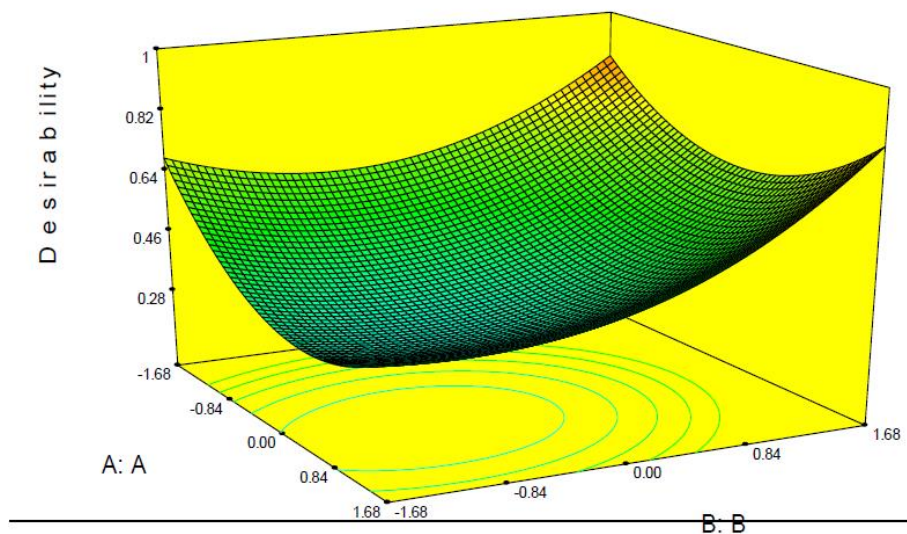
โดยตัวอย่างการหาสภาวะที่เหมาะสมระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตอบสนองดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ตัวอย่างพื้นผิวตอบสนองแบบ 3 มิติ

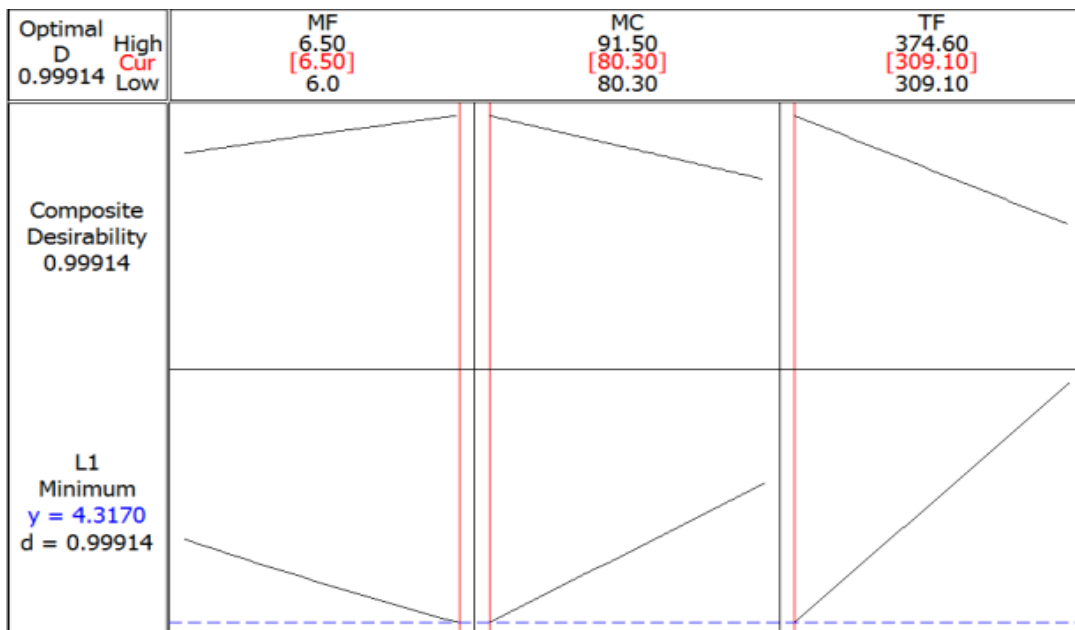
### 2.3.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ (correlation) และการถดถอย

Hakan A. et al. [34] ศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรตอบสนอง 2 ตัว และตัวแปรอิสระ 3 ตัวแปรคือ A B และ C ของกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม เพื่อให้การผลิตมีคุณภาพดีและต้นทุนต่ำ โดยใช้การออกแบบส่วนประสมกลาง (central composite design) หลังจากนั้นวิเคราะห์หาสมการถดถอยของตัวแปรตอบสนอง 2 ตัวและหาสภาวะที่เหมาะสมด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (response surface methodology) กำหนดให้ตัวแปรตอบสนองที่ 1 มีค่ามากที่สุด และตัวแปรตอบสนองที่ 2 มีค่าน้อยที่สุด จากการหาสภาวะที่เหมาะสมพบว่า แปรตอบสนองที่ 1 มีค่า 237,117 และตัวแปรตอบสนองที่ 2 มีค่า 136,909 ดังรูป 2.15



รูปที่ 2.15 การหาสถานะที่เหมาะสมของตัวแปรตอบสนอง 2 ตัวแปรและตัวแปรต้น 3 ตัวแปร

Naji A. et al. [35] ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ในหม้อกำเนิดไอน้ำโดยการหาสถานะที่เหมาะสมของการเผาไหม้ของหม้อกำเนิดไอน้ำ ด้วยหลักการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง (response surface methodology) พิจารณาตัวแปรต้น 3 ตัวแปรคือ อัตราการป้อนเชื้อเพลิง ( $M_F$ ) อัตราการป้อนอากาศ ( $M_C$ ) และอุณหภูมิของก๊าซร้อนที่ออกจากหม้อกำเนิดไอน้ำ ( $T_F$ ) โดยมีตัวแปรตอบสนองคือ เปอร์เซ็นต์ความร้อนสูญเสียจากก๊าซร้อน (LDG) วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม minitab16 ใช้การออกแบบส่วนประสมกลาง (central composite design) ในการทดลอง และหาสถานะที่เหมาะสมด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (response surface methodology) พบว่าค่าที่เหมาะสมที่ทำให้ เปอร์เซ็นต์ความร้อนสูญเสียจากก๊าซร้อน (LDG) มีค่าน้อยที่สุดที่ 4.317% โดยอัตราการป้อนเชื้อเพลิง ( $M_F$ ) อยู่ที่ 6.5 kg/h อัตราการป้อนอากาศ ( $M_C$ ) อยู่ที่ 80.3 kg/h และอุณหภูมิของก๊าซร้อนที่ออกจากหม้อกำเนิดไอน้ำ ( $T_F$ ) อยู่ที่ 309.1 °C



รูปที่ 2.16 การหาพื้นผิวตอบสนองของการเผาไหม้ในหม้อกำเนิดไอน้ำ

Sreepadha Ch. et al. [31] ศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมของการผลิตไฟฟ้าโรงไฟฟ้าถ่านหินโดยพิจารณาสมมูลมวลและพลังงานในระบบหม้อกำเนิดไอน้ำ มีตัวแปรต้น 3 ตัวแปรคือ อัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนของก๊าซร้อน อัตราการไหลของน้ำป้อน และพลังงานความร้อนในน้ำป้อน ใช้สมการถดถอย (regression analysis) ในการทำนายอุณหภูมิที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนภายในหม้อกำเนิดไอน้ำแต่ละเครื่อง หลังจากนั้นหาสภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรโดยใช้หลักพื้นผิวตอบสนอง (Response surface methodology) พบว่าค่าที่เหมาะสมของอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนของก๊าซร้อนอยู่ที่ 842.92 kJ/s อัตราการไหลของน้ำป้อน 625.22 t/h และพลังงานความร้อนในน้ำป้อน 6891.06 kJ/kg

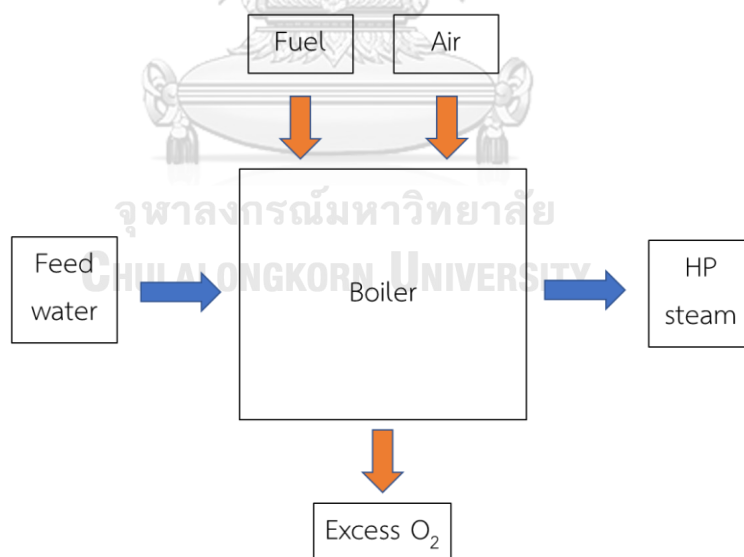
## บทที่ 3

### ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

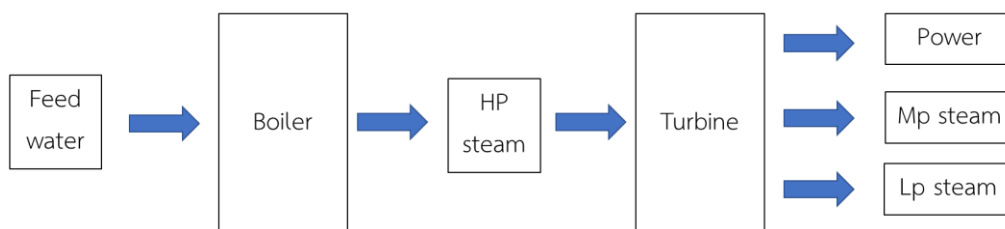
#### 3.1 ภาพรวมระบบการเผาไหม้และผลิตไอน้ำของโรงไฟฟ้าการศึกษา

ปัจจุบันโรงไฟฟ้าการณีสึกขามีสัญญาการขายไฟฟ้าให้การไฟฟ้าอยู่ที่ 31 เมกกะวัตต์ และขายไอน้ำให้กับลูกค้าโดยมีแผนการจ่ายไอน้ำแรงดันปานกลาง (MP steam) อยู่ที่ 10 – 12 kg/s และไอน้ำแรงดันต่ำ (LP steam) อยู่ที่ 0.5 – 1 kg/s จากที่กล่าวข้างต้นโรงงานต้องผลิตไอน้ำแรงดันสูงทั้งหมดที่ 43 kg/s สำหรับผลิตไฟฟ้าและขายไอน้ำตามข้อกำหนด

สำหรับการเผาไหม้เชื้อเพลิงและผลิตไอน้ำแรงดันสูงในหม้อกำเนิดไอน้ำ เชื้อเพลิงและอากาศจะถูกป้อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้เกิดการเผาไหม้ ได้พลังงานความร้อน หลังจากนั้นจะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำป้อนทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้นกลายเป็นไอน้ำแรงดันสูงส่งเข้าสู่กังหันไอน้ำจะได้กระแสไฟฟ้า จากนั้นไอน้ำจะลดพลังงานลงกลายเป็นไอน้ำแรงดันปานกลาง (MP steam) และไอน้ำแรงดันต่ำ (LP steam) ซึ่งไอน้ำส่วนนี้จะส่งจ่ายลูกค้าตามสัญญาต่อไป ดังรูปที่ 3.1-3.2



รูปที่ 3.1 ภาพรวมระบบการเผาไหม้ของหม้อกำเนิดไอน้ำของโรงไฟฟ้าการณีสึกข



รูปที่ 3.2 แผนภาพการเปลี่ยนน้ำป้อนเป็นไอน้ำและไฟฟ้าเมื่อผ่านหม้อกำเนิดไอน้ำและกังหันไอน้ำ

ทั้งนี้งานวิจัยนี้มุ่งเน้นในการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเผาไหม้เพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่เหมาะสมทำให้มีพลังงานความร้อนในการแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำได้มาก ส่งผลให้ต้นทุนเชื้อเพลิงต่อปริมาณไอน้ำโดยรวมลดลง

สำหรับตัวแปรต้นที่นำมาพิจารณาเป็นตัวแปรที่สัมพันธ์กับการเผาไหม้และการผลิตไอน้ำแรงดันสูงของโรงงาน ในส่วนตัวแปรตอบสนองพิจารณาเป้าหมายของโรงงานคืออัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูงและตัวแปรที่บ่งชี้ถึงประสิทธิภาพการเผาไหม้คือ ออกซิเจนส่วนเกินที่ปล่อยระบาย ซึ่งส่งผลต่อต้นทุนเชื้อเพลิง อย่างไรก็ตามโรงงานมีสัญญาการขายไฟฟ้าและไอน้ำให้กับลูกค้าตามข้อกำหนด ดังนั้นตัวแปรตอบสนองที่โรงงานต้องพิจารณาให้ได้เป้าหมายคือ ปริมาณไอน้ำแรงดันสูงที่ 43 kg/s เป็นหลัก ในส่วนค่าออกซิเจนส่วนเกินจะควบคุมให้อยู่ในช่วงค่าการออกแบบของเครื่องจักรที่ 3.0-4.5% ทั้งนี้ตัวแปรต้นที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตไอน้ำแรงดันสูงมีทั้งหมด 7 ตัวแปร โดยมีตัวแปรตอบสนอง 2 ตัวแปร ดังตารางที่ 3.1-3.2

ตารางที่ 3.1 ตัวแปรต้นที่พิจารณาในการหาความสัมพันธ์กับตัวแปรตอบสนอง

ตัวแปรต้น	หน่วย	ตัวแปร
ค่าความชื้นเชื้อเพลิง	เปอร์เซ็นต์, %	X1
อัตราการป้อนเชื้อเพลิง	ตันต่อวัน, ton/d	X2
อัตราการป้อนอากาศ	กิโลกรัมต่อวินาที, kg/s	X3
ความดันเตาเผาไหม้	มิลลิบาร์, mbar	X4
อุณหภูมิเตาเผาไหม้	องศาเซลเซียส, °C	X5
อุณหภูมิไอน้ำแรงดันสูง	องศาเซลเซียส, °C	X6
ความดันไอน้ำแรงดันสูง	บาร์, bar	X7

ตารางที่ 3.2 ตัวแปรตอบสนองที่พิจารณาในการวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมกับการเผาไหม้

ตัวแปรตอบสนอง	หน่วย	ตัวแปร
อัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูง	กิโลกรัมต่อวินาที, kg/s	Y1
ออกซิเจนส่วนเกินหลังการเผาไหม้	เปอร์เซ็นต์, %	Y2

### 3.2 การเลือกปัจจัยนำเข้าสำหรับดำเนินงานวิจัย

เนื่องจากตัวแปรต้นมีปริมาณมากเพื่อคัดกรองตัวแปรที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยยะจึงพิจารณาความสัมพันธ์เชิงเส้นเบื้องต้นระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตอบสนองด้วยวิธีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson Correlation) โดยใช้โปรแกรม minitab18 คัดกรองตัวแปรต้นที่มีผลกับตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยยะสำคัญ โดยผลลัพธ์จะแสดงในรูปของตัวเลขโดยค่าน้อยที่สุดคือ -1 และมากที่สุดคือ 1 หากค่าความสัมพันธ์ของตัวแปรเข้าใกล้ค่า -1 หรือ 1 แสดงว่ามีความสัมพันธ์กับในระดับสูง และหากเข้าใกล้ 0 แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำ โดยงานวิจัยนี้พิจารณาค่ามากกว่า 0.3 หรือ -0.3 ขึ้นไป หรือพิจารณาค่า P-value น้อยกว่า 0.05 [36]

จากการเก็บข้อมูลการเดินเครื่องจักรของสูตรเชื้อเพลิง A B และ C ย้อนหลัง 6 เดือน (ในช่วงเดือน กันยายน 2560 - กุมภาพันธ์ 2561) พิจารณาข้อมูลในช่วงที่ไม่เกิดปัญหาเครื่องจักรและวันหยุดซ่อมบำรุงเครื่องจักร ซึ่งมีข้อมูลวิเคราะห์สำหรับสูตรเชื้อเพลิง A 45 ข้อมูล สูตรเชื้อเพลิง B 42 ข้อมูล และสูตรเชื้อเพลิง C 40 ข้อมูล (ดังภาคผนวก ก) ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันดังตารางที่ 3.3-3.5

ตารางที่ 3.3 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันแบบเมตริกซ์ระหว่างตัวแปรของสูตรเชื้อเพลิง A

		X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	Y1
X2	Pearson no.	-0.193							
	P-value	0.204							
X3	Pearson no.	-0.039	0.545						
	P-value	0.799	0.000						
X4	Pearson no.	-0.002	0.295	0.391					
	P-value	0.987	0.049	0.008					
X5	Pearson no.	0.019	0.530	0.175	0.062				
	P-value	0.903	0.000	0.250	0.685				
X6	Pearson no.	0.045	-0.252	-0.088	0.136	-0.213			
	P-value	0.770	0.095	0.563	0.372	0.160			
X7	Pearson no.	-0.021	-0.023	-0.212	-0.071	0.021	-0.105		
	P-value	0.889	0.882	0.162	0.643	0.889	0.494		
Y1	Pearson no.	-0.386	0.940	0.537	0.290	0.548	-0.214	-0.098	
	P-value	0.009	0.000	0.000	0.053	0.000	0.158	0.523	
Y2	Pearson no.	0.213	-0.743	-0.619	-0.425	-0.383	0.117	0.040	-0.734
	P-value	0.159	0.000	0.000	0.004	0.009	0.445	0.792	0.000

Pearson no. คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน

P-value คือ ค่าความน่าจะเป็นทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร

ตารางที่ 3.4 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันแบบเมตริกซ์ระหว่างตัวแปรของสูตรเชื้อเพลิง B

		X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	Y1
X2	Pearson no.	-0.500							
	P-value	0.001							
X3	Pearson no.	-0.226	0.571						
	P-value	0.149	0.000						
X4	Pearson no.	-0.296	0.397	0.208					
	P-value	0.057	0.009	0.186					
X5	Pearson no.	-0.347	0.541	0.292	0.207				
	P-value	0.024	0.000	0.061	0.189				
X6	Pearson no.	0.283	-0.227	-0.135	-0.190	-0.110			
	P-value	0.070	0.149	0.394	0.229	0.488			
X7	Pearson no.	-0.216	0.127	-0.035	0.166	-0.244	0.004		
	P-value	0.170	0.424	0.828	0.295	0.119	0.982		
Y1	Pearson no.	-0.582	0.937	0.647	0.293	0.630	-0.196	0.110	
	P-value	0.000	0.000	0.000	0.060	0.000	0.213	0.487	
Y2	Pearson no.	0.292	-0.694	-0.414	-0.354	-0.593	0.097	0.103	-0.657
	P-value	0.061	0.000	0.006	0.021	0.000	0.543	0.518	0.000

Pearson no. คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน

P-value คือ ค่าความน่าจะเป็นทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร



ตารางที่ 3.5 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันแบบเมตริกซ์ระหว่างตัวแปรของสูตรเชื้อเพลิง C

		X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	Y1
X2	Pearson no.	-0.354							
	P-value	0.025							
X3	Pearson no.	-0.180	0.188						
	P-value	0.266	0.246						
X4	Pearson no.	-0.237	0.621	0.117					
	P-value	0.141	0.000	0.473					
X5	Pearson no.	-0.170	0.398	0.585	0.352				
	P-value	0.294	0.011	0.000	0.026				
X6	Pearson no.	0.140	0.218	-0.023	0.190	0.133			
	P-value	0.387	0.177	0.886	0.241	0.412			
X7	Pearson no.	-0.188	0.154	-0.014	0.168	0.071	-0.064		
	P-value	0.245	0.343	0.932	0.299	0.661	0.696		
Y1	Pearson no.	-0.327	0.699	0.471	0.496	0.641	0.250	0.021	
	P-value	0.039	0.000	0.002	0.001	0.000	0.120	0.900	
Y2	Pearson no.	0.184	-0.443	-0.429	-0.481	-0.682	-0.216	-0.049	-0.452
	P-value	0.257	0.004	0.006	0.002	0.000	0.180	0.762	0.003

Pearson no. คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน

P-value คือ ค่าความน่าจะเป็นทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร

ตารางที่ 3.6 เปรียบเทียบ ตัวแปร X1-X7 ที่สัมพันธ์กับ Y1 ของสูตรเชื่อเพลิงแต่ละสูตร

Pearson correlation		X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
Y1	A	✓	✓	✓	X	✓	X	X
	B	✓	✓	✓	X	✓	X	X
	C	✓	✓	✓	✓	✓	X	X

หมายเหตุ

เครื่องหมาย ✓ คือตัวแปร X มีความสัมพันธ์กับ Y1

เครื่องหมาย X คือตัวแปร X ไม่มีความสัมพันธ์กับ Y1

ตารางที่ 3.7 เปรียบเทียบ ตัวแปร X1-X7 ที่สัมพันธ์กับ Y2 ของสูตรเชื่อเพลิงแต่ละสูตร

Pearson correlation		X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
Y2	A	X	✓	✓	✓	✓	X	X
	B	X	✓	✓	✓	✓	X	X
	C	X	✓	✓	✓	✓	X	X

หมายเหตุ

เครื่องหมาย ✓ คือตัวแปร X มีความสัมพันธ์กับ Y2

เครื่องหมาย X คือตัวแปร X ไม่มีความสัมพันธ์กับ Y2

จากตาราง 3.6-3.7 จะเห็นได้ว่า

- สูตรเชื่อเพลิง A ตัวแปรต้นที่มีผลต่อ Y1 คือ X1, X2, X3, X5 และ Y2 คือ X2, X3, X4, X5
- สูตรเชื่อเพลิง B ตัวแปรต้นที่มีผลต่อ Y1 คือ X1, X2, X3, X5 และ Y2 คือ X2, X3, X4, X5
- สูตรเชื่อเพลิง C ตัวแปรต้นที่มีผลต่อ Y1 คือ X1, X2, X3, X4, X5 และ Y2 คือ X2, X3, X4, X5

อย่างไรก็ตาม ค่าความชื้น (X1) และความดันเตาเผาไหม้ (X4) มีผลต่อการเผาไหม้และประสิทธิภาพของหม้อกำเนิดไอน้ำในเชิงทฤษฎี [5] เพื่อให้สามารถอธิบายอิทธิพลของตัวแปรต้นที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนองทั้งสองตัว จะใช้ตัวแปรต้นทั้งหมดที่พิจารณา คือ X1, X2, X3, X4, X5 หา

ความสัมพันธ์กับตัวแปรตอบสนอง Y1 และ Y2 สร้างสมการถดถอยที่ได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่าที่ดีที่สุด [6] [9] [31]

ทั้งนี้ในขั้นตอนการคัดกรองตัวแปรต้นสำหรับนำเข้าสู่สมการถดถอยโดยใช้วิธีวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน ซึ่งพิจารณาตัวแปรต้นแต่ละตัวที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตอบสนอง โดยวิธีนี้จะช่วยลดจำนวนตัวแปรต้นลง อย่างไรก็ตามสำหรับการวิเคราะห์นี้อาจจะมีข้อเสียด้านการพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างตัวแปร ซึ่งหากมีการต่อยอดงานวิจัยสำหรับงานวิจัยอื่นอาจต้องพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นด้วยเช่นกัน

### 3.3 การสร้างสมการถดถอยสำหรับทำนายตัวแปรตอบสนอง

การสร้างสมการถดถอยสำหรับทำนายตัวแปรตอบสนองจะนำตัวแปรต้นที่ได้จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นเบื้องต้นจากหัวข้อ 3.2 มาวิเคราะห์หาสมการถดถอย โดยเบื้องต้นผู้วิจัยประเมินผลของอิทธิพลของตัวแปรต้นต่อตัวแปรตอบสนองอ้างอิงงานวิจัยดังนี้

- ค่าความชื้นเชื้อเพลิง (X1) มีค่าน้อย จะทำให้การเผาไหม้ดี ประหยัดพลังงาน ได้ปริมาณไอน้ำแรงดันสูงมาก ต้นทุนเชื้อเพลิงต่อตันไอน้ำลดลง
- อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (X2) มีค่ามาก จะได้ปริมาณไอน้ำแรงดันสูงมาก เนื่องจากป้อนพลังงานมาก จะสอดคล้องกับปริมาณอากาศที่เหมาะสม จะทำให้ประหยัดพลังงาน และลดต้นทุนเชื้อเพลิง มีค่าเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนส่วนเกินตามค่าที่กำหนด
- อัตราการป้อนอากาศ (X3) ค่าที่เหมาะสม สอดคล้องกับปริมาณเชื้อเพลิงที่ป้อน จะทำให้การเผาไหม้ดี ประหยัดพลังงาน ได้ปริมาณไอน้ำแรงดันสูงมาก ต้นทุนเชื้อเพลิงต่อตันไอน้ำลดลง มีค่าเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนส่วนเกินตามค่าที่กำหนด
- ความดันเตาเผาไหม้ (X4) ค่าที่เหมาะสม ได้ปริมาณไอน้ำแรงดันสูงมาก มีค่าเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนส่วนเกินตามค่าที่กำหนด
- อุณหภูมิเผาไหม้ (X5) ค่าที่เหมาะสม เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ ได้ปริมาณไอน้ำแรงดันสูงมาก มีค่าเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนส่วนเกินตามค่าที่กำหนด

การวิเคราะห์สมการถดถอย (regression analysis) ของสูตรเชื้อเพลิง A B และ C เพื่อหาสถานะที่เหมาะสมระหว่างตัวแปรตอบสนอง 2 ตัวให้อยู่ในค่าที่กำหนดด้วยวิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response surface methodology) [22] [23] ผู้วิจัยจะพิจารณาสมการถดถอยที่มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า (R-sq(adj) มากที่สุด วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม minitab18 เปรียบเทียบสมการ 4 รูปแบบ กำหนดค่า  $\alpha$  to enter และ  $\alpha$  to remove ตามค่าตั้งต้นของโปรแกรม minitab ดังนี้

1. พิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัวในสมการ (Full model)
2. การเลือกตัวแปรโดยการเพิ่มตัวแปรแบบขั้นต่อน (Stepwise regression) โดยพิจารณา  $\alpha$  to enter = 0.15 และ  $\alpha$  to remove = 0.15
3. การเลือกตัวแปรแบบเดินหน้า (Forward selection) โดยพิจารณา  $\alpha$  to enter = 0.25
4. การกำจัดตัวแปรแบบถอยหลัง (Backward elimination) โดยพิจารณา  $\alpha$  to remove = 0.10

สำหรับการวิเคราะห์ตัวแปรนำเข้าจะนำตัวแปรต้นจากหัวข้อ 3.2 คือ ค่าความชื้น (X1) อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (X2) อัตราการป้อนอากาศ (X3) ความดันเตาเผาใหม่ (X4) และอุณหภูมิเตาเผาใหม่ (X5)

ทั้งนี้สำหรับทฤษฎีการเผาไหม้พิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีคือ สัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง หรือเรียกว่า Air to fuel ratio (AF ratio) เป็นค่าเชิงทฤษฎีในการเผาไหม้ [33] [39] มีหน่วยเป็นกิโลกรัมอากาศต่อกิโลกรัมเชื้อเพลิง, kg-air/kg-fuel ซึ่งสอดคล้องกับตัวแปรนำเข้าคืออัตราการป้อนเชื้อเพลิง (X2) และอัตราการป้อนอากาศ (X3) ดังนั้นกำหนดตัวแปรดังกล่าวเป็น X8 โดยแสดงสมการดังนี้

$$x8 = \left[ x3 \frac{\text{kg}_{\text{air}}}{\text{s}} \right] / \left[ \left( x2 \frac{\text{ton}}{\text{d}} * 1000 \frac{\text{kg}_{\text{fuel}}}{\text{t}} \right) / \left( 24 \frac{\text{hr}}{\text{d}} * 3600 \frac{\text{s}}{\text{hr}} \right) \right], \text{ หน่วย } \frac{\text{kg}_{\text{air}}}{\text{kg}_{\text{fuel}}} \quad (3.1)$$

จากที่กล่าวข้างต้นการหาสมการถดถอยจะแบ่งการวิเคราะห์สูตรเชื้อเพลิงแต่ละสูตรออกเป็น 3 กลุ่มตัวแปรนำเข้า วิเคราะห์ด้วยสมการกลุ่มละ 4 รูปแบบ โดยแต่ละกลุ่มแบ่งออกเป็น

1. การวิเคราะห์ตัวแปรนำเข้าแบบปกติ
2. การวิเคราะห์ตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่าของสมการถดถอยสูตรเชื้อเพลิง A
3. ตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการ
4. การวิเคราะห์ตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการ

จากความสัมพันธ์เชิงทฤษฎีการเผาไหม้ [33] [39] ตัวแปรต้นกับตัวแปรตอบสนองมีความสัมพันธ์กันลักษณะเส้นโค้งดังนั้นการวิเคราะห์สมการถดถอยด้วยโปรแกรม minitab จะพิจารณาสมการในรูปแบบฟังก์ชันกำลังสอง (Quadratic function)

### 3.3.1 การวิเคราะห์สมการถดถอยของสูตรเชื้อเพลิง A

#### 3.3.1.1 การวิเคราะห์ตัวแปรนำเข้าแบบปกติ

จากการเก็บข้อมูลจำนวน 45 ข้อมูลของสูตรเชื้อเพลิง A ดังภาคผนวกที่ ก นำมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า (R-sq(adj)) ของตัวแบบสมการถดถอย ด้วยโปรแกรม minitab18 พิจารณาสมการในรูปแบบฟังก์ชันกำลังสอง (Quadratic function) แบ่งเป็นการวิเคราะห์สมการตามหลักสถิติ 4 รูปแบบ ดังนี้

1. พิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัวในสมการ (Full model)
2. การเลือกตัวแปรโดยการเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอน (Stepwise regression) โดยพิจารณา  $\alpha$  to enter = 0.15 และ  $\alpha$  to remove = 0.15
3. การเลือกตัวแปรแบบเดินหน้า (Forward selection) โดยพิจารณา  $\alpha$  to enter = 0.25
4. การกำจัดตัวแปรแบบถอยหลัง (Backward elimination) โดยพิจารณา  $\alpha$  to remove = 0.10

พิจารณาตัวแปรนำเข้าดังนี้

อิทธิพลหลัก คือ

- X1 (ความชื้นเชื้อเพลิง)
- X2 (อัตราการป้อนเชื้อเพลิง)
- X3 (อัตราการป้อนอากาศ)
- X4 (ความดันเตาเผาไหม้)
- X5 (อุณหภูมิเผาไหม้)

อิทธิพลร่วม คือ

- X1\*X2 (ความชื้นเชื้อเพลิง\*อัตราการป้อนเชื้อเพลิง)
- X1\*X3 (ความชื้นเชื้อเพลิง\*อัตราการป้อนอากาศ)
- X1\*X4 (ความชื้นเชื้อเพลิง\*ความดันเตาเผาไหม้)
- X1\*X5 (ความชื้นเชื้อเพลิง\*อุณหภูมิเผาไหม้)
- X2\*X3 (อัตราการป้อนเชื้อเพลิง\*อัตราการป้อนอากาศ)
- X2\*X4 (อัตราการป้อนเชื้อเพลิง\*ความดันเตาเผาไหม้)
- X2\*X5 (อัตราการป้อนเชื้อเพลิง\*อุณหภูมิเผาไหม้)
- X3\*X4 (อัตราการป้อนอากาศ\*ความดันเตาเผาไหม้)
- X3\*X5 (อัตราการป้อนอากาศ\*อุณหภูมิเผาไหม้)
- X4\*X5 (ความดันเตาเผาไหม้\*อุณหภูมิเผาไหม้)

เทอมกำลังสอง คือ

- X1\*X1 (ความชื้นเชื้อเพลิง\*ความชื้นเชื้อเพลิง)
- X2\*X2 (อัตราการป้อนเชื้อเพลิง\*อัตราการป้อนเชื้อเพลิง)
- X3\*X3 (อัตราการป้อนอากาศ\*อัตราการป้อนอากาศ)
- X4\*X4 (ความดันเตาเผาไหม้\*ความดันเตาเผาไหม้)
- X5\*X5 (อุณหภูมิเตาเผาไหม้\*อุณหภูมิเตาเผาไหม้)

### 3.3.1.1.1 พิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัวในสมการ (Full model)

การพิจารณาตัวแปรแบบ Full model โดยพิจารณาตัวแปรทุกตัวในสมการและอิทธิพลร่วมระหว่างตัวแปรนำเข้า จากการศึกษาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (coded units) ดังตารางที่ 3.8-3.9 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า (R-sq(adj) ระหว่างตัวแปรต้นกับตัวแปรตอบสนอง Y1 เท่ากับ 95.30% เมื่อนำมาวิเคราะห์สมการถดถอยสามารถสร้างสมการได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 Y1 = & -89 + 0.91 X1 + 0.0702 X2 + 1.09 X3 + 22.0 X4 + 0.080 X5 \\
 & - 0.0307 X1^2 - 0.000096 X2^2 - 0.0136 X3^2 + 0.57 X4^2 \\
 & - 0.000121 X5^2 - 0.001565 X1X2 + 0.0396 X1X3 - 0.090 X1X4 \\
 & + 0.00130 X1X5 + 0.001800 X2X3 + 0.01038 X2X4 \\
 & + 0.000229 X2X5 - 0.342 X3X4 - 0.00474 X3X5 - 0.0152 X4X5
 \end{aligned} \tag{3.2}$$

ตารางที่ 3.8 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัวในสมการของตัวแปรตอบสนอง Y1 สูตรเชื้อเพลิง A

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	20	420.98	21.05	45.60	0.00	97.44%	95.30%
Linear	5	105.45	21.09	45.69	0.00		
X1	1	0.02	0.02	0.04	0.84		
X2	1	16.35	16.35	35.42	0.00		
X3	1	0.02	0.02	0.04	0.85		
X4	1	0.12	0.12	0.26	0.61		
X5	1	0.27	0.27	0.59	0.45		
Square	5	9.22	1.84	4.00	0.01		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X1*X1	1	1.65	1.65	3.57	0.07		
X2*X2	1	6.19	6.19	13.42	0.00		
X3*X3	1	0.11	0.11	0.24	0.63		
X4*X4	1	0.14	0.14	0.31	0.58		
X5*X5	1	0.37	0.37	0.79	0.38		
2-Way Interaction	10	7.27	0.73	1.58	0.17		
X1*X2	1	1.22	1.22	2.64	0.12		
X1*X3	1	0.96	0.96	2.08	0.16		
X1*X4	1	0.14	0.14	0.30	0.59		
X1*X5	1	0.15	0.15	0.32	0.58		
X2*X3	1	2.00	2.00	4.34	0.05		
X2*X4	1	1.20	1.20	2.61	0.12		
X2*X5	1	4.10	4.10	8.88	0.01		
X3*X4	1	0.78	0.78	1.68	0.21		
X3*X5	1	2.13	2.13	4.61	0.04		
X4*X5	1	0.38	0.38	0.83	0.37		
Error	24	11.08	0.46				
Total	44	432.05					

ตารางที่ 3.9 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัวในสมการของตัวแปรตอบสนอง Y1 สูตรเชื้อเพลิง A

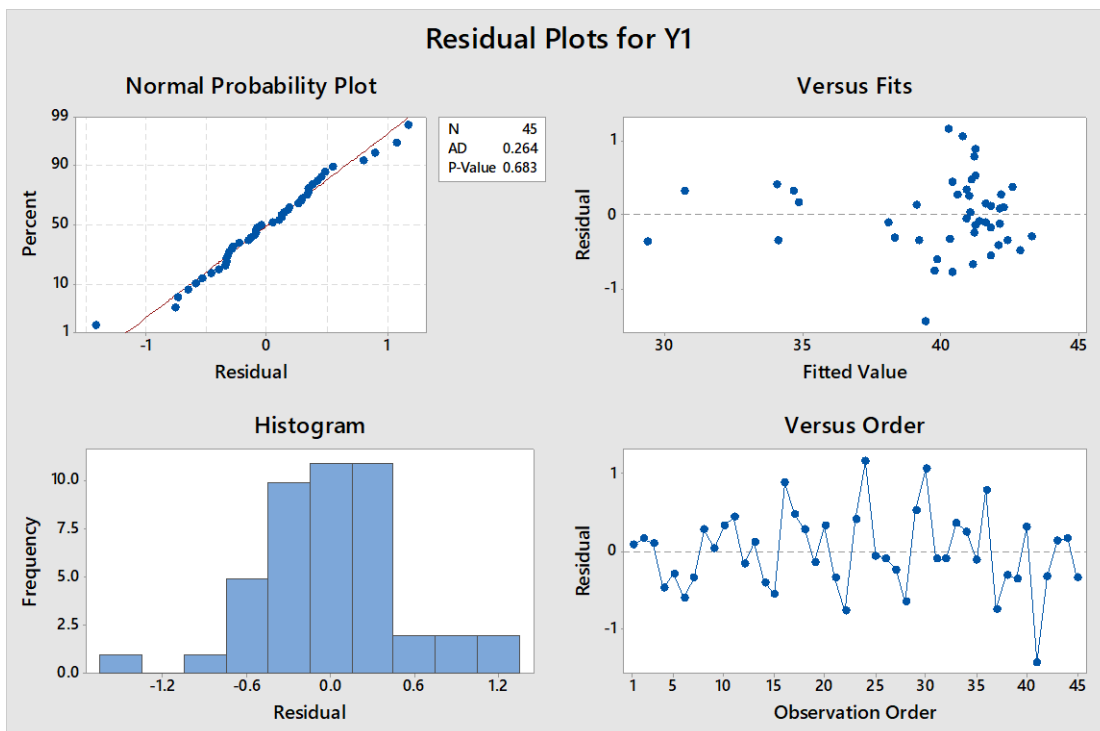
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	38.29	0.44	87.58	0.00
X1	-0.16	0.76	-0.21	0.84
X2	7.15	1.20	5.95	0.00

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
X3	-0.12	0.61	-0.19	0.85
X4	0.32	0.63	0.51	0.61
X5	-0.48	0.62	-0.77	0.45
X1*X1	-1.26	0.67	-1.89	0.07
X2*X2	-4.69	1.28	-3.66	0.00
X3*X3	-0.35	0.73	-0.49	0.63
X4*X4	0.32	0.58	0.56	0.58
X5*X5	-0.73	0.83	-0.89	0.38
X1*X2	-2.22	1.36	-1.62	0.12
X1*X3	1.29	0.90	1.44	0.16
X1*X4	-0.43	0.79	-0.55	0.59
X1*X5	0.65	1.15	0.57	0.58
X2*X3	2.03	0.97	2.08	0.05
X2*X4	1.72	1.06	1.62	0.12
X2*X5	3.94	1.32	2.98	0.01
X3*X4	-1.30	1.01	-1.30	0.21
X3*X5	-1.88	0.88	-2.15	0.04
X4*X5	-0.89	0.98	-0.91	0.37

หลังจากได้สมการถดถอยแล้วทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมการ (Model Adequacy Checking) โดยวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual analysis) ว่าเป็นไปตามสมมติฐานหรือไม่ โดยตรวจสอบความถูกต้องของสมการตามสมมติฐาน 3 ข้อ ได้แก่

1. การแจกแจงของส่วนตกค้างแบบปกติ (Normal Probability)
2. ส่วนตกค้างเทียบกับตัวแปรตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Residual Plots Versus Fitted Values)
3. ส่วนตกค้างตามลำดับเวลา (Plot of Residuals in Time Sequence)





รูปที่ 3.3 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการการถดถอย Y1 แบบตัวแปรนำเข้าปกติ พิจารณาทุกตัวแปรสูตรชื่อเพลิง A

จากรูป 3.3 พบว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Normal Probability Plot) มีลักษณะเป็นเส้นตรง เมื่อพิจารณาการทดสอบการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ที่ระดับนัยสำคัญ  $\alpha=0.05$  พบว่าค่า P-value ของส่วนตกค้าง เท่ากับ 0.683 ซึ่งมีค่ามากกว่าแอลฟา 0.05 สรุปได้ว่า ส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ

กราฟการกระจายตัวระหว่างส่วนตกค้างเทียบกับตัวแปรตอบสนองมีการกระจายของความคลาดเคลื่อนไม่มีรูปแบบ สรุปได้ว่าข้อมูลมีความเสถียรต่อความแปรปรวน

แผนภาพฮิสโตแกรมของส่วนตกค้าง พบว่าข้อมูลส่วนใหญ่อยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงค่าศูนย์ มีการกระจายตัวเป็นทรงระฆังคว่ำซึ่งบอกลักษณะการแจกแจงเป็นแบบปกติ

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับเวลา มีการกระจายตัวของความคลาดเคลื่อนไม่มีรูปแบบชัดเจนแสดงถึงข้อมูลจึงมีความอิสระต่อกัน

สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (coded units) ระหว่างตัวแปรต้นกับตัวแปรตอบสนอง Y2 ดังตารางที่ 3.10-3.11 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า (R-sq(adj) เท่ากับ 60.76% เมื่อนำมาวิเคราะห์สมการถดถอยสามารถสร้างสมการได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 Y_2 = & 220 - 0.50 X_1 - 0.1086 X_2 - 6.74 X_3 + 29.7 X_4 + 0.188 X_5 \\
 & - 0.0262 X_1^2 - 0.000012 X_1^2 + 0.0320 X_3^2 + 0.86 X_4^2 \\
 & - 0.000260 X_5^2 - 0.00046 X_1X_2 + 0.0279 X_1X_3 - 0.150 X_1X_4 \\
 & + 0.00163 X_1X_5 + 0.001233 X_2X_3 - 0.00162 X_2X_4 \\
 & + 0.000102 X_2X_5 - 0.104 X_3X_4 + 0.00035 X_3X_5 - 0.0173 X_4X_5
 \end{aligned}
 \tag{3.3}$$

ตารางที่ 3.10 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัวในสมการของตัวแปรตอบสนอง Y2 สูตรเชิงพีลาญ A

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	20	47.61	2.38	4.41	0.00	78.59%	60.76%
Linear	5	18.95	3.79	7.02	0.00		
X1	1	0.04	0.04	0.07	0.79		
X2	1	0.45	0.45	0.84	0.37		
X3	1	3.33	3.33	6.16	0.02		
X4	1	0.41	0.41	0.76	0.39		
X5	1	0.00	0.00	0.01	0.94		
Square	5	3.01	0.60	1.11	0.38		
X1*X1	1	1.20	1.20	2.22	0.15		
X2*X2	1	0.09	0.09	0.17	0.68		
X3*X3	1	0.60	0.60	1.11	0.30		
X4*X4	1	0.33	0.33	0.61	0.44		
X5*X5	1	1.69	1.69	3.14	0.09		
2-Way Interaction	10	4.31	0.43	0.80	0.63		
X1*X2	1	0.10	0.10	0.19	0.67		
X1*X3	1	0.47	0.47	0.88	0.36		
X1*X4	1	0.38	0.38	0.71	0.41		
X1*X5	1	0.23	0.23	0.43	0.52		
X2*X3	1	0.94	0.94	1.74	0.20		
X2*X4	1	0.03	0.03	0.05	0.82		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X2*X5	1	0.82	0.82	1.52	0.23		
X3*X4	1	0.07	0.07	0.13	0.72		
X3*X5	1	0.01	0.01	0.02	0.89		
X4*X5	1	0.49	0.49	0.91	0.35		
Error	24	12.97	0.54				
Total	44	60.58					

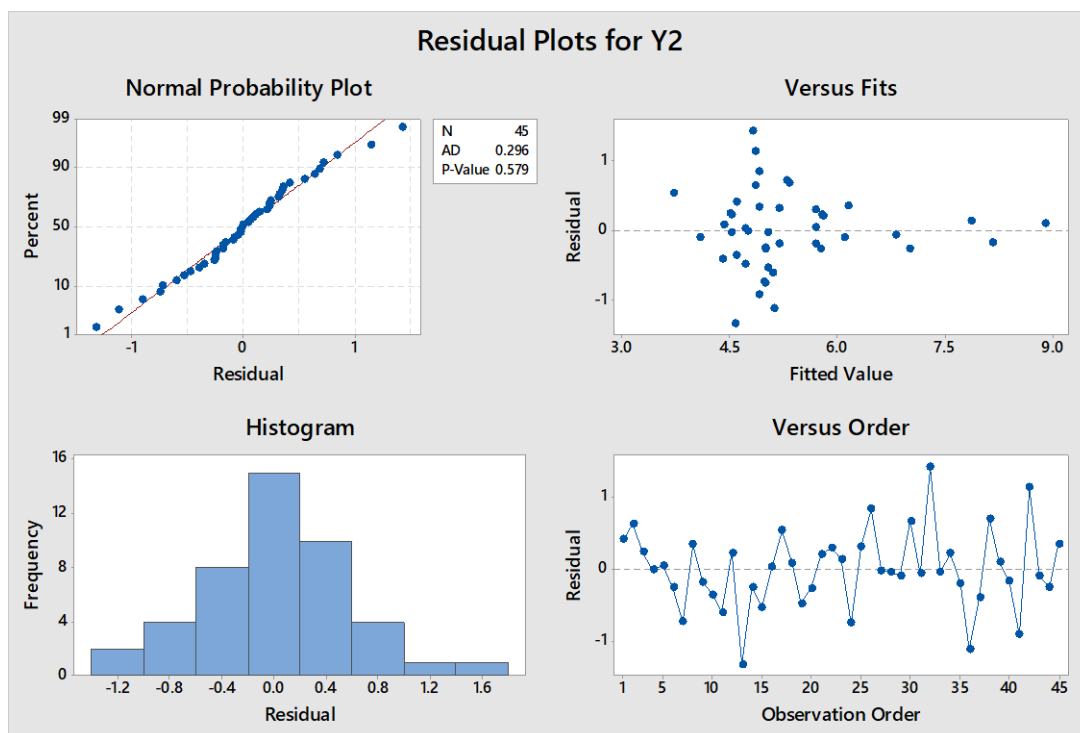
ตารางที่ 3.11 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วม  
ทุกตัวในสมการของตัวแปรตอบสนอง Y2 สูตรเชื้อเพลิง A

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.93	0.47	12.54	0.00
X1	0.22	0.82	0.27	0.79
X2	-1.19	1.30	-0.92	0.37
X3	-1.65	0.66	-2.48	0.02
X4	0.59	0.68	0.87	0.39
X5	0.06	0.67	0.08	0.94
X1*X1	-1.08	0.72	-1.49	0.15
X2*X2	-0.58	1.39	-0.42	0.68
X3*X3	0.83	0.79	1.05	0.30
X4*X4	0.49	0.62	0.78	0.44
X5*X5	-1.58	0.89	-1.77	0.09
X1*X2	-0.65	1.48	-0.44	0.67
X1*X3	0.91	0.97	0.94	0.36
X1*X4	-0.72	0.86	-0.84	0.41
X1*X5	0.81	1.24	0.65	0.52

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
X2*X3	1.39	1.05	1.32	0.20
X2*X4	-0.27	1.15	-0.23	0.82
X2*X5	1.76	1.43	1.23	0.23
X3*X4	-0.40	1.09	-0.36	0.72
X3*X5	0.14	0.95	0.15	0.89
X4*X5	-1.01	1.06	-0.96	0.35

หลังจากได้สมการถดถอยแล้วทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมการ (Model Adequacy Checking) โดยวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual analysis) ว่าเป็นไปตามสมมติฐานหรือไม่ โดยตรวจสอบความถูกต้องของสมการตามสมมติฐาน 3 ข้อ ได้แก่

1. การแจกแจงของส่วนตกค้างแบบปกติ (Normal Probability)
2. ส่วนตกค้างเทียบกับตัวแปรตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Residual Plots Versus Fitted Values)
3. ส่วนตกค้างตามลำดับเวลา (Plot of Residuals in Time Sequence)



รูปที่ 3.4 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการการถดถอย Y2 แบบตัวแปรนำเข้าปกติ พิจารณาทุกตัวแปรสูตรเชื้อเพลิง A

จากรูป 3.4 พบว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Normal Probability Plot) มีลักษณะเป็นเส้นตรง เมื่อพิจารณาการทดสอบการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ที่ระดับนัยสำคัญ  $\alpha=0.05$  พบว่าค่า P-value ของส่วนตกค้าง เท่ากับ 0.579 ซึ่งมีค่ามากกว่าแอลฟา 0.05 สรุปได้ว่า ส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ

กราฟการกระจายตัวระหว่างส่วนตกค้างเทียบกับตัวแปรตอบสนองมีการกระจายของความคลาดเคลื่อนไม่มีรูปแบบ สรุปได้ว่าข้อมูลมีความเสถียรต่อความแปรปรวน

แผนภาพฮิสโตแกรมของส่วนตกค้าง พบว่าข้อมูลส่วนใหญ่อยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงค่าศูนย์ มีการกระจายตัวเป็นทรงระฆังคว่ำซึ่งบ่งชี้ข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับเวลา มีการกระจายตัวของความคลาดเคลื่อนไม่มีรูปแบบชัดเจนแสดงถึงข้อมูลจึงมีความอิสระต่อกัน

### 3.3.1.1.2 การเลือกตัวแปรโดยการเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอน (Stepwise regression)

การวิเคราะห์ตัวแปรแบบ Stepwise regression (การเลือกตัวแปรโดยการเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอน) พิจารณาค่าแอลฟาในการนำตัวแปรเข้าและตัดตัวแปรออกของสมการที่ 0.15 จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (code units) ดังตารางที่ 3.12-3.15 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า (R-sq(adj)) ระหว่างตัวแปรต้นกับตัวแปรตอบสนอง Y1 เท่ากับ 95.17% เมื่อนำมาวิเคราะห์สมการถดถอยสามารถสร้างสมการได้ดังนี้

$$Y1 = -7.5 - 0.1809 X1 + 0.1113 X2 - 0.0977 X5 - 0.000054 X2^2 + 0.000075 X2X5 \quad (3.4)$$

ตารางที่ 3.12 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชิงพีลิ่ง A

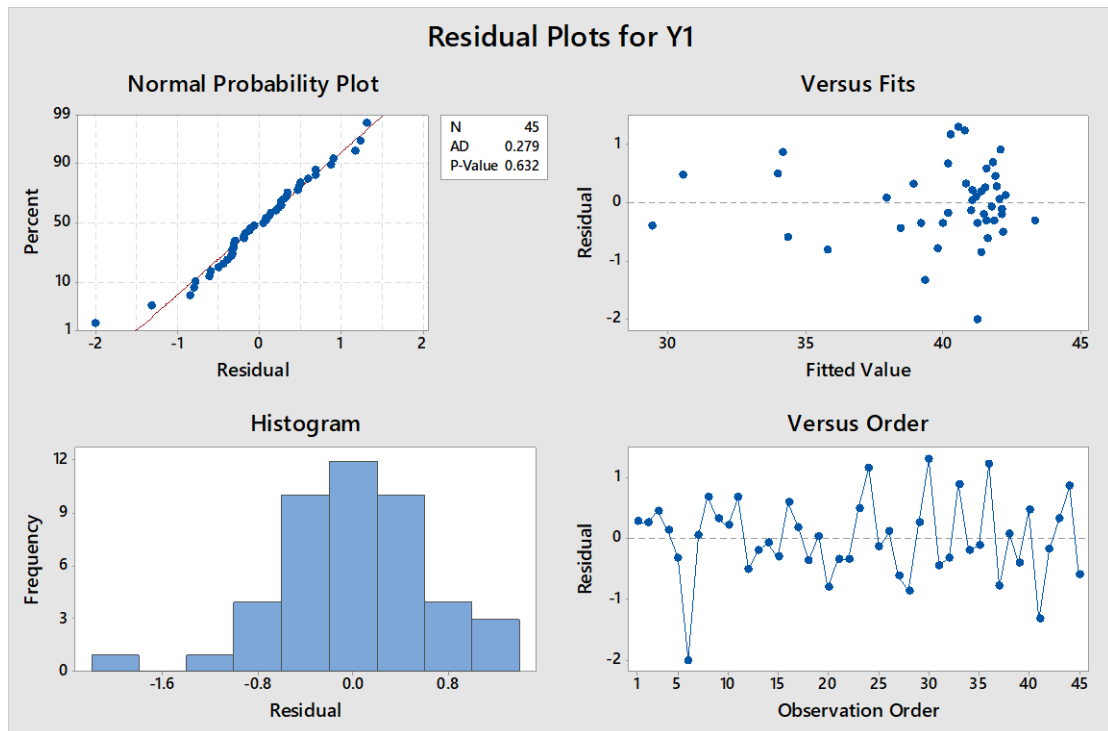
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	5	413.56	82.71	174.45	0.00	95.72%	95.17%
Linear	3	401.69	133.90	282.41	0.00		
X1	1	10.28	10.28	21.68	0.00		
X2	1	168.86	168.86	356.15	0.00		
X5	1	0.01	0.01	0.02	0.89		
Square	1	8.88	8.88	18.73	0.00		
X2*X2	1	8.88	8.88	18.73	0.00		
2-Way Interaction	1	2.63	2.63	5.55	0.02		
X2*X5	1	2.63	2.63	5.55	0.02		
Error	39	18.49	0.47				
Total	44	432.05					

ตารางที่ 3.13 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชิงพีลิ่ง A

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	38.11	0.20	190.49	0.00
X1	-1.16	0.25	-4.66	0.00
X2	6.49	0.34	18.87	0.00
X5	-0.05	0.33	-0.15	0.89
X2*X2	-2.66	0.61	-4.33	0.00
X2*X5	1.29	0.55	2.36	0.02

หลังจากได้สมการถดถอยแล้วทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมการ (Model Adequacy Checking) โดยวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual analysis) ว่าเป็นไปตามสมมติฐานหรือไม่ โดยตรวจสอบความถูกต้องของสมการตามสมมติฐาน 3 ข้อ ได้แก่

1. การแจกแจงของส่วนตกค้างแบบปกติ (Normal Probability)
2. ส่วนตกค้างเทียบกับตัวแปรตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Residual Plots Versus Fitted Values)
3. ส่วนตกค้างตามลำดับเวลา (Plot of Residuals in Time Sequence)



รูปที่ 3.5 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการการถดถอยแบบตัวแปรนำเข้าปกติเพิ่มตัวแปรแบบ  
ขั้นตอน Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง A

จากรูป 3.5 พบว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Normal Probability Plot) มีลักษณะเป็นเส้นตรง เมื่อพิจารณาการทดสอบการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ที่ระดับนัยสำคัญ  $\alpha=0.05$  พบว่าค่า P-value ของส่วนตกค้าง เท่ากับ 0.632 ซึ่งมีค่ามากกว่าแอลฟา 0.05 สรุปได้ว่า ส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ

กราฟการกระจายตัวระหว่างส่วนตกค้างเทียบกับตัวแปรตอบสนองมีการกระจายของความคลาดเคลื่อนไม่มีรูปแบบ สรุปได้ว่าข้อมูลมีความเสถียรต่อความแปรปรวน

แผนภาพฮิสโตแกรมของส่วนตกค้าง พบว่าข้อมูลส่วนใหญ่อยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงค่าศูนย์ มีการกระจายตัวเป็นทรงระฆังคว่ำซึ่งบอถึงข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับเวลา มีการกระจายตัวของความคลาดเคลื่อนไม่มีรูปแบบชัดเจนแสดงถึงข้อมูลจึงมีความอิสระต่อกัน



สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (coded units) ระหว่างตัวแปรต้นกับตัวแปรตอบสนอง Y2 ดังตารางที่ 3.14-3.17 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า (R-sq(adj) เท่ากับ 68.82% เมื่อนำมาวิเคราะห์สมการถดถอยสามารถสร้างสมการได้ดังนี้

$$Y2 = 217.9 - 0.00479 X2 - 7.33 X3 + 15.24 X4 + 0.014 X5 + 0.0370 X3^2 - 0.000150 X5^2 + 0.00387 X3X5 - 0.0188 X4X5 \quad (3.5)$$

ตารางที่ 3.14 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชิงพหุคูณ A

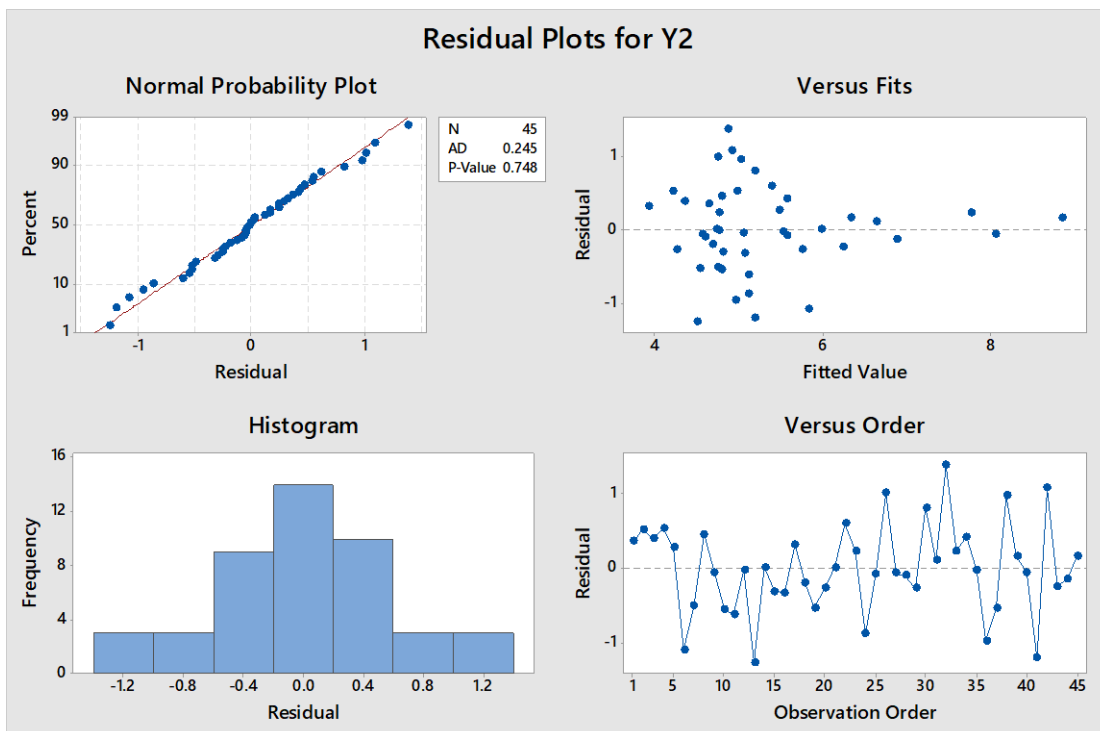
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	8	45.12	5.64	13.14	0.00	74.49%	68.82%
Linear	4	36.18	9.04	21.07	0.00		
X2	1	3.23	3.23	7.52	0.01		
X3	1	7.36	7.36	17.16	0.00		
X4	1	0.02	0.02	0.06	0.81		
X5	1	0.14	0.14	0.33	0.57		
Square	2	2.38	1.19	2.78	0.08		
X3*X3	1	1.37	1.37	3.20	0.08		
X5*X5	1	1.15	1.15	2.69	0.11		
2-Way Interaction	2	4.91	2.45	5.72	0.01		
X3*X5	1	4.87	4.87	11.34	0.00		
X4*X5	1	1.26	1.26	2.94	0.10		
Error	36	15.45	0.43				
Total	44	60.58					

ตารางที่ 3.15 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชิง A

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.78	0.32	17.93	0.00
X2	-1.06	0.39	-2.74	0.01
X3	-1.31	0.32	-4.14	0.00
X4	0.10	0.43	0.24	0.81
X5	0.21	0.36	0.57	0.57
X3*X3	0.96	0.54	1.79	0.08
X5*X5	-0.91	0.56	-1.64	0.11
X3*X5	1.54	0.46	3.37	0.00
X4*X5	-1.10	0.64	-1.71	0.10

หลังจากได้สมการถดถอยแล้วทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมการ (Model Adequacy Checking) โดยวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual analysis) ว่าเป็นไปตามสมมติฐานหรือไม่ โดยตรวจสอบความถูกต้องของสมการตามสมมติฐาน 3 ข้อ ได้แก่

1. การแจกแจงของส่วนตกค้างแบบปกติ (Normal Probability)
2. ส่วนตกค้างเทียบกับตัวแปรตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Residual Plots Versus Fitted Values)
3. ส่วนตกค้างตามลำดับเวลา (Plot of Residuals in Time Sequence)



รูปที่ 3.6 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการการถดถอยแบบตัวแปรนำเข้าปกติเพิ่มตัวแปรแบบ  
ขั้นตอน Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง A

จากรูป 3.6 พบว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Normal Probability Plot) มีลักษณะเป็นเส้นตรง เมื่อพิจารณาการทดสอบการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ที่ระดับนัยสำคัญ  $\alpha=0.05$  พบว่าค่า P-value ของส่วนตกค้าง เท่ากับ 0.748 ซึ่งมีค่ามากกว่าแอลฟา 0.05 สรุปได้ว่า ส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ

กราฟการกระจายตัวระหว่างส่วนตกค้างเทียบกับตัวแปรตอบสนองมีการกระจายของความคลาดเคลื่อนไม่มีรูปแบบ สรุปได้ว่าข้อมูลมีความเสถียรต่อความแปรปรวน

แผนภาพฮิสโตแกรมของส่วนตกค้าง พบว่าข้อมูลส่วนใหญ่อยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงค่าศูนย์ มีการกระจายตัวเป็นทรงระฆังคว่ำซึ่งบ่งชี้ข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับเวลา มีการกระจายตัวของความคลาดเคลื่อนไม่มีรูปแบบชัดเจนแสดงถึงข้อมูลจึงมีความอิสระต่อกัน

### 3.3.1.1.3 การเลือกตัวแปรแบบเดินหน้า (Forward selection)

การพิจารณาตัวแปรแบบ Forward selection (การเลือกตัวแปรแบบเดินหน้า) พิจารณาค่าแอลฟาในการนำตัวแปรเข้าสมการที่ 0.25 จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (coded units) ดังตารางที่ 3.16-3.17 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า (R-sq(adj)) ระหว่างตัวแปรต้นกับตัวแปรตอบสนอง Y1 เท่ากับ 95.61% เมื่อนำมาวิเคราะห์สมการถดถอยสามารถสร้างสมการได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 Y1 = & -155.6 + 1.415 X1 + 0.0333 X2 + 4.96 X3 + 3.89 X4 \\
 & + 0.0002 X5 - 0.0239 X1^2 - 0.000080 X2^2 - 0.0371 X3^2 \\
 & - 0.150 X1X4 + 0.001570 X2X3 + 0.00131 X2X4 \\
 & + 0.000152 X2X5 - 0.00374 X3X5
 \end{aligned}
 \tag{3.6}$$

ตารางที่ 3.16 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง A

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	13	418.69	32.21	74.73	0.00	96.91%	95.61%
Linear	5	265.30	53.06	123.11	0.00		
X1	1	1.35	1.34	3.12	0.09		
X2	1	45.79	45.79	106.24	0.00		
X3	1	0.02	0.02	0.05	0.83		
X4	1	0.10	0.10	0.23	0.63		
X5	1	0.17	0.17	0.39	0.54		
Square	3	11.19	3.73	8.65	0.00		
X1*X1	1	1.60	1.60	3.72	0.06		
X2*X2	1	7.87	7.87	18.25	0.00		
X3*X3	1	1.14	1.13	2.63	0.12		
2-Way Interaction	5	5.58	1.12	2.59	0.05		
X1*X4	1	0.60	0.59	1.38	0.25		
X2*X3	1	2.20	2.20	5.11	0.03		

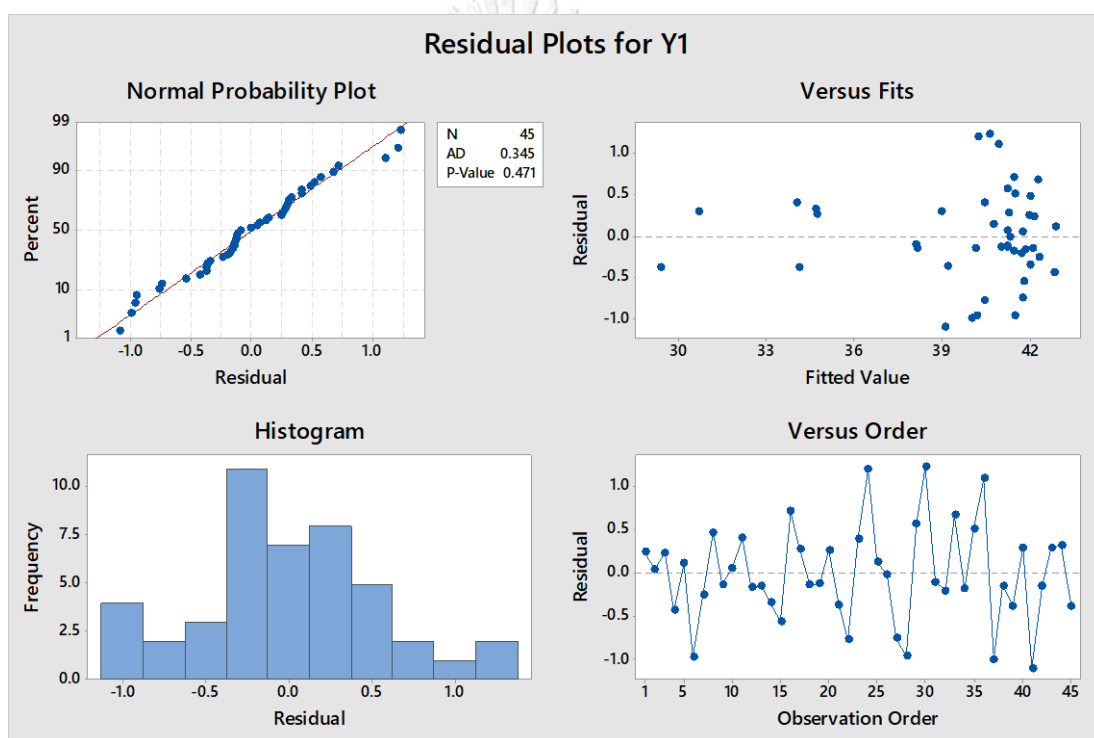
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X2*X4	1	0.06	0.06	0.13	0.72		
X2*X5	1	3.56	3.56	8.26	0.01		
X3*X5	1	1.54	1.54	3.58	0.07		
Error	31	13.36	0.43				
Total	44	432.054					

ตารางที่ 3.17 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยแบบเลือกตัวแปรแบบเดินทาง  
ของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง A

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	38.48	0.32	118.88	0.00
X1	-0.63	0.36	-1.77	0.09
X2	6.62	0.64	10.31	0.00
X3	0.09	0.42	0.22	0.83
X4	0.22	0.45	0.48	0.63
X5	-0.24	0.38	-0.63	0.54
X1*X1	-0.98	0.51	-1.93	0.06
X2*X2	-3.89	0.91	-4.27	0.00
X3*X3	-0.96	0.59	-1.62	0.12
X1*X4	-0.72	0.61	-1.17	0.25
X2*X3	1.77	0.78	2.26	0.03
X2*X4	0.22	0.59	0.36	0.72
X2*X5	2.61	0.91	2.87	0.01
X3*X5	-1.49	0.79	-1.89	0.07

หลังจากได้สมการถดถอยแล้วทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมการ (Model Adequacy Checking) โดยวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual analysis) ว่าเป็นไปตามสมมติฐานหรือไม่ โดยตรวจสอบความถูกต้องของสมการตามสมมติฐาน 3 ข้อ ได้แก่

1. การแจกแจงของส่วนตกค้างแบบปกติ (Normal Probability)
2. ส่วนตกค้างเทียบกับตัวแปรตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Residual Plots Versus Fitted Values)
3. ส่วนตกค้างตามลำดับเวลา (Plot of Residuals in Time Sequence)



รูปที่ 3.7 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการการถดถอยเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง A

จากรูป 3.7 พบว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Normal Probability Plot) มีลักษณะเป็นเส้นตรง เมื่อพิจารณาการทดสอบการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ที่ระดับนัยสำคัญ  $\alpha=0.05$  พบว่าค่า P-value ของส่วนตกค้าง เท่ากับ 0.471 ซึ่งมีค่ามากกว่าแอลฟา 0.05 สรุปได้ว่า ส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ

กราฟการกระจายตัวระหว่างส่วนตกค้างเทียบกับตัวแปรตอบสนองมีการกระจายของความคลาดเคลื่อนไม่มีรูปแบบ สรุปได้ว่าข้อมูลมีความเสถียรต่อความแปรปรวน

แผนภาพฮิสโตแกรมของส่วนตกค้าง พบว่าข้อมูลส่วนใหญ่อยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงค่าศูนย์ มีการกระจายตัวเป็นทรงระฆังคว่ำซึ่งบอถึงข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับเวลา มีการกระจายตัวของความคลาดเคลื่อนไม่มีรูปแบบชัดเจนแสดงถึงข้อมูลจึงมีความอิสระต่อกัน

สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (coded units) ระหว่างตัวแปรต้นกับตัวแปรตอบสนอง Y2 ดังตารางที่ 3.18-3.19 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า (R-sq(adj) เท่ากับ 69.16% เมื่อนำมาวิเคราะห์สมการถดถอยสามารถสร้างสมการได้ดังนี้

$$Y2 = 156 - 0.0506 X2 - 5.85 X3 + 13.74 X4 + 0.140 X5 + 0.0332 X3^2 - 0.000228 X5^2 + 0.000055 X2X5 + 0.00257 X3X5 - 0.0171 X4X5 \quad (3.7)$$

ตารางที่ 3.18 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง A

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	9	45.71	5.08	11.96	0.00	75.47%	69.16%
Linear	4	36.70	9.17	21.61	0.00		
X2	1	3.69	3.69	8.70	0.01		
X3	1	4.21	4.21	9.92	0.00		
X4	1	0.00	0.00	0.00	0.99		
X5	1	0.31	0.31	0.72	0.40		
Square	2	2.94	1.47	3.47	0.04		
X3*X3	1	1.08	1.08	2.55	0.12		
X5*X5	1	1.74	1.74	4.11	0.05		
2-Way Interaction	3	5.50	1.83	4.32	0.01		
X2*X5	1	0.59	0.59	1.39	0.25		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X3*X5	1	1.12	1.12	2.64	0.11		
X4*X5	1	1.03	1.03	2.42	0.13		
Error	35	14.86	0.42				
Total	44	60.58					

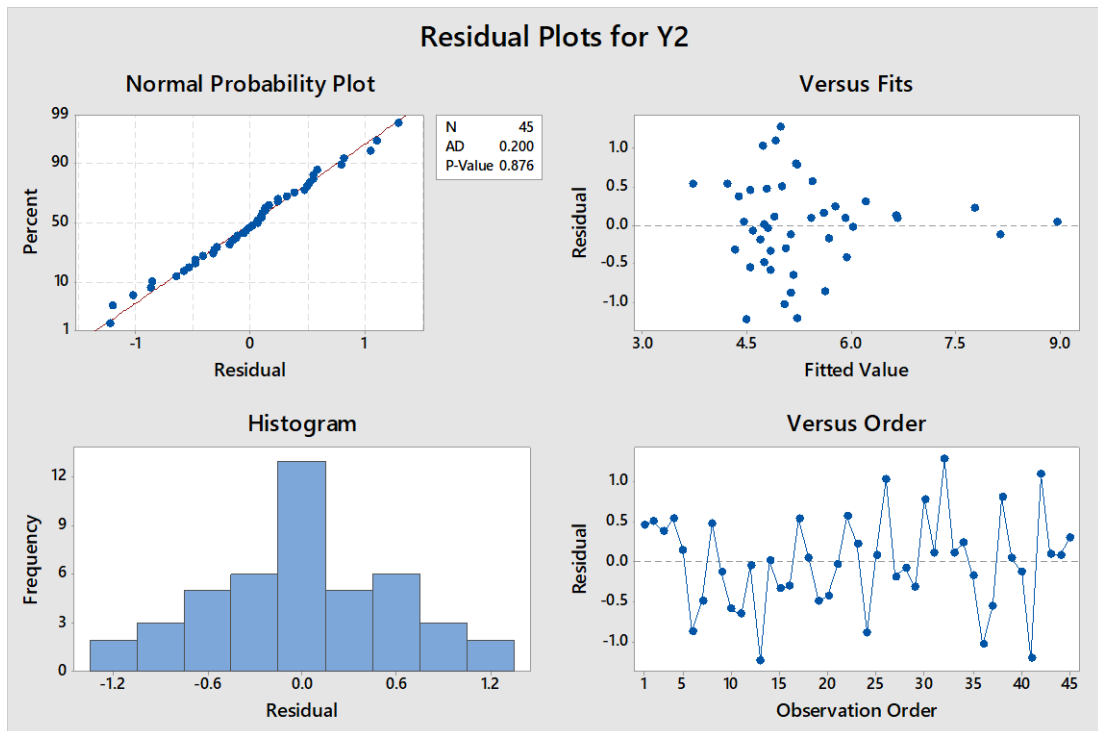
ตารางที่ 3.19 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง A

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.84	0.33	17.99	0.00
X2	-1.36	0.46	-2.95	0.01
X3	-1.12	0.36	-3.15	0.00
X4	0.01	0.44	0.01	0.99
X5	0.31	0.37	0.85	0.40
X3*X3	0.86	0.54	1.60	0.12
X5*X5	-1.39	0.69	-2.03	0.05
X2*X5	0.95	0.81	1.18	0.25
X3*X5	1.02	0.63	1.62	0.11
X4*X5	-1.00	0.64	-1.55	0.13

หลังจากได้สมการถดถอยแล้วทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมการ (Model Adequacy Checking) โดยวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual analysis) ว่าเป็นไปตามสมมติฐานหรือไม่ โดยตรวจสอบความถูกต้องของสมการตามสมมติฐาน 3 ข้อ ได้แก่

1. การแจกแจงของส่วนตกค้างแบบปกติ (Normal Probability)
2. ส่วนตกค้างเทียบกับตัวแปรตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Residual Plots Versus Fitted Values)
3. ส่วนตกค้างตามลำดับเวลา (Plot of Residuals in Time Sequence)





รูปที่ 3.8 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการการถดถอยเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปร  
ตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง A

จากรูป 3.8 พบว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Normal Probability Plot) มีลักษณะเป็นเส้นตรง เมื่อพิจารณาการทดสอบการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ที่ระดับนัยสำคัญ  $\alpha=0.05$  พบว่าค่า P-value ของส่วนตกค้าง เท่ากับ 0.876 ซึ่งมีค่ามากกว่าแอลฟา 0.05 สรุปได้ว่า ส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ

กราฟการกระจายตัวระหว่างส่วนตกค้างเทียบกับตัวแปรตอบสนองมีการกระจายของความคลาดเคลื่อนไม่มีรูปแบบ สรุปได้ว่าข้อมูลมีความเสถียรต่อความแปรปรวน

แผนภาพฮิสโตแกรมของส่วนตกค้าง พบว่าข้อมูลส่วนใหญ่อยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงค่าศูนย์ มีการกระจายตัวเป็นทรงระฆังคว่ำซึ่งบ่งชี้ข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับเวลา มีการกระจายตัวของความคลาดเคลื่อนไม่มีรูปแบบชัดเจนแสดงถึงข้อมูลจึงมีความอิสระต่อกัน

#### 3.3.1.1.4 การกำจัดตัวแปรแบบถอยหลัง (Backward elimination)

การพิจารณาตัวแปรแบบ Backward elimination (การกำจัดตัวแปรแบบถอยหลัง) พิจารณาค่าแอลฟาในการตัดตัวแปรออกของสมการที่ 0.10 จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (coded units) ดังตารางที่ 3.20-3.21 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า (R-sq(adj) ระหว่างตัวแปรต้นกับตัวแปรตอบสนอง Y1 เท่ากับ 95.17% เมื่อนำมาวิเคราะห์สมการถดถอยสามารถสร้างสมการได้ดังนี้

$$Y1 = -7.5 - 0.1809 X1 + 0.1113 X2 - 0.0977 X5 - 0.000054 X2^2 + 0.000075 X2X5 \quad (3.8)$$

ตารางที่ 3.20 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยแบบกำจัดตัวแปรแบบถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง A

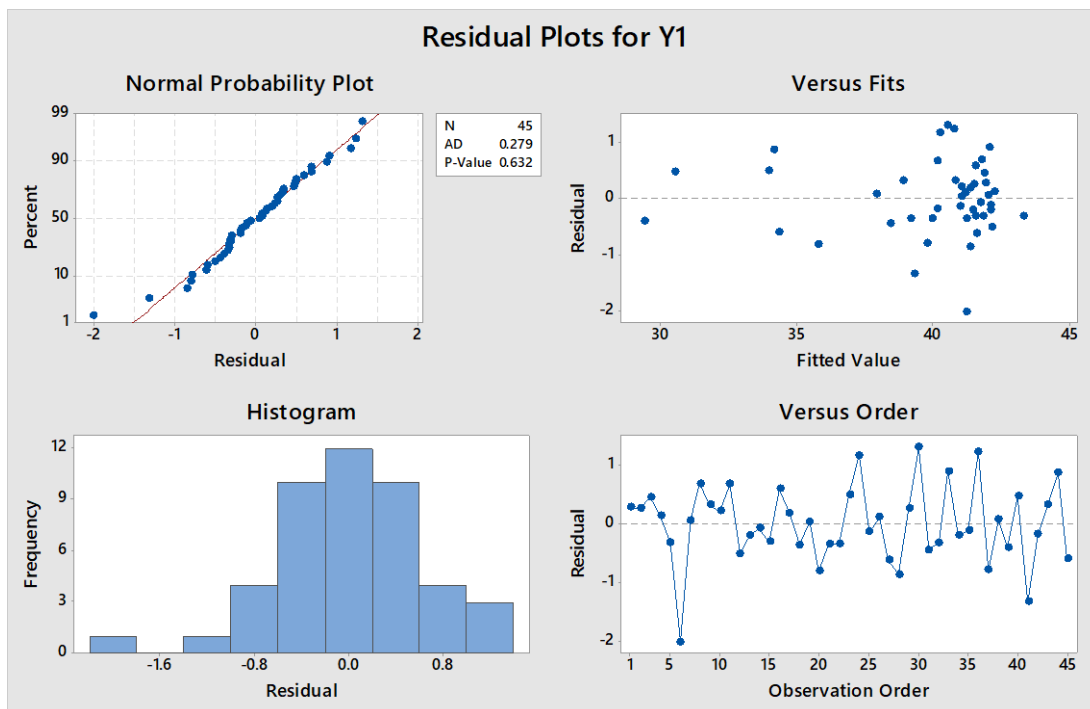
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	5	413.56	82.71	174.45	0.00	95.72%	95.17%
Linear	3	401.69	133.90	282.41	0.00		
X1	1	10.28	10.28	21.68	0.00		
X2	1	168.86	168.86	356.15	0.00		
X5	1	0.01	0.01	0.02	0.89		
Square	1	8.88	8.88	18.73	0.00		
X2*X2	1	8.88	8.88	18.73	0.00		
2-Way Interaction	1	2.63	2.63	5.55	0.02		
X2*X5	1	2.63	2.63	5.55	0.02		
Error	39	18.49	0.47				
Total	44	432.05					

ตารางที่ 3.21 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยแบบก้ำจัดตัวแปรแบบถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชิงพีลิ่ง A

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	38.107	0.20	190.49	0.00
X1	-1.16	0.25	-4.66	0.00
X2	6.486	0.34	18.87	0.00
X5	-0.048	0.33	-0.15	0.89
X2*X2	-2.657	0.61	-4.33	0.00
X2*X5	1.285	0.55	2.36	0.02

หลังจากได้สมการถดถอยแล้วทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมการ (Model Adequacy Checking) โดยวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual analysis) ว่าเป็นไปตามสมมติฐานหรือไม่ โดยตรวจสอบความถูกต้องของสมการตามสมมติฐาน 3 ข้อ ได้แก่

1. การแจกแจงของส่วนตกค้างแบบปกติ (Normal Probability)
2. ส่วนตกค้างเทียบกับตัวแปรตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Residual Plots Versus Fitted Values)
3. ส่วนตกค้างตามลำดับเวลา (Plot of Residuals in Time Sequence)



รูปที่ 3.9 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการการถดถอยแบบกำลังตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปร  
ตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง A

จากรูป 3.9 พบว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Normal Probability Plot) มีลักษณะเป็นเส้นตรง เมื่อพิจารณาการทดสอบการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ที่ระดับนัยสำคัญ  $\alpha=0.05$  พบว่าค่า P-value ของส่วนตกค้าง เท่ากับ 0.612 ซึ่งมีค่ามากกว่าแอลฟา 0.05 สรุปได้ว่า ส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ

กราฟการกระจายตัวระหว่างส่วนตกค้างเทียบกับตัวแปรตอบสนองมีการกระจายของความคลาดเคลื่อนไม่มีรูปแบบ สรุปได้ว่าข้อมูลมีความเสถียรต่อความแปรปรวน

แผนภาพฮิสโตแกรมของส่วนตกค้าง พบว่าข้อมูลส่วนใหญ่อยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงค่าศูนย์ มีการกระจายตัวเป็นทรงระฆังคว่ำซึ่งบอกลักษณะข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับเวลา มีการกระจายตัวของความคลาดเคลื่อนไม่มีรูปแบบชัดเจนแสดงถึงข้อมูลจึงมีความอิสระต่อกัน

สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (coded units) ระหว่างตัวแปรต้นกับตัวแปรตอบสนอง Y2 ดังตารางที่ 3.22-3.23 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า (R-sq(adj) เท่ากับ 67.27% เมื่อนำมาวิเคราะห์สมการถดถอยสามารถสร้างสมการได้ดังนี้

$$Y2 = -42.8 - 0.0950 X2 - 0.0933 X3 - 0.748 X4 + 0.295 X5 - 0.000268 X5^2 + 0.000107 X2X5 \quad (3.9)$$

ตารางที่ 3.22 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 สูตรเชื้อเพลิง A

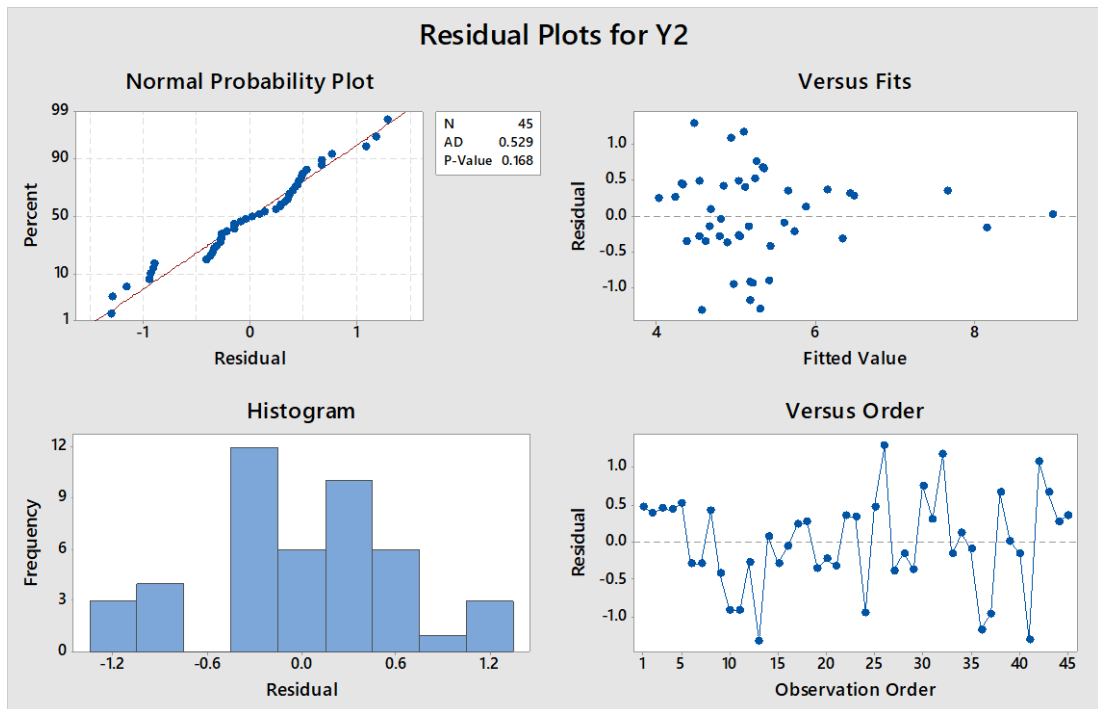
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	6	43.45	7.24	16.07	0.00	71.73%	67.27%
Linear	4	39.50	9.87	21.91	0.00		
X2	1	11.07	11.07	24.56	0.00		
X3	1	2.06	2.06	4.57	0.04		
X4	1	2.31	2.31	5.12	0.03		
X5	1	0.55	0.55	1.21	0.28		
Square	1	2.51	2.51	5.56	0.02		
X5*X5	1	2.51	2.51	5.56	0.02		
2-Way Interaction	1	4.61	4.61	10.24	0.00		
X2*X5	1	4.61	4.61	10.24	0.00		
Error	38	17.12	0.45				
Total	44	60.58					

ตารางที่ 3.23 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยแบบจำกัดตัวแปรแบบถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 สูตรเชิงพีลิ่ง A

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	6.21	0.21	29.64	0.00
X2	-1.93	0.39	-4.96	0.00
X3	-0.48	0.22	-2.14	0.04
X4	-0.56	0.25	-2.26	0.03
X5	0.39	0.36	1.10	0.28
X5*X5	-1.63	0.69	-2.36	0.02
X2*X5	1.85	0.58	3.20	0.00

หลังจากได้สมการถดถอยแล้วทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมการ (Model Adequacy Checking) โดยวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual analysis) ว่าเป็นไปตามสมมติฐานหรือไม่ โดยตรวจสอบความถูกต้องของสมการตามสมมติฐาน 3 ข้อ ได้แก่

1. การแจกแจงของส่วนตกค้างแบบปกติ (Normal Probability)
2. ส่วนตกค้างเทียบกับตัวแปรตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Residual Plots Versus Fitted Values)
3. ส่วนตกค้างตามลำดับเวลา (Plot of Residuals in Time Sequence)



รูปที่ 3.10 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการการถดถอยแบบกำลังตัวแปรแบบถอยหลังของตัวแปร  
ตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง A

จากรูป 3.10 พบว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Normal Probability Plot) มีลักษณะเป็นเส้นตรง เมื่อพิจารณาการทดสอบการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ที่ระดับนัยสำคัญ  $\alpha=0.05$  พบว่าค่า P-value ของส่วนตกค้าง เท่ากับ 0.168 ซึ่งมีค่ามากกว่าแอลฟา 0.05 สรุปได้ว่า ส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ

กราฟการกระจายตัวระหว่างส่วนตกค้างเทียบกับตัวแปรตอบสนองมีการกระจายของความคลาดเคลื่อนไม่มีรูปแบบ สรุปได้ว่าข้อมูลมีความเสถียรต่อความแปรปรวน

แผนภาพฮิสโตแกรมของส่วนตกค้าง พบว่าข้อมูลส่วนใหญ่อยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงค่าศูนย์ มีการกระจายตัวเป็นทรงระฆังคว่ำซึ่งบอกถึงข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับเวลา มีการกระจายตัวของความคลาดเคลื่อนไม่มีรูปแบบชัดเจนแสดงถึงข้อมูลจึงมีความอิสระต่อกัน

### 3.3.1.2 การวิเคราะห์ตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการ

จากการเก็บข้อมูลจำนวน 45 ข้อมูลของสูตรเชื้อเพลิง A ดังภาคผนวกที่ ก นำมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า (R-sq(adj) ของตัวแบบสมการถดถอย ด้วยโปรแกรม minitab18 พิจารณาสมการในรูปแบบฟังก์ชันกำลังสอง (Quadratic function) โดยพิจารณา X8 (สัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง) แทนอิทธิพลร่วม  $X_2^2 \times X_3$  (อัตราการป้อนเชื้อเพลิง\*อัตราการป้อนอากาศ) แบ่งเป็นการวิเคราะห์สมการตามหลักสถิติ 4 รูปแบบ ดังนี้

1. พิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัวในสมการ (Full model)
2. การเลือกตัวแปรโดยการเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอน (Stepwise regression) โดยพิจารณา  $\alpha$  to enter = 0.15 และ  $\alpha$  to remove = 0.15
3. การเลือกตัวแปรแบบเดินหน้า (Forward selection) โดยพิจารณา  $\alpha$  to enter = 0.25
4. การกำจัดตัวแปรแบบถอยหลัง (Backward elimination) โดยพิจารณา  $\alpha$  to remove = 0.10

พิจารณาตัวแปรนำเข้าดังนี้

อิทธิพลหลัก คือ

- X1 (ความชื้นเชื้อเพลิง)
- X2 (อัตราการป้อนเชื้อเพลิง)
- X3 (อัตราการป้อนอากาศ)
- X4 (ความดันเตาเผาไหม้)
- X5 (อุณหภูมิเตาเผาไหม้)

อิทธิพลร่วม คือ

- X1\*X2 (ความชื้นเชื้อเพลิง\*อัตราการป้อนเชื้อเพลิง)
- X1\*X3 (ความชื้นเชื้อเพลิง\*อัตราการป้อนอากาศ)
- X1\*X4 (ความชื้นเชื้อเพลิง\*ความดันเตาเผาไหม้)
- X1\*X5 (ความชื้นเชื้อเพลิง\*อุณหภูมิเตาเผาไหม้)
- X8 (สัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง)
- X2\*X4 (อัตราการป้อนเชื้อเพลิง\*ความดันเตาเผาไหม้)
- X2\*X5 (อัตราการป้อนเชื้อเพลิง\*อุณหภูมิเตาเผาไหม้)
- X3\*X4 (อัตราการป้อนอากาศ\*ความดันเตาเผาไหม้)
- X3\*X5 (อัตราการป้อนอากาศ\*อุณหภูมิเตาเผาไหม้)
- X4\*X5 (ความดันเตาเผาไหม้\*อุณหภูมิเตาเผาไหม้)

เทอมกำลังสอง คือ

- X1\*X1 (ความชื้นเชื้อเพลิง\*ความชื้นเชื้อเพลิง)



X2\*X2 (อัตราการบินเชื้อเพลิง\*อัตราการบินเชื้อเพลิง)

X3\*X3 (อัตราการบินอากาศ\*อัตราการบินอากาศ)

X4\*X4 (ความดันเตาเผาใหม่\*ความดันเตาเผาใหม่)

X5\*X5 (อุณหภูมิเตาเผาใหม่\*อุณหภูมิเตาเผาใหม่)

### 3.3.1.2.1 พิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัวในสมการ (Full model)

การพิจารณาตัวแปรแบบ Full model โดยพิจารณาตัวแปรทุกตัวในสมการและอิทธิพลร่วมระหว่างตัวแปรนำเข้า จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (coded units) ดังตารางที่ 3.24-3.25 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า (R-sq(adj) ระหว่างตัวแปรต้นกับตัวแปรตอบสนอง Y1 เท่ากับ 95.18% เมื่อนำมาวิเคราะห์สมการถดถอยสามารถสร้างสมการได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 Y1 = & 35 + 1.03 X1 - 0.104 X2 + 5.57 X3 + 19.4 X4 + 0.055 X5 & (3.10) \\
 & - 34.9 X8 - 0.0293 X1^2 - 0.000028 X2^2 - 0.0131 X3^2 + 0.49 X4^2 \\
 & - 0.000107 X5^2 - 0.001617 X1X2 + 0.0397 X1X3 - 0.087 X1X4 \\
 & + 0.00111 X1X5 + 0.01103 X2X4 + 0.000230 X2X5 \\
 & - 0.344 X3X4 - 0.00456 X3X5 - 0.0135 X4X5
 \end{aligned}$$

ตารางที่ 3.24 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบทุกตัวแปรของตัวแปรตอบสนอง Y1 สูตรเชื้อเพลิง A

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	20	420.69	21.03	44.41	0.00	97.37%	95.18%
Linear	6	113.33	18.89	39.88	0.00		
X1	1	0.01	0.01	0.02	0.88		
X2	1	0.82	0.82	1.72	0.20		
X3	1	1.93	1.93	4.07	0.06		
X4	1	0.05	0.05	0.10	0.75		
X5	1	0.31	0.31	0.66	0.43		
X8	1	1.72	1.72	3.62	0.07		
Square	5	4.35	0.87	1.84	0.14		
X1*X1	1	1.52	1.52	3.21	0.09		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X2*X2	1	0.46	0.46	0.97	0.33		
X3*X3	1	0.10	0.10	0.21	0.65		
X4*X4	1	0.11	0.11	0.23	0.64		
X5*X5	1	0.29	0.29	0.61	0.44		
2-Way Interaction	9	5.96	0.66	1.40	0.24		
X1*X2	1	1.29	1.29	2.72	0.11		
X1*X3	1	0.96	0.96	2.02	0.17		
X1*X4	1	0.13	0.13	0.27	0.61		
X1*X5	1	0.11	0.11	0.23	0.64		
X2*X4	1	1.38	1.38	2.92	0.10		
X2*X5	1	4.02	4.02	8.49	0.01		
X3*X4	1	0.78	0.78	1.65	0.21		
X3*X5	1	1.98	1.98	4.19	0.05		
X4*X5	1	0.30	0.30	0.64	0.43		
Error	24	11.37	0.47				
Total	44	432.05					

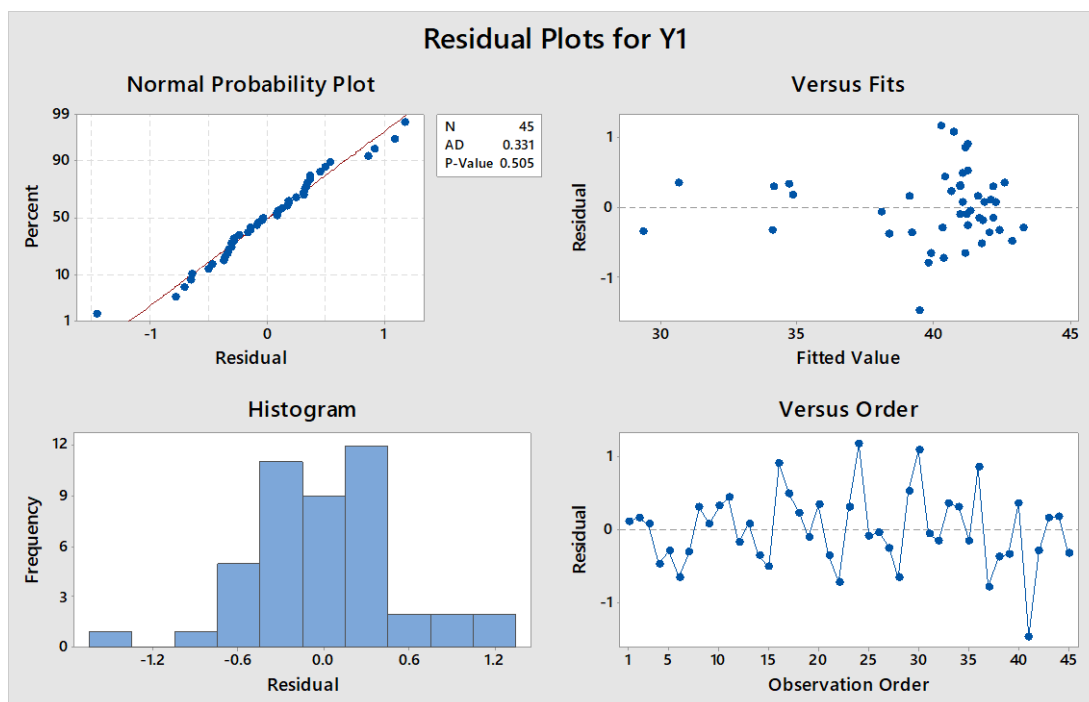
ตารางที่ 3.25 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบทุกตัวแปรของตัวแปรตอบสนอง Y1 สูตรเชื้อเพลิง A

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	39.12	0.63	62.28	0.00
X1	-0.12	0.77	-0.15	0.88
X2	-14.00	10.70	-1.31	0.20
X3	11.77	5.83	2.02	0.06
X4	0.20	0.62	0.32	0.75

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
X5	-0.52	0.65	-0.81	0.43
X8	-18.69	9.82	-1.90	0.07
X1*X1	-1.20	0.67	-1.79	0.09
X2*X2	-1.38	1.40	-0.99	0.33
X3*X3	-0.34	0.74	-0.46	0.65
X4*X4	0.28	0.58	0.48	0.64
X5*X5	-0.65	0.84	-0.78	0.44
X1*X2	-2.29	1.39	-1.65	0.11
X1*X3	1.30	0.91	1.42	0.17
X1*X4	-0.42	0.80	-0.52	0.61
X1*X5	0.56	1.16	0.48	0.64
X2*X4	1.83	1.07	1.71	0.10
X2*X5	3.96	1.36	2.91	0.01
X3*X4	-1.31	1.02	-1.28	0.21
X3*X5	-1.81	0.89	-2.05	0.05
X4*X5	-0.79	0.99	-0.80	0.43

หลังจากได้ผลการถดถอยแล้วทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมการ (Model Adequacy Checking) โดยวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual analysis) ว่าเป็นไปตามสมมติฐานหรือไม่ โดยตรวจสอบความถูกต้องของสมการตามสมมติฐาน 3 ข้อ ได้แก่

1. การแจกแจงของส่วนตกค้างแบบปกติ (Normal Probability)
2. ส่วนตกค้างเทียบกับตัวแปรตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Residual Plots Versus Fitted Values)
3. ส่วนตกค้างตามลำดับเวลา (Plot of Residuals in Time Sequence)



รูปที่ 3.11 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปร  
ตอบสนอง Y1 สูตรเชื้อเพลิง A

จากรูป 3.11 พบว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Normal Probability Plot) มีลักษณะเป็นเส้นตรง เมื่อพิจารณาการทดสอบการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ที่ระดับนัยสำคัญ  $\alpha=0.05$  พบว่าค่า P-value ของส่วนตกค้าง เท่ากับ 0.505 ซึ่งมีค่ามากกว่าแอลฟา 0.05 สรุปได้ว่า ส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ

กราฟการกระจายตัวระหว่างส่วนตกค้างเทียบกับตัวแปรตอบสนองมีการกระจายของความคลาดเคลื่อนไม่มีรูปแบบ สรุปได้ว่าข้อมูลมีความเสถียรต่อความแปรปรวน

แผนภาพฮิสโตแกรมของส่วนตกค้าง พบว่าข้อมูลส่วนใหญ่อยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงค่าศูนย์ มีการกระจายตัวเป็นทรงระฆังคว่ำซึ่งบ่งชี้ข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับเวลา มีการกระจายตัวของความคลาดเคลื่อนไม่มีรูปแบบชัดเจนแสดงถึงข้อมูลจึงมีความอิสระต่อกัน

สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (coded units) ระหว่างตัวแปรต้นกับตัวแปรตอบสนอง Y2 ดังตารางที่ 3.50-3.51 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า (R-sq(adj) เท่ากับ 60.95% เมื่อนำมาวิเคราะห์สมการถดถอยสามารถสร้างสมการได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 Y_2 = & 318 - 0.41 X_1 - 0.246 X_2 - 3.33 X_3 + 28.5 X_4 + 0.172 X_5 \\
 & - 26.7 X_8 - 0.0259 X_1^2 + 0.000038 X_2^2 + 0.0316 X_3^2 \\
 & + 0.83 X_4^2 - 0.000251 X_5^2 - 0.00051 X_1 X_2 + 0.0287 X_1 X_3 \\
 & - 0.154 X_1 X_4 + 0.00153 X_1 X_5 - 0.00151 X_2 X_4 \\
 & + 0.000108 X_2 X_5 - 0.096 X_3 X_4 + 0.00033 X_3 X_5 - 0.0164 X_4 X_5
 \end{aligned}
 \tag{3.11}$$

ตารางที่ 3.26 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบพิจารณาทุกตัวแปรของตัวแปรตอบสนอง Y2 สูตรเชื้อเพลิง A

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	20	47.67	2.38	4.43	0.00	78.70%	60.95%
Linear	6	19.41	3.23	6.02	0.00		
X1	1	0.06	0.06	0.11	0.74		
X2	1	1.24	1.24	2.31	0.14		
X3	1	0.76	0.76	1.41	0.25		
X4	1	0.38	0.38	0.71	0.41		
X5	1	0.00	0.00	0.00	0.98		
X8	1	1.01	1.01	1.87	0.18		
Square	5	3.48	0.70	1.29	0.30		
X1*X1	1	1.19	1.19	2.22	0.15		
X2*X2	1	0.81	0.81	1.50	0.23		
X3*X3	1	0.58	0.58	1.09	0.31		
X4*X4	1	0.31	0.31	0.58	0.46		
X5*X5	1	1.59	1.59	2.95	0.10		
2-Way Interaction	9	4.16	0.46	0.86	0.57		
X1*X2	1	0.13	0.13	0.24	0.63		
X1*X3	1	0.50	0.50	0.93	0.34		
X1*X4	1	0.40	0.40	0.74	0.40		
X1*X5	1	0.20	0.20	0.38	0.54		
X2*X4	1	0.03	0.03	0.05	0.83		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X2*X5	1	0.88	0.88	1.64	0.21		
X3*X4	1	0.06	0.06	0.11	0.74		
X3*X5	1	0.01	0.01	0.02	0.89		
X4*X5	1	0.45	0.45	0.84	0.37		
Error	24	12.90	0.54				
Total	44	60.58					

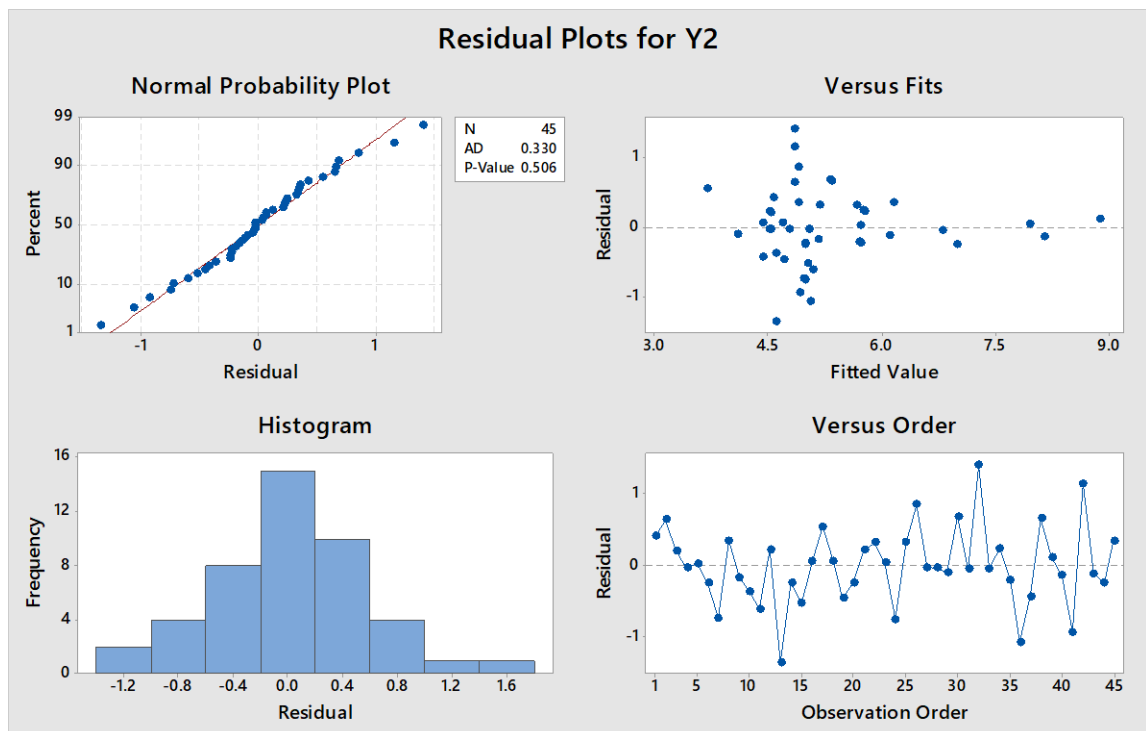
ตารางที่ 3.27 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบพิจารณาทุกตัวแปรของตัวแปรตอบสนอง Y2 สูตรเชื้อเพลิง A

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	6.57	0.67	9.82	0.00
X1	0.27	0.82	0.33	0.74
X2	-17.30	11.40	-1.52	0.14
X3	7.39	6.21	1.19	0.25
X4	0.55	0.66	0.84	0.41
X5	-0.02	0.69	-0.03	0.98
X8	-14.30	10.50	-1.37	0.18
X1*X1	-1.07	0.72	-1.49	0.15
X2*X2	1.83	1.49	1.23	0.23
X3*X3	0.82	0.79	1.04	0.31
X4*X4	0.47	0.62	0.76	0.46
X5*X5	-1.53	0.89	-1.72	0.10
X1*X2	-0.73	1.48	-0.49	0.63
X1*X3	0.94	0.97	0.97	0.34
X1*X4	-0.74	0.86	-0.86	0.40

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
X1*X5	0.76	1.24	0.62	0.54
X2*X4	-0.25	1.14	-0.22	0.83
X2*X5	1.85	1.45	1.28	0.21
X3*X4	-0.37	1.09	-0.34	0.74
X3*X5	0.13	0.94	0.14	0.89
X4*X5	-0.96	1.05	-0.91	0.37

หลังจากได้สมการถดถอยแล้วทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมการ (Model Adequacy Checking) โดยวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual analysis) ว่าเป็นไปตามสมมติฐานหรือไม่ โดยตรวจสอบความถูกต้องของสมการตามสมมติฐาน 3 ข้อ ได้แก่

1. การแจกแจงของส่วนตกค้างแบบปกติ (Normal Probability)
2. ส่วนตกค้างเทียบกับตัวแปรตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Residual Plots Versus Fitted Values)
3. ส่วนตกค้างตามลำดับเวลา (Plot of Residuals in Time Sequence)



รูปที่ 3.12 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบพิจารณาทุกตัวแปรของตัวแปรตอบสนอง Y2 สูตรเชื้อเพลิง A

จากรูป 3.12 พบว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Normal Probability Plot) มีลักษณะเป็นเส้นตรง เมื่อพิจารณาการทดสอบการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ที่ระดับนัยสำคัญ  $\alpha=0.05$  พบว่าค่า P-value ของส่วนตกค้าง เท่ากับ 0.506 ซึ่งมีค่ามากกว่าแอลฟา 0.05 สรุปได้ว่า ส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ

กราฟการกระจายตัวระหว่างส่วนตกค้างเทียบกับตัวแปรตอบสนองมีการกระจายของความคลาดเคลื่อนไม่มีรูปแบบ สรุปได้ว่าข้อมูลมีความเสถียรต่อความแปรปรวน

แผนภาพฮิสโตแกรมของส่วนตกค้าง พบว่าข้อมูลส่วนใหญ่อยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงค่าศูนย์ มีการกระจายตัวเป็นทรงระฆังคว่ำซึ่งบ่งชี้ข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับเวลา มีการกระจายตัวของความคลาดเคลื่อนไม่มีรูปแบบชัดเจนแสดงถึงข้อมูลจึงมีความอิสระต่อกัน



### 3.3.1.2.2 การเลือกตัวแปรโดยการเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอน (Stepwise regression)

การวิเคราะห์ตัวแปรแบบ Stepwise regression (การเลือกตัวแปรโดยการเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอน) พิจารณาค่าแอลฟาในการนำตัวแปรเข้าและตัดตัวแปรออกของสมการที่ 0.15 จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (code units) ดังตารางที่ 3.28-3.29 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า (R-sq(adj)) ระหว่างตัวแปรต้นกับตัวแปรตอบสนอง Y1 เท่ากับ 95.17% เมื่อนำมาวิเคราะห์สมการถดถอยสามารถสร้างสมการได้ดังนี้

$$Y1 = -7.5 - 0.1809 X1 + 0.1113 X2 - 0.0977 X5 - 0.000054 X2^2 + 0.000075 X2X5 \quad (3.12)$$

ตารางที่ 3.28 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง A

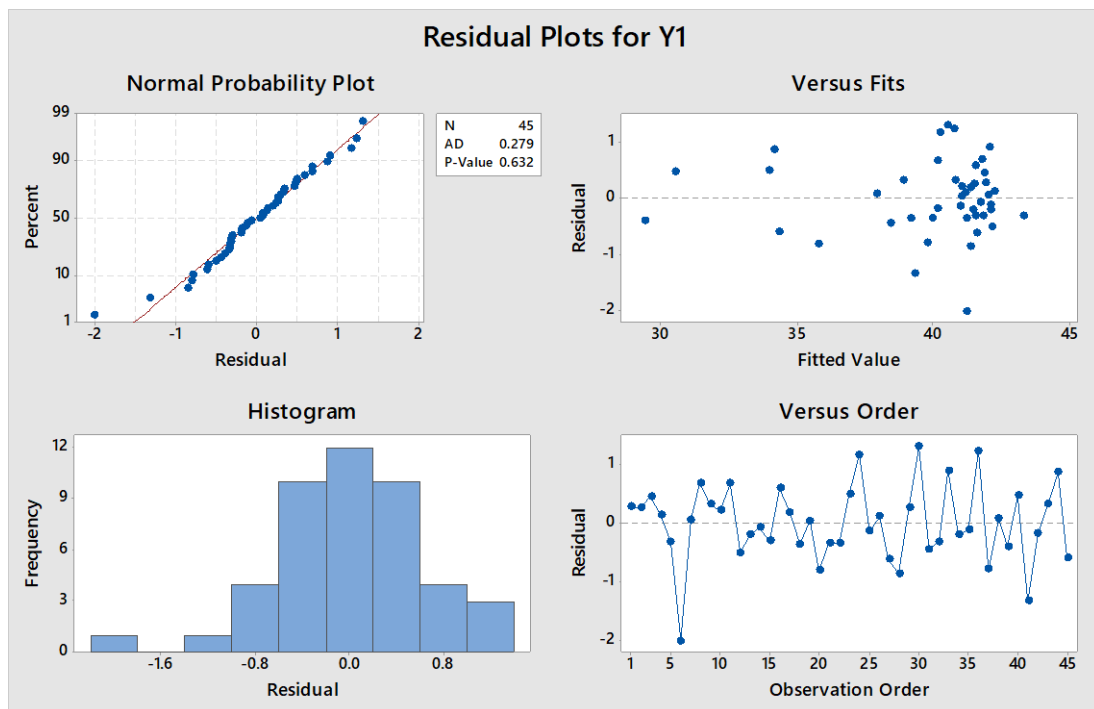
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	5	413.56	82.71	174.45	0.00	95.72%	95.17%
Linear	3	401.69	133.90	282.41	0.00		
X1	1	10.28	10.28	21.68	0.00		
X2	1	168.86	168.86	356.15	0.00		
X5	1	0.01	0.01	0.02	0.89		
Square	1	8.88	8.88	18.73	0.00		
X2*X2	1	8.88	8.88	18.73	0.00		
2-Way Interaction	1	2.63	2.63	5.55	0.02		
X2*X5	1	2.63	2.63	5.55	0.02		
Error	39	18.49	0.47				
Total	44	432.05					

ตารางที่ 3.29 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชิงพีลิ่ง A

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	38.107	0.2	190.49	0
X1	-1.16	0.25	-4.66	0.00
X2	6.49	0.34	18.87	0.00
X5	-0.05	0.33	-0.15	0.89
X2*X2	-2.66	0.61	-4.33	0.00
X2*X5	1.29	0.55	2.36	0.02

หลังจากได้สมการถดถอยแล้วทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมการ (Model Adequacy Checking) โดยวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual analysis) ว่าเป็นไปตามสมมติฐานหรือไม่ โดยตรวจสอบความถูกต้องของสมการตามสมมติฐาน 3 ข้อ ได้แก่

1. การแจกแจงของส่วนตกค้างแบบปกติ (Normal Probability)
2. ส่วนตกค้างเทียบกับตัวแปรตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Residual Plots Versus Fitted Values)
3. ส่วนตกค้างตามลำดับเวลา (Plot of Residuals in Time Sequence)



รูปที่ 3.13 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง A

จากรูป 3.13 พบว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Normal Probability Plot) มีลักษณะเป็นเส้นตรง เมื่อพิจารณาการทดสอบการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ที่ระดับนัยสำคัญ  $\alpha=0.05$  พบว่าค่า P-value ของส่วนตกค้าง เท่ากับ 0.632 ซึ่งมีค่ามากกว่าแอลฟา 0.05 สรุปได้ว่า ส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ

กราฟการกระจายตัวระหว่างส่วนตกค้างเทียบกับตัวแปรตอบสนองมีการกระจายของความคลาดเคลื่อนไม่มีรูปแบบ สรุปได้ว่าข้อมูลมีความเสถียรต่อความแปรปรวน

แผนภาพฮิสโตแกรมของส่วนตกค้าง พบว่าข้อมูลส่วนใหญ่อยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงค่าศูนย์ มีการกระจายตัวเป็นทรงระฆังคว่ำซึ่งบอกถึงข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับเวลา มีการกระจายตัวของความคลาดเคลื่อนไม่มีรูปแบบชัดเจนแสดงถึงข้อมูลจึงมีความอิสระต่อกัน

สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (coded units) ระหว่างตัวแปรต้นกับตัวแปรตอบสนอง Y2 ดังตารางที่ 3.58-3.59 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า (R-sq(adj) เท่ากับ 68.82% เมื่อนำมาวิเคราะห์สมการถดถอยสามารถสร้างสมการได้ดังนี้

$$Y_2 = 217.9 - 0.00479 X_2 - 7.33 X_3 + 15.24 X_4 + 0.014 X_5 + 0.0370 X_3^2 - 0.000150 X_5^2 + 0.00387 X_3 X_5 - 0.0188 X_4 X_5 \quad (3.13)$$

ตารางที่ 3.30 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง  $Y_2$  แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง A

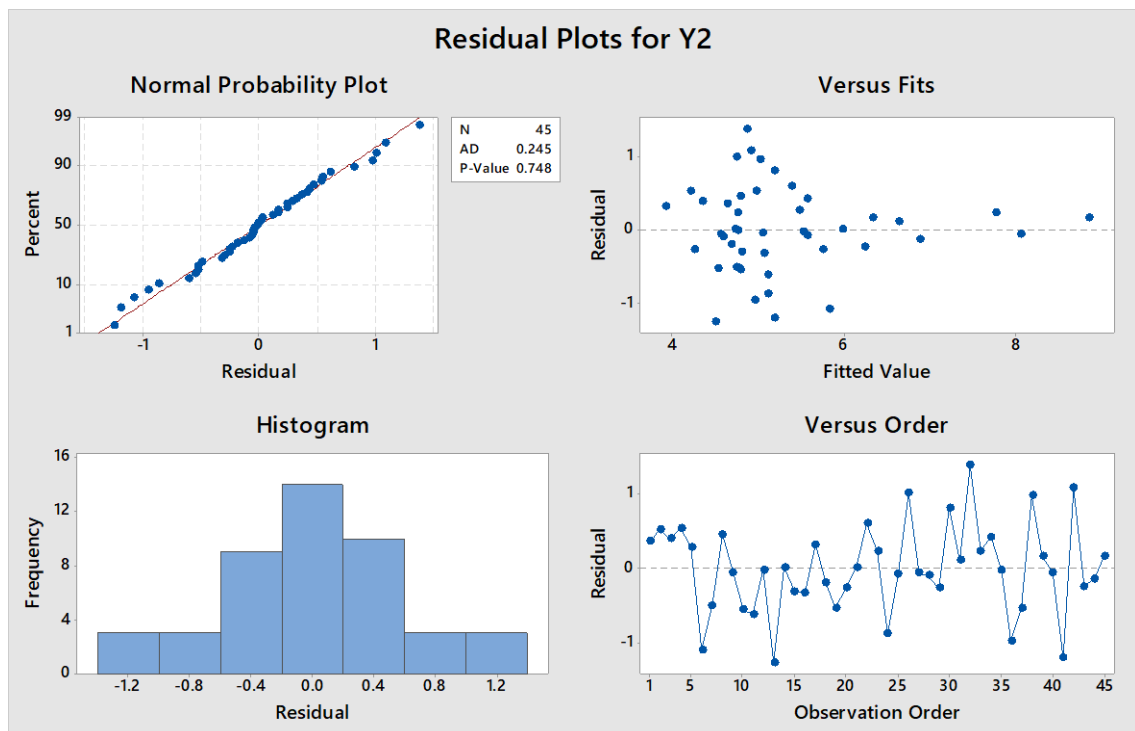
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	8	45.12	5.64	13.14	0.00	74.49%	68.82%
Linear	4	36.18	9.04	21.07	0.00		
X2	1	3.23	3.23	7.52	0.01		
X3	1	7.36	7.36	17.16	0.00		
X4	1	0.02	0.02	0.06	0.81		
X5	1	0.14	0.14	0.33	0.57		
Square	2	2.38	1.19	2.78	0.08		
X3*X3	1	1.37	1.37	3.20	0.08		
X5*X5	1	1.15	1.15	2.69	0.11		
2-Way Interaction	2	4.91	2.45	5.72	0.01		
X3*X5	1	4.87	4.87	11.34	0.00		
X4*X5	1	1.26	1.26	2.94	0.10		
Error	36	15.45	0.43				
Total	44.00	60.58					

ตารางที่ 3.31 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชิงพีลิ่ง A

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.78	0.322	17.93	0
X2	-1.06	0.39	-2.74	0.01
X3	-1.31	0.32	-4.14	0.00
X4	0.10	0.43	0.24	0.81
X5	0.21	0.36	0.57	0.57
X3*X3	0.96	0.54	1.79	0.08
X5*X5	-0.91	0.56	-1.64	0.11
X3*X5	1.54	0.46	3.37	0.00
X4*X5	-1.10	0.64	-1.71	0.10

หลังจากได้สมการถดถอยแล้วทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมการ (Model Adequacy Checking) โดยวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual analysis) ว่าเป็นไปตามสมมติฐานหรือไม่ โดยตรวจสอบความถูกต้องของสมการตามสมมติฐาน 3 ข้อ ได้แก่

1. การแจกแจงของส่วนตกค้างแบบปกติ (Normal Probability)
2. ส่วนตกค้างเทียบกับตัวแปรตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Residual Plots Versus Fitted Values)
3. ส่วนตกค้างตามลำดับเวลา (Plot of Residuals in Time Sequence)



รูปที่ 3.14 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง A

จากรูป 3.14 พบว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Normal Probability Plot) มีลักษณะเป็นเส้นตรง เมื่อพิจารณาการทดสอบการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ที่ระดับนัยสำคัญ  $\alpha=0.05$  พบว่าค่า P-value ของส่วนตกค้าง เท่ากับ 0.748 ซึ่งมีค่ามากกว่าแอลฟา 0.05 สรุปได้ว่า ส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ

กราฟการกระจายตัวระหว่างส่วนตกค้างเทียบกับตัวแปรตอบสนองมีการกระจายของความคลาดเคลื่อนไม่มีรูปแบบ สรุปได้ว่าข้อมูลมีความเสถียรต่อความแปรปรวน

แผนภาพฮิสโตแกรมของส่วนตกค้าง พบว่าข้อมูลส่วนใหญ่อยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงค่าศูนย์ มีการกระจายตัวเป็นทรงระฆังคว่ำซึ่งบอถึงข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับเวลา มีการกระจายตัวของความคลาดเคลื่อนไม่มีรูปแบบชัดเจนแสดงถึงข้อมูลจึงมีความอิสระต่อกัน

### 3.3.1.2.3 การเลือกตัวแปรแบบเดินหน้า (Forward selection)

การพิจารณาตัวแปรแบบ Forward selection (การเลือกตัวแปรแบบเดินหน้า) พิจารณาค่าแอลฟาในการนำตัวแปรเข้าสมการที่ 0.25 จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (code units) ดังตารางที่ 3.32-3.33 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า (R-sq(adj)) ระหว่างตัวแปรต้นกับตัวแปรตอบสนอง Y1 เท่ากับ 95.17% เมื่อนำมาวิเคราะห์สมการถดถอยสามารถสร้างสมการได้ดังนี้

$$Y1 = -7.5 - 0.1809 X1 + 0.1113 X2 - 0.0977 X5 - 0.000054 X2^2 + 0.000075 X2X5 \quad (3.14)$$

ตารางที่ 3.32 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง A

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	5	413.56	82.71	174.45	0.00	95.72%	95.17%
Linear	3	401.69	133.90	282.41	0.00		
X1	1	10.28	10.28	21.68	0.00		
X2	1	168.86	168.86	356.15	0.00		
X5	1	0.01	0.01	0.02	0.89		
Square	1	8.88	8.88	18.73	0.00		
X2*X2	1	8.88	8.88	18.73	0.00		
2-Way Interaction	1	2.63	2.63	5.55	0.02		
X2*X5	1	2.63	2.63	5.55	0.02		
Error	39	18.49	0.47				
Total	44	432.05					

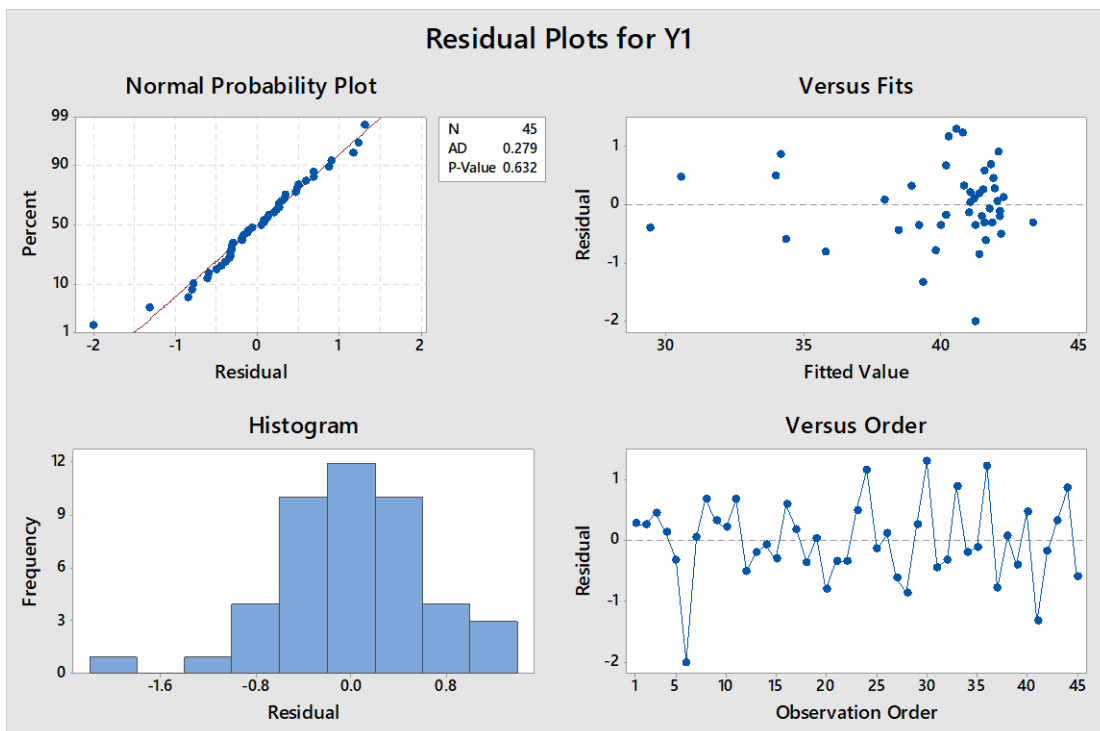
ตารางที่ 3.33 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดิหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตร เชื้อเพลิง A

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	38.11	0.20	190.49	0.00
X1	-1.16	0.25	-4.66	0.00
X2	6.49	0.34	18.87	0.00
X5	-0.05	0.33	-0.15	0.89
X2*X2	-2.66	0.61	-4.33	0.00
X2*X5	1.29	0.55	2.36	0.02

หลังจากได้สมการถดถอยแล้วทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมการ (Model Adequacy Checking) โดยวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual analysis) ว่าเป็นไปตามสมมติฐานหรือไม่ โดยตรวจสอบความถูกต้องของสมการตามสมมติฐาน 3 ข้อ ได้แก่

1. การแจกแจงของส่วนตกค้างแบบปกติ (Normal Probability)
2. ส่วนตกค้างเทียบกับตัวแปรตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Residual Plots Versus Fitted Values)
3. ส่วนตกค้างตามลำดับเวลา (Plot of Residuals in Time Sequence)





รูปที่ 3.15 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินทางของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง A

จากรูป 3.15 พบว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Normal Probability Plot) มีลักษณะเป็นเส้นตรง เมื่อพิจารณาการทดสอบการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ที่ระดับนัยสำคัญ  $\alpha=0.05$  พบว่าค่า P-value ของส่วนตกค้าง เท่ากับ 0.632 ซึ่งมีค่ามากกว่าแอลฟา 0.05 สรุปได้ว่า ส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ

กราฟการกระจายตัวระหว่างส่วนตกค้างเทียบกับตัวแปรตอบสนองมีการกระจายของความคลาดเคลื่อนไม่มีรูปแบบ สรุปได้ว่าข้อมูลมีความเสถียรต่อความแปรปรวน

แผนภาพฮิสโตแกรมของส่วนตกค้าง พบว่าข้อมูลส่วนใหญ่อยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงค่าศูนย์ มีการกระจายตัวเป็นทรงระฆังคว่ำซึ่งบ่งชี้ข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับเวลา มีการกระจายตัวของความคลาดเคลื่อนไม่มีรูปแบบชัดเจนแสดงถึงข้อมูลจึงมีความอิสระต่อกัน

สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (coded units) ระหว่างตัวแปรต้นกับตัวแปรตอบสนอง Y2 ดังตารางที่ 3.34-3.35 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า (R-sq(adj) เท่ากับ 69.16% เมื่อนำมาวิเคราะห์สมการถดถอยสามารถสร้างสมการได้ดังนี้

$$Y2 = 156 - 0.0506 X2 - 5.85 X3 + 13.74 X4 + 0.140 X5 + 0.0332 X3^2 - 0.000228 X5^2 + 0.000055 X2X5 + 0.00257 X3X5 - 0.0171 X4X5 \quad (3.15)$$

ตารางที่ 3.34 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตร เชื้อเพลิง A

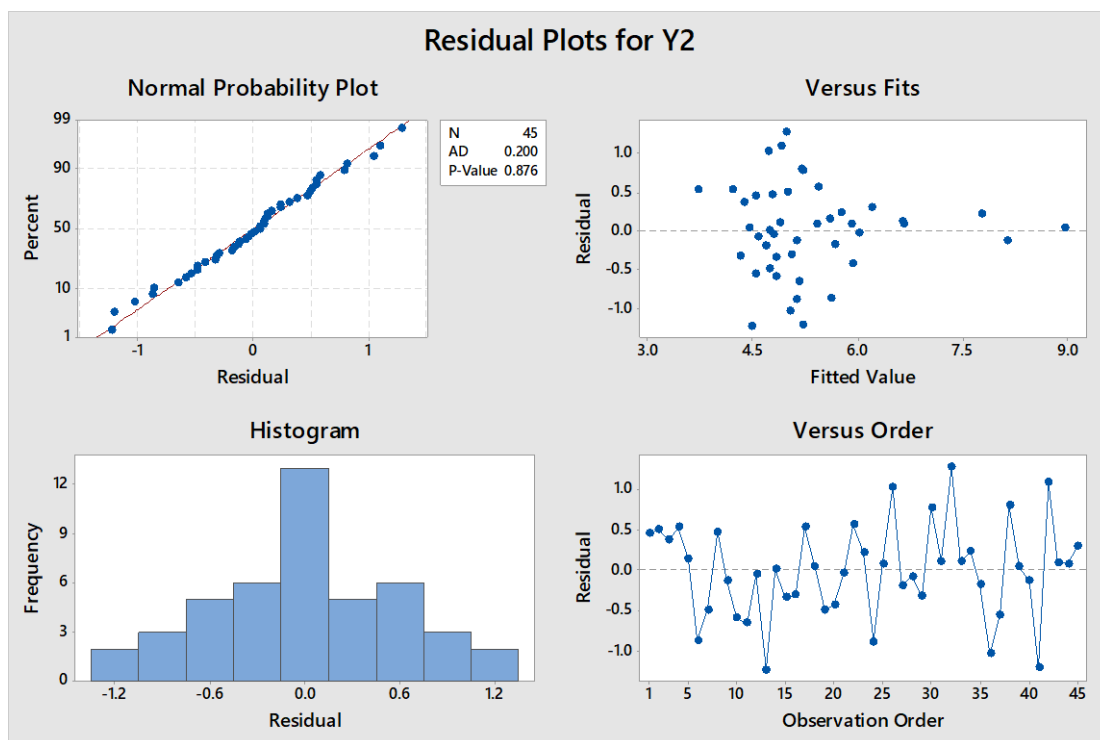
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	9	45.71	5.08	11.96	0.00	75.47%	69.16%
Linear	4	36.70	9.17	21.61	0.00		
X2	1	3.69	3.69	8.70	0.01		
X3	1	4.21	4.21	9.92	0.00		
X4	1	0.00	0.00	0.00	0.99		
X5	1	0.31	0.31	0.72	0.40		
Square	2	2.94	1.47	3.47	0.04		
X3*X3	1	1.08	1.08	2.55	0.12		
X5*X5	1	1.74	1.74	4.11	0.05		
2-Way Interaction	3	5.50	1.83	4.32	0.01		
X2*X5	1	0.59	0.59	1.39	0.25		
X3*X5	1	1.12	1.12	2.64	0.11		
X4*X5	1	1.03	1.03	2.42	0.13		
Error	35	14.86	0.42				
Total	44	60.58					

ตารางที่ 3.35 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินทางหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชิงพีลิปิง A

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.839	0.325	17.99	0.00
X2	-1.36	0.46	-2.95	0.01
X3	-1.12	0.36	-3.15	0.00
X4	0.01	0.44	0.01	0.99
X5	0.31	0.37	0.85	0.40
X3*X3	0.86	0.54	1.60	0.12
X5*X5	-1.39	0.69	-2.03	0.05
X2*X5	0.95	0.81	1.18	0.25
X3*X5	1.02	0.63	1.62	0.11
X4*X5	-1.00	0.64	-1.55	0.13

หลังจากได้สมการถดถอยแล้วทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมการ (Model Adequacy Checking) โดยวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual analysis) ว่าเป็นไปตามสมมติฐานหรือไม่ โดยตรวจสอบความถูกต้องของสมการตามสมมติฐาน 3 ข้อ ได้แก่

1. การแจกแจงของส่วนตกค้างแบบปกติ (Normal Probability)
2. ส่วนตกค้างเทียบกับตัวแปรตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Residual Plots Versus Fitted Values)
3. ส่วนตกค้างตามลำดับเวลา (Plot of Residuals in Time Sequence)



รูปที่ 3.16 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินทางของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง A

จากรูป 3.16 พบว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Normal Probability Plot) มีลักษณะเป็นเส้นตรง เมื่อพิจารณาการทดสอบการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ที่ระดับนัยสำคัญ  $\alpha=0.05$  พบว่าค่า P-value ของส่วนตกค้าง เท่ากับ 0.876 ซึ่งมีค่ามากกว่าแอลฟา 0.05 สรุปได้ว่า ส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ

กราฟการกระจายตัวระหว่างส่วนตกค้างเทียบกับตัวแปรตอบสนองมีการกระจายของความคลาดเคลื่อนไม่มีรูปแบบ สรุปได้ว่าข้อมูลมีความเสถียรต่อความแปรปรวน

แผนภาพฮิสโตแกรมของส่วนตกค้าง พบว่าข้อมูลส่วนใหญ่อยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงค่าศูนย์ มีการกระจายตัวเป็นทรงระฆังคว่ำซึ่งบ่งชี้ข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับเวลา มีการกระจายตัวของความคลาดเคลื่อนไม่มีรูปแบบชัดเจนแสดงถึงข้อมูลจึงมีความอิสระต่อกัน

## 3.3.1.2.4 การกำจัดตัวแปรแบบถอยหลัง (Backward elimination)

การพิจารณาตัวแปรแบบ Backward elimination (การกำจัดตัวแปรแบบถอยหลัง) พิจารณาค่าแอลฟาในการตัดตัวแปรออกของสมการที่ 0.10 จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (coded units) ดังตารางที่ 3.36-3.37 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า (R-sq(adj) ระหว่างตัวแปรต้นกับตัวแปรตอบสนอง Y1 เท่ากับ 95.17% เมื่อนำมาวิเคราะห์สมการถดถอยสามารถสร้างสมการได้ดังนี้

$$Y1 = -7.5 - 0.1809 X1 + 0.1113 X2 - 0.0977 X5 - 0.000054 X2^2 + 0.000075 X2X5 \quad (3.16)$$

ตารางที่ 3.36 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง A

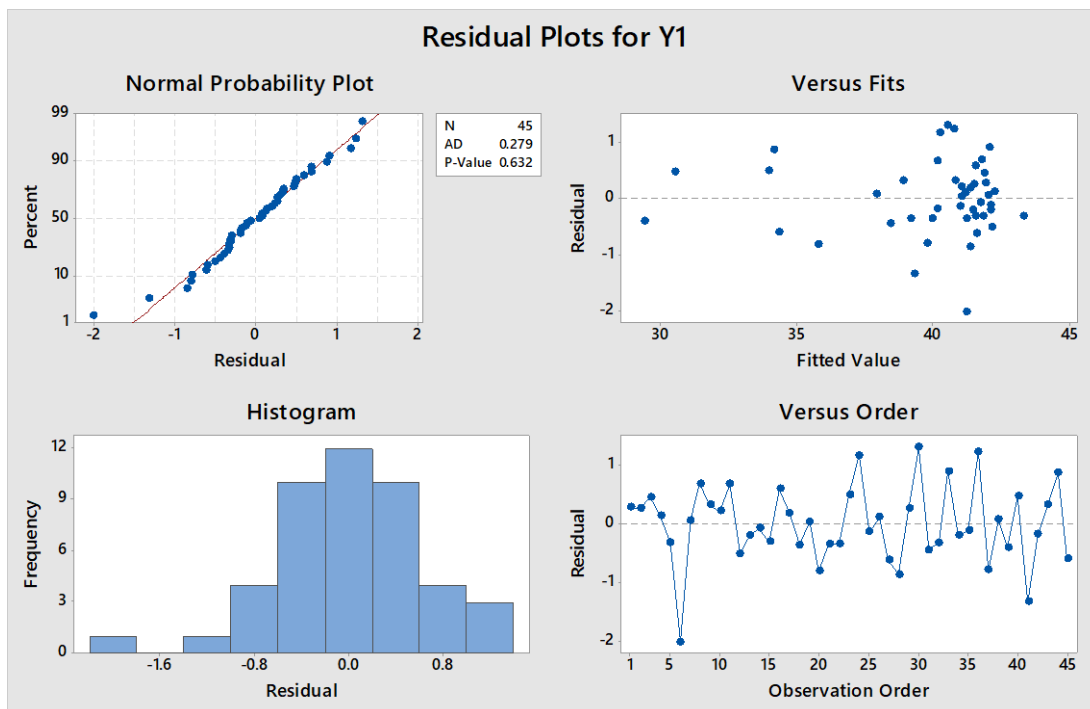
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	5	413.56	82.71	174.45	0.00	95.72%	95.17%
Linear	3	401.69	133.90	282.41	0.00		
X1	1	10.28	10.28	21.68	0.00		
X2	1	168.86	168.86	356.15	0.00		
X5	1	0.01	0.01	0.02	0.89		
Square	1	8.88	8.88	18.73	0.00		
X2*X2	1	8.88	8.88	18.73	0.00		
2-Way Interaction	1	2.63	2.63	5.55	0.02		
X2*X5	1	2.63	2.63	5.55	0.02		
Error	39	18.49	0.47				
Total	44	432.05					

ตารางที่ 3.37 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชิงพีลิ่ง A

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	38.107	0.20	190.49	0.00
X1	-1.16	0.25	-4.66	0.00
X2	6.486	0.34	18.87	0.00
X5	-0.048	0.33	-0.15	0.89
X2*X2	-2.657	0.61	-4.33	0.00
X2*X5	1.285	0.55	2.36	0.02

หลังจากได้สมการถดถอยแล้วทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมการ (Model Adequacy Checking) โดยวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual analysis) ว่าเป็นไปตามสมมติฐานหรือไม่ โดยตรวจสอบความถูกต้องของสมการตามสมมติฐาน 3 ข้อ ได้แก่

1. การแจกแจงของส่วนตกค้างแบบปกติ (Normal Probability)
2. ส่วนตกค้างเทียบกับตัวแปรตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Residual Plots Versus Fitted Values)
3. ส่วนตกค้างตามลำดับเวลา (Plot of Residuals in Time Sequence)



รูปที่ 3.17 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบจำกัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง A

จากรูป 3.17 พบว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Normal Probability Plot) มีลักษณะเป็นเส้นตรง เมื่อพิจารณาการทดสอบการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ที่ระดับนัยสำคัญ  $\alpha=0.05$  พบว่าค่า P-value ของส่วนตกค้าง เท่ากับ 0.612 ซึ่งมีค่ามากกว่าแอลฟา 0.05 สรุปได้ว่า ส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ

กราฟการกระจายตัวระหว่างส่วนตกค้างเทียบกับตัวแปรตอบสนองมีการกระจายของความคลาดเคลื่อนไม่มีรูปแบบ สรุปได้ว่าข้อมูลมีความเสถียรต่อความแปรปรวน

แผนภาพฮิสโตแกรมของส่วนตกค้าง พบว่าข้อมูลส่วนใหญ่อยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงค่าศูนย์ มีการกระจายตัวเป็นทรงระฆังคว่ำซึ่งบอกถึงข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับเวลา มีการกระจายตัวของความคลาดเคลื่อนไม่มีรูปแบบชัดเจนแสดงถึงข้อมูลจึงมีความอิสระต่อกัน

สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (coded units) ระหว่างตัวแปรต้นกับตัวแปรตอบสนอง Y2 ดังตารางที่ 3.38-3.39 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า (R-sq(adj) เท่ากับ 67.22% เมื่อนำมาวิเคราะห์สมการถดถอยสามารถสร้างสมการได้ดังนี้

$$Y2 = -34.3 - 0.1021 X2 - 0.749 X4 + 0.293 X5 - 1.506 X8 - 0.000270 X5^2 + 0.000111 X2X5 \quad (3.17)$$

ตารางที่ 3.38 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง A

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	6	43.43	7.24	16.04	0.00	71.69%	67.22%
Linear	4	39.47	9.87	21.87	0.00		
X2	1	18.64	18.64	41.31	0.00		
X4	1	2.32	2.32	5.13	0.03		
X5	1	0.46	0.46	1.02	0.32		
X8	1	2.04	2.04	4.51	0.04		
Square	1	2.55	2.55	5.66	0.02		
X5*X5	1	2.55	2.55	5.66	0.02		
2-Way Interaction	1	4.99	4.99	11.07	0.00		
X2*X5	1	4.99	4.99	11.07	0.00		
Error	38	17.15	0.45				
Total	44	60.58					

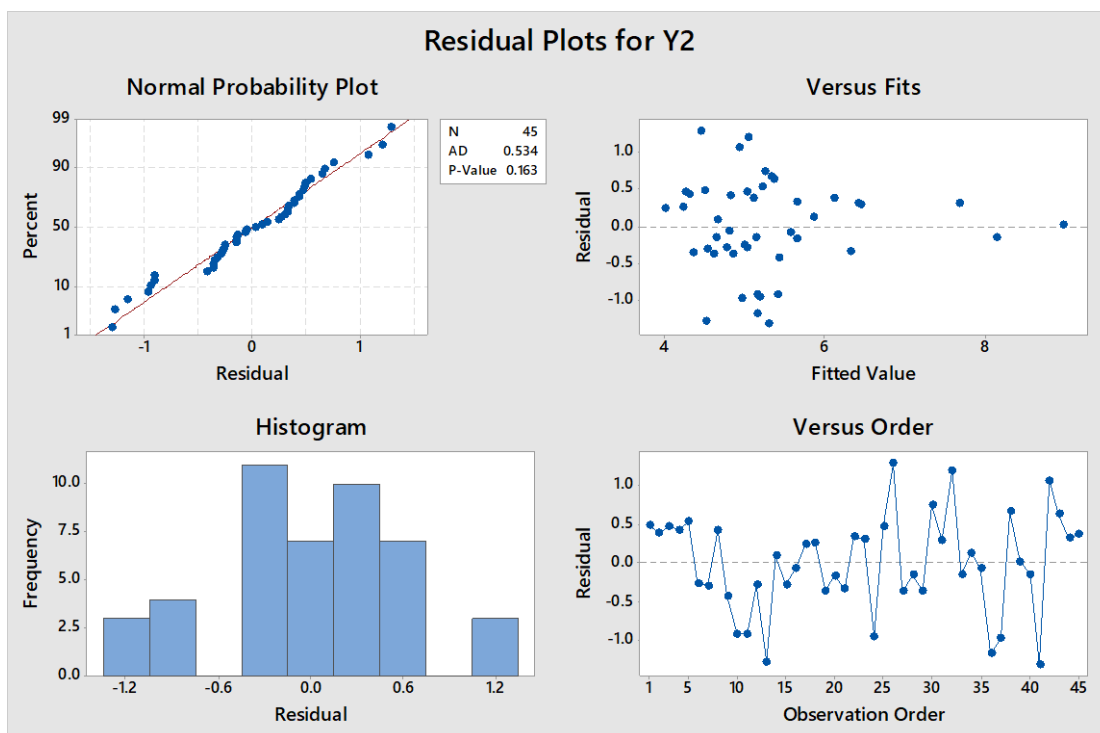


ตารางที่ 3.39 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชื่อเพลิง A

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	6.27	0.21	29.78	0.00
X2	-2.78	0.43	-6.43	0.00
X4	-0.56	0.25	-2.27	0.03
X5	0.36	0.36	1.01	0.32
X8	-0.81	0.38	-2.12	0.04
X5*X5	-1.64	0.69	-2.38	0.02
X2*X5	1.92	0.58	3.33	0.00

หลังจากได้สมการถดถอยแล้วทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมการ (Model Adequacy Checking) โดยวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual analysis) ว่าเป็นไปตามสมมติฐานหรือไม่ โดยตรวจสอบความถูกต้องของสมการตามสมมติฐาน 3 ข้อ ได้แก่

1. การแจกแจงของส่วนตกค้างแบบปกติ (Normal Probability)
2. ส่วนตกค้างเทียบกับตัวแปรตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Residual Plots Versus Fitted Values)
3. ส่วนตกค้างตามลำดับเวลา (Plot of Residuals in Time Sequence)



รูปที่ 3.18 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง A

จากรูป 3.18 พบว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Normal Probability Plot) มีลักษณะเป็นเส้นตรง เมื่อพิจารณาการทดสอบการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ที่ระดับนัยสำคัญ  $\alpha=0.05$  พบว่าค่า P-value ของส่วนตกค้าง เท่ากับ 0.163 ซึ่งมีค่ามากกว่าแอลฟา 0.05 สรุปได้ว่า ส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ

กราฟการกระจายตัวระหว่างส่วนตกค้างเทียบกับตัวแปรตอบสนองมีการกระจายของความคลาดเคลื่อนไม่มีรูปแบบ สรุปได้ว่าข้อมูลมีความเสถียรต่อความแปรปรวน

แผนภาพฮิสโตแกรมของส่วนตกค้าง พบว่าข้อมูลส่วนใหญ่อยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงค่าศูนย์ มีการกระจายตัวเป็นทรงระฆังคว่ำซึ่งบอถึงข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับเวลา มีการกระจายตัวของความคลาดเคลื่อนไม่มีรูปแบบชัดเจนแสดงถึงข้อมูลจึงมีความอิสระต่อกัน

### 3.3.1.3 การวิเคราะห์ตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการ

จากการเก็บข้อมูลจำนวน 45 ข้อมูลของสูตรเชื้อเพลิง A ดังภาคผนวกที่ ก นำมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า (R-sq(adj) ของตัวแบบสมการถดถอย ด้วยโปรแกรม minitab18 พิจารณาสมการในรูปแบบฟังก์ชันกำลังสอง (Quadratic function) โดยพิจารณา X8 (สัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง) แทนอิทธิพลหลักคือ X2 (อัตราการป้อนเชื้อเพลิง) และ X3 (อัตราการป้อนอากาศ) แบ่งเป็นการวิเคราะห์สมการตามหลักสถิติ 4 รูปแบบ ดังนี้

1. พิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัวในสมการ (Full model)
2. การเลือกตัวแปรโดยการเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอน (Stepwise regression) โดยพิจารณา  $\alpha$  to enter = 0.15 และ  $\alpha$  to remove = 0.15
3. การเลือกตัวแปรแบบเดินหน้า (Forward selection) โดยพิจารณา  $\alpha$  to enter = 0.25
4. การกำจัดตัวแปรแบบถอยหลัง (Backward elimination) โดยพิจารณา  $\alpha$  to remove = 0.10

พิจารณาตัวแปรนำเข้าดังนี้

อิทธิพลหลัก คือ

X1 (ความชื้นเชื้อเพลิง)  
X8 (สัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง)  
X4 (ความดันเตาเผาไหม้)  
X5 (อุณหภูมิเตาเผาไหม้)

อิทธิพลร่วม คือ

X1\*X8 (ความชื้นเชื้อเพลิง\*สัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง)  
X1\*X4 (ความชื้นเชื้อเพลิง\*ความดันเตาเผาไหม้)  
X1\*X5 (ความชื้นเชื้อเพลิง\*อุณหภูมิเตาเผาไหม้)  
X8\*X4 (สัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง\*ความดันเตาเผาไหม้)  
X4\*X5 (ความดันเตาเผาไหม้\*อุณหภูมิเตาเผาไหม้)

เทอมกำลังสอง คือ

X1\*X1 (ความชื้นเชื้อเพลิง\*ความชื้นเชื้อเพลิง)  
X8\*X8 (สัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง\*สัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง)  
X4\*X4 (ความดันเตาเผาไหม้\*ความดันเตาเผาไหม้)  
X5\*X5 (อุณหภูมิเตาเผาไหม้\*อุณหภูมิเตาเผาไหม้)

### 3.3.1.3.1 พิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัวในสมการ (Full model)

การพิจารณาตัวแปรแบบ Full model โดยพิจารณาตัวแปรทุกตัวในสมการและอิทธิพลร่วมระหว่างตัวแปรนำเข้า จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (coded units) ดังตารางที่ 3.40-3.41 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า (R-sq(adj) ระหว่างตัวแปรต้นกับตัวแปรตอบสนอง Y1 เท่ากับ 77.40% เมื่อนำมาวิเคราะห์สมการถดถอยสามารถสร้างสมการได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 Y1 = & -651 + 2.60 X1 + 219.4 X8 - 4.2 X4 + 0.681 X5 - 0.0598 X1^2 & (3.18) \\
 & - 15.67 X8^2 + 0.60 X4^2 - 0.000290 X5^2 - 0.638 X1X8 \\
 & - 0.205 X1X4 + 0.00416 X1X5 + 7.70 X8X4 - 0.1050 X8X5 \\
 & - 0.0131 X4X5
 \end{aligned}$$

ตารางที่ 3.40 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบพิจารณาตัวแปรทุกตัวของตัวแปรตอบสนอง Y1 สูตรเชื้อเพลิง A

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	14	365.47	26.11	11.76	0.00	84.59%	77.40%
Linear	4	211.55	52.89	23.83	0.00		
X1	1	7.71	7.71	3.47	0.07		
X8	1	20.01	20.01	9.02	0.01		
X4	1	13.68	13.68	6.16	0.02		
X5	1	0.54	0.54	0.24	0.63		
Square	4	24.16	6.04	2.72	0.05		
X1*X1	1	10.04	10.04	4.52	0.04		
X8*X8	1	18.65	18.65	8.40	0.01		
X4*X4	1	0.33	0.33	0.15	0.70		
X5*X5	1	2.96	2.96	1.33	0.26		
2-Way Interaction	6	25.67	4.28	1.93	0.11		
X1*X8	1	1.55	1.55	0.70	0.41		
X1*X4	1	1.04	1.04	0.47	0.50		

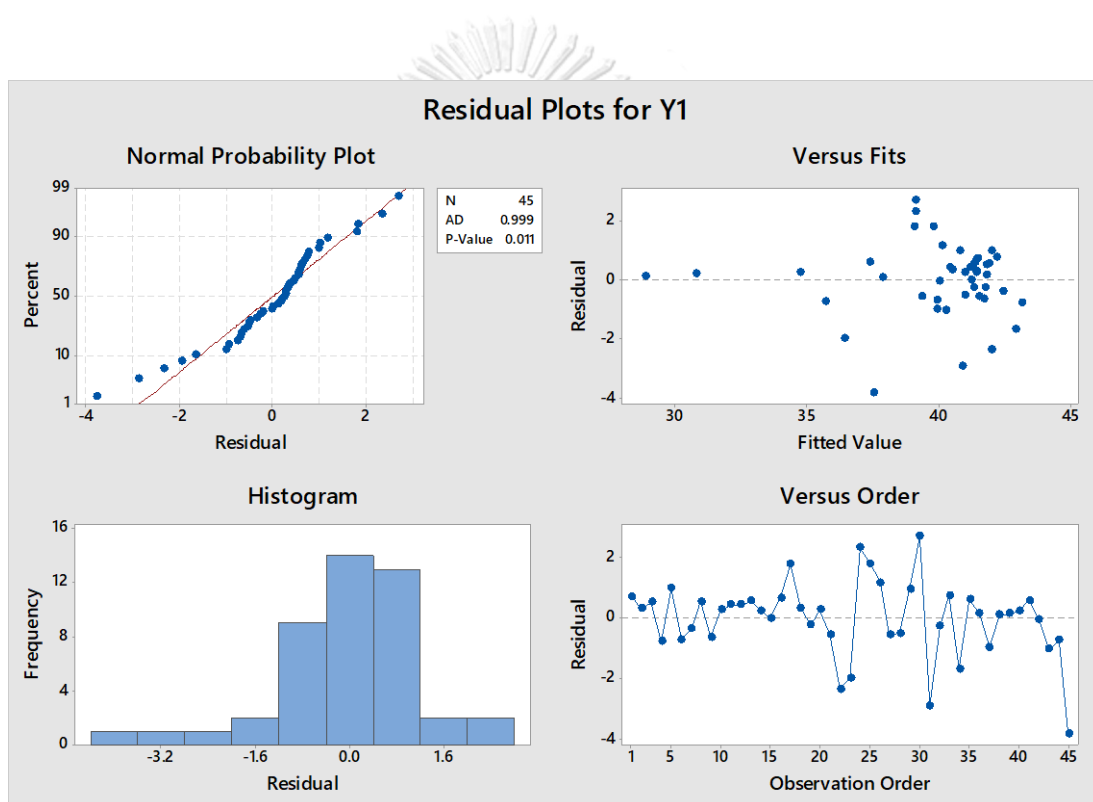
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X1*X5	1	2.60	2.60	1.17	0.29		
X8*X4	1	5.82	5.82	2.62	0.12		
X8*X5	1	7.16	7.16	3.23	0.08		
X4*X5	1	0.46	0.46	0.21	0.65		
Error	30	66.58	2.22				
Total	44	432.05					

ตารางที่ 3.41 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบพิจารณาตัวแปรทุกตัวของตัวแปรตอบสนอง Y1 สูตรเชื้อเพลิง A

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	40.21	0.49	81.92	0.00
X1	-1.88	1.01	-1.86	0.07
X8	-4.04	1.35	-3.00	0.01
X4	2.80	1.13	2.48	0.02
X5	0.55	1.12	0.49	0.63
X1*X1	-2.46	1.16	-2.13	0.04
X8*X8	-4.50	1.55	-2.90	0.01
X4*X4	0.34	0.89	0.38	0.70
X5*X5	-1.76	1.53	-1.15	0.26
X1*X8	-2.19	2.62	-0.84	0.41
X1*X4	-0.99	1.44	-0.69	0.50
X1*X5	2.08	1.92	1.08	0.29
X8*X4	3.09	1.91	1.62	0.12
X8*X5	-4.39	2.44	-1.80	0.08
X4*X5	-0.77	1.69	-0.45	0.65

หลังจากได้สมการถดถอยแล้วทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมการ (Model Adequacy Checking) โดยวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual analysis) ว่าเป็นไปตามสมมติฐานหรือไม่ โดยตรวจสอบความถูกต้องของสมการตามสมมติฐาน 3 ข้อ ได้แก่

1. การแจกแจงของส่วนตกค้างแบบปกติ (Normal Probability)
2. ส่วนตกค้างเทียบกับตัวแปรตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Residual Plots Versus Fitted Values)
3. ส่วนตกค้างตามลำดับเวลา (Plot of Residuals in Time Sequence)



รูปที่ 3.19 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบพิจารณาตัวแปรทุกตัวของตัวแปรตอบสนอง Y1 สูตรเชื้อเพลิง A

จากรูป 3.19 พบว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Normal Probability Plot) มีลักษณะไม่เป็นเส้นตรง เมื่อพิจารณาการทดสอบการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ที่ระดับนัยสำคัญ  $\alpha=0.05$  พบว่าค่า P-value ของส่วนตกค้าง เท่ากับ 0.011 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าแอลฟา 0.05 สรุปได้ว่า ส่วนตกค้างมีการแจกแจงไม่ปกติ

กราฟการกระจายตัวระหว่างส่วนตกค้างเทียบกับตัวแปรตอบสนองมีการกระจายของความคลาดเคลื่อนไม่มีรูปแบบ สรุปได้ว่าข้อมูลมีความเสถียรต่อความแปรปรวน

แผนภาพฮิสโตแกรมของส่วนตกค้าง พบว่าข้อมูลส่วนใหญ่อยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงค่าศูนย์ มีการกระจายตัวเป็นทรงระฆังคว่ำซึ่งบอถึงข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับเวลา มีการกระจายตัวของความคลาดเคลื่อน ไม่มีรูปแบบชัดเจนแสดงถึงข้อมูลจึงมีความอิสระต่อกัน

อย่างไรก็ตามเนื่องจากตัวแบบสมการมีส่วนตกค้างแจกแจงไม่ปกติจึงไม่เหมาะในการนำตัวแบบสมการไปใช้ในการวิเคราะห์

สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (coded units) ระหว่างตัวแปรต้นกับตัวแปรตอบสนอง Y2 ดังตารางที่ 3.42-3.43 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า (R-sq(adj) เท่ากับ 41.99% เมื่อนำมาวิเคราะห์สมการถดถอยสามารถสร้างสมการได้ดังนี้

$$Y2 = -57 + 1.19 X1 - 15.9 X8 + 17.6 X4 + 0.185 X5 - 0.0082 X1^2 + 0.14 X8^2 + 0.370 X4^2 - 0.000038 X5^2 + 0.548 X1X8 - 0.068 X1X4 - 0.00295 X1X5 - 2.41 X8X4 - 0.0085 X8X5 - 0.0083 X4X5 \quad (3.19)$$

ตารางที่ 3.42 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบพิจารณาตัวแปรทุกตัวของตัวแปรตอบสนอง Y2 สูตรเรียกเฟลิ่ง A

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	14	36.62	2.62	3.27	0.00	60.45%	41.99%
Linear	4	19.95	4.99	6.25	0.00		
X1	1	5.82	5.82	7.29	0.01		
X8	1	0.10	0.10	0.12	0.73		
X4	1	0.67	0.67	0.83	0.37		
X5	1	0.01	0.01	0.01	0.92		
Square	4	0.40	0.10	0.13	0.97		
X1*X1	1	0.19	0.19	0.24	0.63		
X8*X8	1	0.00	0.00	0.00	0.97		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X4*X4	1	0.12	0.12	0.15	0.70		
X5*X5	1	0.05	0.05	0.06	0.80		
2-Way Interaction	6	9.03	1.51	1.88	0.12		
X1*X8	1	1.15	1.15	1.43	0.24		
X1*X4	1	0.12	0.12	0.15	0.71		
X1*X5	1	1.31	1.31	1.63	0.21		
X8*X4	1	0.57	0.57	0.71	0.41		
X8*X5	1	0.05	0.05	0.06	0.81		
X4*X5	1	0.18	0.18	0.23	0.64		
Error	30	23.96	0.80				
Total	44	60.58					

ตารางที่ 3.43 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบพิจารณาตัวแปรทุกตัวของตัวแปรตอบสนอง Y2 สูตรเชื้อเพลิง A

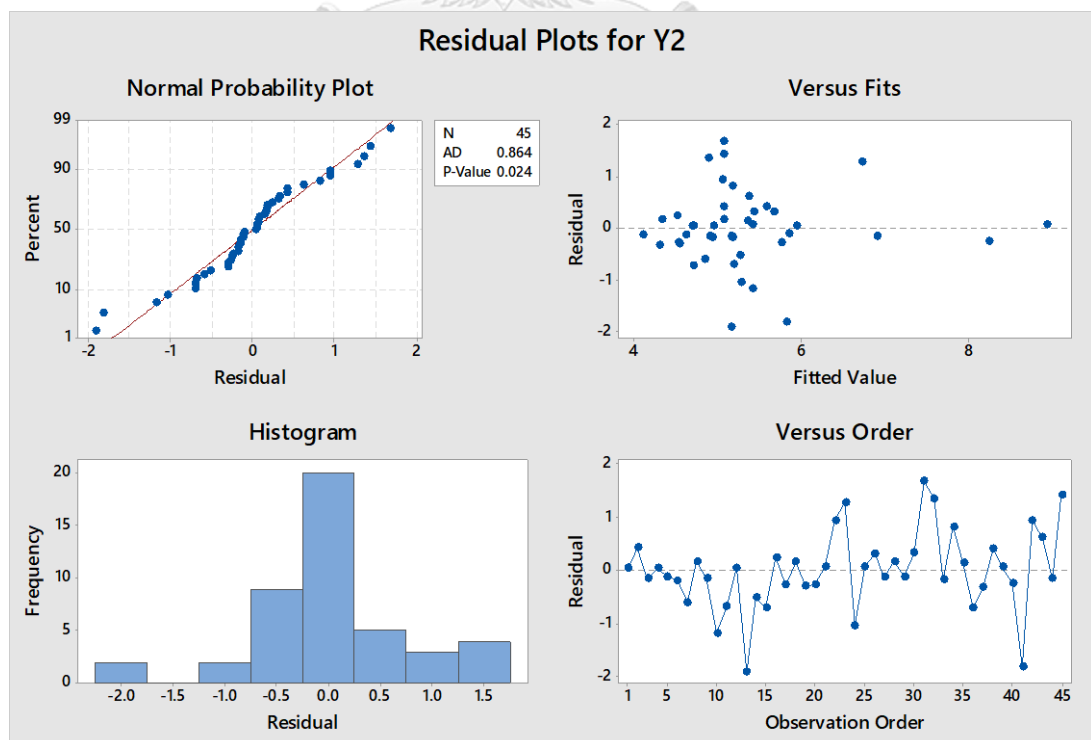
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.28	0.29	17.94	0.00
X1	1.64	0.61	2.70	0.01
X8	0.28	0.81	0.35	0.73
X4	-0.62	0.68	-0.91	0.37
X5	-0.07	0.67	-0.10	0.92
X1*X1	-0.34	0.69	-0.49	0.63
X8*X8	0.04	0.93	0.04	0.97
X4*X4	0.21	0.53	0.39	0.70
X5*X5	-0.23	0.92	-0.25	0.80
X1*X8	1.88	1.57	1.20	0.24



Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
X1*X4	-0.33	0.86	-0.38	0.71
X1*X5	-1.48	1.15	-1.28	0.21
X8*X4	-0.97	1.15	-0.84	0.41
X8*X5	-0.35	1.47	-0.24	0.81
X4*X5	-0.48	1.01	-0.48	0.64

หลังจากได้สมการถดถอยแล้วทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมการ (Model Adequacy Checking) โดยวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual analysis) ว่าเป็นไปตามสมมติฐานหรือไม่ โดยตรวจสอบความถูกต้องของสมการตามสมมติฐาน 3 ข้อ ได้แก่

1. การแจกแจงของส่วนตกค้างแบบปกติ (Normal Probability)
2. ส่วนตกค้างเทียบกับตัวแปรตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Residual Plots Versus Fitted Values)
3. ส่วนตกค้างตามลำดับเวลา (Plot of Residuals in Time Sequence)



รูปที่ 3.20 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบพิจารณาตัวแปรทุกตัวของตัวแปรตอบสนอง Y2 สูตรเชื้อเพลิง A

จากรูป 3.20 พบว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Normal Probability Plot) มีลักษณะไม่เป็นเส้นตรง เมื่อพิจารณาการทดสอบการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ที่ระดับนัยสำคัญ  $\alpha=0.05$  พบว่าค่า P-value ของส่วนตกค้าง เท่ากับ 0.024 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าแอลฟา 0.05 สรุปได้ว่า ส่วนตกค้างมีการแจกแจงไม่ปกติ

กราฟการกระจายตัวระหว่างส่วนตกค้างเทียบกับตัวแปรตอบสนองมีการกระจายของความคลาดเคลื่อนไม่มีรูปแบบ สรุปได้ว่าข้อมูลมีความเสถียรต่อความแปรปรวน

แผนภาพฮิสโตแกรมของส่วนตกค้าง พบว่าข้อมูลส่วนใหญ่อยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงค่าศูนย์ มีการกระจายตัวเป็นทรงระฆังคว่ำซึ่งบอกลักษณะข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับเวลา มีการกระจายตัวของความคลาดเคลื่อนไม่มีรูปแบบชัดเจนแสดงถึงข้อมูลจึงมีความอิสระต่อกัน

อย่างไรก็ตามเนื่องจากตัวแบบสมการมีส่วนตกค้างแจกแจงไม่ปกติจึงไม่เหมาะในการนำตัวแบบสมการไปใช้ในการวิเคราะห์

### 3.3.1.3.2 การเลือกตัวแปรโดยการเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอน (Stepwise regression)

การวิเคราะห์ตัวแปรแบบ Stepwise regression (การเลือกตัวแปรโดยการเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอน) พิจารณาค่าแอลฟาในการนำตัวแปรเข้าและตัดตัวแปรออกของสมการที่ 0.15 จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (code units) ดังตารางที่ 3.44-3.45 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า (R-sq(adj)) ระหว่างตัวแปรต้นกับตัวแปรตอบสนอง Y1 เท่ากับ 95.17% เมื่อนำมาวิเคราะห์สมการถดถอยสามารถสร้างสมการได้ดังนี้

$$Y1 = -7.5 - 0.1809 X1 + 0.1113 X2 - 0.0977 X5 - 0.000054 X2^2 + 0.000075 X2X5 \quad (3.20)$$

ตารางที่ 3.44 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง A

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	7	354.01	50.57	23.98	0.00	81.94%	78.52%
Linear	3	225.11	75.04	35.57	0.00		
X1	1	9.32	9.32	4.42	0.04		
X8	1	66.47	66.47	31.51	0.00		
X4	1	41.23	41.23	19.55	0.00		
Square	2	28.94	14.47	6.86	0.00		
X1*X1	1	4.57	4.57	2.17	0.15		
X8*X8	1	28.75	28.75	13.63	0.00		
2-Way Interaction	2	39.40	19.70	9.34	0.00		
X1*X8	1	6.81	6.81	3.23	0.08		
X8*X4	1	29.98	29.98	14.21	0.00		
Error	37	78.05	2.11				
Total	44	432.05					

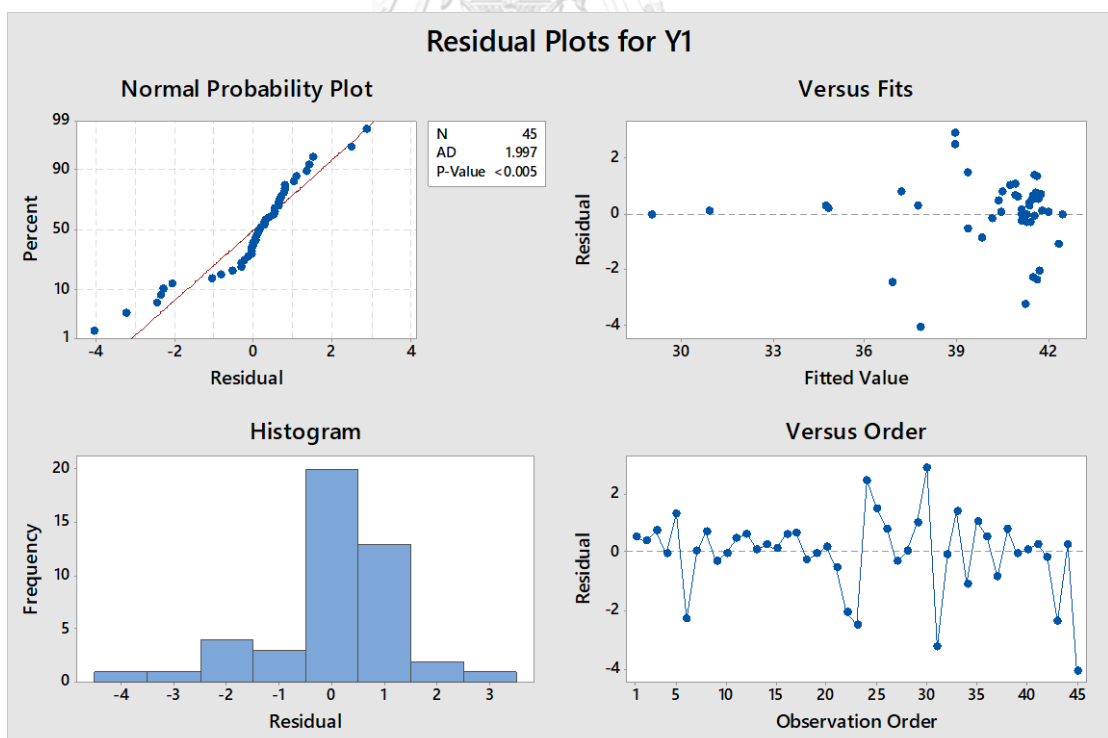
ตารางที่ 3.45 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง A

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	40.19	0.40	100.54	0.00
X1	-1.76	0.84	-2.10	0.04
X8	-4.87	0.87	-5.61	0.00
X4	2.40	0.54	4.42	0.00

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
X1*X1	-1.48	1.00	-1.47	0.15
X8*X8	-3.68	1.00	-3.69	0.00
X1*X8	-3.41	1.90	-1.80	0.08
X8*X4	3.98	1.06	3.77	0.00

หลังจากได้สมการถดถอยแล้วทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมการ (Model Adequacy Checking) โดยวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual analysis) ว่าเป็นไปตามสมมติฐานหรือไม่ โดยตรวจสอบความถูกต้องของสมการตามสมมติฐาน 3 ข้อ ได้แก่

1. การแจกแจงของส่วนตกค้างแบบปกติ (Normal Probability)
2. ส่วนตกค้างเทียบกับตัวแปรตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Residual Plots Versus Fitted Values)
3. ส่วนตกค้างตามลำดับเวลา (Plot of Residuals in Time Sequence)



รูปที่ 3.21 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง A

จากรูป 3.21 พบว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Normal Probability Plot) มีลักษณะเป็นเส้นตรง เมื่อพิจารณาการทดสอบการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ที่ระดับนัยสำคัญ  $\alpha=0.05$  พบว่าค่า P-value ของส่วนตกค้าง  $<0.005$  ซึ่งมีค่าน้อยกว่าแอลฟา 0.05 สรุปได้ว่า ส่วนตกค้างมีการแจกแจงไม่ปกติ

กราฟการกระจายตัวระหว่างส่วนตกค้างเทียบกับตัวแปรตอบสนองมีการกระจายของความคลาดเคลื่อนไม่มีรูปแบบ สรุปได้ว่าข้อมูลมีความเสถียรต่อความแปรปรวน

แผนภาพฮิสโตแกรมของส่วนตกค้าง พบว่าข้อมูลส่วนใหญ่อยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงค่าศูนย์ มีการกระจายตัวเป็นทรงระฆังคว่ำซึ่งบอกลักษณะข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับเวลา มีการกระจายตัวของความคลาดเคลื่อนไม่มีรูปแบบชัดเจนแสดงถึงข้อมูลจึงมีความอิสระต่อกัน

อย่างไรก็ตามเนื่องจากตัวแบบสมการมีส่วนตกค้างแจกแจงไม่ปกติจึงไม่เหมาะในการนำตัวแบบสมการไปใช้ในการวิเคราะห์

สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (coded units) ระหว่างตัวแปรต้นกับตัวแปรตอบสนอง Y2 ดังตารางที่ 3.46-3.47 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า (R-sq(adj) เท่ากับ 37.34% เมื่อนำมาวิเคราะห์สมการถดถอยสามารถสร้างสมการได้ดังนี้

$$Y2 = -102.4 + 31.6 X8 - 1.204 X4 + 0.1249 X5 - 0.0372 X8X5 \quad (3.21)$$

ตารางที่ 3.46 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง A

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	4	26.07	6.52	7.56	0.00	43.04%	37.34%
Linear	3	22.88	7.63	8.84	0.00		
X8	1	4.98	4.98	5.78	0.02		
X4	1	7.52	7.52	8.71	0.01		
X5	1	1.85	1.85	2.14	0.15		

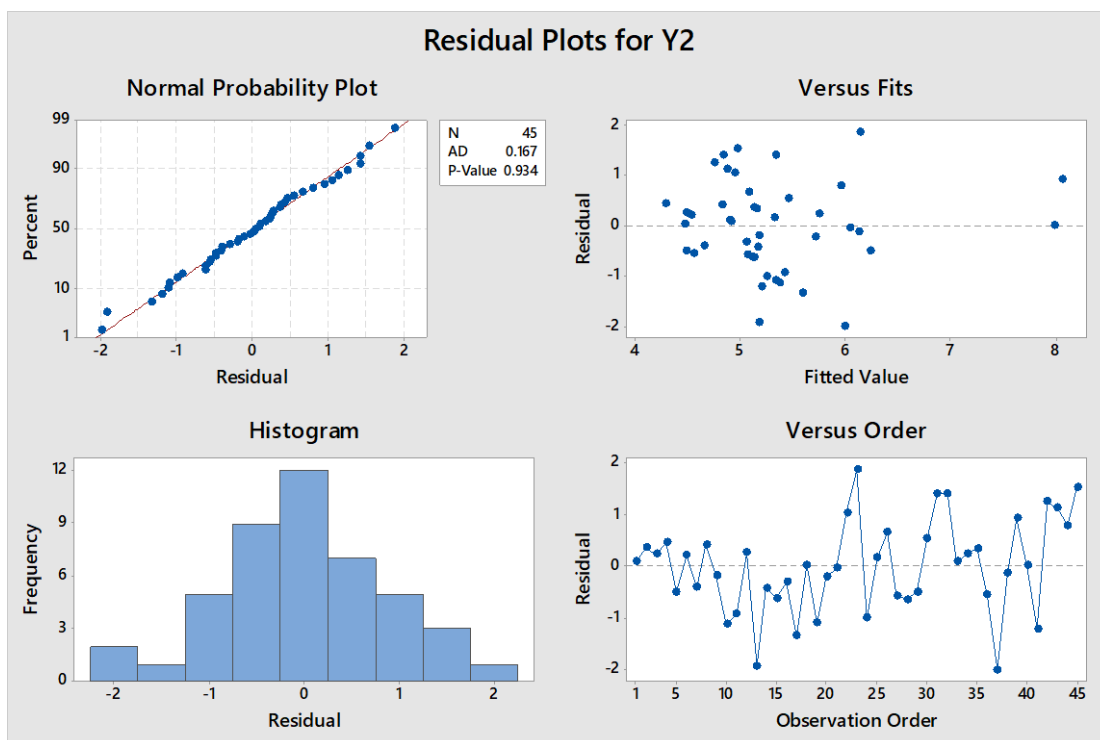
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
2-Way Interaction	1	3.97	3.97	4.60	0.04		
X8*X5	1	3.97	3.97	4.60	0.04		
Error	40	34.50	0.86				
Total	44	60.58					

ตารางที่ 3.47 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง A

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.50	0.21	25.66	0.00
X8	0.93	0.39	2.40	0.02
X4	-0.90	0.31	-2.95	0.01
X5	-0.52	0.36	-1.46	0.15
X8*X5	-1.56	0.73	-2.15	0.04

หลังจากได้สมการถดถอยแล้วทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมการ (Model Adequacy Checking) โดยวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual analysis) ว่าเป็นไปตามสมมติฐานหรือไม่ โดยตรวจสอบความถูกต้องของสมการตามสมมติฐาน 3 ข้อ ได้แก่

1. การแจกแจงของส่วนตกค้างแบบปกติ (Normal Probability)
2. ส่วนตกค้างเทียบกับตัวแปรตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Residual Plots Versus Fitted Values)
3. ส่วนตกค้างตามลำดับเวลา (Plot of Residuals in Time Sequence)



รูปที่ 3.22 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง A

จากรูป 3.22 พบว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Normal Probability Plot) มีลักษณะเป็นเส้นตรง เมื่อพิจารณาการทดสอบการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ที่ระดับนัยสำคัญ  $\alpha=0.05$  พบว่าค่า P-value ของส่วนตกค้าง เท่ากับ 0.934 ซึ่งมีค่ามากกว่าแอลฟา 0.05 สรุปได้ว่า ส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ

กราฟการกระจายตัวระหว่างส่วนตกค้างเทียบกับตัวแปรตอบสนองมีการกระจายของความคลาดเคลื่อนไม่มีรูปแบบ สรุปได้ว่าข้อมูลมีความเสถียรต่อความแปรปรวน

แผนภาพฮิสโตแกรมของส่วนตกค้าง พบว่าข้อมูลส่วนใหญ่อยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงค่าศูนย์ มีการกระจายตัวเป็นทรงระฆังคว่ำซึ่งบอกลักษณะข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับเวลา มีการกระจายตัวของความคลาดเคลื่อนไม่มีรูปแบบชัดเจนแสดงถึงข้อมูลจึงมีความอิสระต่อกัน

## 3.3.1.3.3 การเลือกตัวแปรแบบเดินหน้า (Forward selection)

การพิจารณาตัวแปรแบบ Forward selection (การเลือกตัวแปรแบบเดินหน้า) พิจารณาค่าแอลฟาในการนำตัวแปรเข้าสมการที่ 0.25 จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (coded units) ดังตารางที่ 3.48-3.49 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า (R-sq(adj)) ระหว่างตัวแปรต้นกับตัวแปรตอบสนอง Y1 เท่ากับ 78.84% เมื่อนำมาวิเคราะห์สมการถดถอยสามารถสร้างสมการได้ดังนี้

$$Y1 = -282.5 + 6.47 X1 + 115.7 X8 - 25.4 X4 + 0.01117 X5 - 0.0402 X1^2 - 10.49 X8^2 - 1.115 X1X8 + 8.02 X8X4 \quad (3.22)$$

ตารางที่ 3.48 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง A

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	8	357.26	44.66	21.49	0.00	82.69%	78.84%
Linear	4	228.36	57.09	27.48	0.00		
X1	1	11.61	11.61	5.59	0.02		
X8	1	27.09	27.09	13.04	0.00		
X4	1	32.03	32.03	15.42	0.00		
X5	1	3.25	3.25	1.57	0.22		
Square	2	17.29	8.65	4.16	0.02		
X1*X1	1	5.60	5.60	2.70	0.11		
X8*X8	1	14.80	14.80	7.12	0.01		
2-Way Interaction	2	27.12	13.56	6.53	0.00		
X1*X8	1	8.31	8.31	4.00	0.05		
X8*X4	1	14.66	14.66	7.06	0.01		
Error	36	74.79	2.08				
Total	44	432.05					

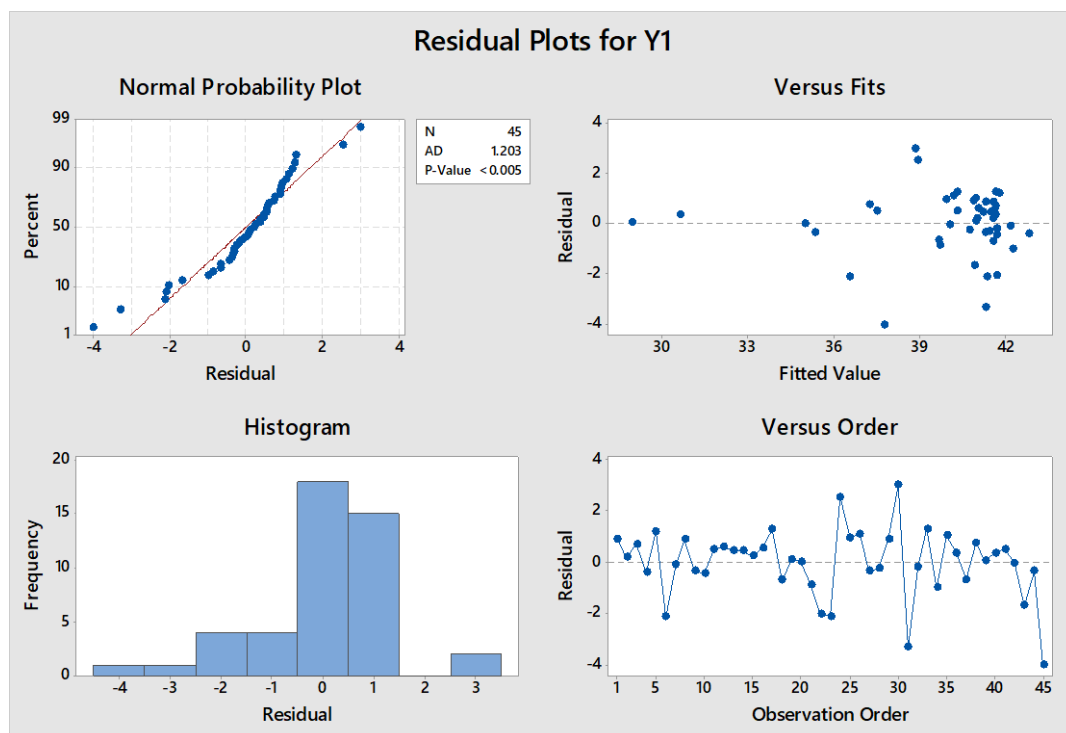


ตารางที่ 3.49 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชิงพีลิ่ง A

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	40.05	0.41	96.74	0.00
X1	-2.03	0.86	-2.36	0.02
X8	-4.00	1.11	-3.61	0.00
X4	2.20	0.56	3.93	0.00
X5	0.87	0.70	1.25	0.22
X1*X1	-1.65	1.01	-1.64	0.11
X8*X8	-3.01	1.13	-2.67	0.01
X1*X8	-3.83	1.91	-2.00	0.05
X8*X4	3.22	1.21	2.66	0.01

หลังจากได้สมการถดถอยแล้วทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมการ (Model Adequacy Checking) โดยวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual analysis) ว่าเป็นไปตามสมมติฐานหรือไม่ โดยตรวจสอบความถูกต้องของสมการตามสมมติฐาน 3 ข้อ ได้แก่

1. การแจกแจงของตัวแปรแบบปกติ (Normal Probability)
2. ส่วนตกค้างเทียบกับตัวแปรตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Residual Plots Versus Fitted Values)
3. ส่วนตกค้างตามลำดับเวลา (Plot of Residuals in Time Sequence)



รูปที่ 3.23 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินทางหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง A

จากรูป 3.23 พบว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Normal Probability Plot) มีลักษณะไม่เป็นเส้นตรง เมื่อพิจารณาการทดสอบการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ที่ระดับนัยสำคัญ  $\alpha=0.05$  พบว่าค่า P-value ของส่วนตกค้าง  $<0.005$  ซึ่งมีค่าน้อยกว่าแอลฟา 0.05 สรุปได้ว่า ส่วนตกค้างมีการแจกแจงไม่ปกติ

กราฟการกระจายตัวระหว่างส่วนตกค้างเทียบกับตัวแปรตอบสนองมีการกระจายของความคลาดเคลื่อนไม่มีรูปแบบ สรุปได้ว่าข้อมูลมีความเสถียรต่อความแปรปรวน

แผนภาพฮิสโตแกรมของส่วนตกค้าง พบว่าข้อมูลส่วนใหญ่อยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงค่าศูนย์ มีการกระจายตัวเป็นทรงระฆังคว่ำซึ่งบ่งชี้ข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับเวลา มีการกระจายตัวของความคลาดเคลื่อนไม่มีรูปแบบชัดเจนแสดงถึงข้อมูลจึงมีความอิสระต่อกัน

อย่างไรก็ตามเนื่องจากตัวแบบสมการมีส่วนตกค้างแจกแจงไม่ปกติจึงไม่เหมาะในการนำตัวแบบสมการไปใช้ในการวิเคราะห์

สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (coded units) ระหว่างตัวแปรต้นกับตัวแปรตอบสนอง Y2 ดังตารางที่ 3.50-3.51 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า (R-sq(adj) เท่ากับ 40.55% เมื่อนำมาวิเคราะห์สมการถดถอยสามารถสร้างสมการได้ดังนี้

$$Y2 = 18.3 - 18.5 X8 + 11.50 X4 + 0.0521 X5 + 4.07 X8^2 - 3.73 X8X4 - 0.0149 X8X5 \quad (3.23)$$

ตารางที่ 3.50 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินทางหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง A

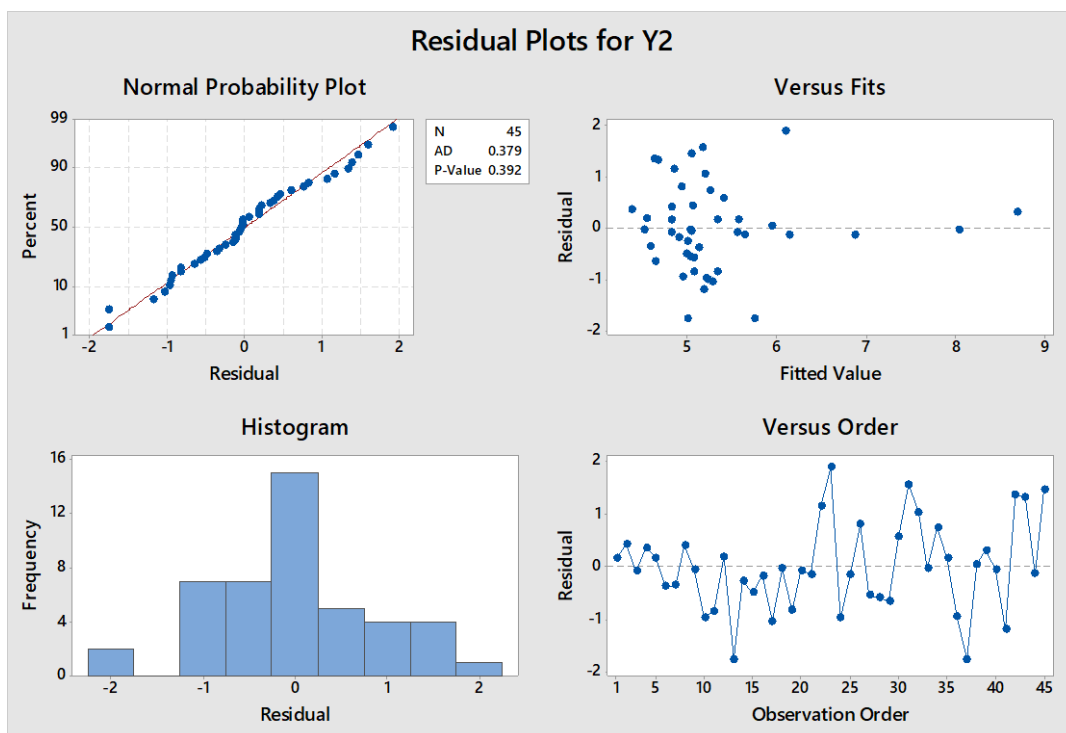
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	6	29.48	4.91	6.00	0.00	48.66%	40.55%
Linear	3	26.07	8.69	10.62	0.00		
X8	1	8.18	8.18	9.99	0.00		
X4	1	10.85	10.85	13.25	0.00		
X5	1	0.01	0.01	0.01	0.92		
Square	1	1.94	1.94	2.37	0.13		
X8*X8	1	1.94	1.94	2.37	0.13		
2-Way Interaction	2	5.28	2.64	3.23	0.05		
X8*X4	1	3.19	3.19	3.90	0.06		
X8*X5	1	0.39	0.39	0.47	0.50		
Error	38	31.10	0.82				
Total	44	60.58					

ตารางที่ 3.51 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชิงพีลิ่ง A

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.36	0.23	23.43	0.00
X8	1.50	0.47	3.16	0.00
X4	-1.27	0.35	-3.64	0.00
X5	-0.05	0.43	-0.11	0.92
X8*X8	1.17	0.76	1.54	0.13
X8*X4	-1.50	0.76	-1.97	0.06
X8*X5	-0.62	0.91	-0.69	0.50

หลังจากได้สมการถดถอยแล้วทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมการ (Model Adequacy Checking) โดยวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual analysis) ว่าเป็นไปตามสมมติฐานหรือไม่ โดยตรวจสอบความถูกต้องของสมการตามสมมติฐาน 3 ข้อ ได้แก่

1. การแจกแจงของตัวแปรแบบปกติ (Normal Probability)
2. ส่วนตกค้างเทียบกับตัวแปรตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Residual Plots Versus Fitted Values)
3. ส่วนตกค้างตามลำดับเวลา (Plot of Residuals in Time Sequence)



รูปที่ 3.24 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง A

จากรูป 3.24 พบว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Normal Probability Plot) มีลักษณะเป็นเส้นตรง เมื่อพิจารณาการทดสอบการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ที่ระดับนัยสำคัญ  $\alpha=0.05$  พบว่าค่า P-value ของส่วนตกค้าง เท่ากับ 0.392 ซึ่งมีค่ามากกว่าแอลฟา 0.05 สรุปได้ว่า ส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ

กราฟการกระจายตัวระหว่างส่วนตกค้างเทียบกับตัวแปรตอบสนองมีการกระจายของความคลาดเคลื่อนไม่มีรูปแบบ สรุปได้ว่าข้อมูลมีความเสถียรต่อความแปรปรวน

แผนภาพฮิสโตแกรมของส่วนตกค้าง พบว่าข้อมูลส่วนใหญ่อยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงค่าศูนย์ มีการกระจายตัวเป็นทรงระฆังคว่ำซึ่งบอถึงข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับเวลา มีการกระจายตัวของความคลาดเคลื่อนไม่มีรูปแบบชัดเจนแสดงถึงข้อมูลจึงมีความอิสระต่อกัน

### 3.3.1.3.4 การกำจัดตัวแปรแบบถอยหลัง (Backward elimination)

การพิจารณาตัวแปรแบบ Backward elimination (การกำจัดตัวแปรแบบถอยหลัง) พิจารณาค่าแอลฟาในการตัดตัวแปรออกของสมการที่ 0.10 จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (coded units) ดังตารางที่ 3.52-3.53 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า (R-sq(adj) ระหว่างตัวแปรต้นกับตัวแปรตอบสนอง Y1 เท่ากับ 77.26% เมื่อนำมาวิเคราะห์สมการถดถอยสามารถสร้างสมการได้ดังนี้

$$Y1 = -218.4 + 3.51 X1 + 113.5 X8 - 32.73 X4 - 0.0510 X1^2 - 15.90 X8^2 + 10.30 X8X4 \quad (3.24)$$

ตารางที่ 3.52 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง A

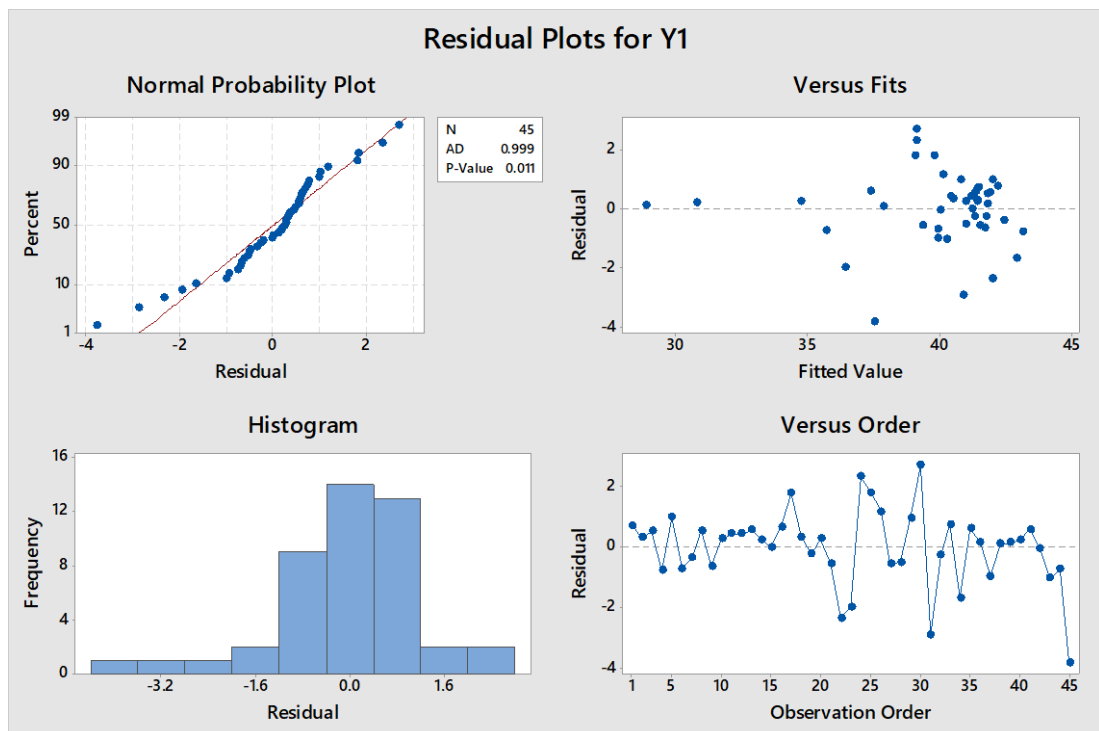
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	6	347.20	57.87	25.91	0.00	80.36%	77.26%
Linear	3	302.57	100.86	45.17	0.00		
X1	1	2.75	2.75	1.23	0.27		
X8	1	227.99	227.99	102.10	0.00		
X4	1	62.72	62.72	28.09	0.00		
Square	2	61.38	30.69	13.74	0.00		
X1*X1	1	10.38	10.38	4.65	0.04		
X8*X8	1	58.10	58.10	26.02	0.00		
2-Way Interaction	1	32.59	32.59	14.60	0.00		
X8*X4	1	32.59	32.59	14.60	0.00		
Error	38	84.85	2.23				
Total	44	432.05					

ตารางที่ 3.53 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง A

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	40.05	0.40	99.42	0.00
X1	-0.63	0.57	-1.11	0.27
X8	-6.03	0.60	-10.10	0.00
X4	2.75	0.52	5.30	0.00
X1*X1	-2.10	0.97	-2.16	0.04
X8*X8	-4.56	0.90	-5.10	0.00
X8*X4	4.14	1.08	3.82	0.00

หลังจากได้สมการถดถอยแล้วทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมการ (Model Adequacy Checking) โดยวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual analysis) ว่าเป็นไปตามสมมติฐานหรือไม่ โดยตรวจสอบความถูกต้องของสมการตามสมมติฐาน 3 ข้อ ได้แก่

1. การแจกแจงของตัวแปรแบบปกติ (Normal Probability)
2. ส่วนตกค้างเทียบกับตัวแปรตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Residual Plots Versus Fitted Values)
3. ส่วนตกค้างตามลำดับเวลา (Plot of Residuals in Time Sequence)



รูปที่ 3.25 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10

สูตรเชื่อเพลิง A

จากรูป 3.25 พบว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Normal Probability Plot) มีลักษณะไม่เป็นเส้นตรง เมื่อพิจารณาการทดสอบการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ที่ระดับนัยสำคัญ  $\alpha=0.05$  พบว่าค่า P-value ของส่วนตกค้าง เท่ากับ  $<0.005$  ซึ่งมีค่าน้อยกว่าแอลฟา 0.05 สรุปได้ว่า ส่วนตกค้างมีการแจกแจงไม่ปกติ

กราฟการกระจายตัวระหว่างส่วนตกค้างเทียบกับตัวแปรตอบสนองมีการกระจายของความคลาดเคลื่อนไม่มีรูปแบบ สรุปได้ว่าข้อมูลมีความเสถียรต่อความแปรปรวน

แผนภาพฮิสโตแกรมของส่วนตกค้าง พบว่าข้อมูลส่วนใหญ่อยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงค่าศูนย์ มีการกระจายตัวเป็นทรงระฆังคว่ำซึ่งบอกลักษณะการแจกแจงเป็นแบบปกติ

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับเวลา มีการกระจายตัวของความคลาดเคลื่อนไม่มีรูปแบบชัดเจนแสดงถึงข้อมูลจึงมีความอิสระต่อกัน

อย่างไรก็ตามเนื่องจากตัวแบบสมการมีส่วนตกค้างแจกแจงไม่ปกติจึงไม่เหมาะในการนำตัวแบบสมการไปใช้ในการวิเคราะห์



สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (coded units) ระหว่างตัวแปรต้นกับตัวแปรตอบสนอง Y2 ดังตารางที่ 3.54-3.55 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า (R-sq(adj) เท่ากับ 48.91% เมื่อนำมาวิเคราะห์สมการถดถอยสามารถสร้างสมการได้ดังนี้

$$Y2 = -42.8 - 0.0950 X2 - 0.0933 X3 - 0.748 X4 + 0.295 X5 - 0.000268 X5^2 + 0.000107 X2X5 \quad (3.25)$$

ตารางที่ 3.54 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง A

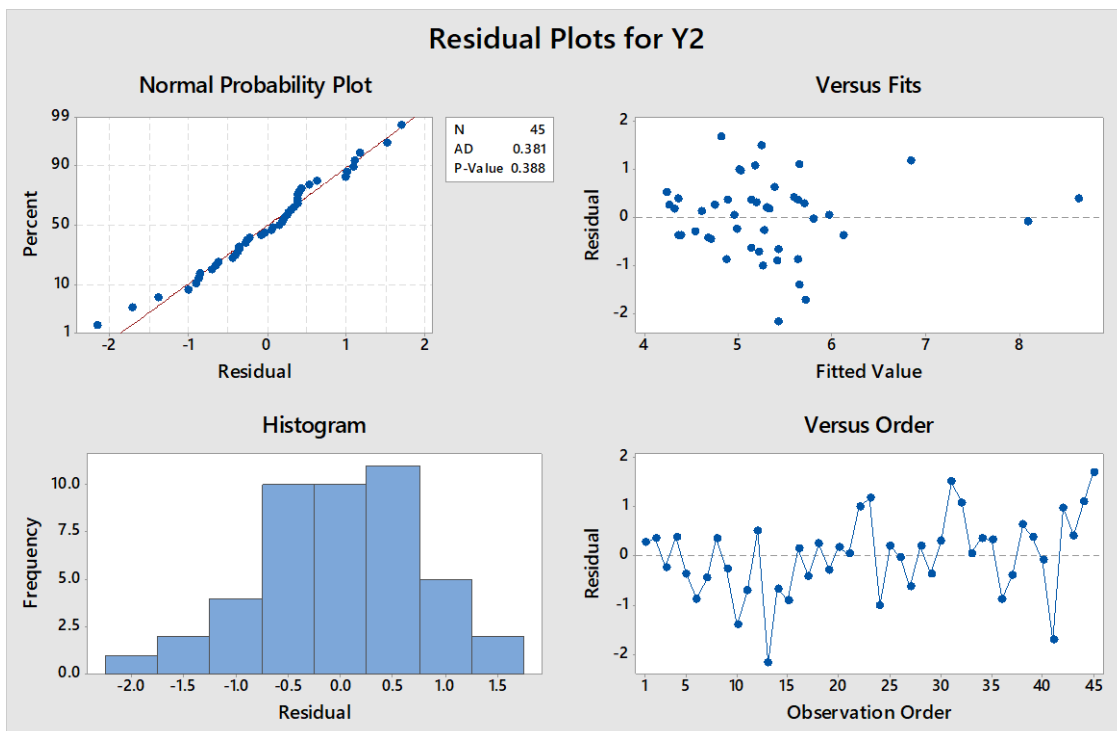
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	4	32.44	8.11	11.53	0.00	53.55%	48.91%
Linear	3	24.84	8.28	11.77	0.00		
X1	1	12.32	12.32	17.51	0.00		
X4	1	6.27	6.27	8.91	0.01		
X5	1	0.23	0.23	0.33	0.57		
2-Way Interaction	1	10.86	10.86	15.44	0.00		
X1*X5	1	10.86	10.86	15.44	0.00		
Error	40	28.14	0.70				
Total	44	60.58					

ตารางที่ 3.55 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชิงพีลิ่ง A

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.31	0.18	29.73	0.00
X1	1.59	0.38	4.18	0.00
X4	-0.83	0.28	-2.99	0.01
X5	-0.19	0.33	-0.58	0.57
X1*X5	-2.60	0.66	-3.93	0.00

หลังจากได้สมการถดถอยแล้วทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมการ (Model Adequacy Checking) โดยวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual analysis) ว่าเป็นไปตามสมมติฐานหรือไม่ โดยตรวจสอบความถูกต้องของสมการตามสมมติฐาน 3 ข้อ ได้แก่

1. การแจกแจงของตัวแปรแบบปกติ (Normal Probability)
2. ส่วนตกค้างเทียบกับตัวแปรตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Residual Plots Versus Fitted Values)
3. ส่วนตกค้างตามลำดับเวลา (Plot of Residuals in Time Sequence)



รูปที่ 3.26 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10

สูตรข้อเพลิง A

จากรูป 3.26 พบว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Normal Probability Plot) มีลักษณะเป็นเส้นตรง เมื่อพิจารณาการทดสอบการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ที่ระดับนัยสำคัญ  $\alpha=0.05$  พบว่าค่า P-value ของส่วนตกค้าง เท่ากับ 0.388 ซึ่งมีค่ามากกว่าแอลฟา 0.05 สรุปได้ว่า ส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ

กราฟการกระจายตัวระหว่างส่วนตกค้างเทียบกับตัวแปรตอบสนองมีการกระจายของความคลาดเคลื่อนไม่มีรูปแบบ สรุปได้ว่าข้อมูลมีความเสถียรต่อความแปรปรวน

แผนภาพฮิสโตแกรมของส่วนตกค้าง พบว่าข้อมูลส่วนใหญ่อยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงค่าศูนย์ มีการกระจายตัวเป็นทรงระฆังคว่ำซึ่งบ่งชี้ข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับเวลา มีการกระจายตัวของความคลาดเคลื่อนไม่มีรูปแบบชัดเจนแสดงถึงข้อมูลจึงมีความอิสระต่อกัน

### 3.3.1.4 สรุปเปรียบเทียบการวิเคราะห์สมการถดถอยของสูตรเชื้อเพลิง A

จากการวิเคราะห์สมการถดถอยของสูตรเชื้อเพลิง A เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า (R-sq(adj)) ของตัวแบบสมการถดถอยที่ดีที่สุดด้วยโปรแกรม minitab18 แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 3 กลุ่มคือ การวิเคราะห์ตัวแปรนำเข้าแบบปกติ การวิเคราะห์ตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการ และการวิเคราะห์ตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการ โดยแต่ละกลุ่มจะแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 4 รูปแบบ ดังนี้

1. พิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัวในสมการ (Full model)
2. การเลือกตัวแปรโดยการเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอน (Stepwise regression) โดยพิจารณา  $\alpha$  to enter = 0.15 และ  $\alpha$  to remove = 0.15
3. การเลือกตัวแปรแบบเดินหน้า (Forward selection) โดยพิจารณา  $\alpha$  to enter = 0.25
4. การกำจัดตัวแปรแบบถอยหลัง (Backward elimination) โดยพิจารณา  $\alpha$  to remove = 0.10

จากการวิเคราะห์หัวข้อ 3.3.1.1 – 3.3.1.3 สามารถเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า (R-sq(adj)) ดังตารางที่ 3.56

ตารางที่ 3.56 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่าของสมการถดถอยสูตรเชื้อเพลิง A

กรณี	รูปแบบสมการถดถอย	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า R-sq(adj), %					
		ตัวแปรนำเข้าแบบปกติ		X8 แทนตัวแปรอิทธิพลร่วม		X8 แทนตัวแปรอิทธิพลหลัก	
		Y1	Y2	Y1	Y2	Y1	Y2
1	พิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัวในสมการ	95.30	60.76	95.18	60.95	77.40	41.99
2	การเลือกตัวแปรโดยการเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอน	95.17	68.82	95.17	68.82	78.52	37.34
3	การเลือกตัวแปรแบบเดินหน้า	<u>95.61</u>	<u>69.16</u>	95.17	69.16	78.84	40.55
4	การกำจัดตัวแปรแบบถอยหลัง	95.17	67.27	95.17	67.22	77.26	48.91

จากตารางจะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่าของสมการถดถอยสูตรเชิงพหุคูณ A ที่มีค่ามากที่สุดคือการตัวแปรนำเข้าแบบปกติวิเคราะห์สมการแบบการเลือกตัวแปรแบบเดินหน้า ให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่าของตัวแปรตอบสนองสำหรับ Y1 อยู่ที่ 95.61% และการตัวแปรนำเข้าแบบปกติวิเคราะห์สมการแบบการเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าและการนำตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วม (X8 แทนตัวแปรอิทธิพลร่วม) ให้ค่า Y2 เท่ากันเท่าอยู่ที่ 69.16% มีรูปแบบสมการเหมือนกัน และโดยมีสมการถดถอย Y1 และ Y2 ดังนี้

$$\begin{aligned}
 Y1 = & -155.6 + 1.415 X1 + 0.0333 X2 + 4.96 X3 + 3.89 X4 \\
 & + 0.0002 X5 - 0.0239 X1^2 - 0.000080 X2^2 - 0.0371 X3^2 \\
 & - 0.150 X1X4 + 0.001570 X2X3 + 0.00131 X2X4 \\
 & + 0.000152 X2X5 - 0.00374 X3X5
 \end{aligned} \tag{3.6}$$

$$\begin{aligned}
 Y2 = & 156 - 0.0506 X2 - 5.85 X3 + 13.74 X4 + 0.140 X5 \\
 & + 0.0332 X3^2 - 0.000228 X5^2 + 0.000055 X2X5 \\
 & + 0.00257 X3X5 - 0.0171 X4X5
 \end{aligned} \tag{3.7}$$

ทั้งนี้เมื่อวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual analysis) ของสมการถดถอย Y1 และ Y2 พบว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Normal Probability Plot) มีลักษณะเป็นเส้นตรง เมื่อพิจารณาการทดสอบการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ที่ระดับนัยสำคัญ  $\alpha = 0.05$  พบว่าค่า P-value ของส่วนตกค้าง เท่ากับ 0.471 และ 0.876 ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่าแอลฟา 0.05 สรุปได้ว่า ส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ

กราฟการกระจายตัวระหว่างส่วนตกค้างเทียบกับตัวแปรตอบสนองมีการกระจายของความคลาดเคลื่อนไม่มีรูปแบบ สรุปได้ว่าข้อมูลมีความเสถียรต่อความแปรปรวน

แผนภาพฮิสโตแกรมของส่วนตกค้าง พบว่าข้อมูลส่วนใหญ่อยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงค่าศูนย์ มีการกระจายตัวเป็นทรงระฆังคว่ำซึ่งบอกรหัสข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับเวลา มีการกระจายตัวของความคลาดเคลื่อนไม่มีรูปแบบชัดเจนแสดงถึงข้อมูลจึงมีความอิสระต่อกัน

ดังนั้นในการหาสภาวะที่เหมาะสมด้วยวิธีวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง (response surface methodology) ของสูตรเชิงพหุคูณ A จะใช้การวิเคราะห์แบบตัวแปรนำเข้าแบบปกติวิเคราะห์สมการถดถอยแบบการเลือกตัวแปรแบบเดินหน้า ( $\alpha$  to enter = 0.25) ดังสมการที่ (3.6) สำหรับตัวแปรตอบสนอง Y1 และตัวแปรตอบสนอง Y2 สมการ (3.7)

### 3.3.2 การวิเคราะห์สมการถดถอยของสูตรเชื้อเพลิง B

#### 3.3.2.1 การวิเคราะห์ตัวแปรนำเข้าแบบปกติ

จากการเก็บข้อมูลจำนวน 42 ข้อมูลของสูตรเชื้อเพลิง B ดังภาคผนวกที่ ก นำมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า (R-sq(adj)) ของตัวแบบสมการถดถอย ด้วยโปรแกรม minitab18 พิจารณาสมการในรูปแบบฟังก์ชันกำลังสอง (Quadratic function) แบ่งเป็นการวิเคราะห์สมการตามหลักสถิติ 4 รูปแบบ ดังนี้

1. พิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัวในสมการ (Full model)
2. การเลือกตัวแปรโดยการเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอน (Stepwise regression) โดยพิจารณา  $\alpha$  to enter = 0.15 และ  $\alpha$  to remove = 0.15
3. การเลือกตัวแปรแบบเดินหน้า (Forward selection) โดยพิจารณา  $\alpha$  to enter = 0.25
4. การกำจัดตัวแปรแบบถอยหลัง (Backward elimination) โดยพิจารณา  $\alpha$  to remove = 0.10

พิจารณาตัวแปรนำเข้าดังนี้

อิทธิพลหลัก คือ

- X1 (ความชื้นเชื้อเพลิง)
- X2 (อัตราการป้อนเชื้อเพลิง)
- X3 (อัตราการป้อนอากาศ)
- X4 (ความดันเตาเผาไหม้)
- X5 (อุณหภูมิเผาไหม้)

อิทธิพลร่วม คือ

- X1\*X2 (ความชื้นเชื้อเพลิง\*อัตราการป้อนเชื้อเพลิง)
- X1\*X3 (ความชื้นเชื้อเพลิง\*อัตราการป้อนอากาศ)
- X1\*X4 (ความชื้นเชื้อเพลิง\*ความดันเตาเผาไหม้)
- X1\*X5 (ความชื้นเชื้อเพลิง\*อุณหภูมิเผาไหม้)
- X2\*X3 (อัตราการป้อนเชื้อเพลิง\*อัตราการป้อนอากาศ)
- X2\*X4 (อัตราการป้อนเชื้อเพลิง\*ความดันเตาเผาไหม้)
- X2\*X5 (อัตราการป้อนเชื้อเพลิง\*อุณหภูมิเผาไหม้)
- X3\*X4 (อัตราการป้อนอากาศ\*ความดันเตาเผาไหม้)
- X3\*X5 (อัตราการป้อนอากาศ\*อุณหภูมิเผาไหม้)
- X4\*X5 (ความดันเตาเผาไหม้\*อุณหภูมิเผาไหม้)

เทอมกำลังสอง คือ	X1*X1 (ความชื้นเชื้อเพลิง*ความชื้นเชื้อเพลิง)
	X2*X2 (อัตราการป้อนเชื้อเพลิง*อัตราการป้อนเชื้อเพลิง)
	X3*X3 (อัตราการป้อนอากาศ*อัตราการป้อนอากาศ)
	X4*X4 (ความดันเตาเผาไหม้*ความดันเตาเผาไหม้)
	X5*X5 (อุณหภูมิเผาไหม้*อุณหภูมิเผาไหม้)

ทั้งนี้ผลวิเคราะห์สมการถดถอยและการตรวจสอบความถูกต้องของสมการ (Model Adequacy Checking) ดังภาคผนวกที่ ข

### 3.3.2.2 การวิเคราะห์ตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการ

จากการเก็บข้อมูลจำนวน 42 ข้อมูลของสูตรเชื้อเพลิง B ดังภาคผนวกที่ ก นำมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า (R-sq(adj)) ของตัวแบบสมการถดถอย ด้วยโปรแกรม minitab18 พิจารณาสมการในรูปแบบฟังก์ชันกำลังสอง (Quadratic function) โดยพิจารณา X8 (สัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง) แทนอิทธิพลร่วม X2\*X3 (อัตราการป้อนเชื้อเพลิง\*อัตราการป้อนอากาศ) แบ่งเป็นการวิเคราะห์สมการตามหลักสถิติ 4 รูปแบบ ดังนี้

1. พิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัวในสมการ (Full model)
2. การเลือกตัวแปรโดยการเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอน (Stepwise regression) โดยพิจารณา  $\alpha$  to enter = 0.15 และ  $\alpha$  to remove = 0.15
3. การเลือกตัวแปรแบบเดินหน้า (Forward selection) โดยพิจารณา  $\alpha$  to enter = 0.25
4. การกำจัดตัวแปรแบบถอยหลัง (Backward elimination) โดยพิจารณา  $\alpha$  to remove = 0.10

พิจารณาตัวแปรนำเข้าดังนี้

อิทธิพลหลัก คือ	X1 (ความชื้นเชื้อเพลิง)
	X2 (อัตราการป้อนเชื้อเพลิง)
	X3 (อัตราการป้อนอากาศ)
	X4 (ความดันเตาเผาไหม้)
	X5 (อุณหภูมิเผาไหม้)
อิทธิพลร่วม คือ	X1*X2 (ความชื้นเชื้อเพลิง*อัตราการป้อนเชื้อเพลิง)
	X1*X3 (ความชื้นเชื้อเพลิง*อัตราการป้อนอากาศ)
	X1*X4 (ความชื้นเชื้อเพลิง*ความดันเตาเผาไหม้)

X1\*X5 (ความชื้นเชื้อเพลิง\*อุณหภูมิเผาไหม้)  
 X8 (สัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง)  
 X2\*X4 (อัตราการป้อนเชื้อเพลิง\*ความดันเตาเผาไหม้)  
 X2\*X5 (อัตราการป้อนเชื้อเพลิง\*อุณหภูมิเผาไหม้)  
 X3\*X4 (อัตราการป้อนอากาศ\*ความดันเตาเผาไหม้)  
 X3\*X5 (อัตราการป้อนอากาศ\*อุณหภูมิเผาไหม้)  
 X4\*X5 (ความดันเตาเผาไหม้\*อุณหภูมิเผาไหม้)

เทอมกำลังสอง คือ X1\*X1 (ความชื้นเชื้อเพลิง\*ความชื้นเชื้อเพลิง)  
 X2\*X2 (อัตราการป้อนเชื้อเพลิง\*อัตราการป้อนเชื้อเพลิง)  
 X3\*X3 (อัตราการป้อนอากาศ\*อัตราการป้อนอากาศ)  
 X4\*X4 (ความดันเตาเผาไหม้\*ความดันเตาเผาไหม้)  
 X5\*X5 (อุณหภูมิเผาไหม้\*อุณหภูมิเผาไหม้)

ทั้งนี้ผลวิเคราะห์สมการถดถอยและการตรวจสอบความถูกต้องของสมการ (Model Adequacy Checking) ดังภาคผนวกที่ ข

### 3.3.2.3 การวิเคราะห์ตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการ

จากการเก็บข้อมูลจำนวน 42 ข้อมูลของสูตรเชื้อเพลิง B ดังภาคผนวกที่ ก นำมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า (R-sq(adj)) ของตัวแบบสมการถดถอย ด้วยโปรแกรม minitab18 พิจารณาสมการในรูปแบบฟังก์ชันกำลังสอง (Quadratic function) โดยพิจารณา X8 (สัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง) แทนอิทธิพลหลักคือ X2 (อัตราการป้อนเชื้อเพลิง) และ X3 (อัตราการป้อนอากาศ) แบ่งเป็นการวิเคราะห์สมการตามหลักสถิติ 4 รูปแบบ ดังนี้

1. พิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัวในสมการ (Full model)
2. การเลือกตัวแปรโดยการเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอน (Stepwise regression) โดยพิจารณา  $\alpha$  to enter = 0.15 และ  $\alpha$  to remove = 0.15
3. การเลือกตัวแปรแบบเดินหน้า (Forward selection) โดยพิจารณา  $\alpha$  to enter = 0.25
4. การกำจัดตัวแปรแบบถอยหลัง (Backward elimination) โดยพิจารณา  $\alpha$  to remove = 0.10

พิจารณาตัวแปรนำเข้าดังนี้

อิทธิพลหลัก คือ X1 (ความชื้นเชื้อเพลิง)



	X8 (สัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง)
	X4 (ความดันเตาเผาไหม้)
	X5 (อุณหภูมิเผาไหม้)
อิทธิพลร่วม คือ	X1*X8 (ความชื้นเชื้อเพลิง*สัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง)
	X1*X4 (ความชื้นเชื้อเพลิง*ความดันเตาเผาไหม้)
	X1*X5 (ความชื้นเชื้อเพลิง*อุณหภูมิเผาไหม้)
	X8*X4 (สัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง*ความดันเตาเผาไหม้)
	X4*X5 (ความดันเตาเผาไหม้*อุณหภูมิเผาไหม้)
เทอมกำลังสอง คือ	X1*X1 (ความชื้นเชื้อเพลิง*ความชื้นเชื้อเพลิง)
	X8*X8 (สัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง*สัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง)
	X4*X4 (ความดันเตาเผาไหม้*ความดันเตาเผาไหม้)
	X5*X5 (อุณหภูมิเผาไหม้*อุณหภูมิเผาไหม้)

ทั้งนี้ผลวิเคราะห์สมการถดถอยและการตรวจสอบความถูกต้องของสมการ (Model Adequacy Checking) ดังภาคผนวกที่ ข

### 3.3.2.4 สรุปเปรียบเทียบการวิเคราะห์สมการถดถอยของสูตรเชื้อเพลิง B

จากการวิเคราะห์สมการถดถอยของสูตรเชื้อเพลิง B เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า (R-sq(adj)) ของตัวแบบสมการถดถอยที่ดีที่สุดด้วยโปรแกรม minitab18 แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 3 กลุ่มคือ การวิเคราะห์ตัวแปรนำเข้าแบบปกติ การวิเคราะห์ตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการ และการวิเคราะห์ตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการ โดยแต่ละกลุ่มจะแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 4 รูปแบบตามหลักสถิติ ดังนี้

1. พิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัวในสมการ (Full model)
2. การเลือกตัวแปรโดยการเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอน (Stepwise regression) โดยพิจารณา  $\alpha$  to enter = 0.15 และ  $\alpha$  to remove = 0.15
3. การเลือกตัวแปรแบบเดินหน้า (Forward selection) โดยพิจารณา  $\alpha$  to enter = 0.25
4. การกำจัดตัวแปรแบบถอยหลัง (Backward elimination) โดยพิจารณา  $\alpha$  to remove = 0.10

จากการวิเคราะห์หัวข้อ 3.3.2.1 – 3.3.2.3 สามารถเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า (R-sq(adj)) ดังตารางที่

ตารางที่ 3.57 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่าของสมการถดถอยสูตรเชิงพหุคูณ B

กรณี	รูปแบบสมการถดถอย	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า R-sq(adj), %					
		ตัวแปรนำเข้าแบบปกติ		X8 แทนตัวแปรอิทธิพลร่วม		X8 แทนตัวแปรอิทธิพลหลัก	
		Y1	Y2	Y1	Y2	Y1	Y2
1	พิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัวในสมการ	95.67	68.51	95.69	69.94	63.4	47.87
2	การเลือกตัวแปรโดยการเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอน	96.51	72.62	96.51	72.62	58.83	49.67
3	การเลือกตัวแปรแบบเดินหน้า	96.57	73.33	96.49	73.33	59.37	50.27
4	การกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลัง	96.51	74.18	96.51	74.14	65.96	49.91

จากตาราง 3.57 จะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่าของสมการถดถอยสูตรเชิงพหุคูณ B ที่มีค่ามากที่สุดคือการตัวแปรนำเข้าแบบปกติวิเคราะห์สมการแบบการเลือกตัวแปรแบบเดินหน้า ( $\alpha$  to enter = 0.25) ให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่าของตัวแปรตอบสนองสำหรับ Y1 อยู่ที่ 96.57% และการวิเคราะห์ตัวแปรนำเข้าแบบปกติด้วยสมการแบบการกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลัง ( $\alpha$  to remove = 0.10) ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า Y2 อยู่ที่ 74.18% มีสมการถดถอย Y1 และ Y2 ดังนี้

$$Y1 = 154.0 - 0.0959 X1 + 0.02765 X2 - 2.550 X3 + 9.24 X4 - 0.1870 X5 + 0.860 X4^2 + 0.00637 X2X4 + 0.003221 X3X5 - 0.01979 X4X5 \quad (ข13)$$

$$Y2 = 135.5 - 1.073 X1 - 0.0835 X2 + 3.23 X3 + 18.99 X4 - 0.2983 X5 - 0.0469 X3^2 + 2.055 X4^2 + 0.000158 X5^2 - 0.1253 X1X4 + 0.001054 X1X5 + 0.001286 X2X3 - 0.00696 X2X4 \quad (ข16)$$

ทั้งนี้เมื่อวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual analysis) ของสมการถดถอย Y1 และ Y2 พบว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Normal Probability Plot) มีลักษณะเป็นเส้นตรง เมื่อพิจารณาการทดสอบการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ที่ระดับนัยสำคัญ  $\alpha = 0.05$  พบว่าค่า P-value



	X3 (อัตราการป้อนอากาศ)
	X4 (ความดันเตาเผาใหม่)
	X5 (อุณหภูมิเผาใหม่)
อิทธิพลร่วม คือ	X1*X2 (ความชื้นเชื้อเพลิง*อัตราการป้อนเชื้อเพลิง)
	X1*X3 (ความชื้นเชื้อเพลิง*อัตราการป้อนอากาศ)
	X1*X4 (ความชื้นเชื้อเพลิง*ความดันเตาเผาใหม่)
	X1*X5 (ความชื้นเชื้อเพลิง*อุณหภูมิเผาใหม่)
	X2*X3 (อัตราการป้อนเชื้อเพลิง*อัตราการป้อนอากาศ)
	X2*X4 (อัตราการป้อนเชื้อเพลิง*ความดันเตาเผาใหม่)
	X2*X5 (อัตราการป้อนเชื้อเพลิง*อุณหภูมิเผาใหม่)
	X3*X4 (อัตราการป้อนอากาศ*ความดันเตาเผาใหม่)
	X3*X5 (อัตราการป้อนอากาศ*อุณหภูมิเผาใหม่)
	X4*X5 (ความดันเตาเผาใหม่*อุณหภูมิเผาใหม่)
เทอมกำลังสอง คือ	X1*X1 (ความชื้นเชื้อเพลิง*ความชื้นเชื้อเพลิง)
	X2*X2 (อัตราการป้อนเชื้อเพลิง*อัตราการป้อนเชื้อเพลิง)
	X3*X3 (อัตราการป้อนอากาศ*อัตราการป้อนอากาศ)
	X4*X4 (ความดันเตาเผาใหม่*ความดันเตาเผาใหม่)
	X5*X5 (อุณหภูมิเผาใหม่*อุณหภูมิเผาใหม่)

ทั้งนี้ผลวิเคราะห์สมการถดถอยและการตรวจสอบความถูกต้องของสมการ (Model Adequacy Checking) ดังภาคผนวกที่ ค

### 3.3.3.2 การวิเคราะห์ตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการ

จากการเก็บข้อมูลจำนวน 40 ข้อมูลของสูตรเชื้อเพลิง C ดังภาคผนวกที่ ก นำมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า (R-sq(adj)) ของตัวแบบสมการถดถอย ด้วยโปรแกรม minitab18 พิจารณาสมการในรูปแบบฟังก์ชันกำลังสอง (Quadratic function) โดยพิจารณา X8 (สัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง) แทนอิทธิพลร่วม X2\*X3 (อัตราการป้อนเชื้อเพลิง\*อัตราการป้อนอากาศ) แบ่งเป็นการวิเคราะห์สมการตามหลักสถิติ 4 รูปแบบ ดังนี้

1. พิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัวในสมการ (Full model)

2. การเลือกตัวแปรโดยการเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอน (Stepwise regression) โดยพิจารณา  $\alpha$  to enter = 0.15 และ  $\alpha$  to remove = 0.15
3. การเลือกตัวแปรแบบเดินหน้า (Forward selection) โดยพิจารณา  $\alpha$  to enter = 0.25
4. การกำจัดตัวแปรแบบถอยหลัง (Backward elimination) โดยพิจารณา  $\alpha$  to remove = 0.10

พิจารณาตัวแปรนำเข้าดังนี้

อิทธิพลหลัก คือ	X1 (ความชื้นเชื้อเพลิง) X2 (อัตราการป้อนเชื้อเพลิง) X3 (อัตราการป้อนอากาศ) X4 (ความดันเตาเผาไหม้) X5 (อุณหภูมิเผาไหม้)
อิทธิพลร่วม คือ	X1*X2 (ความชื้นเชื้อเพลิง*อัตราการป้อนเชื้อเพลิง) X1*X3 (ความชื้นเชื้อเพลิง*อัตราการป้อนอากาศ) X1*X4 (ความชื้นเชื้อเพลิง*ความดันเตาเผาไหม้) X1*X5 (ความชื้นเชื้อเพลิง*อุณหภูมิเผาไหม้) X8 (สัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง) X2*X4 (อัตราการป้อนเชื้อเพลิง*ความดันเตาเผาไหม้) X2*X5 (อัตราการป้อนเชื้อเพลิง*อุณหภูมิเผาไหม้) X3*X4 (อัตราการป้อนอากาศ*ความดันเตาเผาไหม้) X3*X5 (อัตราการป้อนอากาศ*อุณหภูมิเผาไหม้) X4*X5 (ความดันเตาเผาไหม้*อุณหภูมิเผาไหม้)
เทอมกำลังสอง คือ	X1*X1 (ความชื้นเชื้อเพลิง*ความชื้นเชื้อเพลิง) X2*X2 (อัตราการป้อนเชื้อเพลิง*อัตราการป้อนเชื้อเพลิง) X3*X3 (อัตราการป้อนอากาศ*อัตราการป้อนอากาศ) X4*X4 (ความดันเตาเผาไหม้*ความดันเตาเผาไหม้) X5*X5 (อุณหภูมิเผาไหม้*อุณหภูมิเผาไหม้)

ทั้งนี้ผลวิเคราะห์สมการถดถอยและการตรวจสอบความถูกต้องของสมการ (Model Adequacy Checking) ดังภาคผนวกที่ ค

### 3.3.3.3 การวิเคราะห์ตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการ

จากการเก็บข้อมูลจำนวน 40 ข้อมูลของสูตรเชื้อเพลิง C ดังภาคผนวกที่ ก นำมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดล้นใจปรับค่า (R-sq(adj) ของตัวแบบสมการถดถอย ด้วยโปรแกรม minitab18 พิจารณาสมการในรูปแบบฟังก์ชันกำลังสอง (Quadratic function) โดยพิจารณา X8 (สัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง) แทนอิทธิพลหลักคือ X2 (อัตราการป้อนเชื้อเพลิง) และ X3 (อัตราการป้อนอากาศ) แบ่งเป็นการวิเคราะห์สมการตามหลักสถิติ 4 รูปแบบ ดังนี้

1. พิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัวในสมการ (Full model)
2. การเลือกตัวแปรโดยการเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอน (Stepwise regression) โดยพิจารณา  $\alpha$  to enter = 0.15 และ  $\alpha$  to remove = 0.15
3. การเลือกตัวแปรแบบเดินหน้า (Forward selection) โดยพิจารณา  $\alpha$  to enter = 0.25
4. การกำจัดตัวแปรแบบถอยหลัง (Backward elimination) โดยพิจารณา  $\alpha$  to remove = 0.10

พิจารณาตัวแปรนำเข้าดังนี้

อิทธิพลหลัก คือ

X1 (ความชื้นเชื้อเพลิง)  
X8 (สัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง)  
X4 (ความดันเตาเผาไหม้)  
X5 (อุณหภูมิเตาเผาไหม้)

อิทธิพลร่วม คือ

X1\*X8 (ความชื้นเชื้อเพลิง\*สัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง)  
X1\*X4 (ความชื้นเชื้อเพลิง\*ความดันเตาเผาไหม้)  
X1\*X5 (ความชื้นเชื้อเพลิง\*อุณหภูมิเตาเผาไหม้)  
X8\*X4 (สัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง\*ความดันเตาเผาไหม้)  
X4\*X5 (ความดันเตาเผาไหม้\*อุณหภูมิเตาเผาไหม้)

เทอมกำลังสอง คือ

X1\*X1 (ความชื้นเชื้อเพลิง\*ความชื้นเชื้อเพลิง)  
X8\*X8 (สัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง\*สัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง)  
X4\*X4 (ความดันเตาเผาไหม้\*ความดันเตาเผาไหม้)  
X5\*X5 (อุณหภูมิเตาเผาไหม้\*อุณหภูมิเตาเผาไหม้)

ทั้งนี้ผลวิเคราะห์สมการถดถอยและการตรวจสอบความถูกต้องของสมการ (Model Adequacy Checking) ดังภาคผนวกที่ ค

### 3.3.3.4 สรุปเปรียบเทียบการวิเคราะห์สมการถดถอยของสูตรเชื้อเพลิง C

จากการวิเคราะห์สมการถดถอยของสูตรเชื้อเพลิง C เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า (R-sq(adj)) ของตัวแบบสมการถดถอยที่ดีที่สุดด้วยโปรแกรม minitab18 แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 3 กลุ่มคือ การวิเคราะห์ตัวแปรนำเข้าแบบปกติ การวิเคราะห์ตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการ และการวิเคราะห์ตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการ โดยแต่ละกลุ่มจะแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 4 รูปแบบ ดังนี้

1. พิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัวในสมการ (Full model)
2. การเลือกตัวแปรโดยการเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอน (Stepwise regression) โดยพิจารณา  $\alpha$  to enter = 0.15 และ  $\alpha$  to remove = 0.15
3. การเลือกตัวแปรแบบเดินหน้า (Forward selection) โดยพิจารณา  $\alpha$  to enter = 0.25
4. การกำจัดตัวแปรแบบถอยหลัง (Backward elimination) โดยพิจารณา  $\alpha$  to remove = 0.10

จากการวิเคราะห์หัวข้อ 3.3.3.1 – 3.3.3.3 สามารถเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า (R-sq(adj)) ดังตารางที่ 3.130

ตารางที่ 3.58 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่าของสมการถดถอยสูตรเชื้อเพลิง C

กรณีที่	รูปแบบสมการถดถอย	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า R-sq(adj), %					
		ตัวแปรนำเข้าแบบปกติ		X8 แทนตัวแปรอิทธิพลร่วม		X8 แทนตัวแปรอิทธิพลหลัก	
		Y1	Y2	Y1	Y2	Y1	Y2
1	พิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัวในสมการ	82.64	58.5	82.59	58.08	65.09	55.86
2	การเลือกตัวแปรโดยการเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอน	79.34	58.74	79.34	58.74	62.12	59.08
3	การเลือกตัวแปรแบบเดินหน้า	78.65	58.74	78.65	58.74	63.65	60.23
4	การกำจัดตัวแปรแบบถอยหลัง	<u>84.17</u>	<u>65.49</u>	84.17	64.89	63.79	58.14

จากตารางจะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่าของสมการถดถอยสูตรเชิงพหุคูณ C ที่มีค่ามากที่สุดคือการตัวแปรนำเข้าแบบปกติวิเคราะห์สมการแบบการกำจัดตัวแปรแบบถอยหลัง ( $\alpha$  to remove = 0.10) ให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่าของตัวแปรตอบสนองสำหรับ Y1 อยู่ที่ 84.17% และการวิเคราะห์ตัวแปรนำเข้าแบบปกติด้วยสมการแบบการกำจัดตัวแปรแบบถอยหลัง ( $\alpha$  to remove = 0.10) ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า Y2 อยู่ที่ 65.49% มีสมการถดถอย Y1 และ Y2 ดังนี้

$$\begin{aligned} Y1 = & 273 - 11.30 X1 - 0.339 X2 + 2.824 X3 + 15.0 X4 + 0.329 X5 \\ & - 1.681 X4^2 - 0.000606 X5^2 + 0.004077 X1X2 - 0.0867 X1X3 \\ & - 0.842 X1X4 + 0.01063 X1X5 + 0.000244 X2X5 - 0.377 X3X4 \\ & + 0.0366 X4X5 \end{aligned} \quad (ค15)$$

$$\begin{aligned} Y2 = & -337 + 0.2098 X2 - 3.61 X3 - 29.59 X4 + 0.671 X5 \\ & - 0.000065 X2^2 + 0.0336 X3^2 - 0.000414 X5^2 + 0.02094 X2X4 \end{aligned} \quad (ค16)$$

ทั้งนี้เมื่อวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual analysis) ของสมการถดถอย Y1 และ Y2 พบว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Normal Probability Plot) มีลักษณะเป็นเส้นตรง เมื่อพิจารณาการทดสอบการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ที่ระดับนัยสำคัญ  $\alpha = 0.05$  พบว่าค่า P-value ของส่วนตกค้าง เท่ากับ 0.563 และ 0.090 ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่าแอลฟา 0.05 สรุปได้ว่า ส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ

กราฟการกระจายตัวระหว่างส่วนตกค้างเทียบกับตัวแปรตอบสนองมีการกระจายของความคลาดเคลื่อนไม่มีรูปแบบ สรุปได้ว่าข้อมูลมีความเสถียรต่อความแปรปรวน

แผนภาพฮิสโตแกรมของส่วนตกค้าง พบว่าข้อมูลส่วนใหญ่อยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงค่าศูนย์ มีการกระจายตัวเป็นทรงระฆังคว่ำซึ่งบอกถึงข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับเวลา มีการกระจายตัวของความคลาดเคลื่อนไม่มีรูปแบบชัดเจนแสดงถึงข้อมูลจึงมีความอิสระต่อกัน

ดังนั้นในการหาสภาวะที่เหมาะสมของสูตรเชิงพหุคูณ C ด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (response surface methodology) จะใช้การวิเคราะห์ตัวแปรนำเข้าแบบปกติด้วยสมการแบบการกำจัดตัวแปรแบบถอยหลัง ( $\alpha$  to remove = 0.10) ดังสมการที่ (ค15) สำหรับตัวแปรตอบสนอง Y1 และ สมการที่ (ค16) สำหรับตัวแปรตอบสนอง Y2



### 3.4 การหาสภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรโดยวิธีการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง (Response surface methodology)

การปรับค่าหาสภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรต้นและตัวแปรตอบสนองพิจารณาเป้าหมายของโรงงานคืออัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูง (Y1) ที่ 43 kg/s เพื่อผลิตไฟฟ้าและจ่ายไอน้ำให้ได้ตามข้อตกลงของลูกค้า และควบคุมออกซิเจนส่วนเกิน (Y2) ให้อยู่ในช่วงที่ 3-4.5% ตามค่าการออกแบบของเครื่องจักร หลังจากนั้นพิจารณาปรับค่าอัตราการป้อนเชื้อเพลิงเนื่องจากเป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อต้นทุน เพื่อให้การผลิตมีต้นทุนที่ดีที่สุด

จากหัวข้อ 3.3 สามารถนำสมการถดถอยที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า (R-sq(adj)) ของตัวแปรตอบสนอง Y1 และ Y2 มากที่สุด มาวิเคราะห์ด้วยวิธีการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง (Response surface methodology) ของเชื้อเพลิงแต่ละสูตรเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรต้นแต่ละตัวแปรตอบสนองโดยพิจารณาในขอบเขตค่าควบคุมตามค่าควบคุมโรงงานดังตารางที่ 3.59-3.60

ตารางที่ 3.59 ค่าควบคุมของตัวแปรต้นของโรงงานกรณีศึกษา

ตัวแปรต้น		หน่วย	ค่าควบคุม
ความชื้นเชื้อเพลิง	X1	%	33-55
อัตราการป้อนเชื้อเพลิง	X2	ton/d	1450-1600
อัตราการป้อนอากาศ	X3	kg/s	39.3 - 66.1
ความดันเตาเผาไหม้	X4	mbar	-1 ถึง -3
อุณหภูมิเตาเผาไหม้	X5	°C	700 - 900
อุณหภูมิไอน้ำแรงดันสูง	X6	°C	480
ความดันไอน้ำแรงดันสูง	X7	bar	81

ตารางที่ 3.60 ค่าควบคุมของตัวแปรตอบสนองของโรงงานกรณีศึกษา

ตัวแปรตาม		หน่วย	ค่าควบคุม
อัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูง	Y1	kg/s	43
ออกซิเจนส่วนเกินหลังการเผาไหม้	Y2	%	3-4.5

วิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม minitab18 โดยใช้ฟังก์ชัน Response optimizer กำหนดสภาวะดังนี้

- สูตรเชิงพหุคูณ A

กำหนดสมการถดถอยแบบเดินหน้า (Forward selection) พิจารณา  $\alpha$  to enter = 0.25  
สำหรับ Y1 และ Y2

$$Y1 = -155.6 + 1.415 X1 + 0.0333 X2 + 4.96 X3 + 3.89 X4 + 0.0002 X5 - 0.0239 X1^2 - 0.000080 X2^2 - 0.0371 X3^2 - 0.150 X1X4 + 0.001570 X2X3 + 0.00131 X2X4 + 0.000152 X2X5 - 0.00374 X3X5 \quad (3.6)$$

$$Y2 = 156 - 0.0506 X2 - 5.85 X3 + 13.74 X4 + 0.140 X5 + 0.0332 X3^2 - 0.000228 X5^2 + 0.000055 X2X5 + 0.00257 X3X5 - 0.0171 X4X5 \quad (3.7)$$

ตัวแปรต้น

ความชื้นเชื้อเพลิง (X1)	= 33 %
อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (X2)	= 1455 ton/d
อัตราการป้อนอากาศ (X3)	= 54 kg/s
ความดันเตาเผาไหม้ (X4)	= -1.00 mbar
อุณหภูมิเตาเผาไหม้ (X5)	= 881 °C

ตัวแปรตอบสนอง

อัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูง (Y1)	= 43.01 kg/s
ออกซิเจนส่วนเกินหลังการเผาไหม้ (Y2)	= 4.22 %

- สูตรเชิงพหุคูณ B

กำหนดสมการถดถอยแบบเดินหน้า (Forward selection) พิจารณา  $\alpha$  to enter = 0.25  
สำหรับ Y1 และ แบบ Backward elimination พิจารณา  $\alpha$  to enter = 0.10 สำหรับ Y2

$$Y1 = 154.0 - 0.0959 X1 + 0.02765 X2 - 2.550 X3 + 9.24 X4 - 0.1870 X5 + 0.860 X4^2 + 0.00637 X2X4 + 0.003221 X3X5 - 0.01979 X4X5 \quad (ข13)$$

$$Y2 = 135.5 - 1.073 X1 - 0.0835 X2 + 3.23 X3 + 18.99 X4 - 0.2983 X5 - 0.0469 X3^2 + 2.055 X4^2 + 0.000158 X5^2 - 0.1253 X1X4 + 0.001054 X1X5 + 0.001286 X2X3 - 0.00696 X2X4 \quad (ข16)$$

ตัวแปรต้น

ความชื้นเชื้อเพลิง (X1)	= 33.00 %
อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (X2)	= 1469 ton/d
อัตราการป้อนอากาศ (X3)	= 58.23 kg/s
ความดันเตาเผาไหม้ (X4)	= -1.10 mbar
อุณหภูมิเตาเผาไหม้ (X5)	= 870.00 °C

ตัวแปรตอบสนอง

อัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูง (Y1)	= 43.02 kg/s
ออกซิเจนส่วนเกินหลังการเผาไหม้ (Y2)	= 4.38 %

● สูตรเชื้อเพลิง C

กำหนดสมการถดถอยแบบ Backward elimination พิจารณา  $\alpha$  to enter = 0.10 สำหรับ Y1 และ Y2

$$Y1 = 273 - 11.30 X1 - 0.339 X2 + 2.824 X3 + 15.0 X4 + 0.329 X5 - 1.681 X4^2 - 0.000606 X5^2 + 0.004077 X1X2 - 0.0867 X1X3 - 0.842 X1X4 + 0.01063 X1X5 + 0.000244 X2X5 - 0.377 X3X4 + 0.0366 X4X5 \quad (ค15)$$

$$Y2 = -337 + 0.2098 X2 - 3.61 X3 - 29.59 X4 + 0.671 X5 - 0.000065 X2^2 + 0.0336 X3^2 - 0.000414 X5^2 + 0.02094 X2X4 \quad (ค16)$$

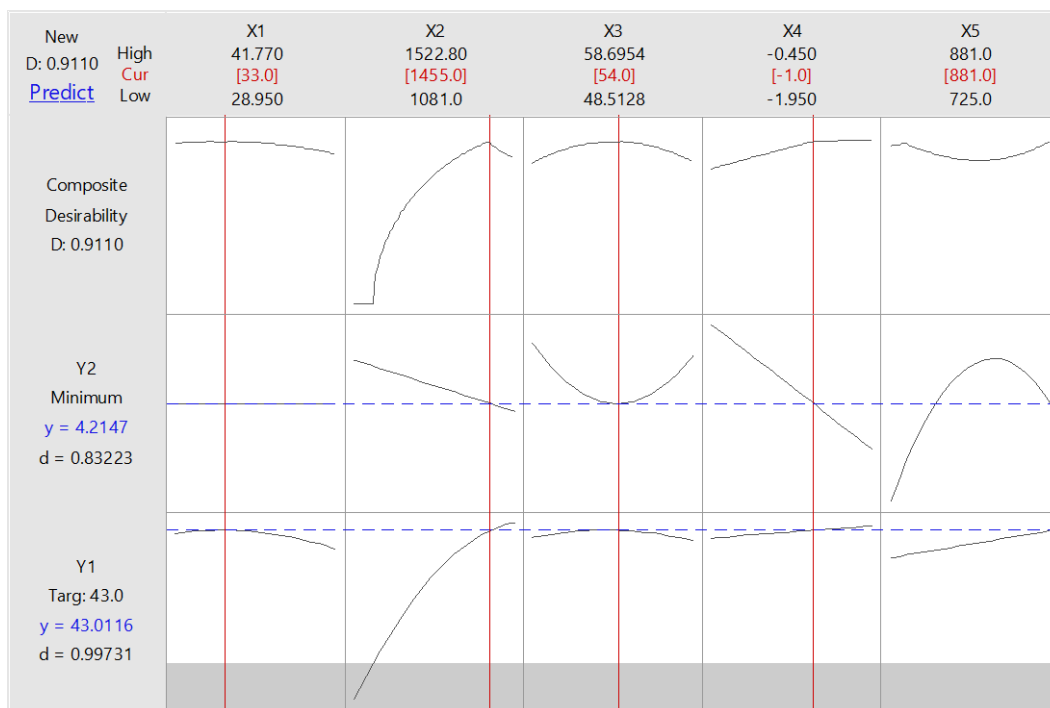
ตัวแปรต้น

ความชื้นเชื้อเพลิง (X1)	= 33.00 %
อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (X2)	= 1504 ton/d
อัตราการป้อนอากาศ (X3)	= 56.52 kg/s
ความดันเตาเผาไหม้ (X4)	= -1.21 mbar
อุณหภูมิเตาเผาไหม้ (X5)	= 848 °C

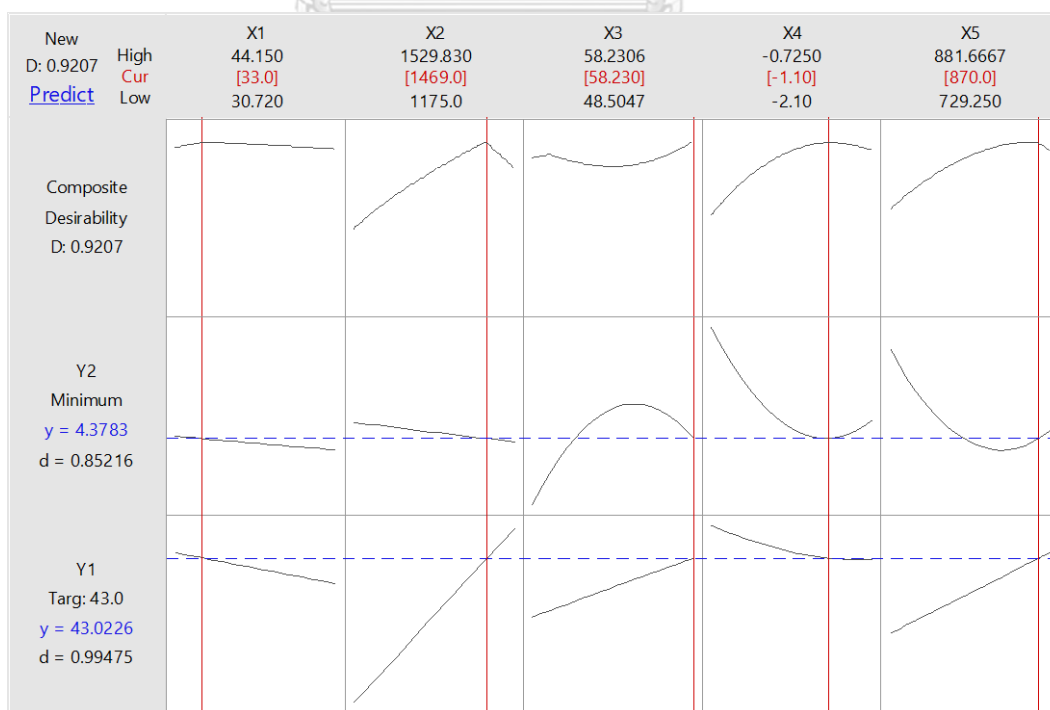
ตัวแปรตอบสนอง

อัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูง (Y1)	= 43.01 kg/s
ออกซิเจนส่วนเกินหลังการเผาไหม้ (Y2)	= 4.47 %

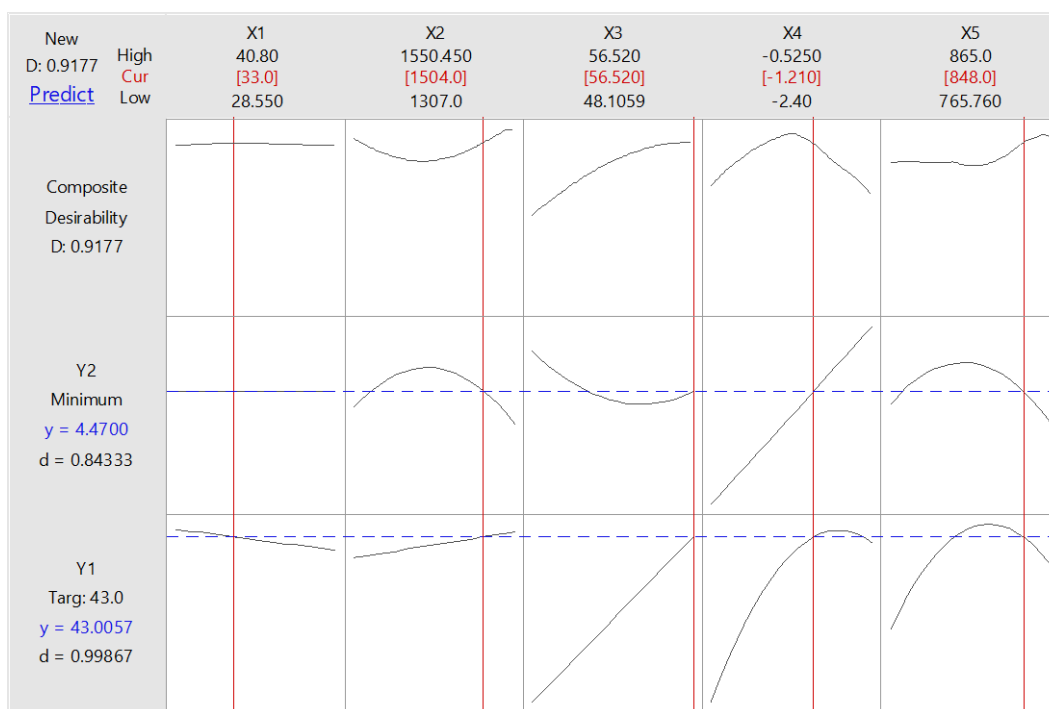
ผลวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองดังรูปที่ 3.27-3.29 สามารถสรุปสถานะที่เหมาะสมในการเดินเครื่องของเชื้อเพลิงแต่ละสูตรจากโปรแกรม minitab18 ได้ดังตารางที่ 3.61



รูปที่ 3.27 ผลวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองของสูตรเชื้อเพลิง A



รูปที่ 3.28 ผลวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองของสูตรเชื้อเพลิง B



รูปที่ 3.29 ผลวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองของสูตรเชื้อเพลิง C

ตารางที่ 3.61 ผลการวิเคราะห์หาสถานะที่เหมาะสมด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนองของเชื้อเพลิงแต่ละสูตร

ตัวแปรต้น	หน่วย	ค่าควบคุม	สถานะที่เหมาะสม			
			สูตร A	สูตร B	สูตร C	
ความชื้นเชื้อเพลิง	X1	%	33-55	33.00	33.00	33.00
อัตราการป้อนเชื้อเพลิง	X2	ton/d	1450-1600	1455	1469	1504
อัตราการป้อนอากาศ	X3	kg/s	39.3 - 66.1	54.00	58.23	56.52
ความดันเตาเผาไหม้	X4	mbar	-1 ถึง -3	-1.00	-1.10	-1.21
อุณหภูมิเตาเผาไหม้	X5	°C	700 - 900	881.00	870.00	848.00
ตัวแปรตอบสนอง		หน่วย	ค่าควบคุม	สูตร A	สูตร B	สูตร C
อัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูง	Y1	kg/s	43	43.01	43.02	43.01
ออกซิเจนส่วนเกินหลังการเผาไหม้	Y2	%	3-4.5	4.22	4.38	4.47

### 3.5 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตอบสนอง

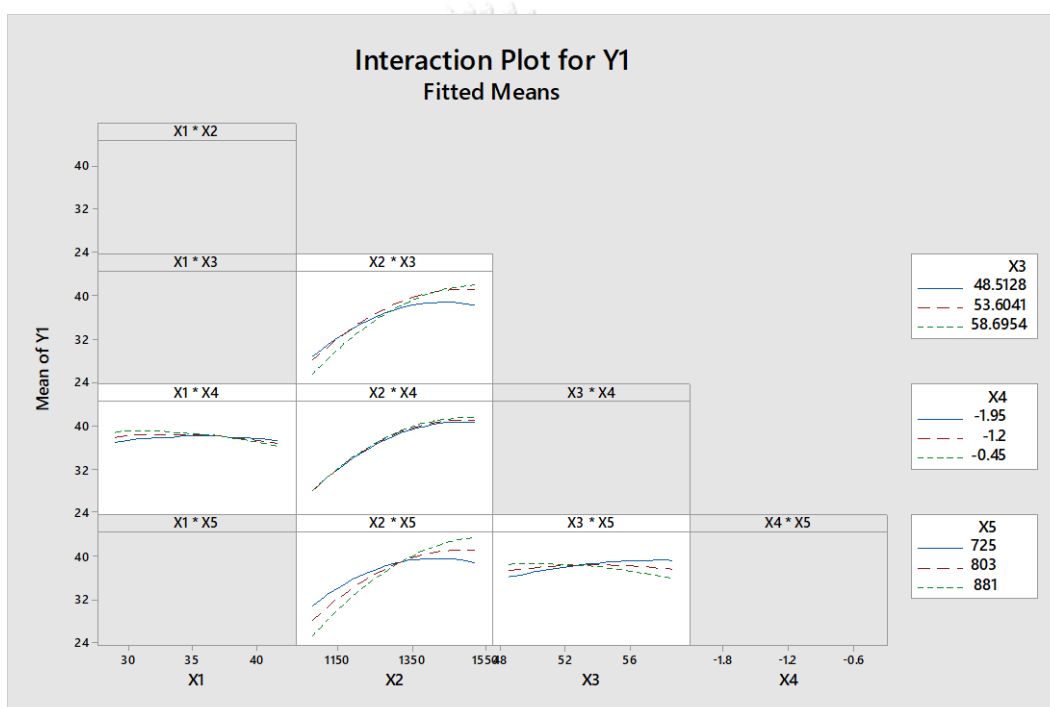
ทั้งนี้ในการปรับค่าหาสภาวะที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงแต่ละสูตรเป็นการปรับค่าโดยพิจารณา ค่าควบคุมของโรงงานเพื่อให้ได้ตัวแปรตอบสนองตามเป้าหมายโดยพิจารณาต้นทุนต่ำเป็นหลัก รวมถึง การปรับค่าตัวแปรต้นคำนึงถึงทฤษฎีการเผาไหม้เชื้อเพลิงเพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมสำหรับโรงไฟฟ้า กรณีศึกษา พิจารณาอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองของสูตรเชื้อเพลิงแต่ละ สูตร ดังนี้

#### สูตรเชื้อเพลิง A

- อิทธิพลร่วมระหว่างตัวแปรต้นแต่ละตัวที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y1 สูตรเชื้อเพลิง A (รูปที่ 3.30)
- X1 (ความชื้นเชื้อเพลิง) \* X4 (ความดันเตาเผาไหม้) จากกราฟพบว่าเมื่อความชื้นเชื้อเพลิงต่ำ ความดันเตาเผาไหม้ต่ำอัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูงมีค่าต่ำ และเมื่อความชื้นเชื้อเพลิง เพิ่มขึ้น โดยที่ความดันเตาเผาไหม้ต่ำพบว่าอัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูงมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในส่วนความชื้นเชื้อเพลิงต่ำและความดันเตาเผาไหม้สูง อัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูงมีค่าสูง และเมื่อความชื้นเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นพบว่าอัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูงมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย
  - X2 (อัตราการป้อนเชื้อเพลิง) \* X3 (อัตราการป้อนอากาศ) พบว่าเมื่อป้อนเชื้อเพลิงต่ำและการป้อนอากาศต่ำ อัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูงมีค่าสูง เมื่อเพิ่มการป้อนเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น อัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในส่วนอัตราการป้อนเชื้อเพลิงต่ำและอัตราการป้อนอากาศสูงอัตราการผลิตไอน้ำมีค่าต่ำ เมื่อเพิ่มการป้อนเชื้อเพลิงมากขึ้นอัตราการผลิตไอน้ำมีค่าสูงขึ้นในอัตราที่มากกว่า การป้อนเชื้อเพลิงต่ำและการป้อนอากาศต่ำ
  - X2 (อัตราการป้อนเชื้อเพลิง) \* X4 (ความดันเตาเผาไหม้) พบว่าเมื่อป้อนเชื้อเพลิงต่ำและความดันเตาเผาไหม้ต่ำ อัตราการผลิตไอน้ำมีค่าใกล้เคียงกับการป้อนเชื้อเพลิงต่ำและความดันเตาเผาไหม้สูง เมื่อเพิ่มการป้อนเชื้อเพลิงมากขึ้น การผลิตไอน้ำแรงดันสูงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยที่การป้อนเชื้อเพลิงต่ำและความดันเตาเผาไหม้สูงมีผลให้อัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูงมีแนวโน้มมากขึ้นในอัตราที่มากกว่าการป้อนเชื้อเพลิงต่ำและความดันเตาเผาไหม้ต่ำ
  - X2 (อัตราการป้อนเชื้อเพลิง) \* X5 (อุณหภูมิเตาเผาไหม้) พบว่าเมื่อป้อนเชื้อเพลิงต่ำและอุณหภูมิเตาเผาไหม้ต่ำอัตราการผลิตไอน้ำมีค่าสูงและเมื่อเพิ่มการป้อนเชื้อเพลิงมากขึ้น อัตราการผลิตไอน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในส่วนการป้อนเชื้อเพลิงต่ำและอุณหภูมิเตาเผาไหม้สูง

อัตราการผลิตไอน้ำมีค่าต่ำและเมื่อเพิ่มการป้อนเชื้อเพลิงมากขึ้นทำให้อัตราการผลิตไอน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นโดยเพิ่มขึ้นในอัตราที่มากกว่าป้อนเชื้อเพลิงสูงและอุณหภูมิเตาเผาไหม้ต่ำ

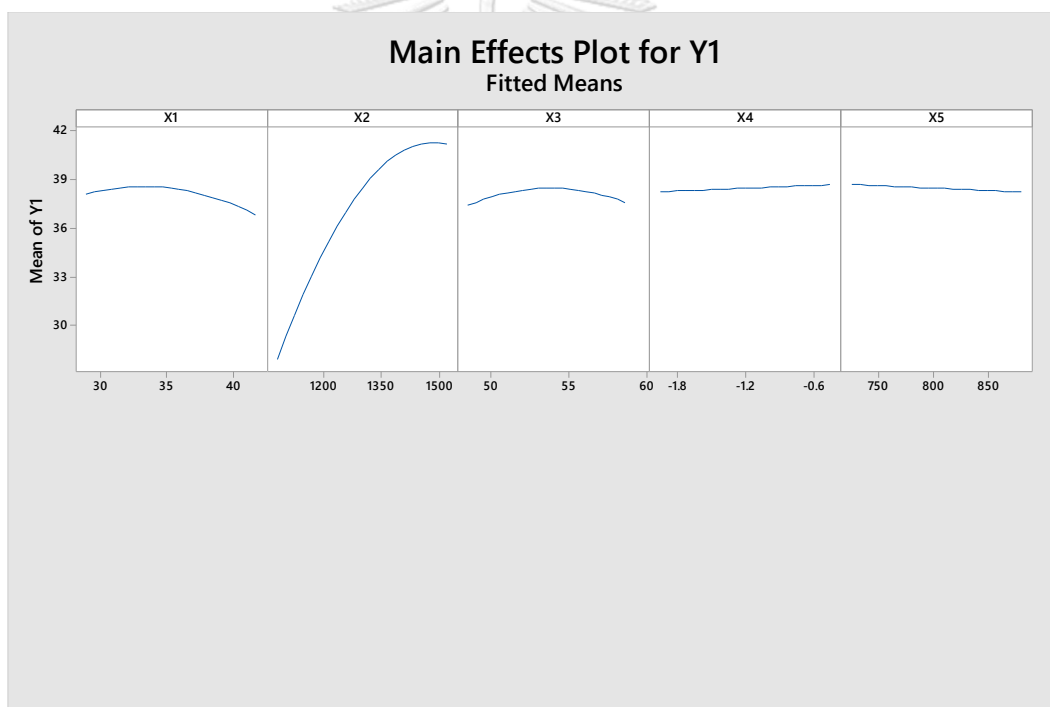
- X3 (อัตราการป้อนอากาศ) \* X5 (อุณหภูมิเตาเผาไหม้) พบว่าที่การป้อนอากาศต่ำและอุณหภูมิเตาเผาไหม้ต่ำมีผลให้อัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูงมีค่าต่ำ เมื่อป้อนอากาศมากขึ้นทำให้อัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในส่วนการป้อนอากาศต่ำและอุณหภูมิเตาเผาไหม้สูงมีผลให้อัตราการผลิตไอน้ำมีค่าสูง เมื่อเพิ่มการป้อนอากาศมากขึ้นทำให้อัตราการผลิตไอน้ำมีแนวโน้มน้อยลง และน้อยลงมากกว่าที่การป้อนอากาศสูง อุณหภูมิเตาเผาไหม้สูง



รูปที่ 3.30 อิทธิพลร่วมของตัวแปรต้นแต่ละตัวที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y1 สูตรเชื้อเพลิง A

- อิทธิพลหลักของตัวแปรต้นแต่ละตัวที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y1 สูตรเชื้อเพลิง A (รูปที่ 3.31)
  - X1 (ความชื้นเชื้อเพลิง) พบว่าที่ค่าควบคุมของโรงงานที่ความชื้นเชื้อเพลิงต่ำ มีผลให้อัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากที่ความชื้นต่ำจะลดพลังงานในการระเหยน้ำลง
  - X2 (อัตราการป้อนเชื้อเพลิง) พบว่าเมื่อเพิ่มการป้อนเชื้อเพลิงมาก มีผลให้อัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูงมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากมีการเพิ่มพลังงานเข้าระบบเผาไหม้มากขึ้น

- X3 (อัตราการป้อนอากาศ) พบว่าที่การป้อนอากาศต่ำมีผลให้อัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูงมีค่าต่ำและเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณอากาศมากขึ้นหลังจากนั้นจะมีค่าลดลงเมื่อการป้อนอากาศมีค่าสูงเนื่องจากอากาศมีค่าที่เหมาะสมในการเผาไหม้ที่ค่าใดค่าหนึ่ง
- X4 (ความดันเตาเผาไหม้) พบว่าเมื่อเพิ่มความดันเตาเผาไหม้เพิ่มขึ้นมีผลให้อัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูงมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย
- X5 (อุณหภูมิเตาเผาไหม้) พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเตาเผาไหม้มีผลให้อัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูงมีค่าลดลงเล็กน้อยเนื่องจากอุณหภูมิเตาเผาไหม้จะสอดคล้องกับเชื้อเพลิงและอากาศหากไม่มีพลังงานเข้ามาในระบบเผาไหม้อุณหภูมิเตาเผาไหม้จะไม่ส่งผลต่ออัตราการผลิตไอน้ำ



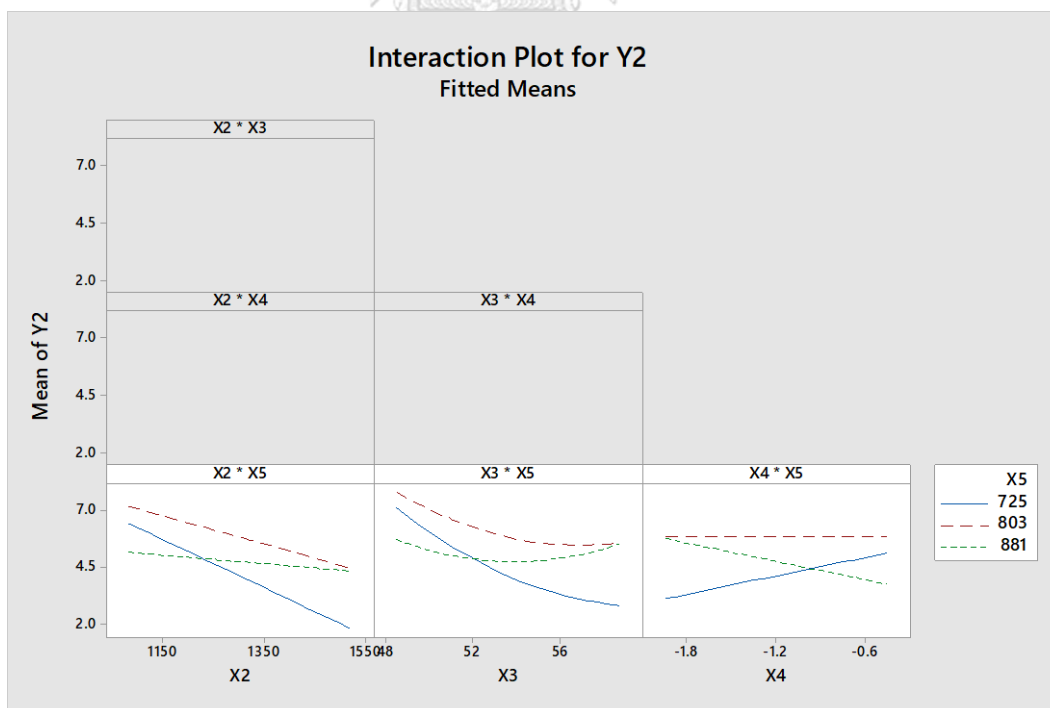
รูปที่ 3.31 อิทธิพลหลักของตัวแปรต้นแต่ละตัวที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y1 สูตรเชื้อเพลิง A

- อิทธิพลร่วมระหว่างตัวแปรต้นแต่ละตัวที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y2 สูตรเชื้อเพลิง A (รูปที่ 3.32)
  - X2 (อัตราการป้อนเชื้อเพลิง) \* X5 (อุณหภูมิเตาเผาไหม้) พบว่าที่การป้อนเชื้อเพลิงต่ำและอุณหภูมิเตาเผาไหม้ที่ค่ากลางมีผลให้ค่าออกซิเจนส่วนเกินมีค่าสูง เมื่อเพิ่มอัตราการป้อนเชื้อเพลิงมากขึ้น ค่าออกซิเจนส่วนเกินมีค่าลดลง ในส่วนการป้อนเชื้อเพลิงต่ำและอุณหภูมิ



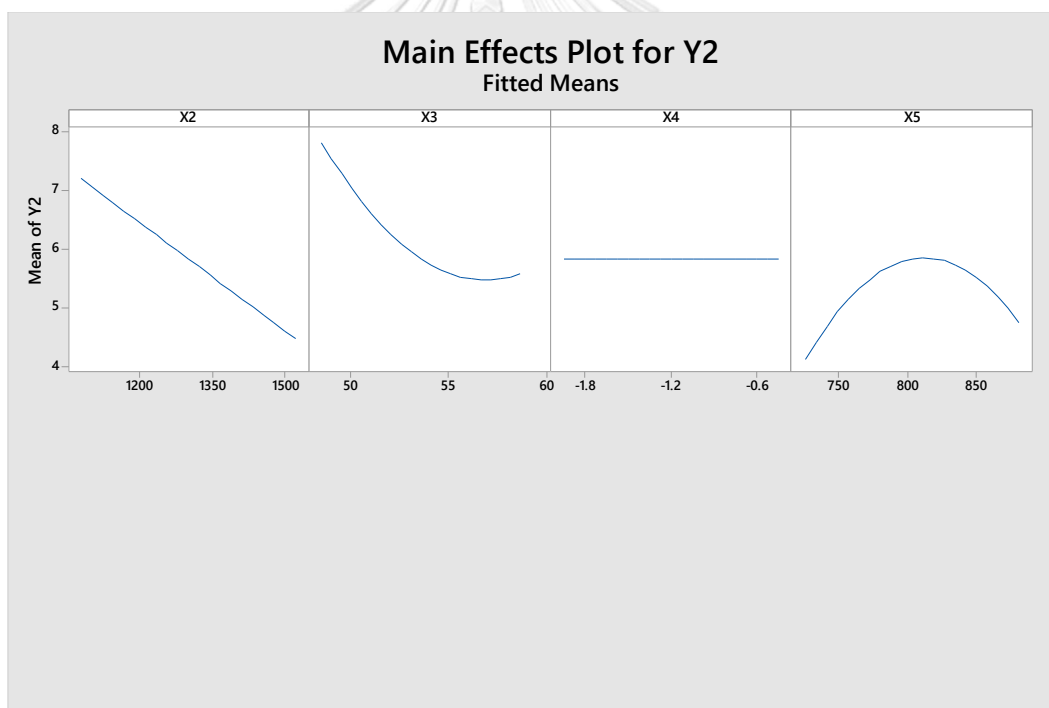
เตาเผาไหม้สูงมีผลให้ค่าออกซิเจนส่วนเกินมีค่าต่ำ เมื่อเพิ่มการป้อนเชื้อเพลิงมากขึ้นค่าออกซิเจนส่วนเกินมีค่าลดลงโดยมีอัตราการลดลงน้อยกว่ากรณีที่การป้อนเชื้อเพลิงต่ำและอุณหภูมิเตาเผาไหม้ที่ค่ากลาง

- X3 (อัตราการป้อนอากาศ) \* X5 (อุณหภูมิเตาเผาไหม้) พบว่าที่การป้อนอากาศต่ำ อุณหภูมิเตาเผาไหม้ที่ค่ากลางมีผลให้ค่าออกซิเจนส่วนเกินมีค่าสูง เมื่อเพิ่มการป้อนอากาศสูงขึ้น มีผลให้ค่าออกซิเจนส่วนเกินมีแนวโน้มลดลง ในส่วนการป้อนอากาศที่ค่าต่ำ และอุณหภูมิเตาเผาไหม้ที่ค่าสูง ค่าออกซิเจนส่วนเกินมีค่าต่ำเมื่อเพิ่มการป้อนอากาศมากขึ้นค่าออกซิเจนส่วนเกินมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยและเพิ่มขึ้นเมื่อมีการป้อนอากาศมาก จะเห็นได้ว่าการป้อนอากาศสูงและอุณหภูมิเตาเผาไหม้ค่ากลางมีค่าออกซิเจนต่ำที่สุด
- X4 (ความดันเตาเผาไหม้) \* X5 (อุณหภูมิเตาเผาไหม้) พบว่าที่ความดันเตาเผาไหม้ที่ค่าต่ำ และอุณหภูมิเตาเผาไหม้ที่ค่าต่ำมีผลให้ค่าออกซิเจนส่วนเกินมีค่าต่ำ และเมื่อเพิ่มความดันเตาเผาไหม้มากขึ้น ค่าออกซิเจนส่วนเกินมีค่าเพิ่มขึ้น ในส่วนความดันเตาเผาไหม้ที่ค่าต่ำและอุณหภูมิเตาเผาไหม้ที่ค่าสูง ค่าออกซิเจนส่วนเกินมีค่าสูง เมื่อเพิ่มความดันเตาเผาไหม้มากขึ้นค่าออกซิเจนส่วนเกินมีค่าลดลง



รูปที่ 3.32 อิทธิพลร่วมของตัวแปรต้นแต่ละตัวที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y1 สูตรเชื้อเพลิง A

- อิทธิพลหลักของตัวแปรต้นแต่ละตัวที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y2 สูตรเชื้อเพลิง A (รูปที่ 3.33)
- X2 (อัตราการบินเชื้อเพลิง) พบว่าเมื่อเพิ่มการบินเชื้อเพลิงมากขึ้นมีผลให้ค่าออกซิเจนส่วนเกินลดลงเนื่องจากเชื้อเพลิงมากขึ้นต้องใช้ออกซิเจนในการเผาไหม้มากขึ้น
  - X3 (อัตราการบินอากาศ) พบว่าเมื่อมีการบินอากาศมากขึ้นมีผลให้ค่าออกซิเจนส่วนเกินมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากการบินอากาศมากขึ้นออกซิเจนจะถูกดึงไปใช้เผาไหม้กับเชื้อเพลิงที่มากขึ้น
  - X4 (ความดันเตาเผาไหม้) ไม่มีผลต่อค่าออกซิเจนส่วนเกินหรือมีผลน้อยมาก
  - X5 (อุณหภูมิเตาเผาไหม้) พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเตาเผาไหม้ออกซิเจนส่วนเกินมีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงเมื่ออุณหภูมิเตาเผาไหม้มีค่าสูงแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่ค่าต่ำและค่ากลางจะมีค่าเหมาะสมกับการเผาไหม้

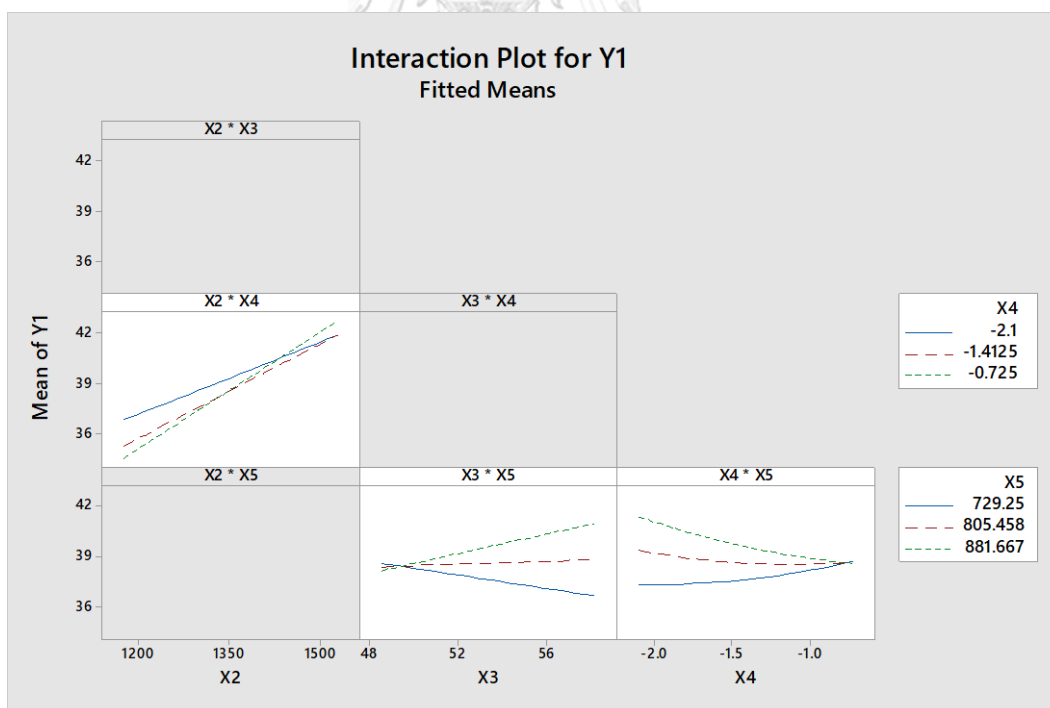


รูปที่ 3.33 อิทธิพลหลักของตัวแปรต้นแต่ละตัวที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y1 สูตรเชื้อเพลิง A

สูตรเชื้อเพลิง B

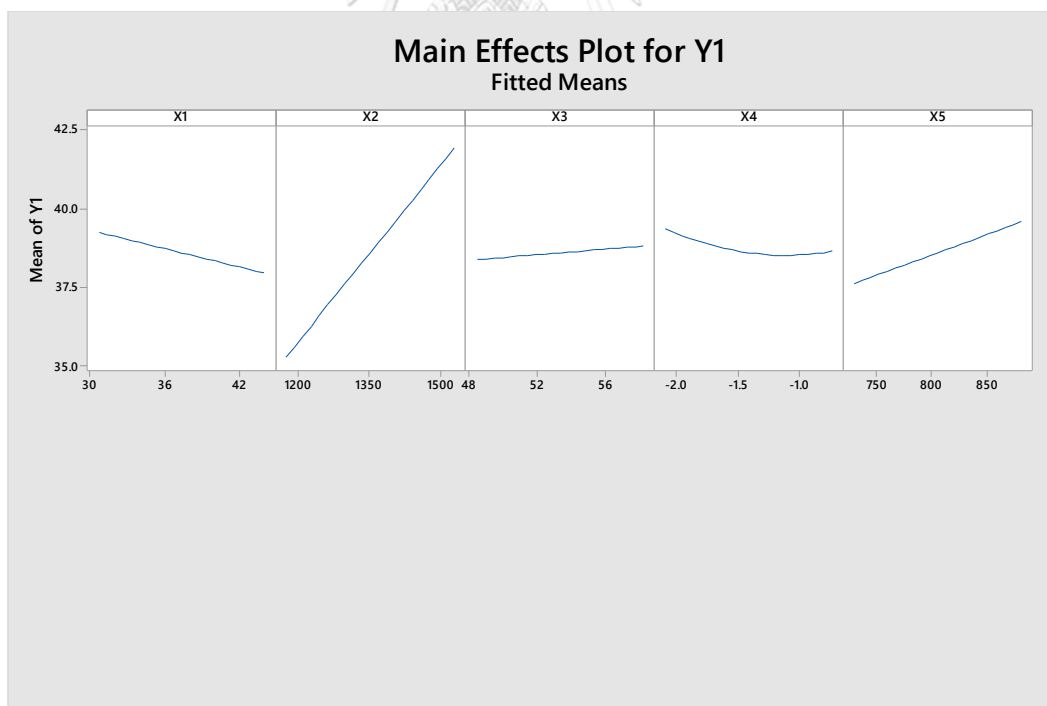
- อิทธิพลร่วมระหว่างตัวแปรต้นแต่ละตัวที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y1 สูตรเชื้อเพลิง B (รูปที่ 3.34)

- X2 (อัตราการป้อนเชื้อเพลิง) \* X4 (ความดันเตาเผาใหม่) พบว่าเมื่อป้อนเชื้อเพลิงที่ค่าต่ำ และความดันเตาเผาใหม่ที่ค่าต่ำมีผลให้อัตราการผลิตไอน้ำมีค่าสูง เมื่อเพิ่มการป้อนเชื้อเพลิงมากขึ้นอัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูงมีค่าเพิ่มขึ้น ในส่วนการป้อนเชื้อเพลิงที่ค่าต่ำ ความดันเตาเผาใหม่ที่ค่าสูงมีผลให้อัตราการผลิตไอน้ำมีค่าต่ำเมื่อเพิ่มการป้อนเชื้อเพลิงมากขึ้นอัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูงมีค่าเพิ่มขึ้น โดยเพิ่มขึ้นมากกว่ากรณีความดันเตาเผาใหม่ที่ค่าต่ำ
- X3 (อัตราการป้อนอากาศ) \* X5 (อุณหภูมิเตาเผาใหม่) พบว่าเมื่อป้อนอากาศที่ค่าต่ำ ที่อุณหภูมิเตาเผาใหม่ที่ค่าสูง กลาง ต่ำ ค่าอัตราการผลิตไอน้ำมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อเพิ่มการป้อนอากาศมากขึ้น ที่อุณหภูมิเตาเผาใหม่สูงอัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูงมีค่าเพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้ามที่อุณหภูมิเตาเผาใหม่ต่ำ อัตราการผลิตไอน้ำมีค่าน้อยลง
- X4 (ความดันเตาเผาใหม่) \* X5 (อุณหภูมิเตาเผาใหม่) พบว่าที่ความดันเตาเผาใหม่ต่ำและอุณหภูมิเตาเผาใหม่สูงมีผลให้อัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูงมีค่าสูง และลดลงเมื่อเพิ่มความดันเตาเผาใหม่มากขึ้น ในขณะที่อุณหภูมิเตาเผาใหม่ต่ำที่ความดันเตาเผาใหม่ต่ำ อัตราการผลิตไอน้ำมีค่าต่ำ เมื่อเพิ่มความดันเตาเผาใหม่มีผลให้อัตราการผลิตไอน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น



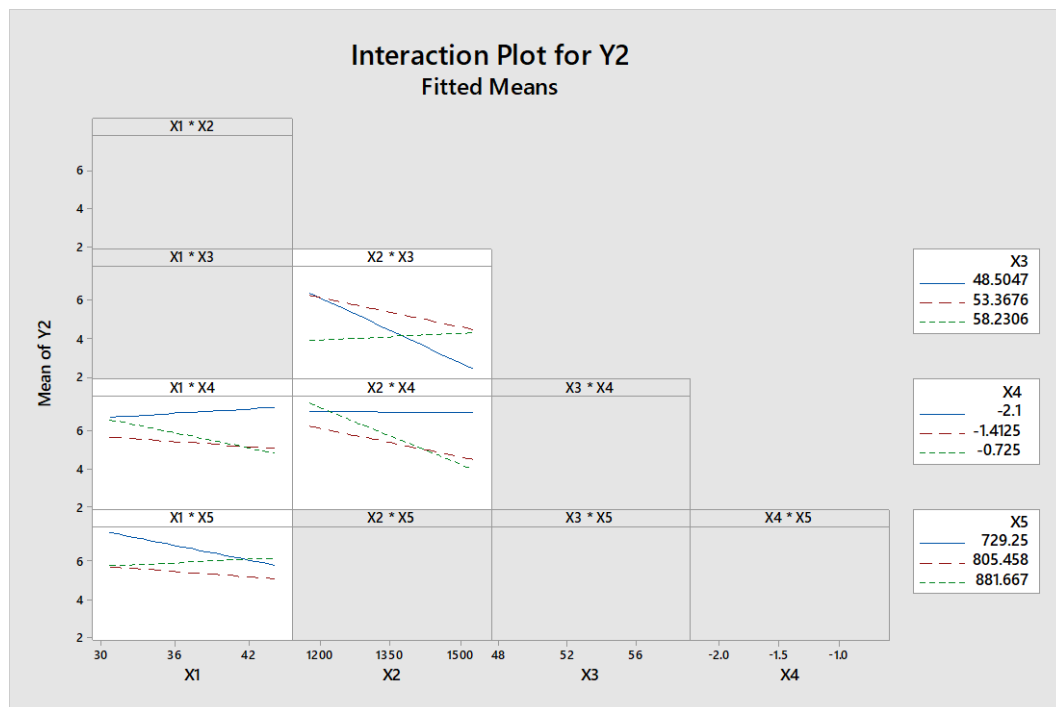
รูปที่ 3.34 อิทธิพลร่วมของตัวแปรต้นแต่ละตัวที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y1 สูตรเชื้อเพลิง B

- อิทธิพลหลักของตัวแปรต้นแต่ละตัวที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y1 สูตรเชื้อเพลิง B (รูปที่ 3.35)
- X1 (ความชื้นเชื้อเพลิง) พบว่าที่ความชื้นเชื้อเพลิงต่ำ มีผลให้อัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากที่ความชื้นต่ำจะลดพลังงานในการระเหยน้ำลง
  - X2 (อัตราการป้อนเชื้อเพลิง) พบว่าเมื่อป้อนเชื้อเพลิงมากขึ้น มีผลให้อัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากมีการเพิ่มพลังงานเข้าระบบเผาไหม้มากขึ้น
  - X3 (อัตราการป้อนอากาศ) พบว่าเมื่อเพิ่มการป้อนอากาศมีผลให้อัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยแสดงให้ เห็นว่าการเพิ่มอากาศมากขึ้นจะมีการเผาไหม้ที่ดีขึ้น
  - X4 (ความดันเตาเผาไหม้) พบว่าเมื่อเพิ่มความดันเตาเผาไหม้เพิ่มขึ้นมีผลให้อัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูงมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยแสดงให้ เห็นว่าสูตรเชื้อเพลิง B ที่ความดันเตาเผาไหม้ที่ค่าต่ำจะเผาไหม้ได้ดีกว่าที่ค่าสูง
  - X5 (อุณหภูมิเตาเผาไหม้) พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเตาเผาไหม้มีผลให้อัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแสดงให้ เห็นว่าอุณหภูมิเตาเผาไหม้สูงจะเหมาะสมกับการเผาไหม้ของสูตรเชื้อเพลิง B



รูปที่ 3.35 อิทธิพลหลักของตัวแปรต้นแต่ละตัวที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y1 สูตรเชื้อเพลิง B

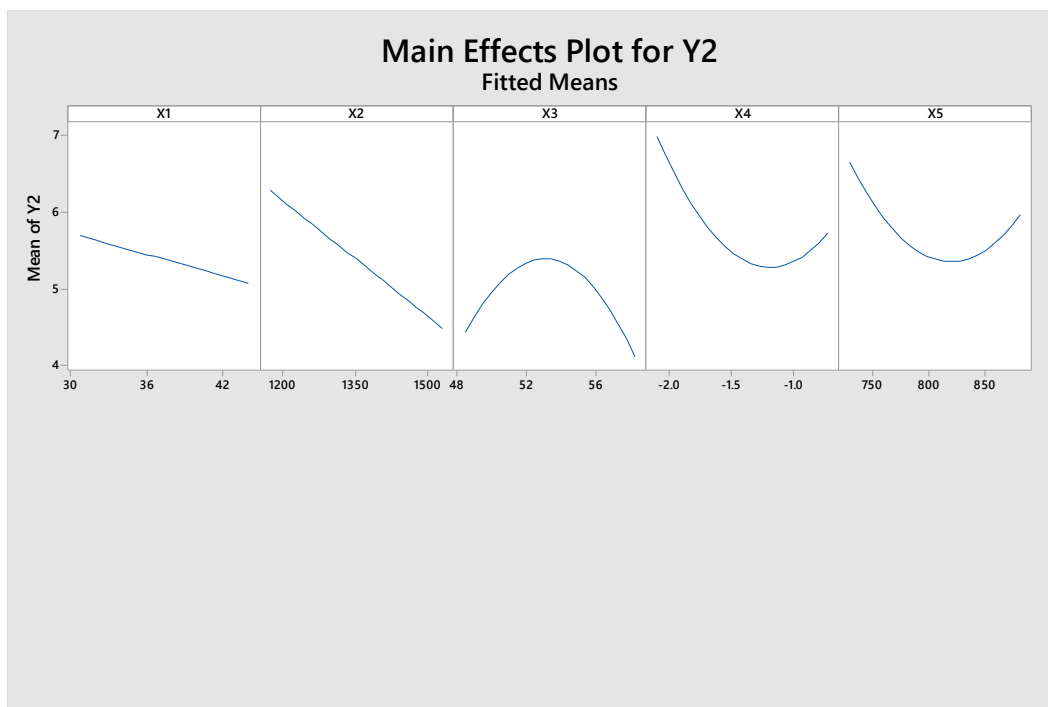
- อิทธิพลร่วมระหว่างตัวแปรต้นแต่ละตัวที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y2 สูตรเชื้อเพลิง B (รูปที่ 3.36)
- X1 (ความชื้นเชื้อเพลิง) \* X4 (ความดันเตาเผาใหม่) พบว่าเมื่อความชื้นเชื้อเพลิงค่าต่ำและควบคุมความดันเตาเผาใหม่ที่ค่าต่ำมีผลให้ค่าออกซิเจนส่วนเกินมีค่าสูง เมื่อความชื้นเชื้อเพลิงมากขึ้นค่าออกซิเจนส่วนเกินมีค่าเพิ่มขึ้น ในส่วนที่ความชื้นเชื้อเพลิงมีค่าต่ำและความดันเตาเผาใหม่มีค่าสูงค่าออกซิเจนส่วนเกินมีค่าสูงเมื่อความชื้นเชื้อเพลิงมากขึ้น ค่าออกซิเจนส่วนเกินมีค่าลดลง
  - X1 (ความชื้นเชื้อเพลิง) \* X5 (อุณหภูมิเตาเผาใหม่) พบว่าที่ความชื้นเชื้อเพลิงต่ำและอุณหภูมิเตาเผาใหม่ที่ค่าต่ำมีผลให้ค่าออกซิเจนส่วนเกินมีค่าสูงเมื่อความชื้นเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น ค่าออกซิเจนส่วนเกินมีค่าลดลง ในส่วนที่ความชื้นเชื้อเพลิงต่ำและอุณหภูมิเตาเผาใหม่สูงค่าออกซิเจนส่วนเกินมีค่าต่ำเมื่อความชื้นเชื้อเพลิงมากขึ้นค่าออกซิเจนส่วนเกินมีค่าลดลง
  - X2 (อัตราการป้อนเชื้อเพลิง) \* X3 (อัตราการป้อนอากาศ) พบว่าที่การป้อนเชื้อเพลิงต่ำและการป้อนอากาศค่าสูงจะทำให้ค่าออกซิเจนส่วนเกินมีค่าต่ำ และเมื่อเพิ่มการป้อนเชื้อเพลิงมากขึ้นค่าออกซิเจนส่วนเกินมีค่าเพิ่มขึ้น ในส่วนการป้อนเชื้อเพลิงต่ำและการป้อนอากาศต่ำ มีผลให้ค่าออกซิเจนส่วนเกินมีค่าสูง เมื่อเพิ่มปริมาณการป้อนเชื้อเพลิงพบว่าค่าออกซิเจนส่วนเกินมีค่าลดลงและลดลงมีค่าต่ำที่สุดเมื่อมีการป้อนเชื้อเพลิงสูง
  - X2 (อัตราการป้อนเชื้อเพลิง) \* X4 (ความดันเตาเผาใหม่) พบว่าเมื่อป้อนเชื้อเพลิงที่ค่าต่ำและความดันเตาเผาใหม่ที่ค่าต่ำ มีผลให้ค่าออกซิเจนส่วนเกินมีค่าสูงและเมื่อเพิ่มการป้อนเชื้อเพลิง ค่าออกซิเจนส่วนเกินมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง ในส่วนการป้อนเชื้อเพลิงที่ค่าต่ำและความดันเตาเผาใหม่ที่ค่าสูง ค่าออกซิเจนส่วนเกินมีค่าสูงเมื่อเพิ่มการป้อนเชื้อเพลิงมากขึ้นค่าออกซิเจนส่วนเกินมีค่าลดลง และลดลงต่ำที่สุดเมื่อมีการป้อนเชื้อเพลิงที่ค่าสูง



รูปที่ 3.36 อิทธิพลร่วมของตัวแปรต้นแต่ละตัวที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y2 สูตรเชื้อเพลิง B

- อิทธิพลหลักของตัวแปรต้นแต่ละตัวที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y2 สูตรเชื้อเพลิง B (รูปที่ 3.37)
- X1 (ความชื้นเชื้อเพลิง) พบว่าเมื่อความชื้นเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นมีผลให้ค่าออกซิเจนส่วนเกินลดลง ซึ่งอาจเป็นผลมาจากค่าความชื้นที่มีผลต่อความหนาแน่นของเชื้อเพลิงทำให้เกิดการเผาไหม้ในโซนเผาไหม้ภายในเตาได้ดี
  - X2 (อัตราการป้อนเชื้อเพลิง) พบว่าเมื่อเพิ่มการป้อนเชื้อเพลิงมากขึ้นมีผลให้ค่าออกซิเจนส่วนเกินลดลงเนื่องจากเชื้อเพลิงมากขึ้นต้องใช้ออกซิเจนในการเผาไหม้มากขึ้น
  - X3 (อัตราการป้อนอากาศ) พบว่าเมื่อมีการป้อนอากาศมากขึ้นมีผลให้ค่าออกซิเจนส่วนเกินมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากการป้อนอากาศมากขึ้นออกซิเจนจะถูกดึงไปใช้เผาไหม้กับสูตรเชื้อเพลิง B มากขึ้นซึ่งการป้อนอากาศต่ำและสูงจะทำให้ค่าออกซิเจนส่วนเกินมีค่าต่ำ
  - X4 (ความดันเตาเผาไหม้) พบว่าสำหรับสูตรเชื้อเพลิง B เมื่อเพิ่มความดันเตาเผาไหม้ค่าออกซิเจนส่วนเกินมีแนวโน้มลดลงและมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความดันเตาเผาไหม้มีค่าสูง ซึ่งที่ค่ากลางจะทำให้ค่าออกซิเจนส่วนเกินมีค่าต่ำที่สุด
  - X5 (อุณหภูมิเตาเผาไหม้) พบว่าสำหรับสูตรเชื้อเพลิง B อุณหภูมิเตาเผาไหม้ที่ค่าต่ำทำให้ค่าออกซิเจนส่วนเกินมีค่าสูงและเมื่ออุณหภูมิเตาเผาไหม้เพิ่มขึ้น ค่าออกซิเจนส่วนเกินมีค่าลดลง

และเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเตาเผาใหม่มีค่าสูง แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิเผาไหม้ที่เหมาะสมอยู่ที่ค่ากลาง



รูปที่ 3.37 อิทธิพลหลักของตัวแปรต้นแต่ละตัวที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y2 สูตรเชื้อเพลิง B

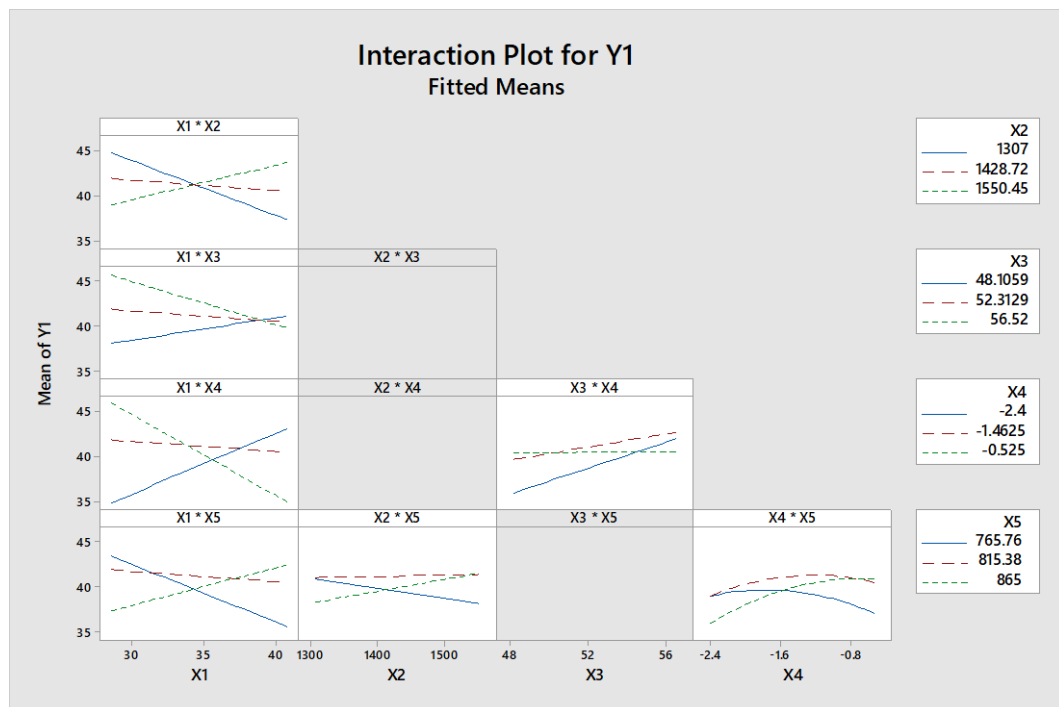
สูตรเชื้อเพลิง C

➤ อิทธิพลร่วมระหว่างตัวแปรต้นแต่ละตัวที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y1 สูตรเชื้อเพลิง C (รูปที่ 3.38)

- X1 (ความชื้นเชื้อเพลิง) \* X2 (อัตราการป้อนเชื้อเพลิง) พบว่าเมื่อความชื้นเชื้อเพลิงต่ำและอัตราการป้อนเชื้อเพลิงต่ำมีผลให้อัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูงมีค่าสูงเมื่อความชื้นเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น อัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูงมีค่าลดลง ในส่วนที่ความชื้นเชื้อเพลิงต่ำ อัตราการป้อนเชื้อเพลิงสูง ค่าอัตราการผลิตไอน้ำมีค่าต่ำเมื่อความชื้นเชื้อเพลิงมากขึ้น อัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูงมีค่าเพิ่มขึ้นโดยมีค่ามากที่สุดเมื่อความชื้นเชื้อเพลิงสูง
- X1 (ความชื้นเชื้อเพลิง) \* X3 (อัตราการป้อนอากาศ) พบว่าเมื่อความชื้นเชื้อเพลิงมีค่าต่ำและการป้อนอากาศที่ค่าสูงมีผลให้อัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูงมีค่าสูง เมื่อความชื้นเชื้อเพลิงมากขึ้นอัตราการผลิตไอน้ำมีค่าลดลง ในส่วนที่ความชื้นเชื้อเพลิงมีค่าต่ำและการป้อนอากาศต่ำ

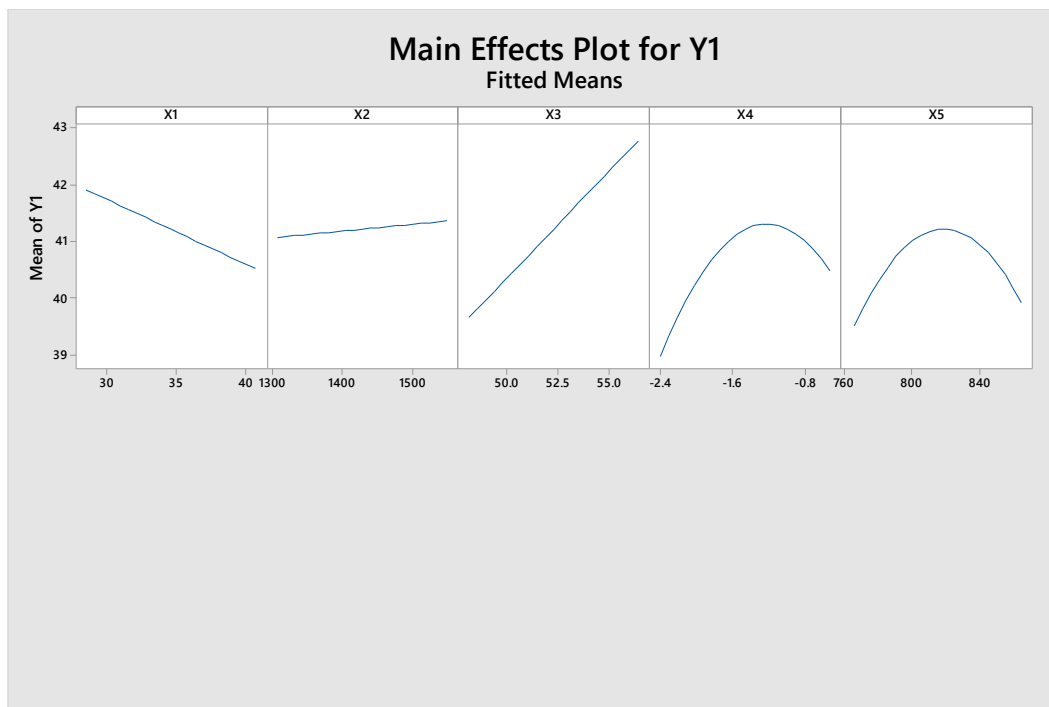






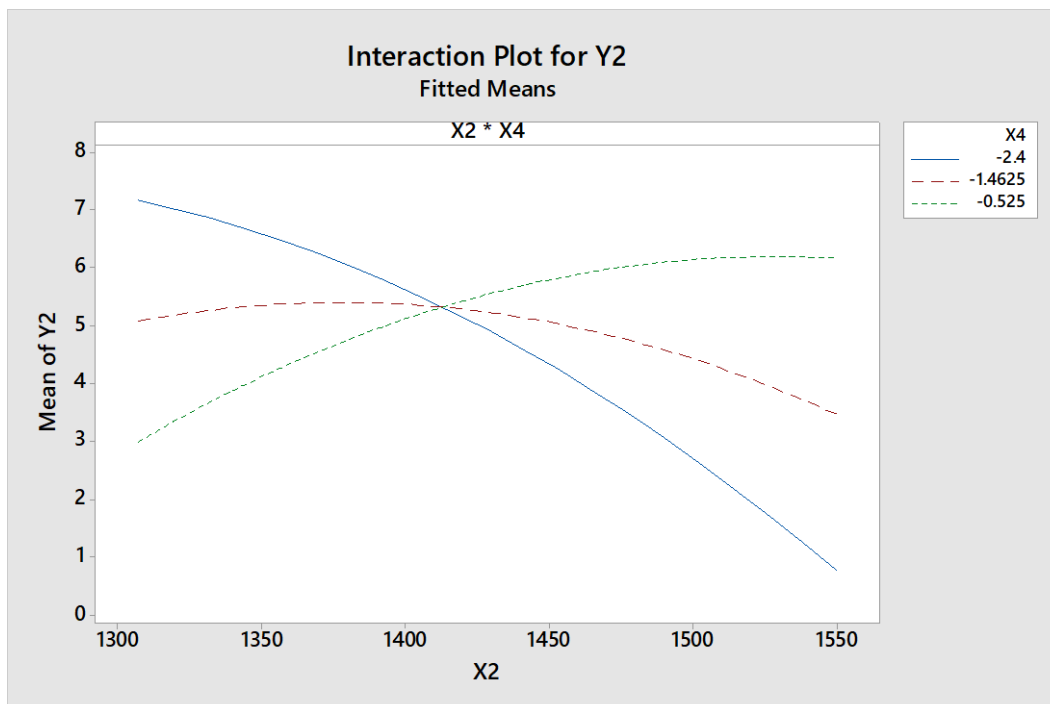
รูปที่ 3.38 อิทธิพลร่วมของตัวแปรต้นแต่ละตัวที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y1 สูตรเชื้อเพลิง C

- อิทธิพลหลักของตัวแปรต้นแต่ละตัวที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y1 สูตรเชื้อเพลิง C (รูปที่ 3.39)
- X1 (ความชื้นเชื้อเพลิง) พบว่าที่ความชื้นเชื้อเพลิงต่ำ มีผลให้อัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากที่ความชื้นต่ำจะลดพลังงานในการระเหยน้ำลง
  - X2 (อัตราการป้อนเชื้อเพลิง) พบว่าเมื่อป้อนเชื้อเพลิงมากขึ้น มีผลให้อัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากมีการเพิ่มพลังงานเข้าระบบเผาไหม้มากขึ้น
  - X3 (อัตราการป้อนอากาศ) พบว่าเมื่อเพิ่มการป้อนอากาศมีผลให้อัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอากาศมากขึ้นจะมีการเผาไหม้ที่ดีขึ้น
  - X4 (ความดันเตาเผาไหม้) พบว่าเมื่อความดันเตาเผาไหม้เพิ่มขึ้นมีผลให้อัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและลดลงเมื่อความดันเตาเผาไหม้มีค่ามาก
  - X5 (อุณหภูมิเตาเผาไหม้) พบว่าเมื่ออุณหภูมิเตาเผาไหม้เพิ่มขึ้นมีผลให้อัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิเตาเผาไหม้มีค่ามาก



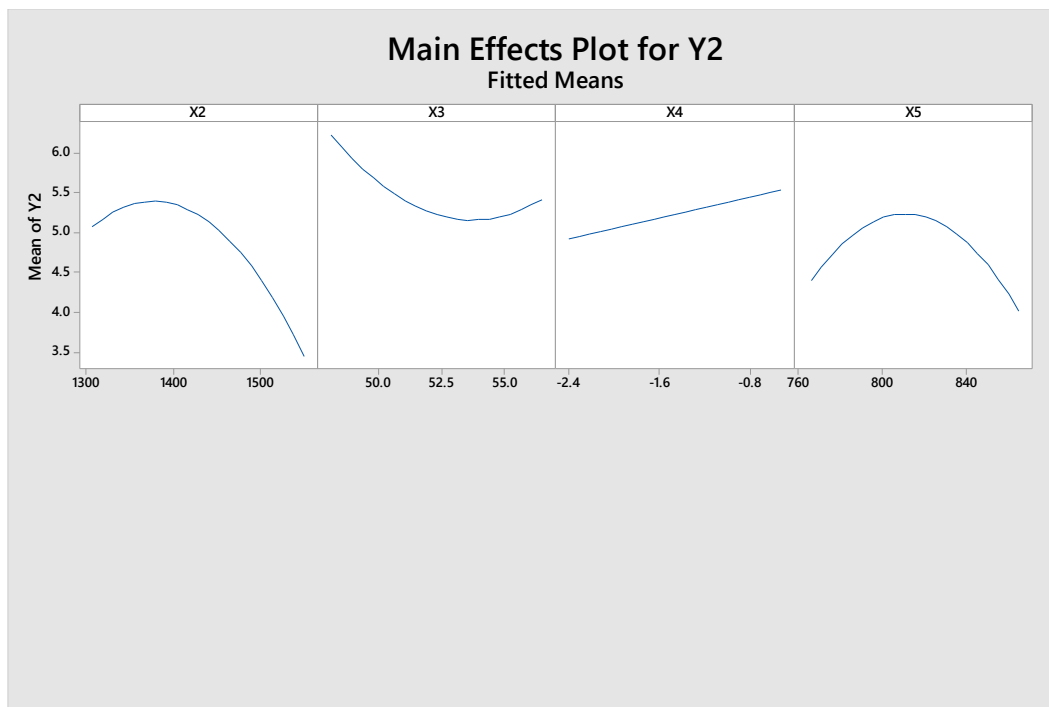
รูปที่ 3.39 อิทธิพลหลักของตัวแปรต้นแต่ละตัวที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y1 สูตรเชิงพีชคณิต C

- อิทธิพลร่วมระหว่างตัวแปรต้นแต่ละตัวที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y2 สูตรเชิงพีชคณิต C (รูปที่ 3.40)
- X2 (อัตราการป้อนเชื้อเพลิง) \* X4 (ความดันเตาเผาใหม่) พบว่าเมื่อป้อนเชื้อเพลิงที่ค่าต่ำและความดันเตาเผาใหม่ที่ค่าสูง มีผลให้ค่าออกซิเจนส่วนเกินมีค่าต่ำและเมื่อเพิ่มการป้อนเชื้อเพลิงมากขึ้น ค่าออกซิเจนส่วนเกินมีค่าเพิ่มขึ้นและมีค่าสูงสุดเมื่อมีการป้อนเชื้อเพลิงมากที่สุด ในส่วนที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงต่ำ ความดันเตาเผาใหม่ต่ำ ค่าออกซิเจนส่วนเกินมีค่าสูง และลดลงเมื่อมีการป้อนเชื้อเพลิงมากขึ้น



รูปที่ 3.40 อิทธิพลร่วมของตัวแปรต้นแต่ละตัวที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y2 สูตรเชื้อเพลิง C

- อิทธิพลหลักของตัวแปรต้นแต่ละตัวที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y2 สูตรเชื้อเพลิง C (รูปที่ 3.41)
  - X2 (อัตราการป้อนเชื้อเพลิง) พบว่าเมื่อเพิ่มการป้อนเชื้อเพลิงมากขึ้นมีผลให้ค่าออกซิเจนส่วนเกินลดลงเนื่องจากเชื้อเพลิงมากขึ้นต้องใช้ออกซิเจนในการเผาไหม้มากขึ้น
  - X3 (อัตราการป้อนอากาศ) พบว่าเมื่อมีการป้อนอากาศมากขึ้นมีผลให้ค่าออกซิเจนส่วนเกินมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากการป้อนอากาศมากขึ้นออกซิเจนจะถูกดึงไปใช้เผาไหม้กับเชื้อเพลิงที่มากขึ้นซึ่งมีค่าเหมาะสมที่การป้อนอากาศที่ค่ากลาง
  - X4 (ความดันเตาเผาไหม้) พบว่าสำหรับสูตรเชื้อเพลิง C เมื่อเพิ่มความดันเตาเผาไหม้ค่าออกซิเจนส่วนเกินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแสดงให้เห็นว่าความดันเตาเผาไหม้ต่ำมีค่าเหมาะสมกับการเผาไหม้ของสูตรเชื้อเพลิง C
  - X5 (อุณหภูมิเตาเผาไหม้) พบว่าที่อุณหภูมิเตาเผาไหม้ที่อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิสูงให้ค่าออกซิเจนส่วนเกินมีค่าต่ำ โดยมีค่าสูงสุดที่อุณหภูมิเตาเผาไหม้ที่ค่ากลาง



รูปที่ 3.41 อิทธิพลหลักของตัวแปรต้นแต่ละตัวที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y2 สูตรเชื้อเพลิง C

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาตัวแปรต้นแต่ละตัวรวมถึงอิทธิพลร่วมระหว่างตัวแปรจะเห็นว่าที่สูตรเชื้อเพลิงแต่ละสูตรจะมีสภาวะที่เหมาะสมและอิทธิพลร่วมระหว่างตัวแปรแตกต่างกัน ซึ่งน่าจะขึ้นกับลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของเชื้อเพลิงแต่ละตัวเช่น ความหนาแน่น ขนาด ค่าความร้อน เป็นต้น [41-42] ซึ่งล้วนมีผลต่อการกระจายตัวของอนุภาคในเตา (fluidization) และการเผาไหม้ในหม้อกำเนิดไอน้ำ อย่างไรก็ตามในการปรับค่าหาสภาวะที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงแต่ละสูตรเป็นการปรับค่าโดยพิจารณาเป้าหมายและต้นทุนเป็นหลัก

## บทที่ 4

### การปรับปรุงกระบวนการผลิต

#### 4.1 การทดลองการเดินเครื่องจักรจริงเพื่อยืนยันผล

การปรับปรุงกระบวนการผลิตไอน้ำของโรงไฟฟ้าการศึกษาเพื่อให้ได้อัตราการผลิตไอน้ำตามเป้าหมายคือ 43 kg/s รวมถึงมีค่า ออกซิเจนส่วนเกินอยู่ในช่วงที่กำหนดคือ 3-4.5% ภายใต้ต้นทุนที่ต่ำที่สุด ซึ่งการกำหนดสถานะที่เหมาะสมในการเดินเครื่องจักรของแต่ละสูตรเชื้อเพลิงดังหัวข้อ 3.4 โดยการทดลองเพื่อยืนยันผลวิเคราะห์มีขั้นตอนดังนี้

##### 1. การเตรียมสูตรเชื้อเพลิง A B และ C สำหรับการนำเข้ามาผลิต

สำหรับการเตรียมเชื้อเพลิงสูตรเชื้อเพลิง A B และ C ได้กำหนดแผนการผลิตกับฝ่ายผลิตและฝ่ายวางแผนสำหรับการกำหนดความชื้นเชื้อเพลิงให้ใกล้เคียงกับสถานะที่เหมาะสมคือ สูตรเชื้อเพลิง A อยู่ที่ 33% สูตร เชื้อเพลิง B อยู่ที่ 33% สูตรเชื้อเพลิง C อยู่ที่ 33% โดยตรวจนับกองเชื้อเพลิงที่มีค่าความชื้นใกล้เคียง อย่างไรก็ตามเนื่องจากการควบคุมความชื้นของกองเชื้อเพลิงที่มีปริมาณมากให้ตรงกับค่าที่กำหนดทำได้ค่อนข้างยาก ดังนั้นสำหรับการผลิตจริงจะควบคุมในช่วงมากกว่าหรือน้อยกว่าค่าที่กำหนดว่า 0.5% โดยการเก็บตัวอย่างเชื้อเพลิงจะเป็นการสุ่มจากกองเชื้อเพลิงผสมทุก ๆ 3 เมตร รอบกองเชื้อเพลิงเพื่อตรวจวัดความชื้นส่งวิเคราะห์ห้องปฏิบัติการ โดยวิธีวัดความชื้นเชื้อเพลิงชีวมวลดังภาคผนวก จ เมื่อห้องปฏิบัติการรายงานค่าได้ตรงกับกองเชื้อเพลิงจะวางแผนนำเข้ามาผลิต

##### 2. การกำหนดค่าการผลิตในห้องควบคุม

ในการทดลองจำเป็นวันที่เครื่องจักรไม่มีปัญหาหรือหยุดซ่อมบำรุง มีปริมาณเชื้อเพลิงเพียงพอและพร้อมนำเข้ามาผลิต โดยมีระยะเวลาทดลองสูตรเชื้อเพลิงละ 15 วัน ตั้งค่าการเผาไหม้เชื้อเพลิงของหม้อกำเนิดไอน้ำโดยกำหนดสถานะของเครื่องจักรดังนี้

- สูตรเชื้อเพลิง A

อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (X2)	=	1455	ton/d
อัตราการป้อนอากาศ (X3)	=	54	kg/s
ความดันเตาเผาไหม้ (X4)	=	-1.00	mbar
อุณหภูมิเตาเผาไหม้ (X5)	=	881	°C
อุณหภูมิไอน้ำแรงดันสูง (X6)	=	480	°C
ความดันไอน้ำแรงดันสูง (X7)	=	81	bar

- สูตรเชื้อเพลิง B

อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (X2)	=	1469	ton/d
อัตราการป้อนอากาศ (X3)	=	58.23	kg/s
ความดันเตาเผาไหม้ (X4)	=	-1.25	mbar
อุณหภูมิเตาเผาไหม้ (X5)	=	870	°C
อุณหภูมิไอน้ำแรงดันสูง (X6)	=	480	°C
ความดันไอน้ำแรงดันสูง (X7)	=	81	bar

- สูตรเชื้อเพลิง C

อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (X2)	=	1504	ton/d
อัตราการป้อนอากาศ (X3)	=	56.52	kg/s
ความดันเตาเผาไหม้ (X4)	=	-1.21	mbar
อุณหภูมิเตาเผาไหม้ (X5)	=	848	°C
อุณหภูมิไอน้ำแรงดันสูง (X6)	=	480	°C
ความดันไอน้ำแรงดันสูง (X7)	=	81	bar

หมายเหตุ กำหนดอุณหภูมิไอน้ำแรงดันสูง (X6) เท่ากับ 480 °C และความดันไอน้ำแรงดันสูง (X7) เท่ากับ 81 bar ตามค่าการออกแบบเครื่องจักร

### 3. การบันทึกค่าตัวแปรที่พิจารณา

จดบันทึกค่าปริมาณต้นไอน้ำแรงดันสูงที่ผลิตได้ และค่าเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนในแต่ละวันโดยในการทดลองแบ่งเป็นสูตรเชื้อเพลิงละ 15 วัน

### 4. การคำนวณผลการทดลอง

คำนวณปริมาณต้นทุนเฉลี่ยต่อต้นไอน้ำเปรียบเทียบก่อนและหลังปรับปรุง เปรียบเทียบปริมาณการผลิตไอน้ำแรงดันสูงและเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนส่วนเกินก่อนและหลังปรับปรุง

## 4.2 สรุปและเปรียบเทียบผลก่อนและหลังการทดลองของสูตรเชื้อเพลิง A B และ C

### 4.2.1 ผลทดลองจริงของสูตรเชื้อเพลิง A B และ C

จากตารางที่ 4.1-4.3 แสดงผลการทดลองจากการกำหนดสภาวะที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงสูตรเชื้อเพลิง A B และ C โดยทำการทดลองสูตรละ 15 วัน พบว่าค่าเฉลี่ยการผลิตไอน้ำแรงดันสูงของสูตรเชื้อเพลิง A B และ C อยู่ที่ 43.32 กิโลกรัมต่อวินาที 43.26 กิโลกรัมต่อวินาที และ 43.44 กิโลกรัมต่อวินาที มีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 43.04 กิโลกรัมต่อวินาที 43.07 กิโลกรัมต่อวินาที และ 43.04 กิโลกรัมต่อวินาที มีค่าสูงสุดอยู่ที่ 43.66 กิโลกรัมต่อวินาที 43.48 กิโลกรัมต่อวินาที และ 43.82 กิโลกรัมต่อวินาที ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนส่วนเกินของสูตรเชื้อเพลิง A B และ C อยู่ที่ 4.00 เปอร์เซ็นต์ 4.11 เปอร์เซ็นต์ และ 4.13 เปอร์เซ็นต์ มีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 3.70 เปอร์เซ็นต์ 3.85 เปอร์เซ็นต์ และ 3.90 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงสุดอยู่ที่ 4.25 เปอร์เซ็นต์ 4.35 เปอร์เซ็นต์ และ 4.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการผลิตไอน้ำของสูตรเชื้อเพลิง A

วันที่	อัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูง	ออกซิเจนส่วนเกิน
	กิโลกรัมต่อวินาที	เปอร์เซ็นต์
1	43.09	3.85
2	43.15	3.80
3	43.66	4.20
4	43.64	4.25
5	43.27	4.15
6	43.36	3.90
7	43.19	3.70
8	43.49	4.00
9	43.44	3.90
10	43.25	4.05
11	43.04	4.25
12	43.54	3.85
13	43.14	4.20
14	43.21	3.80
15	43.28	4.15
ค่าเฉลี่ย	43.32	4.00
ค่าต่ำสุด	43.04	3.70
ค่าสูงสุด	43.66	4.25



ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการผลิตไอน้ำของสูตรเชื้อเพลิง B

วันที่	อัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูง	ออกซิเจนส่วนเกิน
	กิโลกรัมต่อวินาที	เปอร์เซ็นต์
1	43.44	3.90
2	43.20	4.20
3	43.47	3.85
4	43.14	4.00
5	43.27	4.35
6	43.07	3.95
7	43.36	3.95
8	43.10	4.35
9	43.48	4.00
10	43.17	4.35
11	43.08	4.30
12	43.44	4.10
13	43.30	4.10
14	43.22	4.05
15	43.15	4.20
ค่าเฉลี่ย	43.26	4.11
ค่าต่ำสุด	43.07	3.85
ค่าสูงสุด	43.48	4.35

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองการผลิตไอน้ำของสูตรเชื้อเพลิง C

วันที่	อัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูง	ออกซิเจนส่วนเกิน
	กิโลกรัมต่อวินาที	เปอร์เซ็นต์
1	43.18	4.05
2	43.27	4.15
3	43.04	3.95
4	43.74	4.05
5	43.82	4.15
6	43.51	4.20
7	43.07	4.15
8	43.17	4.30
9	43.11	4.15
10	43.49	4.10
11	43.72	4.20
12	43.70	4.25
13	43.35	4.10
14	43.75	4.25
15	43.65	3.90
ค่าเฉลี่ย	43.44	4.13
ค่าต่ำสุด	43.04	3.90
ค่าสูงสุด	43.82	4.30

#### 4.2.2 เปรียบเทียบผลก่อนและหลังการทดลอง

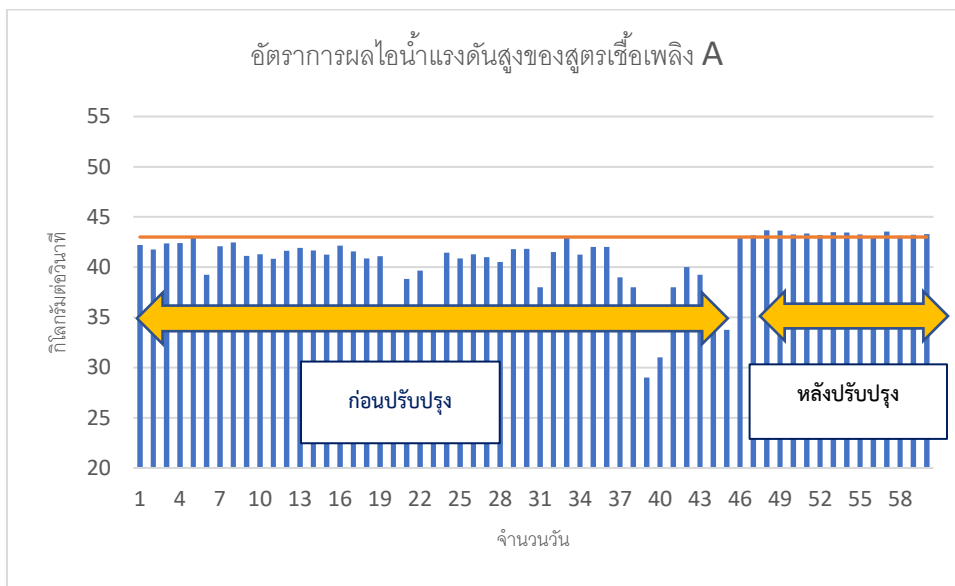
เมื่อนำข้อมูลการปรับปรุงกระบวนการผลิตจริงของสูตรเชื้อเพลิง A B และ C เปรียบเทียบอัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูงและค่าเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนส่วนเกินก่อนและหลังการทดลองพบว่าสูตรเชื้อเพลิง A B และ C มีการผลิตไอน้ำแรงดันสูงได้ตามเป้าหมายที่ 43 กิโลกรัมต่อวินาที ดังรูปที่ 4.1-4.3 และมีค่าเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนส่วนเกินอยู่ในช่วงควบคุมที่ 3-4.5 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 4.4-4.6 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าก่อนปรับปรุง ค่าหลังปรับปรุงและค่าจากสมการ ดังตารางที่ 4.4-4.7 พบว่า

สูตรเชื้อเพลิง A มีอัตราการผลิตไอน้ำเพิ่มขึ้นจาก 39.96 กิโลกรัมต่อวินาที เพิ่มขึ้นเป็น 43.32 กิโลกรัมต่อวินาที คิดเป็นร้อยละที่เพิ่มขึ้น 8.40 โดยมีร้อยละผลต่างระหว่างค่าจากสมการกับค่าหลังปรับปรุงอยู่ที่ 0.71 ในส่วนค่าออกซิเจนส่วนเกินลดลงจาก 5.30% เหลือ 4.00% ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ควบคุม โดยมีร้อยละผลต่างระหว่างค่าจากสมการกับค่าหลังปรับปรุงอยู่ที่ 5.41

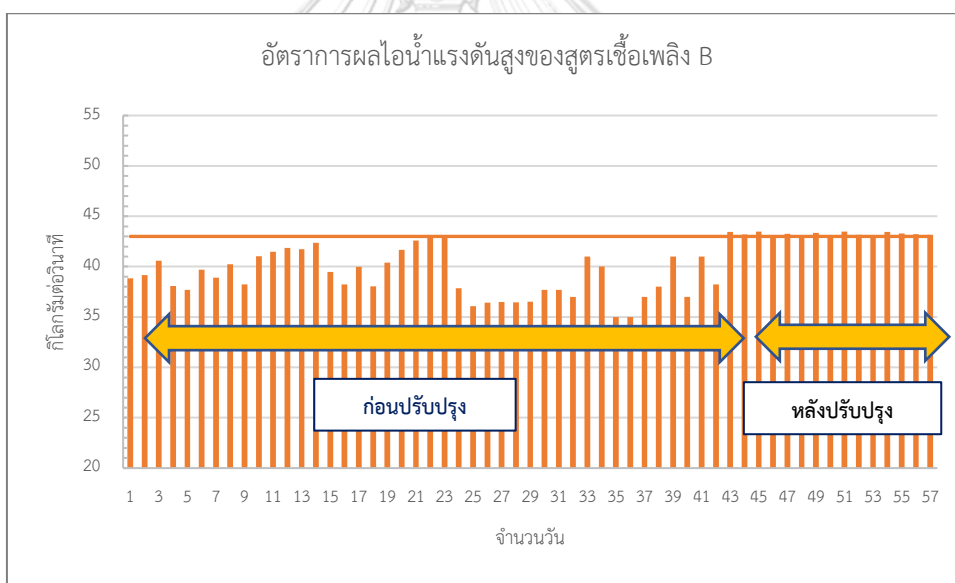
สูตรเชื้อเพลิง B มีอัตราการผลิตไอน้ำเพิ่มขึ้นจาก 39.08 กิโลกรัมต่อวินาที เพิ่มขึ้นเป็น 43.26 กิโลกรัมต่อวินาที คิดเป็นร้อยละที่เพิ่มขึ้น 10.68 โดยมีร้อยละผลต่างระหว่างค่าจากสมการกับค่าหลังปรับปรุงอยู่ที่ 0.55 ในส่วนค่าออกซิเจนส่วนเกินลดลงจาก 5.57% เหลือ 4.11% ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ควบคุม โดยมีร้อยละผลต่างระหว่างค่าจากสมการกับค่าหลังปรับปรุงอยู่ที่ 6.57

สูตรเชื้อเพลิง C มีอัตราการผลิตไอน้ำเพิ่มขึ้นจาก 40.46 กิโลกรัมต่อวินาที เพิ่มขึ้นเป็น 43.44 กิโลกรัมต่อวินาที คิดเป็นร้อยละที่เพิ่มขึ้น 7.37 โดยมีร้อยละผลต่างระหว่างค่าจากสมการกับค่าหลังปรับปรุงอยู่ที่ 0.99 ในส่วนค่าออกซิเจนส่วนเกินลดลงจาก 5.05% เหลือ 4.13% ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ควบคุม โดยมีร้อยละผลต่างระหว่างค่าจากสมการกับค่าหลังปรับปรุงอยู่ที่ 8.23

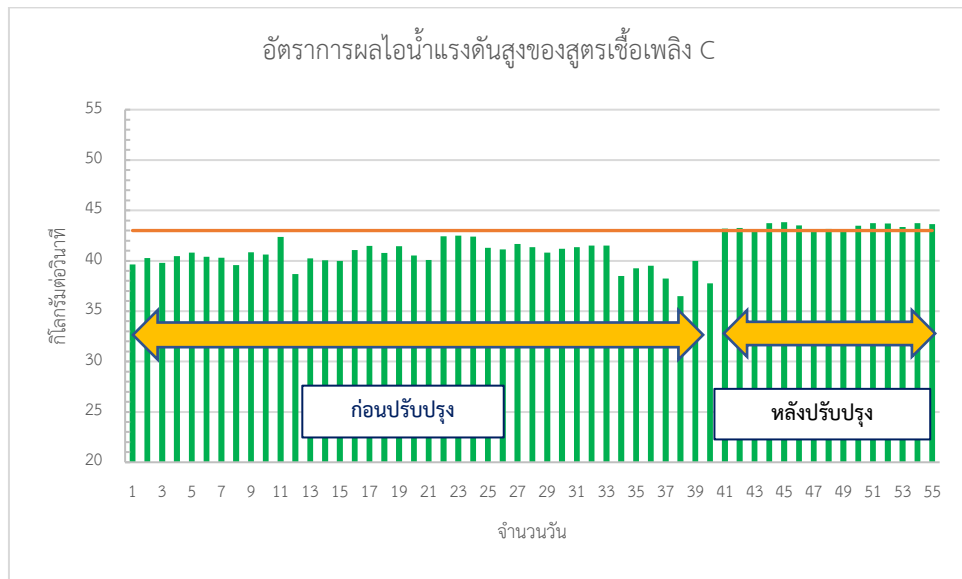
จากการทดลองตัวแปรต้นที่ส่งผลให้ตัวแปรตอบสนองได้ตามเป้าหมายน่าจะเป็นผลมาจากการลดค่าความชื้นเชื้อเพลิงของสูตรเชื้อเพลิง A สูตรเชื้อเพลิง B และ ลงจากสูตรเชื้อเพลิง C จาก 36.56%, 37.25% และ 35.43% เหลือ 33% รวมถึงการควบคุมอุณหภูมิเตาเผาใหม่มีค่ามากขึ้นจากเดิมอุณหภูมิเตาเผาใหม่สูตรเชื้อเพลิง A B และ C เฉลี่ยอยู่ที่ 828.85 °C, 827.45 °C และ 837.3 °C เพิ่มขึ้น 881 °C 870 °C 848 °C ตามลำดับ เป็นปัจจัยหลัก ค่าความดันเตาเผาใหม่ลดลงจากค่าเฉลี่ย -1.13 mbar, -1.29 mbar, -1.35 mbar อยู่ที่ -1.00 mbar, -1.10 mbar, -1.21 mbar ตามลำดับ เมื่อพิจารณาสัดส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงแต่ละสูตรจะมีค่าเหมาะสมที่ค่าใดค่าหนึ่งโดยสูตรเชื้อเพลิง A B และ C มีค่าสัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงอยู่ที่ 3.38 kg-air/kg-fuel, 3.41 kg-air/kg-fuel และ 3.20 kg-air/kg-fuel ตามลำดับ



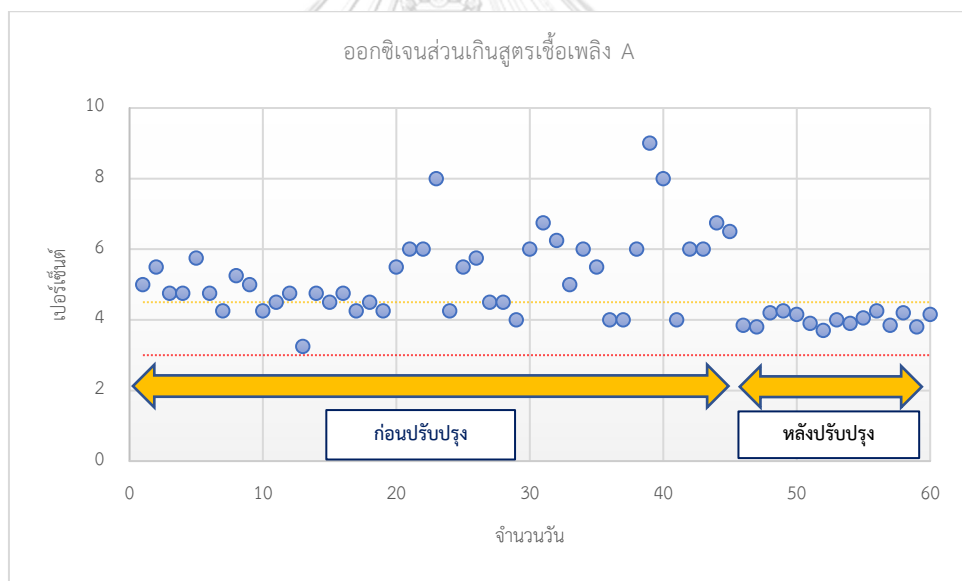
รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบอัตราการผลิตรายวันก่อนและหลังปรับปรุงของสายการผลิต A



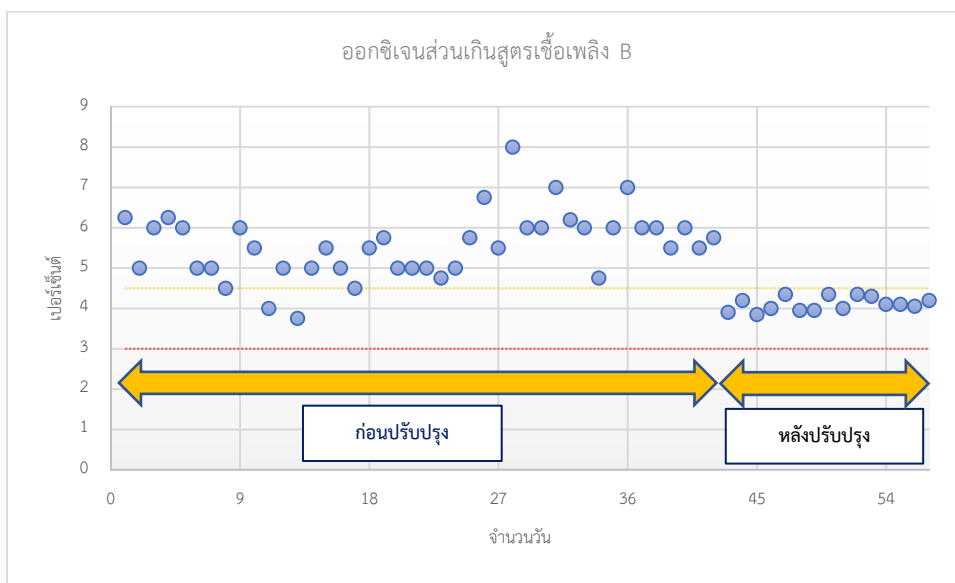
รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบอัตราการผลิตรายวันก่อนและหลังปรับปรุงของสายการผลิต B



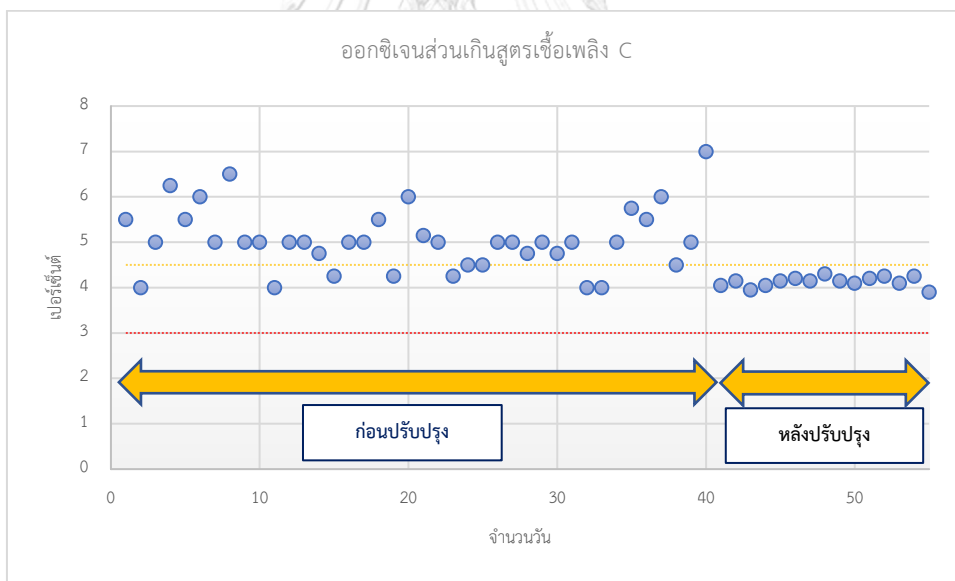
รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบอัตราการผลิตไอน้ำก่อนและหลังปรับปรุงของสูตรเชื้อเพลิง C



รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนส่วนเกินก่อนและหลังปรับปรุงของสูตรเชื้อเพลิง A



รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนส่วนเกินก่อนและหลังปรับปรุงของสูตรเชื้อเพลิง B



รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนส่วนเกินก่อนและหลังปรับปรุงของสูตรเชื้อเพลิง C

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบอัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูงหลังปรับปรุงกับสมการของสูตรเชื้อเพลิงแต่ละสูตร

อัตราการผลิตไอน้ำ (kg/s)	ค่าหลังปรับปรุง	ค่าจากสมการ	ร้อยละผลต่างระหว่างค่าจากสมการกับค่าหลังปรับปรุง
สูตรเชื้อเพลิง A	43.32	43.01	0.71
สูตรเชื้อเพลิง B	43.26	43.02	0.55
สูตรเชื้อเพลิง C	43.44	43.01	0.99

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบอัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูงก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงของสูตรเชื้อเพลิงแต่ละสูตร

อัตราการผลิตไอน้ำ (kg/s)	ค่าก่อนปรับปรุง	ค่าหลังปรับปรุง	ร้อยละผลต่างระหว่างค่าก่อนและหลังปรับปรุง
สูตรเชื้อเพลิง A	39.96	43.32	8.40
สูตรเชื้อเพลิง B	39.08	43.26	10.68
สูตรเชื้อเพลิง C	40.46	43.44	7.37

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบค่าออกซิเจนส่วนเกินของการเผาไหม้หลังปรับปรุงกับสมการของสูตรเชื้อเพลิงแต่ละสูตร

ออกซิเจนส่วนเกิน (%)	ค่าหลังปรับปรุง	ค่าจากสมการ	ร้อยละผลต่างระหว่างค่าจากสมการกับค่าหลังปรับปรุง
สูตรเชื้อเพลิง A	4.00	4.22	-5.41
สูตรเชื้อเพลิง B	4.11	4.38	-6.57
สูตรเชื้อเพลิง C	4.13	4.47	-8.23

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบค่าออกซิเจนส่วนเกินของการเผาไหม้ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงของ  
สูตรเชื้อเพลิงแต่ละสูตร

ออกซิเจนส่วนเกิน (%)	ค่าก่อนปรับปรุง	ค่าหลังปรับปรุง	ช่วงควบคุม 3.0-4.5%
สูตรเชื้อเพลิง A	5.30	4.00	ได้ตามเกณฑ์
สูตรเชื้อเพลิง B	5.57	4.11	ได้ตามเกณฑ์
สูตรเชื้อเพลิง C	5.05	4.13	ได้ตามเกณฑ์

ด้านการพิจารณาด้านทุนเฉลี่ยของเชื้อเพลิงต่อตันไอน้ำ โดยสูตรเชื้อเพลิง A มีต้นทุนเชื้อเพลิงอยู่ที่ 1,433 บาทต่อตันเชื้อเพลิง สูตรเชื้อเพลิง B อยู่ที่ 1,409 บาทต่อตันเชื้อเพลิง และสูตรเชื้อเพลิง C อยู่ที่ 1,430 บาทต่อตันเชื้อเพลิง ทั้งนี้กรณีมีการใช้เชื้อเพลิงลดลงและผลิตไอน้ำได้มากขึ้นจะทำให้ต้นทุนการผลิตไอน้ำลดลงโดยคิดจากต้นทุนเชื้อเพลิงสัดส่วนด้วยตันไอน้ำที่ผลิตได้ ดังสมการ

ต้นทุนเชื้อเพลิงต่อตันไอน้ำ = [ค่าเฉลี่ยปริมาณเชื้อเพลิงที่ป้อน × ราคาเชื้อเพลิง] / [ปริมาณไอน้ำผลิต]

$$\begin{matrix} \text{(บาท/ตันไอน้ำ)} & & \text{(ตัน/วัน)} & & \text{(บาท/ตัน)} & & \text{(ตัน/วัน)} \\ & & & & & & (4.1) \end{matrix}$$

เปรียบเทียบต้นทุนเชื้อเพลิงเฉลี่ยต่อตันไอน้ำที่ผลิตได้ของสูตรเชื้อเพลิง A B และ C (รูปที่ 4.7) พบว่า

- ต้นทุนสูตรเชื้อเพลิง A

$$\begin{aligned} \text{ก่อนปรับปรุง} &= [1399.22 \text{ (ตัน/วัน)} \times 1433 \text{ (บาท/ตัน)}] / [[39.96 \text{ (กิโลกรัม/วินาที)}] / 1000 \text{ (ตัน/กิโลกรัม)}] \times 3600 \text{ (วินาที/ชั่วโมง)} \times 24 \text{ (ชั่วโมง/วัน)} \\ &= 580.78 \text{ บาท/ตัน-ไอน้ำ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{หลังปรับปรุง} &= [1455 \text{ (ตัน/วัน)} \times 1433 \text{ (บาท/ตัน)}] / [[43.31 \text{ (กิโลกรัม/วินาที)}] / 1000 \text{ (ตัน/กิโลกรัม)}] \times 3600 \text{ (วินาที/ชั่วโมง)} \times 24 \text{ (ชั่วโมง/วัน)} \\ &= 557.11 \text{ บาท/ตัน-ไอน้ำ} \end{aligned}$$

ดังนั้นต้นทุนสูตรเชื้อเพลิง A เฉลี่ยลดลงจาก 580.78 บาทต่อตันไอน้ำ เหลือ 556.34 บาทต่อตันไอน้ำ คิดเป็น 4.08%



- ต้นทุนสูตรเชื้อเพลิง B

$$\begin{aligned} \text{ก่อนปรับปรุง} &= [1355.10 (\text{ตัน/วัน}) \times 1409 (\text{บาท/ตัน})] / [[39.09 (\text{กิโลกรัม/วินาที})/1000 (\text{ตัน/} \\ &\quad \text{กิโลกรัม})] \times 3600 (\text{วินาที/ชั่วโมง}) \times 24 (\text{ชั่วโมง/วัน})] \\ &= 565.43 \text{ บาท/ตัน-ไอน้ำ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{หลังปรับปรุง} &= [1469 (\text{ตัน/วัน}) \times 1433 (\text{บาท/ตัน})] / [[43.26 (\text{กิโลกรัม/วินาที})/1000 (\text{ตัน/} \\ &\quad \text{กิโลกรัม})] \times 3600 (\text{วินาที/ชั่วโมง}) \times 24 (\text{ชั่วโมง/วัน})] \\ &= 553.78 \text{ บาท/ตัน-ไอน้ำ} \end{aligned}$$

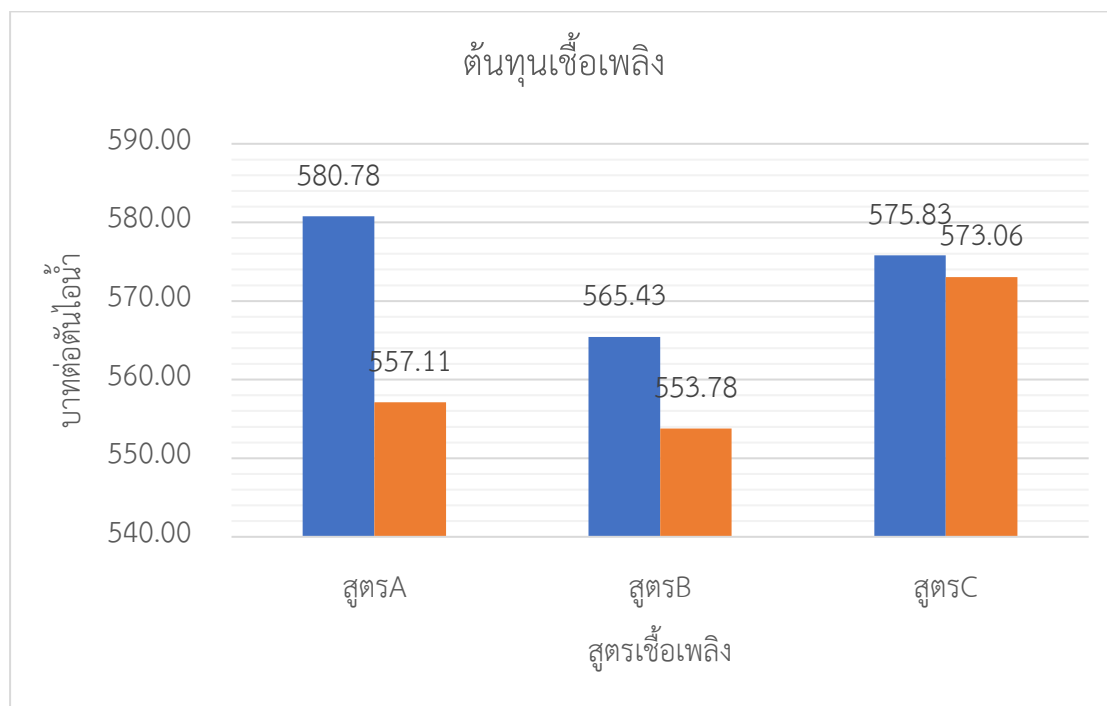
ดังนั้นต้นทุนสูตรเชื้อเพลิง B เฉลี่ยลดลงจาก 565.43 บาทต่อตันไอน้ำ เหลือ 553.78 บาทต่อตันไอน้ำ คิดเป็น 2.06%

- ต้นทุนสูตรเชื้อเพลิง C

$$\begin{aligned} \text{ก่อนปรับปรุง} &= [1407.60 (\text{ตัน/วัน}) \times 1430 (\text{บาท/ตัน})] / [[40.46 (\text{กิโลกรัม/วินาที})/1000 (\text{ตัน/} \\ &\quad \text{กิโลกรัม})] \times 3600 (\text{วินาที/ชั่วโมง}) \times 24 (\text{ชั่วโมง/วัน})] \\ &= 575.83 \text{ บาท/ตัน-ไอน้ำ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{หลังปรับปรุง} &= [1504 (\text{ตัน/วัน}) \times 1430 (\text{บาท/ตัน})] / [[43.44 (\text{กิโลกรัม/วินาที})/1000 (\text{ตัน/} \\ &\quad \text{กิโลกรัม})] \times 3600 (\text{วินาที/ชั่วโมง}) \times 24 (\text{ชั่วโมง/วัน})] \\ &= 573.06 \text{ บาท/ตัน-ไอน้ำ} \end{aligned}$$

ดังนั้นต้นทุนสูตรเชื้อเพลิง C เฉลี่ยลดลงจาก 573.82 บาทต่อตันไอน้ำ เหลือ 573.06 บาทต่อตันไอน้ำ คิดเป็น 0.48%



รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบต้นทุนเชื้อเพลิงต่อตันไอน้ำก่อนและหลังปรับปรุงของสูตรเชื้อเพลิงแต่ละสูตร

## บทที่ 5

### สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลงานวิจัย

การศึกษาปัจจัยในการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลของหม้อกำเนิดไอน้ำฟลูอิดไคด์แบบบดผงแก๊ส ของโรงไฟฟ้าชีวมวลกรณีศึกษา มีที่มาเนื่องจากปัญหาราคาค่าต้นทุนเชื้อเพลิงชีวมวลหลักของโรงงานมีแนวโน้มสูงขึ้นอีกทั้งมีการแข่งขันในอุตสาหกรรมสูงทำให้เชื้อเพลิงหลักไม่เพียงพอต่อความต้องการในปัจจุบัน โรงงานต้องปรับตัวโดยหาเชื้อเพลิงต้นทุนต่ำทดแทน โดยสูตรเชื้อเพลิงสำหรับทำงานวิจัยแบ่งเป็น 3 สูตรเชื้อเพลิงหลักคือ สูตรเชื้อเพลิง A (ไม้สับ:แกลบ:ไฟเบอร์:ซีลี้อย, 8:6:1:1) สูตรเชื้อเพลิง B (ไม้สับ:แกลบ:ไฟเบอร์:ซีลี้อย, 5:5:1:1) และสูตรเชื้อเพลิง C (ไม้สับ:แกลบ:ไฟเบอร์, 5:2:2) ซึ่งงานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเผาไหม้ของหม้อกำเนิดไอน้ำ หาสภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรที่ส่งผลให้อัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูงตามเป้าหมาย ควบคุมค่าเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนส่วนเกินจากการเผาไหม้ให้อยู่ในช่วงที่กำหนด รวมถึงลดต้นทุนเชื้อเพลิงต่อตันไอน้ำที่ผลิตให้น้อยกว่าค่าเฉลี่ยเดิมของเชื้อเพลิงแต่ละสูตร

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นพิจารณาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการเผาไหม้รวมถึงสภาวะการเดินเครื่องจักร โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นคือ ค่าความชื้นเชื้อเพลิง(X1) อัตราการป้อนเชื้อเพลิง(X2) อัตราการป้อนอากาศ(X3) ความดันเตาเผาไหม้(X4) อุณหภูมิเตาเผาไหม้(X5) อุณหภูมิไอน้ำแรงดันสูง(X6) ความดันไอน้ำแรงดันสูง(X7) และมีตัวแปรตอบสนองคือ อัตราไหลของไอน้ำแรงดันสูง(Y1) และเปอร์เซ็นต์ออกซิเจน(Y2) ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis) โดยเบื้องต้นพิจารณาความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตอบสนองด้วยวิธีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน(Pearson Correlation ) พบว่าตัวแปรต้นที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองคือ ค่าความชื้นเชื้อเพลิง(X1) อัตราการป้อนเชื้อเพลิง(X2) อัตราการป้อนอากาศ(X3) ความดันเตาเผาไหม้(X4) และอุณหภูมิเตาเผาไหม้(X5) หลังจากนั้นนำตัวแปรดังกล่าว มาวิเคราะห์หาสมการถดถอยระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตอบสนองของเชื้อเพลิงแต่ละสูตรที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่าหรือ R-sq(adj) มากที่สุดโดยพิจารณาจากสมการถดถอยด้วยโปรแกรม minitab18 แบ่งการวิเคราะห์สูตรเชื้อเพลิงแต่ละสูตรออกเป็น 3 กลุ่มตัวแปรนำเข้าคือ การวิเคราะห์ตัวแปรนำเข้าแบบปกติ การวิเคราะห์ตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการ และการวิเคราะห์ตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการ วิเคราะห์ด้วยสมการกลุ่มละ 4 รูปแบบโดยพิจารณาค่า  $\alpha$  ตามค่าตั้งต้นของโปรแกรม minitab คือ พิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัวในสมการ (Full model) การเลือกตัวแปรโดยการเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอน (Stepwise regression) พิจารณา  $\alpha$  to enter = 0.15 และ  $\alpha$  to remove = 0.15 การเลือกตัวแปรแบบเดินหน้า (Forward selection) พิจารณา  $\alpha$  to

enter = 0.25 และการกำจัดตัวแปรแบบถอยหลัง (Backward elimination) พิจารณา  $\alpha$  to remove = 0.10 จากผลวิเคราะห์พบว่าสูตรเชื้อเพลิง A การวิเคราะห์ตัวแปรนำเข้าแบบปกติด้วยสมการถดถอยแบบ Forward selection ให้ค่า R-sq(adj) มากที่สุด สำหรับ Y1 และ Y2 สูตรเชื้อเพลิง B การวิเคราะห์ตัวแปรนำเข้าแบบปกติด้วยสมการถดถอยแบบ Forward selection สำหรับ Y1 และแบบ Backward elimination สำหรับ Y2 ให้ค่า R-sq(adj) มากที่สุด สูตรเชื้อเพลิง C การวิเคราะห์ตัวแปรนำเข้าแบบปกติด้วยสมการถดถอยแบบ Backward elimination สำหรับ Y1 และ Y2 ให้ค่า R-sq(adj) มากที่สุด

หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (response surface methodology) เพื่อหาสถานะที่เหมาะสมของตัวแปร โดยพิจารณาเป้าหมายของโรงงานคืออัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูง (Y1) ที่ 43 kg/s เพื่อผลิตไฟฟ้าและจ่ายไอน้ำให้ได้ตามข้อตกลงของลูกค้า และควบคุมออกซิเจนส่วนเกิน (Y2) ให้อยู่ในช่วงที่ 3-4.5% ตามค่าการออกแบบของเครื่องจักร หลังจากนั้นพิจารณาปรับค่าอัตราการป้อนเชื้อเพลิงเนื่องจากเป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อต้นทุน พบว่าสูตรเชื้อเพลิง A มีค่าความชื้นเชื้อเพลิง (X1) 33% อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (X2) 1455 ton/d อัตราการป้อนอากาศ (X3) 54.00 kg/s ความดันเตาเผาไหม้ (X4) -1.00 mbar, อุณหภูมิเตาเผาไหม้ (X5) 881 °C สูตรเชื้อเพลิง B มีค่าความชื้นเชื้อเพลิง (X1) 33%, อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (X2) 1469 ton/d, อัตราการป้อนอากาศ (X3) 58.23 kg/s, ความดันเตาเผาไหม้ (X4) -1.10 mbar, อุณหภูมิเตาเผาไหม้ (X5) 870.00 °C และสูตรเชื้อเพลิง C มีค่าความชื้นเชื้อเพลิง (X1) 33%, อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (X2) 1504 ton/d, อัตราการป้อนอากาศ (X3) 56.52 kg/s, ความดันเตาเผาไหม้ (X4) -1.21 mbar, อุณหภูมิเตาเผาไหม้ (X5) 848 °C

เมื่อได้ค่าสถานะที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงแต่ละสูตรแล้วทำการทดลองเพื่อยืนยันผลโดยเก็บข้อมูล สูตรละ 15 วัน พบว่าสูตรเชื้อเพลิง A มีอัตราการผลิตไอน้ำเพิ่มขึ้นจาก 39.96 กิโลกรัมต่อวินาที เพิ่มขึ้นเป็น 43.32 กิโลกรัมต่อวินาที คิดเป็นร้อยละที่เพิ่มขึ้น 8.40 ในส่วนค่าออกซิเจนส่วนเกินลดลงจาก 5.30% เหลือ 4.00% ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ควบคุม สูตรเชื้อเพลิง B มีอัตราการผลิตไอน้ำเพิ่มขึ้นจาก 39.08 กิโลกรัมต่อวินาที เพิ่มขึ้นเป็น 43.26 กิโลกรัมต่อวินาที คิดเป็นร้อยละที่เพิ่มขึ้น 10.68 ในส่วนค่าออกซิเจนส่วนเกินลดลงจาก 5.57% เหลือ 4.11% ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ควบคุม สูตรเชื้อเพลิง C มีอัตราการผลิตไอน้ำเพิ่มขึ้นจาก 40.46 กิโลกรัมต่อวินาที เพิ่มขึ้นเป็น 43.44 กิโลกรัมต่อวินาที คิดเป็นร้อยละที่เพิ่มขึ้น 7.37 ในส่วนค่าออกซิเจนส่วนเกินลดลงจาก 5.05% เหลือ 4.13% ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ควบคุม ด้านต้นทุนสูตรเชื้อเพลิง A เฉลี่ยลดลงจาก 580.78 บาทต่อตันไอน้ำ เหลือ 557.11 บาทต่อตันไอน้ำ คิดเป็น 4.08% ต้นทุนสูตรเชื้อเพลิง B เฉลี่ยลดลงจาก 565.43 บาทต่อตันไอน้ำ

เหลือ 553.78 บาทต่อตันไอน้ำ คิดเป็น 2.06% ต้นทุนสูตรเชื้อเพลิง C เฉลี่ยลดลงจาก 575.83 บาทต่อตันไอน้ำ เหลือ 573.06 บาทต่อตันไอน้ำ คิดเป็น 0.48%

เมื่อพิจารณาค่าอัตราการผลิตไอน้ำแรงดันสูงและออกซิเจนส่วนเกินระหว่างค่าจากสมการที่ได้จากการทำนายและค่าหลังปรับปรุงพบว่าร้อยละผลต่างระหว่างค่าจากสมการกับค่าหลังปรับปรุงของอัตราการผลิตไอน้ำแรงสูงของสูตรเชื้อเพลิง A สูตรเชื้อเพลิง B และสูตรเชื้อเพลิง C อยู่ระหว่าง 0.55%-0.99% จะเห็นได้ว่ามีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกับสมการ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า (R-sq(adj) อยู่ระหว่าง 84.17%-95.61% ในส่วนร้อยละผลต่างระหว่างค่าจากสมการกับค่าหลังปรับปรุงของออกซิเจนส่วนเกินของสูตรเชื้อเพลิง A สูตรเชื้อเพลิง B และสูตรเชื้อเพลิง C อยู่ระหว่าง 5.41%-8.23% มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า (R-sq(adj) อยู่ระหว่าง 65.49%-74.18%

กรณีพิจารณาเลือกใช้สูตรเชื้อเพลิงแต่ละสูตรจะเห็นว่าสูตรเชื้อเพลิง A มีการใช้เชื้อเพลิงต่ำที่สุด ลำดับถัดมาคือ สูตรเชื้อเพลิง B และสูตรเชื้อเพลิง C ตามลำดับ ด้านอัตราการผลิตไอน้ำสามารถผลิตไอน้ำได้ตามเป้าหมายทั้ง 3 สูตรเชื้อเพลิง ทั้งนี้เมื่อพิจารณาค่าออกซิเจนส่วนเกินจะเห็นว่าสูตรเชื้อเพลิง A มีค่าต่ำที่สุด ลำดับถัดมาคือ สูตรเชื้อเพลิง B และสูตรเชื้อเพลิง C ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบต้นทุนเชื้อเพลิงจะเห็นว่า สูตรเชื้อเพลิง B มีต้นทุนต่ำที่สุด ลำดับถัดมาคือ สูตรเชื้อเพลิง A และสูตรเชื้อเพลิง C ตามลำดับ ดังนั้นหากพิจารณาเลือกใช้สูตรเชื้อเพลิงควรคำนึงถึงต้นทุนเป็นหลักโดยเลือกใช้สูตรเชื้อเพลิง B สูตรเชื้อเพลิง A และสูตรเชื้อเพลิง C ตามลำดับ ตารางเปรียบเทียบดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบผลลัพธ์ของสูตรเชื้อเพลิงแต่ละสูตรสำหรับการเลือกใช้

สูตรเชื้อเพลิง	อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (ton/d)	อัตราการผลิตไอน้ำ (kg/s)	ออกซิเจนส่วนเกิน (%)	ต้นทุน Baht/ton-steam
A	1455	43.32	4.00	557.11
B	1469	43.26	4.11	553.78
C	1504	43.44	4.13	573.06

## 5.2 ข้อจำกัดสำหรับงานวิจัย

1. งานวิจัยนี้ไม่ได้ศึกษาถึงตะกอนในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้เฉพาะการหยุดซ่อมบำรุงเท่านั้น ทั้งนี้โรงงานกรณีศึกษาจะมีการเผ่าระวังจากผลต่างของอุณหภูมิของไอน้ำและก๊าซร้อนแต่ละส่วนในหม้อกำเนิดไอน้ำซึ่งควบคุมไม่ให้เกินค่ากำหนดของโรงงาน
2. งานวิจัยนี้พิจารณาต้นทุนเชื้อเพลิงในช่วงการทำวิจัย กรณีมีการเปลี่ยนแปลงของราคาเชื้อเพลิงในตลาดจะส่งผลต่อต้นทุนเชื้อเพลิงต่อตันไอน้ำเปลี่ยนไปดังนั้นหากมีการต่อยอดงานวิจัยต้องคำนึงถึงราคาเชื้อเพลิงที่เปลี่ยนแปลงในอนาคตด้วยเช่นกัน
3. งานวิจัยนี้ศึกษาสถานะที่เหมาะสมสำหรับสูตรเชื้อเพลิงเฉพาะของโรงงานเท่านั้น
4. งานวิจัยนี้วิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นแต่ละตัวกับตัวแปรตอบสนองเท่านั้น เพื่อลดจำนวนตัวแปรต้นในสมการถดถอยลงไม่พิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นด้วยกัน ซึ่งหากมีการต่อยอดงานวิจัยสำหรับงานวิจัยอื่นอาจต้องพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นด้วยเช่นกัน

## 5.3 ข้อเสนอแนะ

1. งานวิจัยนี้เป็นการหาสถานะที่เหมาะสมของการผลิตไอน้ำแรงดันสูงโดยคำนึงถึงการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลที่หลากหลายมีสูตรผสมตามแผนการจัดซื้อจัดหาของโรงงาน ซึ่งสามารถนำหลักการนี้ไปประยุกต์ใช้กับโรงไฟฟ้าชีวมวลที่มีสูตรเชื้อเพลิงผสมอื่น ๆ ได้
2. กรณีมีการปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อกำเนิดไอน้ำ หรือมีการเปลี่ยนเครื่องจักรเพื่อเพิ่มกำลังการผลิตผลวิจัยอาจไม่สามารถนำมาพิจารณาใช้ได้
3. โรงงานสามารถนำหลักการวิเคราะห์นี้ไปประยุกต์ใช้กับโรงไฟฟ้าอื่น ๆ ในเครือได้
4. งานวิจัยนี้พิจารณาในส่วนของหม้อกำเนิดไอน้ำซึ่งไม่รวมกังหันไอน้ำ ทั้งนี้ผลิตภัณท์ที่ได้เป็นปริมาณไอน้ำแรงดันสูง ที่จะส่งต่อไปยังกังหันไฟฟ้าต่อไปดังนั้นปริมาณไฟฟ้าที่ได้อาจขึ้นกับประสิทธิภาพของกังหันไอน้ำด้วยเช่นกัน
5. เพื่อให้ค่าที่ตรวจวัดมีความแม่นยำโรงงานต้องมีการสอบเทียบเครื่องมือวัดเป็นประจำเพื่อให้ได้ค่าที่วัดเที่ยงตรงและแม่นยำ ทำให้การเดินเครื่องจักรมีประสิทธิภาพ
6. กรณีมีการวิเคราะห์ปรับปรุงรูปแบบสมการเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า (R-sq(adj)) ที่มีค่ามากที่สุดโดยพิจารณาเปรียบเทียบกับค่า  $\alpha$  แบ่งออกเป็น 0.10 0.15 และ 0.25 ของสมการ 4 รูปแบบคือ พิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัวในสมการ (Full model) การเลือกตัวแปรโดยการเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอน (Stepwise regression) การเลือกตัวแปรแบบเดินหน้า (Forward selection) การกำจัดตัวแปรแบบถอยหลัง (Backward elimination) ดังตารางที่ 5.2-5.4 จากตารางจะเห็นได้ว่า (ข้อมูลการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังภาคผนวก ข ค ง)

### สูตรเชื้อเพลิง A

- การเลือกแปรนำเข้าแบบปกติวิเคราะห์สมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถอยหลังที่ค่าแอลฟา 0.15 และ 0.25 ให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่าของตัวแปรตอบสนองสำหรับ Y1 มากที่สุดอยู่ที่ 95.81% โดยทั้งสองสมการมีรูปแบบสมการเหมือนกัน
- การเลือกตัวแปรนำเข้าแบบปกติวิเคราะห์สมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนที่ค่าแอลฟา 0.25 และการเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าที่ค่าแอลฟา 0.25 รวมถึงการนำตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วม (X8 แทนตัวแปรอิทธิพลร่วม) วิเคราะห์สมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนที่ค่าแอลฟา 0.25 และการเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าที่ค่าแอลฟา 0.25 ให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่าของตัวแปรตอบสนองสำหรับ Y2 มากที่สุดอยู่ที่ 69.16% ซึ่งสมการดังกล่าวมีรูปแบบสมการเหมือนกัน

### สูตรเชื้อเพลิง B

- การเลือกแปรนำเข้าแบบปกติวิเคราะห์สมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถอยหลังที่ค่าแอลฟา 0.25 และการนำตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วม วิเคราะห์สมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถอยหลังที่ค่าแอลฟา 0.25 ให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่าของตัวแปรตอบสนองสำหรับ Y1 มากที่สุดอยู่ที่ 96.67% ซึ่งสมการมีรูปแบบเหมือนกัน
- การนำตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วม วิเคราะห์สมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถอยหลังที่ค่าแอลฟา 0.25 ให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่าของตัวแปรตอบสนอง Y2 มากที่สุดอยู่ที่ 76.27%

### สูตรเชื้อเพลิง C จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- การเลือกแปรนำเข้าแบบปกติวิเคราะห์สมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถอยหลังที่ค่าแอลฟา 0.25 และการนำตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วม วิเคราะห์สมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถอยหลังที่ค่าแอลฟา 0.25 ซึ่งมีรูปแบบสมการเหมือนกัน ให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่าของตัวแปรตอบสนองสำหรับ Y1 มากที่สุดอยู่ที่ 84.81%
- การเลือกแปรนำเข้าแบบปกติวิเคราะห์สมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถอยหลังที่ค่าแอลฟา 0.25 ให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่าของตัวแปรตอบสนองสำหรับ Y2 มากที่สุดอยู่ที่ 66.93%

จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าแอลฟาจะเห็นได้ว่าค่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่าของตัวแปรตอบสนอง Y1 และ Y2 มีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งหากมีการต่อยอดงานวิจัยควรเปรียบเทียบค่าแอลฟาด้วย

ตารางที่ 5.2 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจรับค่าของสมการถดถอยสูตรข้อเพลิง A

กรณีที่	รูปแบบสมการถดถอย	Alpha	R-sq(adj)							
			ตัวแปรนำเข้าแบบปกติ		X8 แทนตัวแปรอิทธิพลรวม		X8 แทนตัวแปรอิทธิพลหลัก			
			Y1	Y2	Y1	Y2	Y1	Y2		
1	พิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัวในสมการ	-	95.30%	60.76%	95.18%	60.95%	77.40%	41.99%		
2	การเลือกตัวแปรโดยเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอน	0.10	95.17%	65.91%	95.17%	65.91%	77.86%	37.34%		
		0.15	95.17%	68.82%	95.17%	68.82%	78.52%	37.34%		
		0.25	95.73%	69.16%	95.17%	69.16%	78.84%	51.12%		
3	การเลือกตัวแปรแบบเดินหน้า	0.10	95.17%	65.91%	95.17%	65.91%	78.52%	37.34%		
		0.15	95.17%	68.82%	95.17%	68.82%	78.52%	37.34%		
		0.25	95.61%	69.16%	95.17%	69.16%	78.84%	40.55%		
4	การกำจัดตัวแปรแบบถอยหลัง	0.10	95.17%	67.27%	95.17%	67.22%	77.26%	48.91%		
		0.15	95.81%	69.02%	95.75%	67.22%	78.93%	48.91%		
		0.25	95.81%	69.02%	95.75%	68.18%	78.93%	51.12%		



ตารางที่ 5.3 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่าของสมการถดถอยสูตรข้อเพลิง B

กรณีศึกษา	รูปแบบสมการถดถอย	แอลฟา	R-sq(adj)							
			ตัวแปรนำเข้าแบบปกติ		X8 แทนตัวแปรอิทธิพลร่วม		X8 แทนตัวแปรอิทธิพลหลัก			
			Y1	Y2	Y1	Y2	Y1	Y2		
1	พิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัวในสมการ	-	95.67%	68.51%	95.69%	69.94%	63.40%	47.87%		
2	การเลือกตัวแปรโดยการเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอน	0.10	96.51%	64.32%	96.15%	64.32%	58.83%	48.49%		
		0.15	96.51%	72.62%	96.51%	72.62%	58.83%	49.67%		
		0.25	96.57%	73.33%	96.59%	73.33%	59.37%	50.69%		
3	การเลือกตัวแปรแบบเดินหน้า	0.10	96.57%	64.32%	96.49%	64.32%	58.83%	48.94%		
		0.15	96.57%	72.62%	96.49%	72.62%	58.83%	49.67%		
		0.25	96.57%	73.33%	96.49%	73.33%	59.37%	50.27%		
4	การกำจัดตัวแปรแบบถอยหลัง	0.10	96.51%	74.18%	96.51%	74.14%	65.96%	49.91%		
		0.15	96.51%	74.18%	96.51%	74.14%	65.96%	51.72%		
		0.25	96.67%	74.82%	96.67%	76.27%	66.46%	51.72%		

ตารางที่ 5.4 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่าของสมการถดถอยสูตรข้อเพลิง C

กรณี	รูปแบบสมการถดถอย	แอลฟา	R-sq(adj)							
			ตัวแปรนำเข้าแบบปกติ		X8 แทนตัวแปรอิทธิพลรวม		X8 แทนตัวแปรอิทธิพลหลัก			
			Y1	Y2	Y1	Y2	Y1	Y2		
1	พิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัวในสมการ	-	82.64%	58.50%	82.59%	58.08%	65.09%	55.86%		
2	การเลือกตัวแปรโดยการเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอน	0.10	62.62%	58.74%	62.62%	58.74%	46.73%	57.26%		
		0.15	79.34%	58.74%	79.34%	58.74%	62.12%	59.08%		
		0.25	74.34%	58.74%	79.34%	58.74%	63.24%	60.23%		
3	การเลือกตัวแปรแบบเดินหน้า	0.10	62.62%	58.74%	62.62%	58.74%	46.73%	57.26%		
		0.15	78.65%	58.74%	78.65%	58.74%	62.12%	59.08%		
		0.25	78.65%	58.74%	78.65%	58.74%	63.65%	60.23%		
4	การกำจัดตัวแปรแบบถอยหลัง	0.10	84.17%	65.49%	84.17%	64.89%	63.79%	58.14%		
		0.15	84.17%	65.49%	84.17%	66.36%	63.79%	58.14%		
		0.25	84.81%	66.93%	84.81%	66.86%	66.01%	58.57%		

บรรณานุกรม



1. สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงพลังงาน (2554). การใช้ไฟฟ้าและการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย, หน้า 2-4, [http://www.eppo.go.th/index.php/th/energy-information/energy-status/year?orders\[publishUp\]=publishUp&issearch=1](http://www.eppo.go.th/index.php/th/energy-information/energy-status/year?orders[publishUp]=publishUp&issearch=1).
2. แผนยุทธศาสตร์พลังงานของประเทศของกระทรวงพลังงาน (2561), ยุทธศาสตร์กระทรวงพลังงาน,  
[http://www.eppo.go.th/index.php/th/plan-policy/policystrategy?orders\[publishUp\]=publishUp&issearch=1](http://www.eppo.go.th/index.php/th/plan-policy/policystrategy?orders[publishUp]=publishUp&issearch=1).
3. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, ข้อมูลปีการเพาะปลูก พ.ศ. 2556, [http://biomass.dede.go.th/biomass\\_web/index.html](http://biomass.dede.go.th/biomass_web/index.html).
4. ชัยวัฒน์ พรหมภูเบศร์ (2547), การเผาไหม้เชื้อเพลิงผสมถ่านหินและชีวมวลในฟลูอิดไคซ์เบดแบบหมุนเวียน, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
5. ตำราฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (ผชพ) ด้านความร้อน, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน,  
[http://www2.dede.go.th/bhrd/old/Download/file\\_handbook/Pre\\_Heat/pre\\_heat\\_3.pdf](http://www2.dede.go.th/bhrd/old/Download/file_handbook/Pre_Heat/pre_heat_3.pdf).
6. บุญอ้อม โฉมที (2554). การวิเคราะห์การถดถอยพหุ (Multiple Regression). กรุงเทพฯ: ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
7. พรสิน สุภวาลัย (2556). การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis): การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุ. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
8. ปารเมศ ชูติมา (2545). การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
9. จิราวัลย์ จิตรถเวช (2558). การวิเคราะห์การถดถอย, สำนักพิมพ์ สถาบันพัฒนาบริหารศาสตร์, ISBN: 9789742318611.
10. Reichardt, R. (2018). Heat Exchanger Design Handbook Multimedia Edition. *The Charleston Advisor*, 19(4), 15-19.
11. Foster Wheeler Global Power Group (2011). Bubbling Fluidized Bed (BFB), Industrial Fluidization South Africa, Johannesburg, South Africa.
12. The Global CCS Institute, The Global Status of CCS: 2017, <https://hub.globalccsinstitute.com/publications/biomass-ccs-study/70-case-4a-75-mwe-bfb-boiler-without-co2-capture>.

13. Basu, P., & Fraser, S. Circulating Fluidized Bed Boilers: Design and Operation, 1991. In: Butterworth-Heinemann, Oxford). Google Scholar.
14. Onochie, U., Obanor, A., Aliu, S., & Igbojaro, O. (2017). PROXIMATE AND ULTIMATE ANALYSIS OF FUEL PELLETS FROM OIL PALM RESIDUES. *Nigerian Journal of Technology*, 36(3), 987-990.
15. Bureau of Energy Efficiency Ministry of Power, Govt. of India. (2017). UNIT 1, ENERGY PERFORMANCE ASSESSMENT OF BOILERS.
16. Li, J. (2014). Volumetric combustion of torrefied biomass for large percentage biomass co-firing up to 100% fuel switch. KTH Royal Institute of Technology,
17. Rahiala, S., Myöhänen, K., & Hyppänen, T. (2014). Modeling the behavior of limestone particles in oxy-fuel CFB processes. *Fuel*, 127, 141-150.
18. Larsen, P. V. (2006). Regression and analysis of variance. *Master of Applied Statistics*.
19. Ryan, T. (1997). Modern Regression Methods 474 John Wiley & Sons. Inc. New York.
20. Chen, R.-B. (2005). Regression Models: Polynomial Regression Models. Institute of Statistics, National University of Kaohsiung.
21. Wen, X., & Jian, S. (2016). *Modeling of Main Steam Parameters in Large Thermal Power Plant*. Paper presented at the MATEC Web of Conferences.
22. Chayalakshmi C.L, Jangamshetti D.S, Savita S. (2018). MULTIPLE LINEAR REGRESSION ANALYSIS FOR PREDICTION OF BOILER LOSSES AND BOILER EFFICIENCY. *International Journal of Instrumentation and Control Systems (IJICS)* Vol.8, No.2.
23. Mao, X. F. (2012). The application of regression analysis in the characteristics research of adjustment to flue gas temperature at furnace outlet of CFB boiler. Paper presented at the Advanced Materials Research.
24. Peña, J. A. P. (2011). Bubbling Fluidized Bed (BFB), When to use this technology? *Industrial Fluidization South Africa*, 1-12.
25. Skvaril, J., Avelin, A., Sandberg, J., & Dahlquist, E. (2014). The experimental study of full-scale biomass-fired bubbling fluidized bed boiler. *Energy Procedia*, 61, 643-647.

26. Wen, X. Q., & Xu, Z. M. (2013). *A New Model of Predicting the Hydrogen Element in Coal-Fired*. Paper presented at the Applied Mechanics and Materials.
27. Behnamfard, A., & Alaei, R. (2017). Estimation of coal proximate analysis factors and calorific value by multivariable regression method and adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS). *International Journal of Mining and Geo-Engineering*, 51(1), 29-35.
28. Li, G., Liu, Z., Li, J., Fang, Y., Liu, T., Mei, Y., & Wang, Z. (2018). Application of general regression neural network to model a novel integrated fluidized bed gasifier. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(11), 5512-5521.
29. Wu, H., Han, W., Wang, D., & Gao, L. (2017). A carbon oxidation factor regression model of coal-fired power plants in China. *Journal of cleaner production*, 142, 4403-4411.
30. Hrdlicka, J., Skopec, P., Opatril, J., & Dlouhy, T. (2016). Oxyfuel combustion in a bubbling fluidized bed combustor. *Energy Procedia*, 86, 116-123.
31. Chandrasekharan, S., Panda, R. C., & Swaminathan, B. N. (2017). Statistical modeling of an integrated boiler for coal fired thermal power plant. *Heliyon*, 3(6), e00322.
32. Hernández, J., Barba, J., & Aranda, G. (2012). Combustion characterization of producer gas from biomass gasification. *Global NEST Journal*, 14(2), 125-132.
33. Torres-Fuchslocher, C., & Varas-Concha, F. (2015). Design and efficiency of a small-scale woodchip furnace. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 17(2), 355-364.
34. Akçay, H., & Anagün, A. S. (2013). Multi response optimization application on a manufacturing factory. *Mathematical and Computational Applications*, 18(3), 531-538.
35. Abdelwanis, N., & Elmabrouk, O. M. OPTIMIZATION OF THE DRY FLUE GAS EFFICIENCY LOSS OF BOILER DSANILATION PLANT USING RSM.
36. Figueiredo Filho, D. B., Paranhos, R., Rocha, E. C. d., Batista, M., Silva Jr, J. A. d., Santos, M. L. W. D., & Marino, J. G. (2013). When is statistical significance not significant? *Brazilian Political Science Review*, 7(1), 31-55.

37. Shavelson, R. J. (1988). Statistical reasoning for the behavioral sciences. 4th ed. New York : Houghton Mifflin.
38. Forthofer, R. N., Lee, E. S., & Hernandez, M. (2006). *Biostatistics: a guide to design, analysis and discovery*: Elsevier.
39. Khosravy el\_Hossaini, M. (2013). Review of the new combustion technologies in modern gas turbines: ISBN.
40. Combustion Efficiency and Excess Air, Optimizing boilers efficiency is important to minimize fuel consumption and unwanted excess to the environment, [https://www.engineeringtoolbox.com/boiler-combustion-efficiency-d\\_271.html](https://www.engineeringtoolbox.com/boiler-combustion-efficiency-d_271.html).
41. Barmina, A. Lickrastina, M. Zake1, A. Arshanitsa, V.Solodovnik, G. Telysheva. (2012). Effect of Biomass Composition on Combustion Characteristics and Energy Quality, International Conference on Renewable Energies and Power Quality.
42. Kamińska, A. (2011). Method for increasing the calorific value of fragmented wood biomass. *Czasopismo Techniczne. Chemia*, 108, 97-105.







ข้อมูลที	เชื้อเพลิงป้อน		อากาศป้อน	เตาเผาใหม่		ไอน้ำแรงดันสูง		อากาศที่ปล่องระบาย	
	ค่าความชื้น	อัตราการป้อน		ความดัน	อุณหภูมิ	อุณหภูมิ	ความดัน		
	%	ton/d		mbar	C	C	bar		
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	Y1	Y2
10	32.15	1380	51.54	-1.23	881.00	485.75	81.50	41.27	4.25
11	35.01	1379	56.28	-1.20	813.75	487.25	80.50	40.85	4.50
12	28.95	1413	54.16	-0.63	840.25	484.25	80.75	41.64	4.75
13	35.25	1516	56.05	-1.35	816.50	486.75	80.25	41.93	3.25
14	36.54	1487	57.25	-1.20	824.00	484.00	81.75	41.67	4.75
15	38.15	1483	57.09	-1.15	834.75	484.50	81.67	41.24	4.50
16	32.71	1425	58.13	-0.95	823.75	482.50	79.25	42.14	4.75
17	32.94	1447	56.92	-1.43	774.75	480.00	80.75	41.56	4.25
18	37.72	1430	57.80	-0.73	879.00	485.50	81.25	40.87	4.50
19	33.24	1413	58.04	-1.01	798.00	486.25	80.00	41.08	4.25
20	38.19	1246	58.70	-0.53	799.75	484.50	80.25	35.00	5.50
21	34.68	1333	53.19	-1.90	849.00	479.00	85.00	38.83	6.00

ข้อมูลที่ใช้	เชื้อเพลิงป้อน		อากาศป้อน	เตาเผาใหม่		ไอน้ำแรงดันสูง		อากาศที่ปล่องระบาย	
	ค่าความชื้น	อัตราการป้อน		ความดัน	อุณหภูมิ	อุณหภูมิ	ความดัน		อัตราการผลิต
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	Y1	Y2
22	35.18	1369	53.19	-1.00	832.00	489.00	85.00	39.65	6.00
23	38.68	1195	49.99	-1.43	780.25	486.25	81.00	34.44	8.00
24	40.69	1421	56.44	-1.25	850.50	485.25	80.25	41.43	4.25
25	36.33	1413	57.64	-1.40	866.00	485.00	80.75	40.87	5.50
26	39.31	1487	57.96	-1.10	820.00	486.00	80.25	41.30	5.75
27	39.87	1498	55.59	-1.10	849.00	485.00	80.25	40.98	4.50
28	40.16	1459	56.18	-1.13	879.75	480.25	81.75	40.50	4.50
29	41.11	1502	56.96	-0.60	856.00	483.00	81.00	41.78	4.00
30	40.09	1434	56.96	-1.40	840.00	485.00	80.00	41.82	6.00
31	32.14	1295	49.81	-1.33	844.75	484.75	81.25	38.00	6.75
32	37.22	1490	52.63	-1.03	836.50	480.50	79.75	41.50	6.25
33	34.18	1459	53.46	-1.00	844.50	486.25	80.50	42.95	5.00

ข้อมูลที	เชื้อเพลิงป้อน		อากาศป้อน	เตาเผาใหม่		ไอน้ำแรงดันสูง		ไอน้ำแรงดันสูง	อากาศที่ปลอองระบาย
	ค่าความชื้น	อัตราการป้อน		ความดัน	อุณหภูมิ	อุณหภูมิ	ความดัน		
	%	ton/d		mbar	C	C	bar		
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	Y1	Y2
34	36.01	1436	51.21	-1.63	854.75	485.00	79.50	41.25	6.00
35	33.74	1458	50.61	-1.23	844.50	484.00	80.50	42.00	5.50
36	38.69	1433	52.37	-0.73	840.50	483.00	80.50	42.00	4.00
37	32.86	1351	56.88	-1.20	774.00	487.00	80.00	39.00	4.00
38	36.31	1301	58.12	-0.90	781.00	484.00	81.00	38.00	6.00
39	39.59	1081	48.51	-1.70	733.00	485.00	81.00	29.00	9.00
40	38.98	1100	49.70	-1.40	725.00	488.00	81.00	31.00	8.00
41	41.05	1386	56.77	-1.10	831.00	485.00	81.00	38.00	4.00
42	39.71	1412	56.71	-0.80	840.00	486.00	81.00	40.00	6.00
43	36.57	1342	52.01	-0.95	774.25	485.00	80.75	39.25	6.00
44	39.63	1220	50.72	-1.95	865.75	485.00	79.75	35.00	6.75
45	41.77	1233	50.04	-1.05	856.75	485.75	80.75	33.75	6.50

ตารางที่ ก2 ข้อมูลการดำเนินงานและตัวแปรตามที่พิจารณาของสูตรเชิงพีลิ่งสูตร B

ข้อมูลที	เชื้อเพลิงป้อน		อากาศป้อน	เตาเผาใหม่		ไอน้ำแรงดันสูง		ไอน้ำแรงดันสูง	อากาศที่ปล่อยระบาย
	ค่าความชื้น	อัตราการป้อน		ความชื้น	อุณหภูมิ	อุณหภูมิ	ความดัน		
	%	ton/d		mbar	C	C	bar		
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	Y1	Y2
1	37.19	1330	54.86	-1.83	817.75	483.25	80.25	38.83	6.25
2	40.05	1344	56.38	-1.25	856.00	483.75	81.00	39.17	5.00
3	33.79	1409	55.11	-0.80	794.00	484.25	83.75	40.59	6.00
4	34.38	1301	49.77	-1.33	750.77	478.50	81.25	38.07	6.25
5	41.7	1359	50.95	-1.40	738.75	486.25	80.75	37.71	6.00
6	31.18	1387	50.88	-1.10	856.00	485.00	81.00	39.71	5.00
7	38.78	1385	50.86	-1.20	862.00	483.00	82.00	38.89	5.00
8	34.47	1378	56.96	-1.60	814.25	485.25	80.75	40.24	4.50
9	35.2	1376	54.40	-0.80	778.75	485.25	81.00	38.23	6.00
10	41.15	1431	53.85	-1.58	854.00	478.00	80.00	41.03	5.50
11	38.93	1452	56.19	-0.78	834.25	485.00	81.00	41.48	4.00

ข้อมูล	เชื้อเพลิงป้อน		อากาศป้อน	เตาเผาใหม่		ไอน้ำแรงดันสูง		อากาศที่ปล่องระบาย	
	ค่าความชื้น	อัตราการป้อน		ความดัน	อุณหภูมิ	อุณหภูมิ	ความดัน		อัตราการผลิต
	%	ton/d		mbar	C	C	bar		kg/s
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	Y1	Y2
12	33.64	1430	58.23	-1.00	863.00	477.00	81.00	41.85	5.00
13	34.03	1441	57.55	-1.30	844.00	483.00	80.00	41.75	3.75
14	32.82	1501	56.78	-1.53	834.00	478.00	80.00	42.35	5.00
15	35.15	1389	55.35	-0.95	858.00	482.00	80.00	39.47	5.50
16	40.89	1358	49.80	-1.60	856.00	482.00	81.00	38.25	5.00
17	37.12	1375	54.77	-1.30	849.00	481.00	81.00	39.97	4.50
18	36.3	1312	49.70	-1.55	854.00	485.00	81.00	38.06	5.50
19	35.24	1390	52.09	-1.55	863.25	485.75	81.25	40.41	5.75
20	34.76	1436	54.91	-1.13	875.33	483.67	80.00	41.67	5.00
21	30.72	1477	55.28	-0.88	865.75	486.50	80.25	42.60	5.00
22	37.57	1530	54.97	-0.93	881.67	484.00	81.00	42.86	5.00
23	31.78	1483	53.75	-1.01	869.25	485.50	80.50	42.86	4.75

ข้อมูลที่ใช้	เชื้อเพลิงป้อน		อากาศป้อน อัตราป้อน kg/s	เตาเผาใหม่		ไอน้ำแรงดันสูง		อากาศที่ปล่องระบาย ออกซิเจนส่วนเกิน %	
	ค่าความชื้น	อัตราการป้อน		ความชื้น	อุณหภูมิ	อุณหภูมิ	ความดัน		
	%	ton/d		mbar	C	C	bar		
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	Y1	Y2
24	37.12	1350	50.03	-1.20	854.75	485.00	80.25	37.85	5.00
25	38.75	1255	48.50	-1.30	826.50	483.75	79.50	36.08	5.75
26	37.62	1260	52.56	-1.47	800.75	485.00	81.00	36.41	6.75
27	38.37	1263	48.66	-1.35	789.00	483.75	81.00	36.49	5.50
28	40.77	1260	50.95	-2.00	740.85	487.25	81.25	36.47	8.00
29	43.34	1240	51.36	-1.70	800.00	815.00	80.75	36.53	6.00
30	37.74	1293	51.35	-1.10	859.63	486.25	81.00	37.71	6.00
31	35.54	1175	52.23	-2.10	830.50	486.06	80.75	37.71	7.00
32	39.77	1305	54.81	-1.80	768.00	486.00	80.00	37.00	6.20
33	34.9	1401	55.83	-1.50	863.00	487.00	81.00	41.00	6.00
34	44.15	1397	56.96	-1.20	860.00	486.00	79.00	40.00	4.75
35	42.11	1211	51.71	-1.65	778.75	486.00	78.00	35.00	6.00

ข้อมูลที่ใช้	เชื้อเพลิงป้อน		อากาศป้อน	เตาเผาใหม่		ไอน้ำแรงดันสูง		อากาศที่ปล่อยระบาย	
	ค่าความชื้น	อัตราการป้อน		ความชื้น	อุณหภูมิ	อุณหภูมิ	ความดัน		อัตราการผลิต
	%	ton/d	kg/s	mbar	C	C	bar	kg/s	
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	Y1	
36	43.51	1201	52.30	-0.78	729.25	487.00	81.00	35.00	7.00
37	37.67	1268.00	52.27	-1.10	821.00	481.00	80.00	37.00	6.00
38	40.89	1298.00	53.37	-1.10	819.00	485.00	81.00	38.00	6.00
39	39.89	1402.45	56.04	-1.60	868.00	485.00	81.00	41.00	5.50
40	37.95	1277.78	54.48	-0.90	865.00	482.00	79.00	37.00	6.00
41	30.93	1430.00	53.10	-0.73	863.00	485.25	81.50	41.00	5.50
42	36.59	1355.00	54.31	-1.20	746.25	485.00	85.00	38.25	5.75



ตารางที่ ก3 ข้อมูลการตัวแปรต้นและตัวแปรตามที่พิจารณาของสูตรเชิงพีลิ่งสูตร C

ข้อมูลที	เชื้อเพลิงป้อน		อากาศป้อน	เตาเผาใหม่		ไอน้ำแรงดันสูง		ไอน้ำแรงดันสูง	อากาศที่ปล่อยระบาย
	ค่าความชื้น	อัตราการป้อน		ความดัน	อุณหภูมิ	อุณหภูมิ	ความดัน		
	%	ton/d		mbar	C	C	bar		
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	Y1	Y2
1	37.07	1359	54.59	-2.40	852.00	477.63	77.00	39.64	5.50
2	34.2	1378	53.19	-1.23	855.00	478.00	80.25	40.27	4.00
3	36.47	1407	50.65	-1.70	828.00	484.75	79.75	39.78	5.00
4	36.47	1369	50.67	-1.37	808.75	484.00	79.00	40.47	6.25
5	35.78	1374	55.43	-2.00	843.00	483.00	80.00	40.81	5.50
6	34.51	1401	50.57	-1.00	797.38	485.75	79.00	40.39	6.00
7	36.93	1399	50.72	-1.00	815.00	484.00	80.00	40.29	5.00
8	35.29	1382	50.65	-1.90	801.12	488.00	77.00	39.57	6.50
9	37.11	1431	50.85	-1.75	856.50	485.00	80.00	40.84	5.00
10	36.38	1398	50.57	-1.30	839.00	488.00	81.00	40.62	5.00
11	33.07	1450	54.44	-1.10	852.00	484.00	79.00	42.35	4.00

ข้อมูล	เชื้อเพลิงป้อน		อากาศป้อน	เตาเผาใหม่		ไอน้ำแรงดันสูง		ไอน้ำแรงดันสูง	อากาศที่ปล่องระบาย
	ค่าความชื้น	อัตราการป้อน		ความดัน	อุณหภูมิ	อุณหภูมิ	ความดัน		
	%	ton/d		mbar	C	C	bar		
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	Y1	Y2
12	30.92	1478	48.28	-1.32	779.87	483.00	81.25	38.68	5.00
13	34.44	1455	50.78	-1.50	843.00	484.75	80.50	40.24	5.00
14	35.86	1349	51.00	-1.18	845.50	487.00	80.75	40.05	4.75
15	35.37	1383	51.51	-1.33	852.25	484.25	80.50	40.00	4.25
16	30.92	1380	51.73	-1.48	836.25	484.25	81.00	41.06	5.00
17	39.6	1442	50.46	-1.48	827.00	483.25	79.75	41.48	5.00
18	35.83	1472	51.07	-0.65	861.50	485.25	84.00	40.79	5.50
19	34.53	1401	55.21	-1.30	865.00	485.75	80.50	41.46	4.25
20	35.66	1361	49.28	-1.05	820.00	481.00	80.00	40.53	6.00
21	33.82	1344	52.89	-1.74	841.00	488.25	80.50	40.08	5.15
22	31.67	1498	54.69	-0.53	865.00	483.75	80.50	42.43	5.00
23	35.55	1550	53.31	-0.68	864.00	484.25	80.75	42.49	4.25

ข้อมูลที	เชื้อเพลิงป้อน		อากาศป้อน	เตาเผาใหม่		ไอน้ำแรงดันสูง		อากาศที่ปล่องระบาย	
	ค่าความชื้น	อัตราการป้อน		ความดัน	อุณหภูมิ	อุณหภูมิ	ความดัน		อัตราการผลิต
	%	ton/d		mbar	C	C	bar		kg/s
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	Y1	Y2
24	28.55	1534	54.58	-1.03	852.25	484.00	80.50	42.41	4.50
25	40.8	1445	52.26	-0.88	850.50	485.00	79.00	41.30	4.50
26	40.24	1471	53.45	-1.08	833.00	485.00	80.00	41.14	5.00
27	37.08	1451	53.49	-1.03	858.00	483.50	80.00	41.67	5.00
28	30.2	1450	55.97	-1.35	858.00	485.00	84.50	41.35	4.75
29	37.84	1430	51.80	-1.40	848.00	485.00	81.00	40.82	5.00
30	31.74	1380	51.86	-1.25	845.00	485.00	79.00	41.19	4.75
31	31.51	1450	50.50	-1.08	844.00	485.00	79.00	41.35	5.00
32	32.32	1450	53.97	-0.98	862.00	484.50	80.50	41.50	4.00
33	38.42	1435	50.72	-1.43	861.00	486.25	80.50	41.50	4.00
34	37.55	1335	49.34	-1.50	860.25	484.75	80.25	38.50	5.00
35	30.48	1391	50.50	-1.50	830.50	448.00	81.00	39.25	5.75

ข้อมูลที่ใช้	เชื้อเพลิงป้อน		อากาศป้อน	เตาเผาใหม่		ไอน้ำแรงดันสูง		ไอน้ำแรงดันสูง	อากาศที่ปล่อยระบาย
	ค่าความชื้น	อัตราการป้อน		ความดัน	อุณหภูมิ	อุณหภูมิ	ความดัน		
	%	ton/d	kg/s	mbar	C	C	bar	kg/s	%
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	Y1	Y2
36	39.14	1332	53.79	-1.80	848.00	484.50	80.00	39.50	5.50
37	38.73	1319	50.32	-1.90	781.00	484.00	82.00	38.25	6.00
38	38.99	1346	51.95	-1.02	810.00	483.51	79.00	36.50	4.50
39	37.4	1315	56.52	-1.53	836.75	466.75	80.25	40.00	5.00
40	38.9	1307	48.11	-2.30	765.76	475.00	82.00	37.75	7.00

## ภาคผนวก ข

## การวิเคราะห์สมการถดถอยของสูตรเชื้อเพลิง B

พิจารณาตัวแปรนำเข้าแบบปกติ

1. พิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัวในสมการ (Full model)

ตัวแปรตอบสนอง Y1

$$\begin{aligned}
 Y1 = & 108.3 - 0.82 X1 + 0.0286 X2 - 0.15 X3 - 3.7 X4 - 0.219 X5 & (ข1) \\
 & + 0.0128 X1^2 - 0.000030 X2^2 - 0.0364 X3^2 + 0.697 X4^2 + 0.0000 \\
 & 09 X5^2 + 0.000016 X1X2 - 0.0063 X1X3 + 0.178 X1X4 \\
 & + 0.000369 X1X5 + 0.00134 X2X3 + 0.00944 X2X4 \\
 & + 0.000015 X2X5 - 0.039 X3X4 + 0.00302 X3X5 \\
 & - 0.01516 X4X5
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ข1 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัวในสมการของตัวแปรตอบสนอง Y1 สูตรเชื้อเพลิง

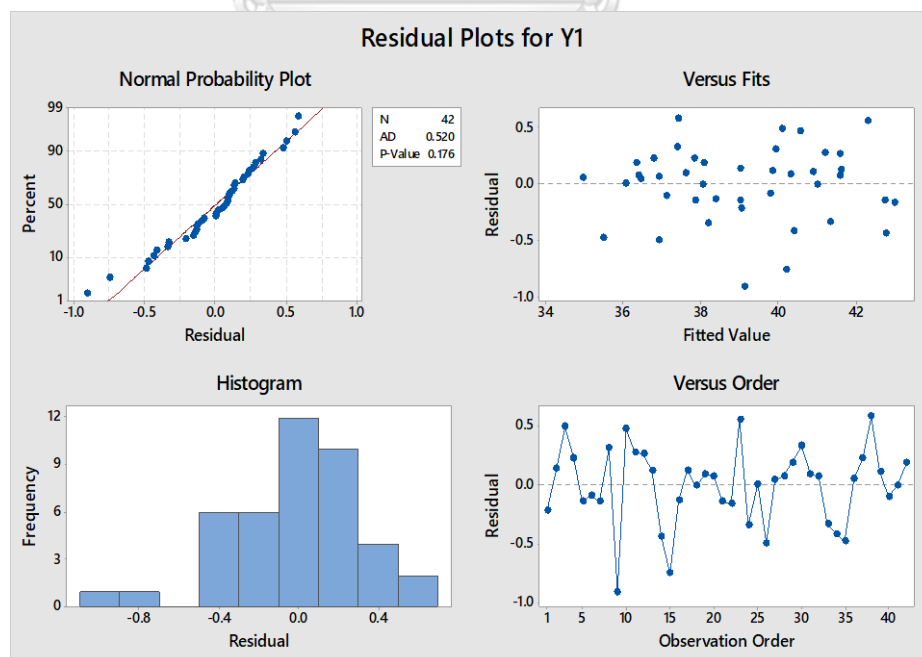
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	20	192.06	9.60	46.29	0.00	97.78%	95.67%
Linear	5	109.21	21.84	105.28	0.00		
X1	1	1.90	1.90	9.18	0.01		
X2	1	11.63	11.63	56.04	0.00		
X3	1	0.03	0.03	0.15	0.70		
X4	1	0.59	0.59	2.85	0.11		
X5	1	5.07	5.07	24.44	0.00		
Square	5	0.76	0.15	0.74	0.61		
X1*X1	1	0.30	0.30	1.45	0.24		
X2*X2	1	0.29	0.29	1.40	0.25		
X3*X3	1	0.47	0.47	2.27	0.15		
X4*X4	1	0.13	0.12	0.60	0.45		
X5*X5	1	0.00	0.00	0.01	0.91		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
2-Way Interaction	10	4.28	0.43	2.06	0.08		
X1*X2	1	0.00	0.00	0.00	0.98		
X1*X3	1	0.03	0.03	0.13	0.72		
X1*X4	1	0.40	0.40	1.94	0.18		
X1*X5	1	0.03	0.03	0.14	0.71		
X2*X3	1	0.22	0.22	1.08	0.31		
X2*X4	1	0.65	0.65	3.15	0.09		
X2*X5	1	0.02	0.02	0.11	0.74		
X3*X4	1	0.01	0.01	0.04	0.84		
X3*X5	1	1.05	1.05	5.05	0.04		
X4*X5	1	0.93	0.93	4.49	0.05		
Error	21	4.36	0.21				
Total	41	196.41					

ตารางที่ ข2 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วม  
ทุกตัวในสมการของตัวแปรตอบสนอง Y1 สูตรเชื้อเพลิง B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	38.74	0.23	168.20	0.00
X1	-0.88	0.29	-3.03	0.01
X2	3.16	0.42	7.49	0.00
X3	0.12	0.31	0.39	0.70
X4	-0.40	0.24	-1.69	0.11
X5	1.01	0.21	4.94	0.00
X1*X1	0.58	0.48	1.20	0.24
X2*X2	-0.96	0.81	-1.18	0.25

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
X3*X3	-0.86	0.57	-1.51	0.15
X4*X4	0.33	0.43	0.78	0.45
X5*X5	0.05	0.45	0.12	0.91
X1*X2	0.02	0.89	0.02	0.98
X1*X3	-0.21	0.56	-0.36	0.72
X1*X4	0.82	0.59	1.39	0.18
X1*X5	0.19	0.50	0.38	0.71
X2*X3	1.16	1.11	1.04	0.31
X2*X4	1.15	0.65	1.77	0.09
X2*X5	0.21	0.63	0.33	0.74
X3*X4	-0.13	0.62	-0.21	0.84
X3*X5	1.12	0.50	2.25	0.04
X4*X5	-0.79	0.38	-2.12	0.05



รูปที่ ข1 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัวในสมการของตัวแปรตอบสนอง Y1 สูตรเชิงพีลิป B

## ตัวแปรตอบสนอง Y2

$$\begin{aligned}
 Y2 = & 112.8 - 0.82 X1 - 0.0918 X2 + 3.49 X3 + 16.1 X4 - 0.260 X5 & (ข2) \\
 & - 0.0015 X1X1 - 0.000006 X2^2 - 0.0580 X3^2 \\
 & + 2.278 X4^2 + 0.000107 X5^2 + 0.000316 X1X2 - 0.0031 X1X3 \\
 & - 0.104 X1X4 + 0.000594 X1X5 + 0.00142 X2X3 \\
 & - 0.00897 X2X4 + 0.000005 X2X5 + 0.063 X3X4 \\
 & + 0.00110 X3X5 + 0.00245 X4X5
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ข3 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัวในสมการของตัวแปรตอบสนอง Y2 สูตรเชิงพีลิป B

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	20	22.94	1.15	5.46	0.00	83.87%	68.51%
Linear	5	12.42	2.48	11.83	0.00		
X1	1	0.26	0.26	1.23	0.28		
X2	1	0.75	0.75	3.56	0.07		
X3	1	0.32	0.32	1.54	0.23		
X4	1	1.75	1.75	8.32	0.01		
X5	1	0.37	0.37	1.75	0.20		
Square	5	4.89	0.98	4.66	0.01		
X1*X1	1	0.00	0.00	0.02	0.89		
X2*X2	1	0.01	0.01	0.06	0.81		
X3*X3	1	1.19	1.19	5.68	0.03		
X4*X4	1	1.33	1.33	6.35	0.02		
X5*X5	1	0.39	0.39	1.86	0.19		
2-Way Interaction	10	2.07	0.21	0.99	0.48		
X1*X2	1	0.04	0.04	0.18	0.68		
X1*X3	1	0.01	0.01	0.03	0.86		
X1*X4	1	0.14	0.14	0.66	0.43		

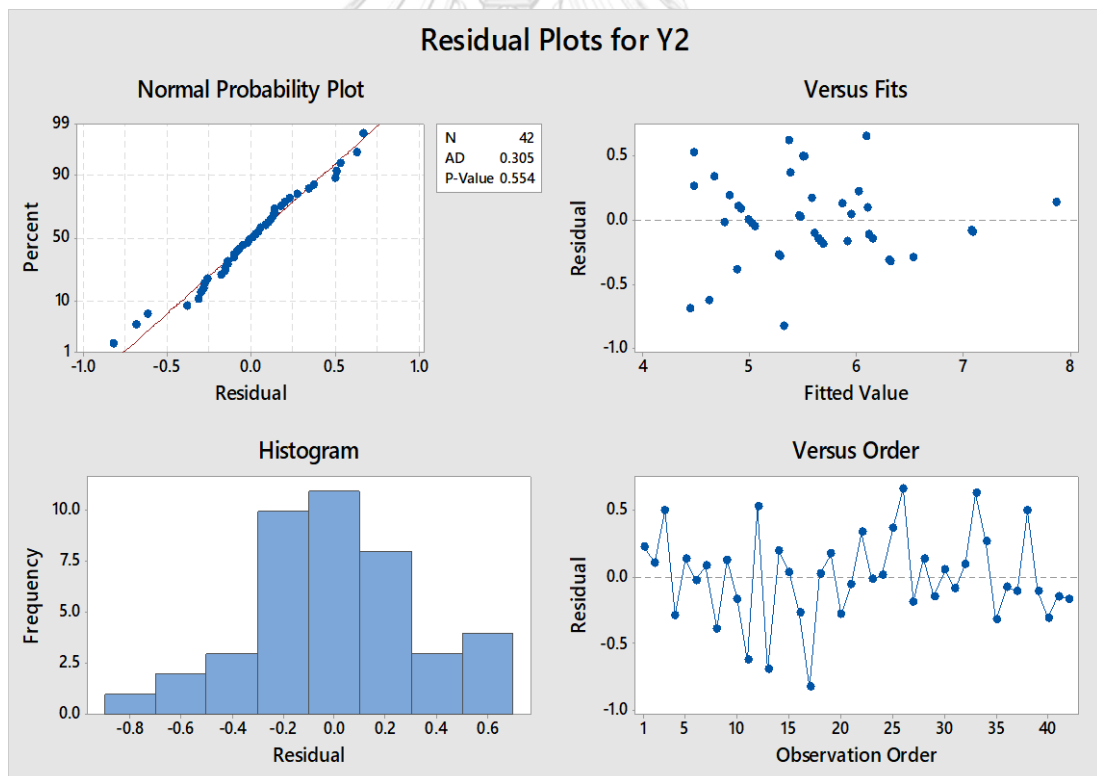


Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X1*X5	1	0.08	0.08	0.37	0.55		
X2*X3	1	0.25	0.25	1.20	0.29		
X2*X4	1	0.59	0.59	2.81	0.11		
X2*X5	1	0.00	0.00	0.01	0.92		
X3*X4	1	0.02	0.02	0.12	0.74		
X3*X5	1	0.14	0.14	0.67	0.42		
X4*X5	1	0.02	0.02	0.12	0.74		
Error	21	4.41	0.21				
Total	41	27.35					

ตารางที่ ข4 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วม  
ทุกตัวในสมการของตัวแปรตอบสนอง Y2 สูตรเชิงพีลิป B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.56	0.23	24.00	0.00
X1	-0.32	0.29	-1.11	0.28
X2	-0.80	0.43	-1.89	0.07
X3	-0.38	0.31	-1.24	0.23
X4	-0.68	0.24	-2.88	0.01
X5	-0.27	0.21	-1.32	0.20
X1*X1	-0.07	0.48	-0.14	0.89
X2*X2	-0.20	0.81	-0.24	0.81
X3*X3	-1.37	0.58	-2.38	0.03
X4*X4	1.08	0.43	2.52	0.02
X5*X5	0.62	0.46	1.36	0.19
X1*X2	0.38	0.89	0.42	0.68

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
X1*X3	-0.10	0.57	-0.18	0.86
X1*X4	-0.48	0.59	-0.81	0.43
X1*X5	0.30	0.50	0.61	0.55
X2*X3	1.23	1.12	1.10	0.29
X2*X4	-1.09	0.65	-1.68	0.11
X2*X5	0.06	0.63	0.10	0.92
X3*X4	0.21	0.62	0.34	0.74
X3*X5	0.41	0.50	0.82	0.42
X4*X5	0.13	0.38	0.34	0.74



รูปที่ ข2 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัวในสมการของตัวแปรตอบสนอง Y2 สูตรเชิงพีลิป B

## 2. การเลือกตัวแปรโดยการเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอน (Stepwise regression)

## 2.1 พิจารณาแอลฟา 0.10

ตัวแปรตอบสนอง Y1

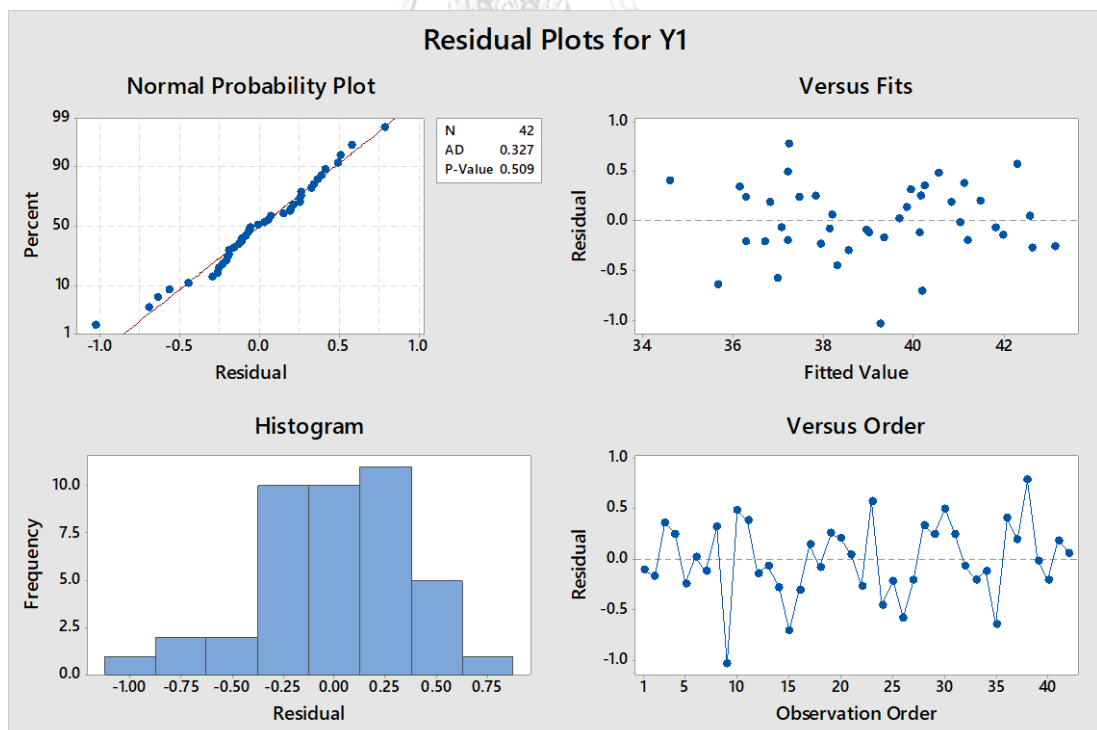
$$Y1 = 142.5 - 0.0974 X1 + 0.03021 X2 - 2.400 X3 + 4.35 X4 - 0.1796 X5 + 0.00867 X2*X4 + 0.003057 X3*X5 - 0.02034 X4*X5 \quad (ข3)$$

ตารางที่ ข5 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัวในสมการของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชิงพีชคณิต B

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	8	190.89	23.86	142.52	0.00	97.19%	96.51%
Linear	5	144.09	28.82	172.13	0.00		
X1	1	3.13	3.13	18.69	0.00		
X2	1	38.53	38.53	230.15	0.00		
X3	1	0.46	0.46	2.72	0.11		
X4	1	0.33	0.33	1.96	0.17		
X5	1	6.40	6.40	38.24	0.00		
2-Way Interaction	3	5.31	1.77	10.58	0.00		
X2*X4	1	2.49	2.49	14.88	0.00		
X3*X5	1	2.60	2.60	15.55	0.00		
X4*X5	1	2.80	2.80	16.70	0.00		
Error	33	5.53	0.17				
Total	41	196.41					

ตารางที่ ข6 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของ  
ตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชิงพีลิ่ง B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	38.70	0.09	435.60	0.00
X1	-0.65	0.15	-4.32	0.00
X2	3.19	0.21	15.17	0.00
X3	0.30	0.18	1.65	0.11
X4	-0.21	0.15	-1.40	0.17
X5	0.93	0.15	6.18	0.00
X2*X4	1.06	0.27	3.86	0.00
X3*X5	1.13	0.29	3.94	0.00
X4*X5	-1.07	0.26	-4.09	0.00



รูปที่ ข3 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปร  
ตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชิงพีลิ่ง B

## ตัวแปรตอบสนอง Y2

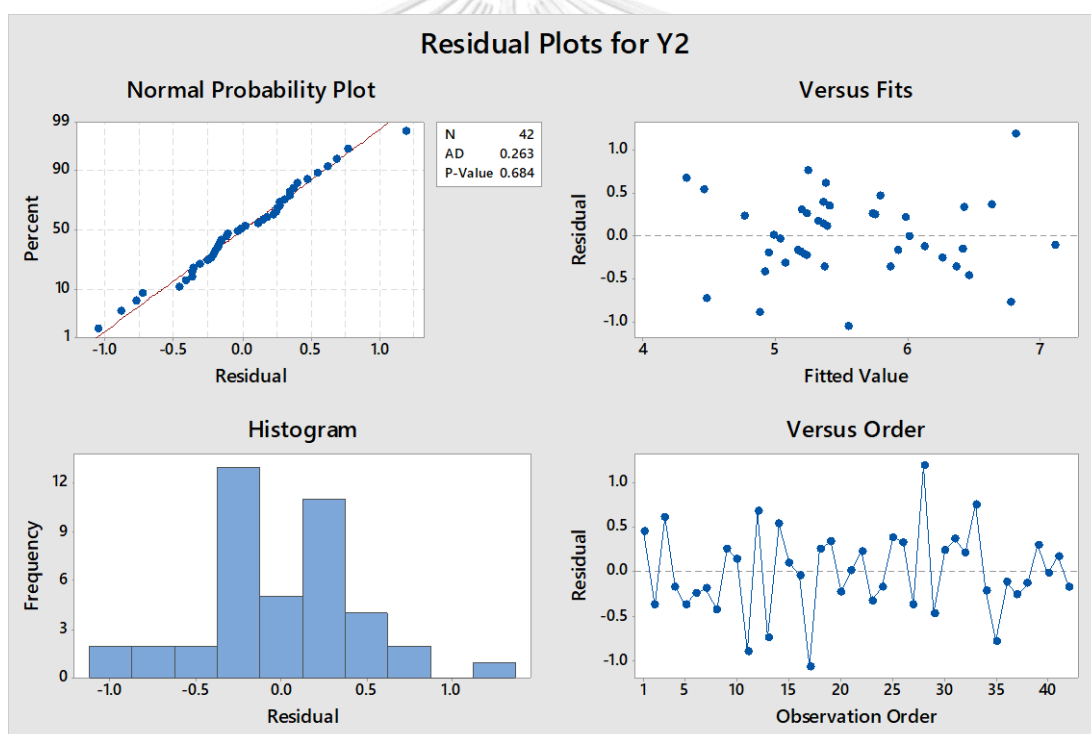
$$Y2 = -38.0 - 0.00468 X2 + 3.57 X3 - 0.1025 X5 - 0.0481 X3^2 + 0.001847 X3X5 \quad (\text{ข4})$$

ตารางที่ ข7 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง B

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	5	18.78	3.76	15.79	0.00	68.68%	64.32%
Linear	3	15.33	5.11	21.48	0.00		
X2	1	3.34	3.34	14.05	0.00		
X3	1	0.75	0.75	3.15	0.08		
X5	1	0.75	0.75	3.14	0.09		
Square	1	3.59	3.59	15.10	0.00		
X3*X3	1	3.59	3.59	15.10	0.00		
2-Way Interaction	1	0.95	0.95	4.01	0.05		
X3*X5	1	0.95	0.95	4.01	0.05		
Error	36	8.57	0.24				
Total	41	27.35					

ตารางที่ ข8 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.93	0.12	51.24	0.00
X2	-0.83	0.22	-3.75	0.00
X3	-0.39	0.22	-1.77	0.08
X5	-0.30	0.17	-1.77	0.09
X3*X3	-1.14	0.29	-3.89	0.00
X3*X5	0.68	0.34	2.00	0.05



รูปที่ ข4 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง B

## 2.2 พิจารณาแอลฟา 0.15

ตัวแปรตอบสนอง Y1

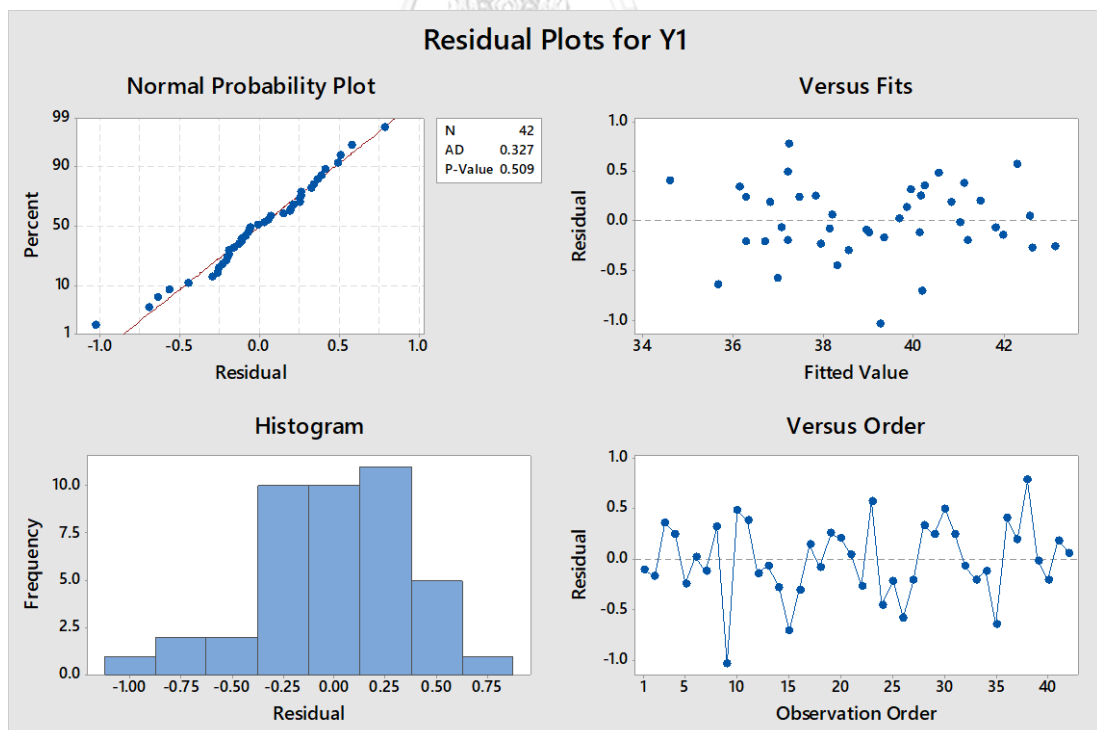
$$\begin{aligned}
 Y1 = & 142.5 - 0.0974 X1 + 0.03021 X2 - 2.400 X3 + 4.35 X4 & (ข5) \\
 & - 0.1796 X5 + 0.00867 X2*X4 + 0.003057 X3*X5 \\
 & - 0.02034 X4*X5
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ข9 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัวในสมการของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชิง B

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	8	190.89	23.86	142.52	0.00	97.19%	96.51%
Linear	5	144.09	28.82	172.13	0.00		
X1	1	3.13	3.13	18.69	0.00		
X2	1	38.53	38.53	230.15	0.00		
X3	1	0.46	0.46	2.72	0.11		
X4	1	0.33	0.33	1.96	0.17		
X5	1	6.40	6.40	38.24	0.00		
2-Way Interaction	3	5.31	1.77	10.58	0.00		
X2*X4	1	2.49	2.49	14.88	0.00		
X3*X5	1	2.60	2.60	15.55	0.00		
X4*X5	1	2.80	2.80	16.70	0.00		
Error	33	5.53	0.17				
Total	41	196.41					

ตารางที่ ข10 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชิงพหุคูณ B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	38.70	0.09	435.60	0.00
X1	-0.65	0.15	-4.32	0.00
X2	3.19	0.21	15.17	0.00
X3	0.30	0.18	1.65	0.11
X4	-0.21	0.15	-1.40	0.17
X5	0.93	0.15	6.18	0.00
X2*X4	1.06	0.27	3.86	0.00
X3*X5	1.13	0.29	3.94	0.00
X4*X5	-1.07	0.26	-4.09	0.00



รูปที่ ข5 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชิงพหุคูณ B



## ตัวแปรตอบสนอง Y2

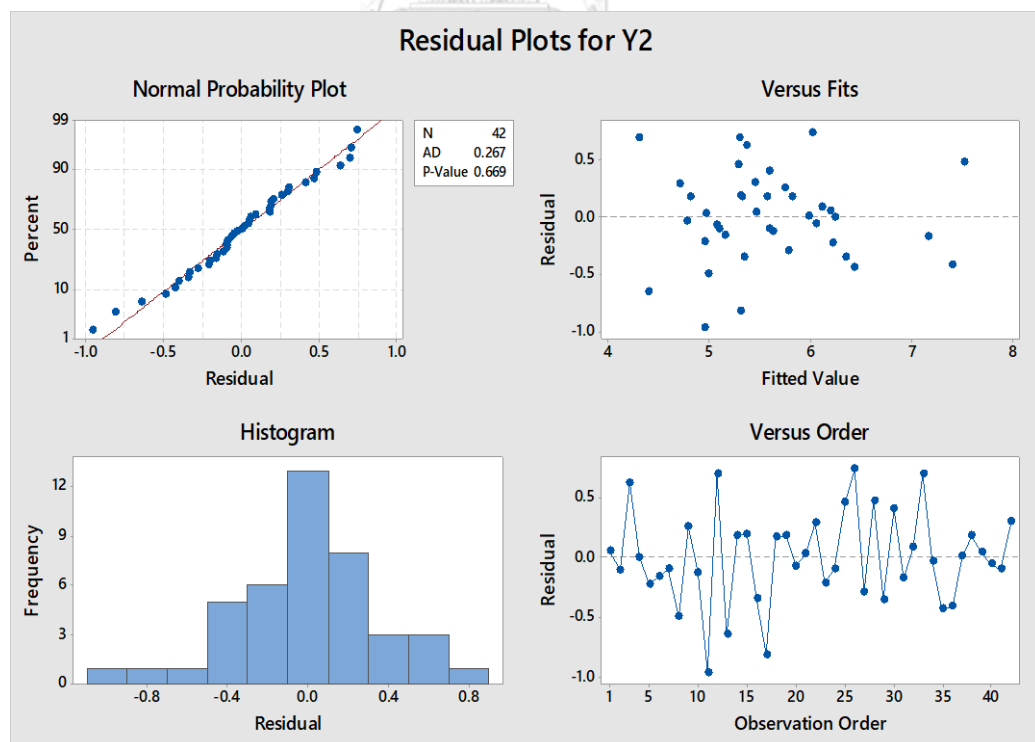
$$Y2 = 12.5 - 0.01000 X2 + 2.32 X3 + 13.29 X4 - 0.1174 X5 - 0.0391 X3^2 + 2.442 X4^2 - 0.00539 X2X4 + 0.002155 X3X5 \quad (ข6)$$

ตารางที่ ข11 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชิงพหุคูณ B

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	8	21.32	2.66	14.59	0.00	77.96%	72.62%
Linear	4	15.79	3.95	21.61	0.00		
X2	1	0.62	0.62	3.37	0.08		
X3	1	1.57	1.57	8.60	0.01		
X4	1	1.89	1.89	10.33	0.00		
X5	1	0.26	0.26	1.42	0.24		
Square	2	5.67	2.84	15.53	0.00		
X3*X3	1	2.09	2.09	11.43	0.00		
X4*X4	1	2.06	2.06	11.27	0.00		
2-Way Interaction	2	1.72	0.86	4.70	0.02		
X2*X4	1	0.73	0.73	4.00	0.05		
X3*X5	1	1.26	1.26	6.91	0.01		
Error	33	6.03	0.18				
Total	41	27.35					

ตารางที่ ข12 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.67	0.14	39.64	0.00
X2	-0.42	0.23	-1.84	0.08
X3	-0.60	0.20	-2.93	0.01
X4	-0.61	0.19	-3.21	0.00
X5	-0.18	0.15	-1.19	0.24
X3*X3	-0.93	0.27	-3.38	0.00
X4*X4	1.15	0.34	3.36	0.00
X2*X4	-0.66	0.33	-2.00	0.05
X3*X5	0.80	0.30	2.63	0.01



รูปที่ ข6 การวิเคราะห์ส่วนตค้างของสมการถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง B

## 2.2 พิจารณาแอลฟา 0.25

ตัวแปรตอบสนอง Y1

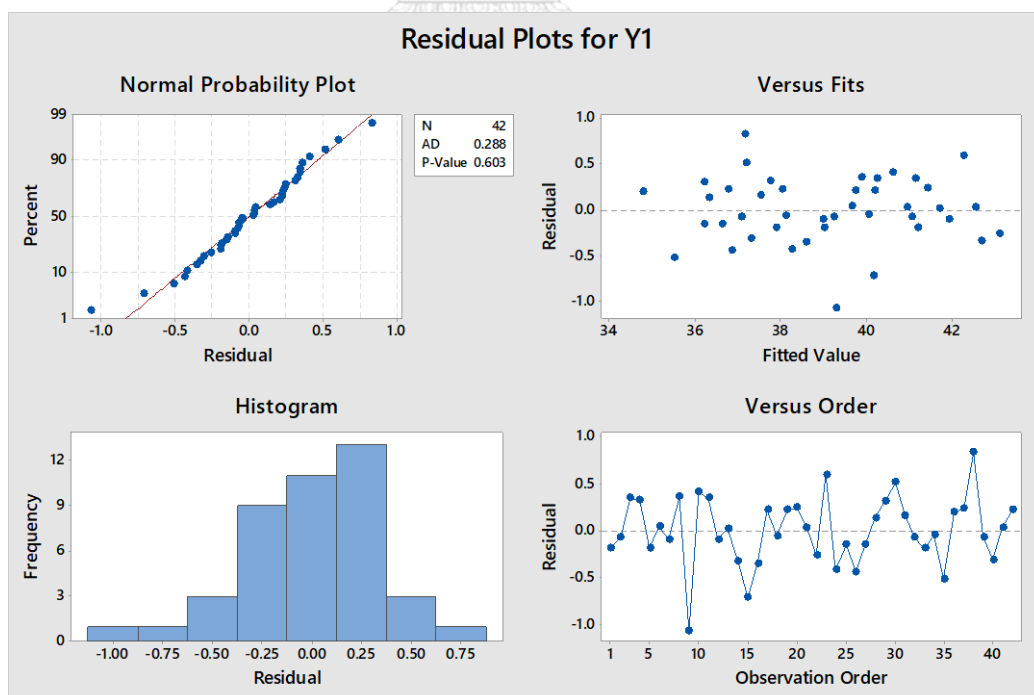
$$\begin{aligned}
 Y1 = & 154.0 - 0.0959 X1 + 0.02765 X2 - 2.550 X3 + 9.24 X4 & (ข7) \\
 & - 0.1870 X5 + 0.860 X4^2 + 0.00637 X2X4 + 0.003221 X3X5 \\
 & - 0.01979 X4X5
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ข13 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชิงพีลิ่ง B

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	9	191.16	21.24	129.40	0.00	97.33%	96.57%
Linear	5	141.37	28.27	172.25	0.00		
X1	1	3.03	3.03	18.44	0.00		
X2	1	34.32	34.32	209.10	0.00		
X3	1	0.21	0.21	1.28	0.27		
X4	1	0.60	0.60	3.63	0.07		
X5	1	6.67	6.67	40.63	0.00		
Square	1	0.27	0.27	1.66	0.21		
X4*X4	1	0.27	0.27	1.66	0.21		
2-Way Interaction	3	4.62	1.54	9.38	0.00		
X2*X4	1	0.82	0.82	4.98	0.03		
X3*X5	1	2.81	2.81	17.13	0.00		
X4*X5	1	2.63	2.63	16.01	0.00		
Error	32	5.25	0.16				
Total	41	196.41					

ตารางที่ ข14 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	38.61	0.11	354.71	0.00
X1	-0.64	0.15	-4.29	0.00
X2	3.31	0.23	14.46	0.00
X3	0.22	0.19	1.13	0.27
X4	-0.36	0.19	-1.91	0.07
X5	0.98	0.15	6.37	0.00
X4*X4	0.41	0.32	1.29	0.21
X2*X4	0.78	0.35	2.23	0.03
X3*X5	1.19	0.29	4.14	0.00
X4*X5	-1.04	0.26	-4.00	0.00



รูปที่ ข7 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง B

ตัวแปรตอบสนอง Y2

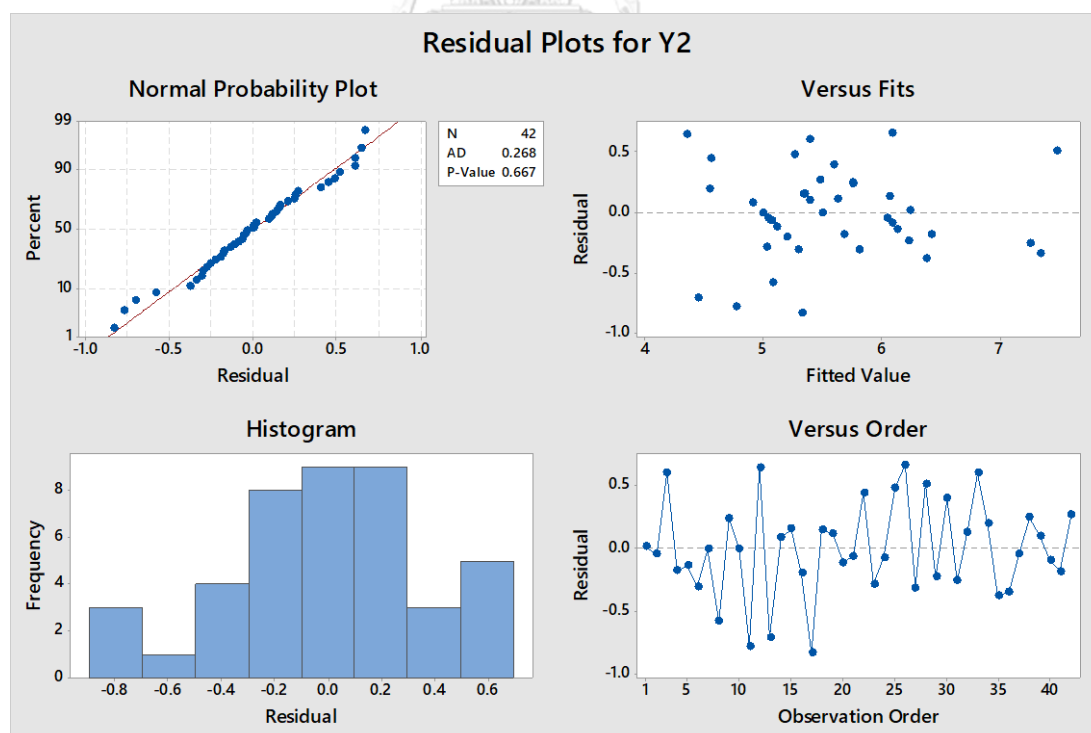
$$Y2 = 18.7 - 0.0322 X1 - 0.01141 X2 + 2.37 X3 + 13.85 X4 - 0.1288 X5 - 0.0412 X3^2 + 2.356 X4X4 - 0.00601 X2X4 + 0.002367 X3X5 \quad (\text{ข8})$$

ตารางที่ ข15 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง B

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	9	21.65	2.41	13.52	0.00	79.18%	73.33%
Linear	5	16.12	3.22	18.13	0.00		
X1	1	0.33	0.33	1.88	0.18		
X2	1	0.84	0.84	4.74	0.04		
X3	1	1.62	1.62	9.13	0.01		
X4	1	2.04	2.04	11.49	0.00		
X5	1	0.28	0.28	1.57	0.22		
Square	2	5.78	2.89	16.24	0.00		
X3*X3	1	2.28	2.28	12.81	0.00		
X4*X4	1	1.90	1.90	10.69	0.00		
2-Way Interaction	2	1.98	0.99	5.58	0.01		
X2*X4	1	0.88	0.88	4.96	0.03		
X3*X5	1	1.47	1.47	8.26	0.01		
Error	32	5.69	0.18				
Total	41	27.35					

ตารางที่ ข16 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.70	0.14	39.94	0.00
X1	-0.22	0.16	-1.37	0.18
X2	-0.52	0.24	-2.18	0.04
X3	-0.61	0.20	-3.02	0.01
X4	-0.64	0.19	-3.39	0.00
X5	-0.19	0.15	-1.25	0.22
X3*X3	-0.98	0.27	-3.58	0.00
X4*X4	1.11	0.34	3.27	0.00
X2*X4	-0.73	0.33	-2.23	0.03



รูปที่ ข8 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง B

## 3. การเลือกตัวแปรแบบเดินหน้า (Forward selection)

## 3.1 พิจารณาแอลฟา 0.10

ตัวแปรตอบสนอง Y1

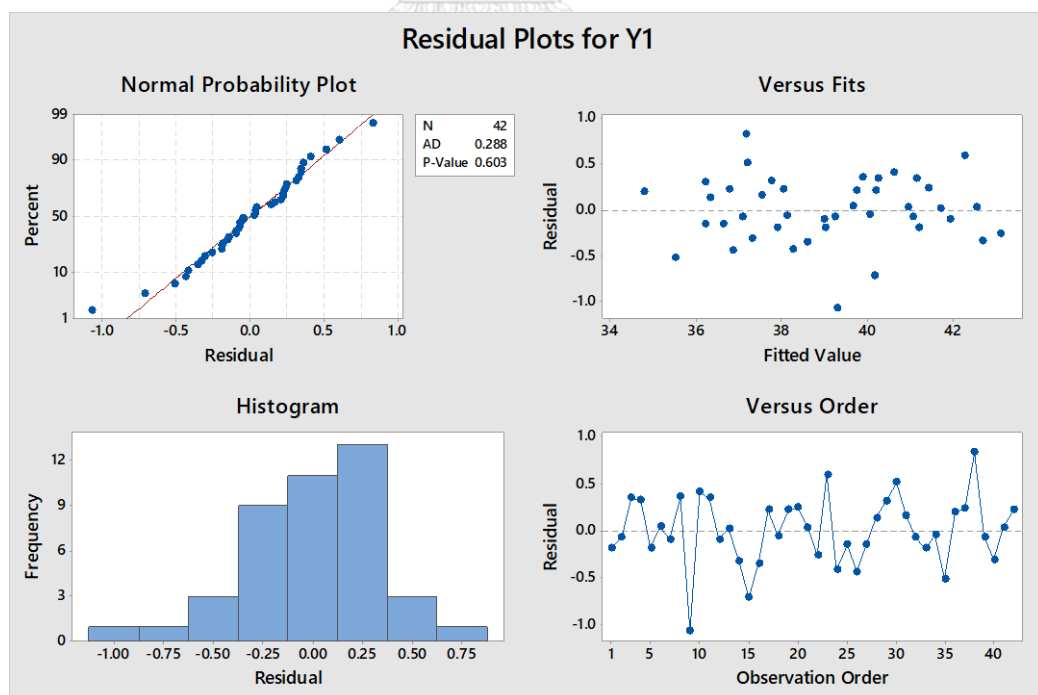
$$\begin{aligned}
 Y1 = & 154.0 - 0.0959 X1 + 0.02765 X2 - 2.550 X3 + 9.24 X4 & (ข9) \\
 & - 0.1870 X5 + 0.860 X4^2 + 0.00637 X2X4 + 0.003221 X3X5 \\
 & - 0.01979 X4X5
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ข17 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชิงพีลิ่ง B

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	9	191.16	21.24	129.40	0.00	97.33%	96.57%
Linear	5	141.37	28.27	172.25	0.00		
X1	1	3.03	3.03	18.44	0.00		
X2	1	34.32	34.32	209.10	0.00		
X3	1	0.21	0.21	1.28	0.27		
X4	1	0.60	0.60	3.63	0.07		
X5	1	6.67	6.67	40.63	0.00		
Square	1	0.27	0.27	1.66	0.21		
X4*X4	1	0.27	0.27	1.66	0.21		
2-Way Interaction	3	4.62	1.54	9.38	0.00		
X2*X4	1	0.82	0.82	4.98	0.03		
X3*X5	1	2.81	2.81	17.13	0.00		
X4*X5	1	2.63	2.63	16.01	0.00		
Error	32	5.25	0.16				
Total	41	196.41					

ตารางที่ ข18 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้า  
ของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชิงพหุคูณ B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	38.61	0.11	354.71	0.00
X1	-0.64	0.15	-4.29	0.00
X2	3.31	0.23	14.46	0.00
X3	0.22	0.19	1.13	0.27
X4	-0.36	0.19	-1.91	0.07
X5	0.98	0.15	6.37	0.00
X4*X4	0.41	0.32	1.29	0.21
X2*X4	0.78	0.35	2.23	0.03
X3*X5	1.19	0.29	4.14	0.00
X4*X5	-1.04	0.26	-4.00	0.00



รูปที่ ข9 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปร  
ตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชิงพหุคูณ B



ตัวแปรตอบสนอง Y2

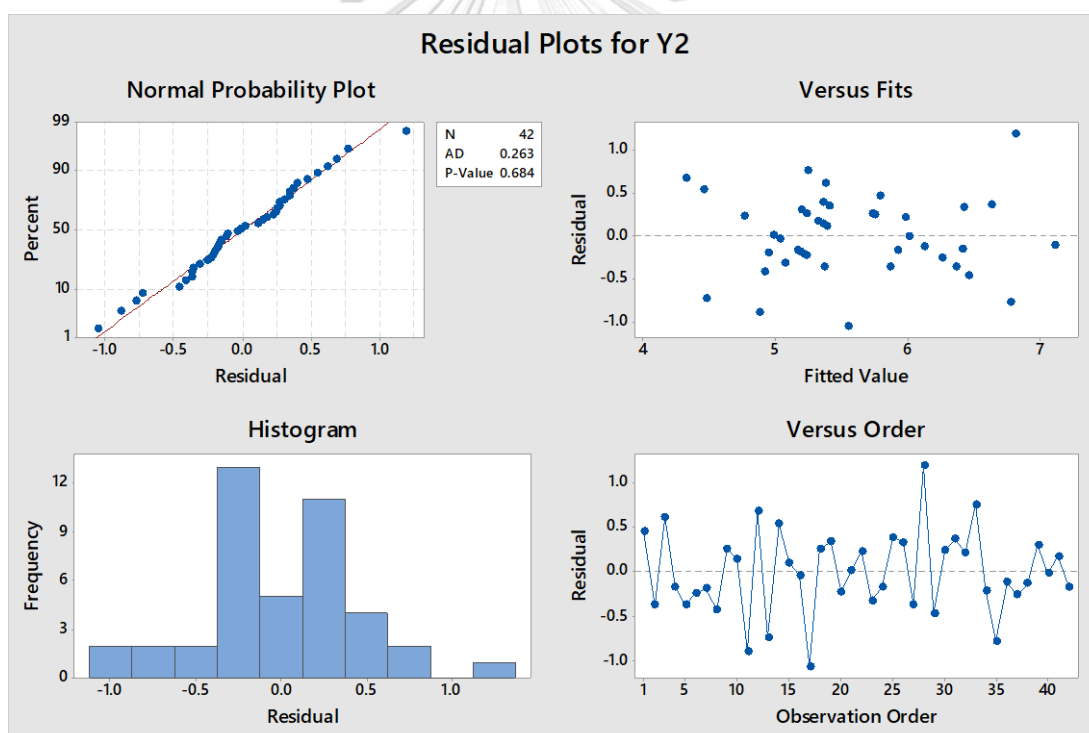
$$\begin{aligned}
 Y2 = & 112.8 - 0.82 X1 - 0.0918 X2 + 3.49 X3 + 16.1 X4 - 0.260 X5 & (ข10) \\
 & - 0.0015 X1X1 - 0.000006 X2^2 - 0.0580 X3^2 \\
 & + 2.278 X4^2 + 0.000107 X5^2 + 0.000316 X1X2 - 0.0031 X1X3 \\
 & - 0.104 X1X4 + 0.000594 X1X5 + 0.00142 X2X3 \\
 & - 0.00897 X2X4 + 0.000005 X2X5 + 0.063 X3X4 \\
 & + 0.00110 X3X5 + 0.00245 X4X5
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ข19 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยแบบเลือกตัวแปรแบบเดินทางหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชิงพีลิ่ง B

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	5	18.78	3.76	15.79	0.00	68.68%	64.32%
Linear	3	15.33	5.11	21.48	0.00		
X2	1	3.34	3.34	14.05	0.00		
X3	1	0.75	0.75	3.15	0.08		
X5	1	0.75	0.75	3.14	0.09		
Square	1	3.59	3.59	15.10	0.00		
X3*X3	1	3.59	3.59	15.10	0.00		
2-Way Interaction	1	0.95	0.95	4.01	0.05		
X3*X5	1	0.95	0.95	4.01	0.05		
Error	36	8.57	0.24				
Total	41	27.35					

ตารางที่ ข20 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชิงพหุคูณ B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.93	0.12	51.24	0.00
X2	-0.83	0.22	-3.75	0.00
X3	-0.39	0.22	-1.77	0.08
X5	-0.30	0.17	-1.77	0.09
X3*X3	-1.14	0.29	-3.89	0.00
X3*X5	0.68	0.34	2.00	0.05



รูปที่ ข10 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชิงพหุคูณ B

## 3.2 พิจารณาแอลฟา 0.15

ตัวแปรตอบสนอง Y1

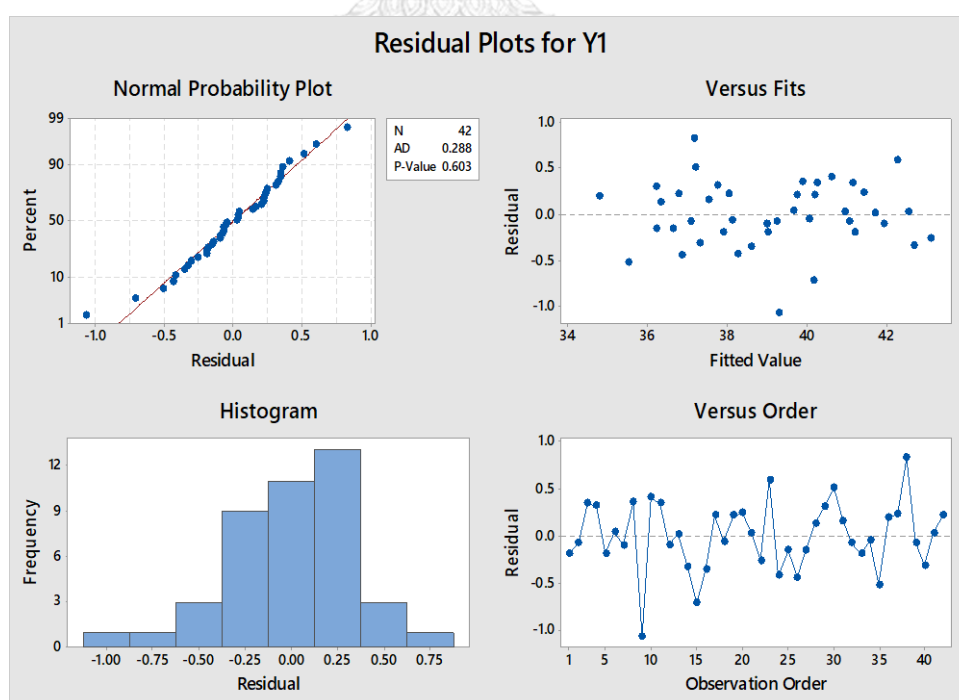
$$\begin{aligned}
 Y1 = & 154.0 - 0.0959 X1 + 0.02765 X2 - 2.550 X3 + 9.24 X4 & (ข11) \\
 & - 0.1870 X5 + 0.860 X4^2 + 0.00637 X2X4 + 0.003221 X3X5 \\
 & - 0.01979 X4X5
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ข21 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยแบบเลือกตัวแปรแบบเต็มหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชิงพีลิ่ง B

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	9	191.16	21.24	129.40	0.00	97.33%	96.57%
Linear	5	141.37	28.27	172.25	0.00		
X1	1	3.03	3.03	18.44	0.00		
X2	1	34.32	34.32	209.10	0.00		
X3	1	0.21	0.21	1.28	0.27		
X4	1	0.60	0.60	3.63	0.07		
X5	1	6.67	6.67	40.63	0.00		
Square	1	0.27	0.27	1.66	0.21		
X4*X4	1	0.27	0.27	1.66	0.21		
2-Way Interaction	3	4.62	1.54	9.38	0.00		
X2*X4	1	0.82	0.82	4.98	0.03		
X3*X5	1	2.81	2.81	17.13	0.00		
X4*X5	1	2.63	2.63	16.01	0.00		
Error	32	5.25	0.16				
Total	41	196.41					

ตารางที่ ข22 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้า  
ของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	38.61	0.11	354.71	0.00
X1	-0.64	0.15	-4.29	0.00
X2	3.31	0.23	14.46	0.00
X3	0.22	0.19	1.13	0.27
X4	-0.36	0.19	-1.91	0.07
X5	0.98	0.15	6.37	0.00
X4*X4	0.41	0.32	1.29	0.21
X2*X4	0.78	0.35	2.23	0.03
X3*X5	1.19	0.29	4.14	0.00
X4*X5	-1.04	0.26	-4.00	0.00



รูปที่ ข11 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปร  
ตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง B

ตัวแปรตอบสนอง Y2

$$Y2 = 12.5 - 0.01000 X2 + 2.32 X3 + 13.29 X4 - 0.1174 X5 \quad (ข12)$$

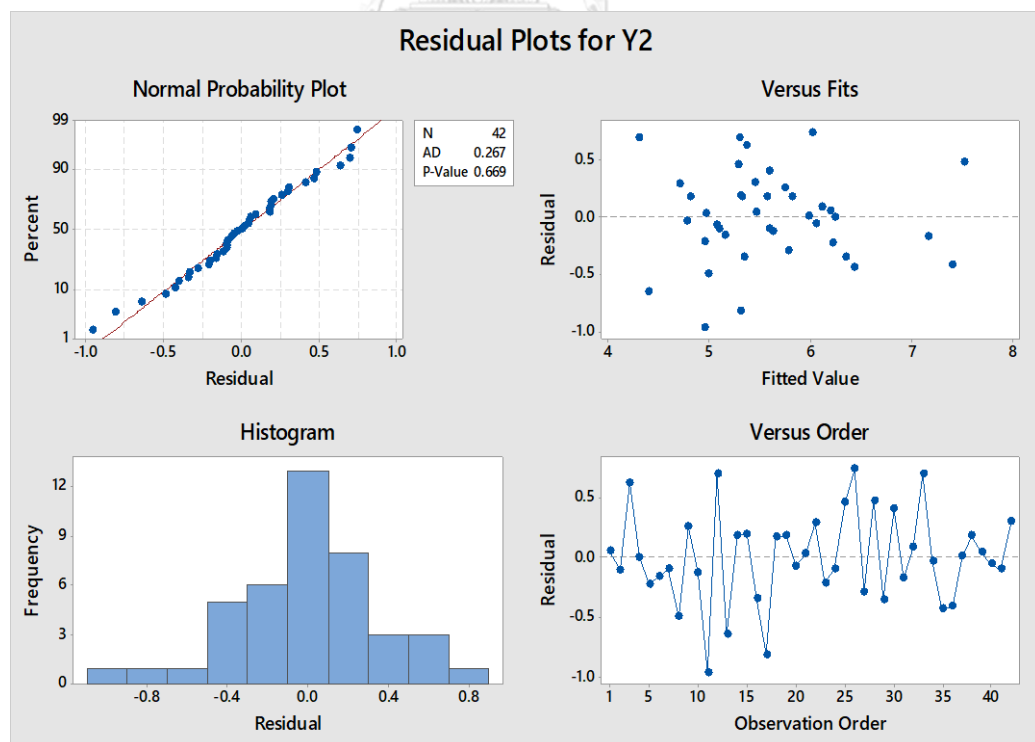
$$- 0.0391 X3^2 + 2.442 X4^2 - 0.00539 X2X4 + 0.002155 X3X5$$

ตารางที่ ข23 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชิงพีลิ่ง B

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	8	21.32	2.66	14.59	0.00	77.96%	72.62%
Linear	4	15.79	3.95	21.61	0.00		
X2	1	0.62	0.62	3.37	0.08		
X3	1	1.57	1.57	8.60	0.01		
X4	1	1.89	1.89	10.33	0.00		
X5	1	0.26	0.26	1.42	0.24		
Square	2	5.67	2.84	15.53	0.00		
X3*X3	1	2.09	2.09	11.43	0.00		
X4*X4	1	2.06	2.06	11.27	0.00		
2-Way Interaction	2	1.72	0.86	4.70	0.02		
X2*X4	1	0.73	0.73	4.00	0.05		
X3*X5	1	1.26	1.26	6.91	0.01		
Error	33	6.03	0.18				
Total	41	27.35					

ตารางที่ ข24 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยแบบเลือกตัวแปรแบบเดินทางหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.67	0.14	39.64	0.00
X2	-0.42	0.23	-1.84	0.08
X3	-0.60	0.20	-2.93	0.01
X4	-0.61	0.19	-3.21	0.00
X5	-0.18	0.15	-1.19	0.24
X3*X3	-0.93	0.27	-3.38	0.00
X4*X4	1.15	0.34	3.36	0.00
X2*X4	-0.66	0.33	-2.00	0.05
X3*X5	0.80	0.30	2.63	0.01



รูปที่ ข12 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยแบบเลือกตัวแปรแบบเดินทางหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง B

## 3.3 พิจารณาแอลฟา 0.25

ตัวแปรตอบสนอง Y1

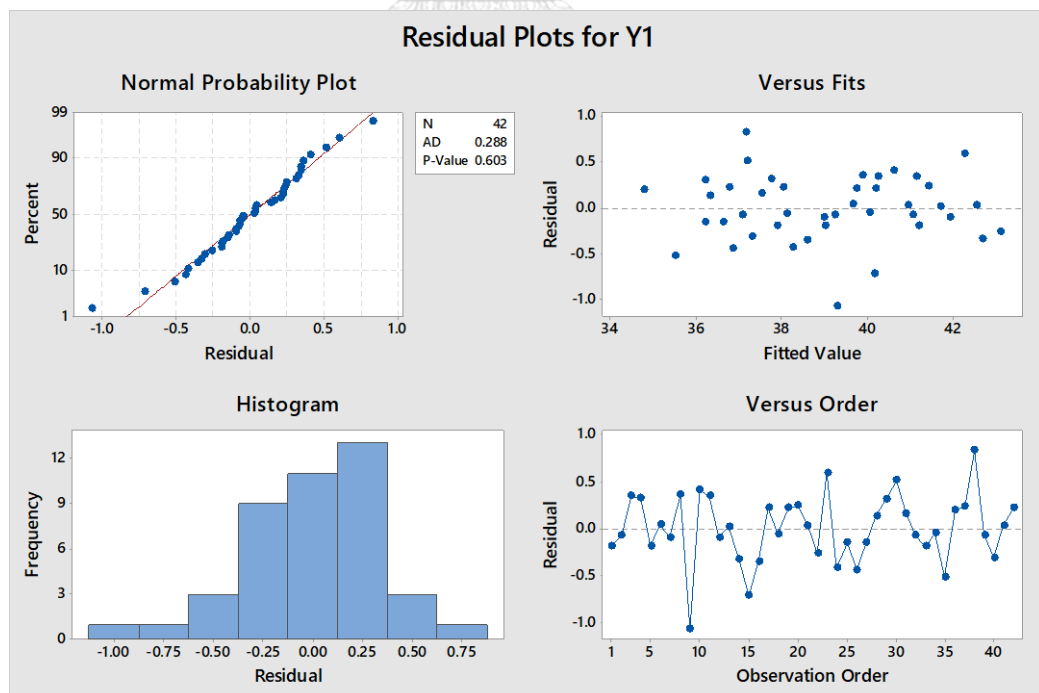
$$\begin{aligned}
 Y1 = & 154.0 - 0.0959 X1 + 0.02765 X2 - 2.550 X3 + 9.24 X4 & (ข13) \\
 & - 0.1870 X5 + 0.860 X4^2 + 0.00637 X2X4 + 0.003221 X3X5 \\
 & - 0.01979 X4X5
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ข25 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยแบบเลือกตัวแปรแบบเต็มหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชิงพีลิ่ง B

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	9	191.16	21.24	129.40	0.00	97.33%	96.57%
Linear	5	141.37	28.27	172.25	0.00		
X1	1	3.03	3.03	18.44	0.00		
X2	1	34.32	34.32	209.10	0.00		
X3	1	0.21	0.21	1.28	0.27		
X4	1	0.60	0.60	3.63	0.07		
X5	1	6.67	6.67	40.63	0.00		
Square	1	0.27	0.27	1.66	0.21		
X4*X4	1	0.27	0.27	1.66	0.21		
2-Way Interaction	3	4.62	1.54	9.38	0.00		
X2*X4	1	0.82	0.82	4.98	0.03		
X3*X5	1	2.81	2.81	17.13	0.00		
X4*X5	1	2.63	2.63	16.01	0.00		
Error	32	5.25	0.16				
Total	41	196.41					

ตารางที่ ข26 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้า  
ของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	38.61	0.11	354.71	0.00
X1	-0.64	0.15	-4.29	0.00
X2	3.31	0.23	14.46	0.00
X3	0.22	0.19	1.13	0.27
X4	-0.36	0.19	-1.91	0.07
X5	0.98	0.15	6.37	0.00
X4*X4	0.41	0.32	1.29	0.21
X2*X4	0.78	0.35	2.23	0.03
X3*X5	1.19	0.29	4.14	0.00
X4*X5	-1.04	0.26	-4.00	0.00



รูปที่ ข13 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปร  
ตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง B



## ตัวแปรตอบสนอง Y2

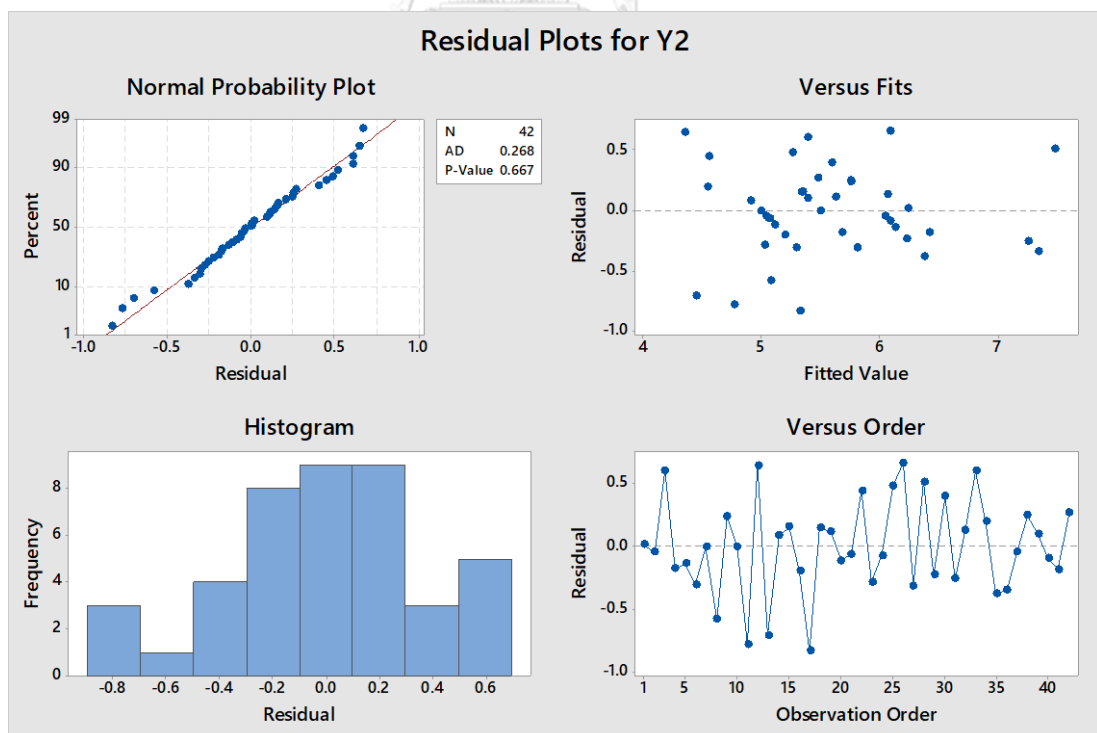
$$Y2 = 18.7 - 0.0322 X1 - 0.01141 X2 + 2.37 X3 + 13.85 X4 - 0.1288 X5 - 0.0412 X3^2 + 2.356 X4X4 - 0.00601 X2X4 + 0.002367 X3X5 \quad (\text{ข14})$$

ตารางที่ ข27 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชิงพีลิ่ง B

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	9	21.65	2.41	13.52	0.00	79.18%	73.33%
Linear	5	16.12	3.22	18.13	0.00		
X1	1	0.33	0.33	1.88	0.18		
X2	1	0.84	0.84	4.74	0.04		
X3	1	1.62	1.62	9.13	0.01		
X4	1	2.04	2.04	11.49	0.00		
X5	1	0.28	0.28	1.57	0.22		
Square	2	5.78	2.89	16.24	0.00		
X3*X3	1	2.28	2.28	12.81	0.00		
X4*X4	1	1.90	1.90	10.69	0.00		
2-Way Interaction	2	1.98	0.99	5.58	0.01		
X2*X4	1	0.88	0.88	4.96	0.03		
X3*X5	1	1.47	1.47	8.26	0.01		
Error	32	5.69	0.18				
Total	41	27.35					

ตารางที่ ข28 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้า  
ของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชิงพหุคูณ B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.70	0.14	39.94	0.00
X1	-0.22	0.16	-1.37	0.18
X2	-0.52	0.24	-2.18	0.04
X3	-0.61	0.20	-3.02	0.01
X4	-0.64	0.19	-3.39	0.00
X5	-0.19	0.15	-1.25	0.22
X3*X3	-0.98	0.27	-3.58	0.00
X4*X4	1.11	0.34	3.27	0.00
X2*X4	-0.73	0.33	-2.23	0.03



รูปที่ ข14 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปร  
ตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชิงพหุคูณ B

## 4. การกำจัดตัวแปรแบบถอยหลัง (Backward elimination)

## 4.1 พิจารณาแอลฟา 0.10

ตัวแปรตอบสนอง Y1

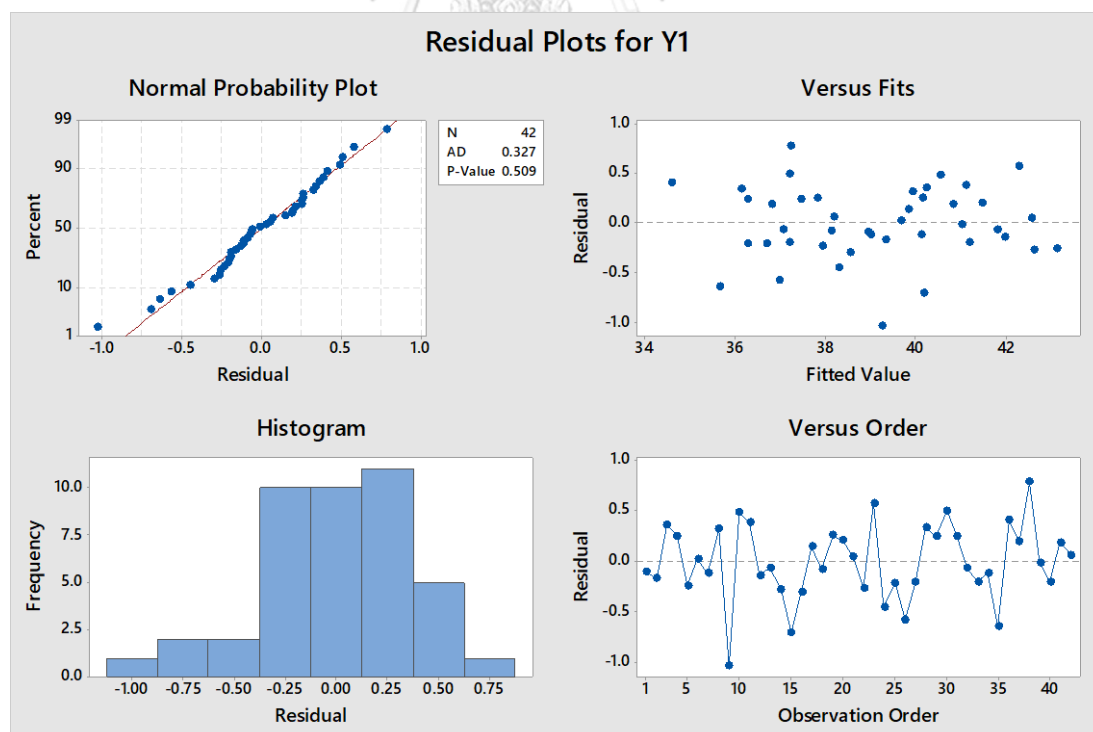
$$\begin{aligned}
 Y1 = & 142.5 - 0.0974 X1 + 0.03021 X2 - 2.400 X3 + 4.35 X4 & (ข15) \\
 & - 0.1796 X5 + 0.00867 X2*X4 + 0.003057 X3*X5 \\
 & - 0.02034 X4*X5
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ข29 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยแบบกำจัดตัวแปรแบบถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชิงพีลิ่ง B

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	8	190.89	23.86	142.52	0.00	97.19%	96.51%
Linear	5	144.09	28.82	172.13	0.00		
X1	1	3.13	3.13	18.69	0.00		
X2	1	38.53	38.53	230.15	0.00		
X3	1	0.46	0.46	2.72	0.11		
X4	1	0.33	0.33	1.96	0.17		
X5	1	6.40	6.40	38.24	0.00		
2-Way Interaction	3	5.31	1.77	10.58	0.00		
X2*X4	1	2.49	2.49	14.88	0.00		
X3*X5	1	2.60	2.60	15.55	0.00		
X4*X5	1	2.80	2.80	16.70	0.00		
Error	33	5.53	0.17				
Total	41	196.41					

ตารางที่ ข30 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยแบบกำลังตัวแปรแบบถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชิงพหุ B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	38.70	0.09	435.60	0.00
X1	-0.65	0.15	-4.32	0.00
X2	3.19	0.21	15.17	0.00
X3	0.30	0.18	1.65	0.11
X4	-0.21	0.15	-1.40	0.17
X5	0.93	0.15	6.18	0.00
X2*X4	1.06	0.27	3.86	0.00
X3*X5	1.13	0.29	3.94	0.00
X4*X5	-1.07	0.26	-4.09	0.00



รูปที่ ข15 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยแบบกำลังตัวแปรแบบถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชิงพหุ B

## ตัวแปรตอบสนอง Y2

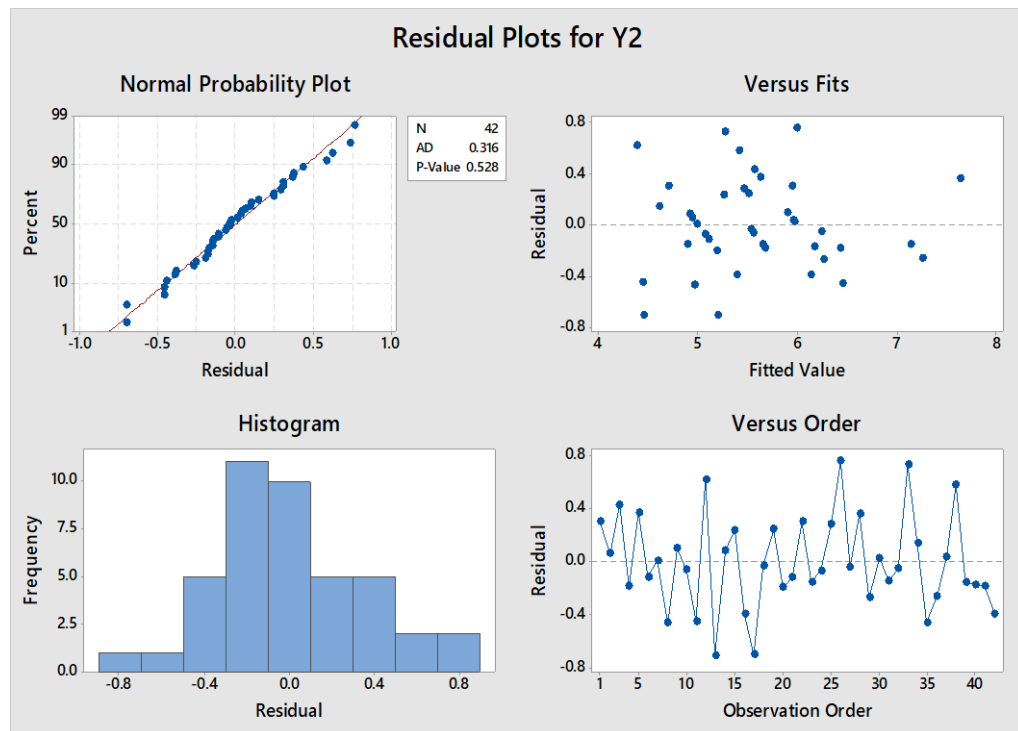
$$\begin{aligned}
 Y2 = & 135.5 - 1.073 X1 - 0.0835 X2 + 3.23 X3 + 18.99 X4 \\
 & - 0.2983 X5 - 0.0469 X3^2 + 2.055 X4^2 + 0.000158 X5^2 \\
 & - 0.1253 X1X4 + 0.001054 X1X5 + 0.001286 X2X3 \\
 & - 0.00696 X2X4
 \end{aligned}
 \tag{ข16}$$

ตารางที่ ข31 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยแบบกำจัดตัวแปรแบบถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเช็อเพลิง B

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	12	22.35	1.86	10.81	0.00	81.74%	74.18%
Linear	5	16.19	3.24	18.80	0.00		
X1	1	0.47	0.47	2.73	0.11		
X2	1	2.00	2.00	11.59	0.00		
X3	1	0.14	0.14	0.80	0.38		
X4	1	2.03	2.03	11.78	0.00		
X5	1	0.94	0.94	5.46	0.03		
Square	3	5.72	1.91	11.08	0.00		
X3*X3	1	1.73	1.73	10.05	0.00		
X4*X4	1	1.35	1.35	7.86	0.01		
X5*X5	1	1.59	1.59	9.23	0.01		
2-Way Interaction	4	1.62	0.40	2.35	0.08		
X1*X4	1	0.62	0.62	3.62	0.07		
X1*X5	1	0.66	0.66	3.83	0.06		
X2*X3	1	0.74	0.74	4.29	0.05		
X2*X4	1	0.94	0.94	5.48	0.03		
Error	29	4.99	0.17				
Total	41	27.35					

ตารางที่ ข32 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานขอสมการถดถอยแบบกำจัดตัวแปรแบบถอยหลัง  
ของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชิงพหุคูณ B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.40	0.18	30.25	0.00
X1	-0.31	0.19	-1.65	0.11
X2	-0.90	0.26	-3.41	0.00
X3	-0.15	0.17	-0.90	0.38
X4	-0.64	0.19	-3.43	0.00
X5	-0.34	0.15	-2.34	0.03
X3*X3	-1.11	0.35	-3.17	0.00
X4*X4	0.97	0.35	2.80	0.01
X5*X5	0.92	0.30	3.04	0.01
X1*X4	-0.58	0.30	-1.90	0.07
X1*X5	0.54	0.28	1.96	0.06
X2*X3	1.11	0.54	2.07	0.05
X2*X4	-0.85	0.36	-2.34	0.03



รูปที่ ข16 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยแบบกำจัดตัวแปรแบบถอยหลังของตัวแปร  
ตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชิงพีลิ่ง B

#### 4.2 พิจารณาแอลฟา 0.15

ตัวแปรตอบสนอง Y1

$$\begin{aligned}
 Y1 &= 142.5 - 0.0974 X1 + 0.03021 X2 - 2.400 X3 + 4.35 X4 & (ข17) \\
 &- 0.1796 X5 + 0.00867 X2*X4 + 0.003057 X3*X5 \\
 &- 0.02034 X4*X5
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ข33 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยแบบกำจัดตัวแปรแบบถอยหลังของตัว  
แปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชิงพีลิ่ง B

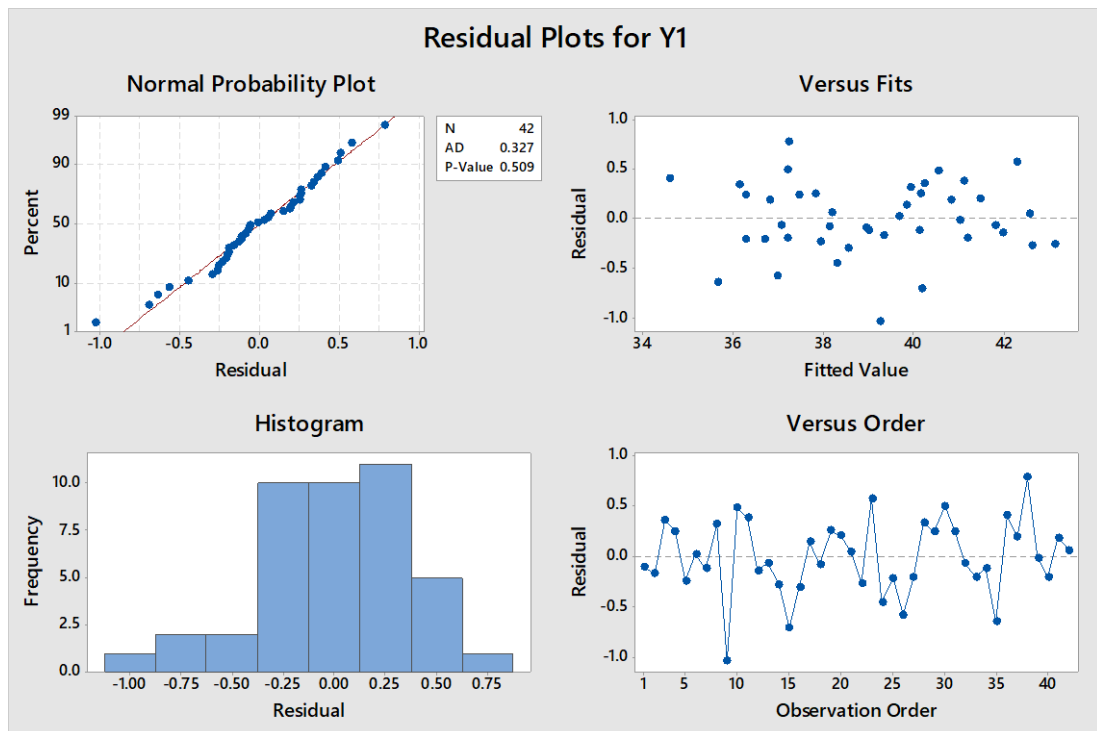
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	8	190.89	23.86	142.52	0.00	97.19%	96.51%
Linear	5	144.09	28.82	172.13	0.00		
X1	1	3.13	3.13	18.69	0.00		
X2	1	38.53	38.53	230.15	0.00		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X3	1	0.46	0.46	2.72	0.11		
X4	1	0.33	0.33	1.96	0.17		
X5	1	6.40	6.40	38.24	0.00		
2-Way Interaction	3	5.31	1.77	10.58	0.00		
X2*X4	1	2.49	2.49	14.88	0.00		
X3*X5	1	2.60	2.60	15.55	0.00		
X4*X5	1	2.80	2.80	16.70	0.00		
Error	33	5.53	0.17				
Total	41	196.41					

ตารางที่ ข34 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยแบบก้ำจัดตัวแปรแบบถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชิงพหุคูณ B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	38.70	0.09	435.60	0.00
X1	-0.65	0.15	-4.32	0.00
X2	3.19	0.21	15.17	0.00
X3	0.30	0.18	1.65	0.11
X4	-0.21	0.15	-1.40	0.17
X5	0.93	0.15	6.18	0.00
X2*X4	1.06	0.27	3.86	0.00
X3*X5	1.13	0.29	3.94	0.00
X4*X5	-1.07	0.26	-4.09	0.00





รูปที่ ข17 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยแบบกำลังตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปร  
ตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชิงพหุคูณ B

ตัวแปรตอบสนอง Y2

$$\begin{aligned}
 Y2 = & 135.5 - 1.073 X1 - 0.0835 X2 + 3.23 X3 + 18.99 X4 & (ข18) \\
 & - 0.2983 X5 - 0.0469 X3^2 + 2.055 X4^2 + 0.000158 X5^2 \\
 & - 0.1253 X1X4 + 0.001054 X1X5 + 0.001286 X2X3 \\
 & - 0.00696 X2X4
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ข35 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยแบบกำลังตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัว  
แปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชิงพหุคูณ B

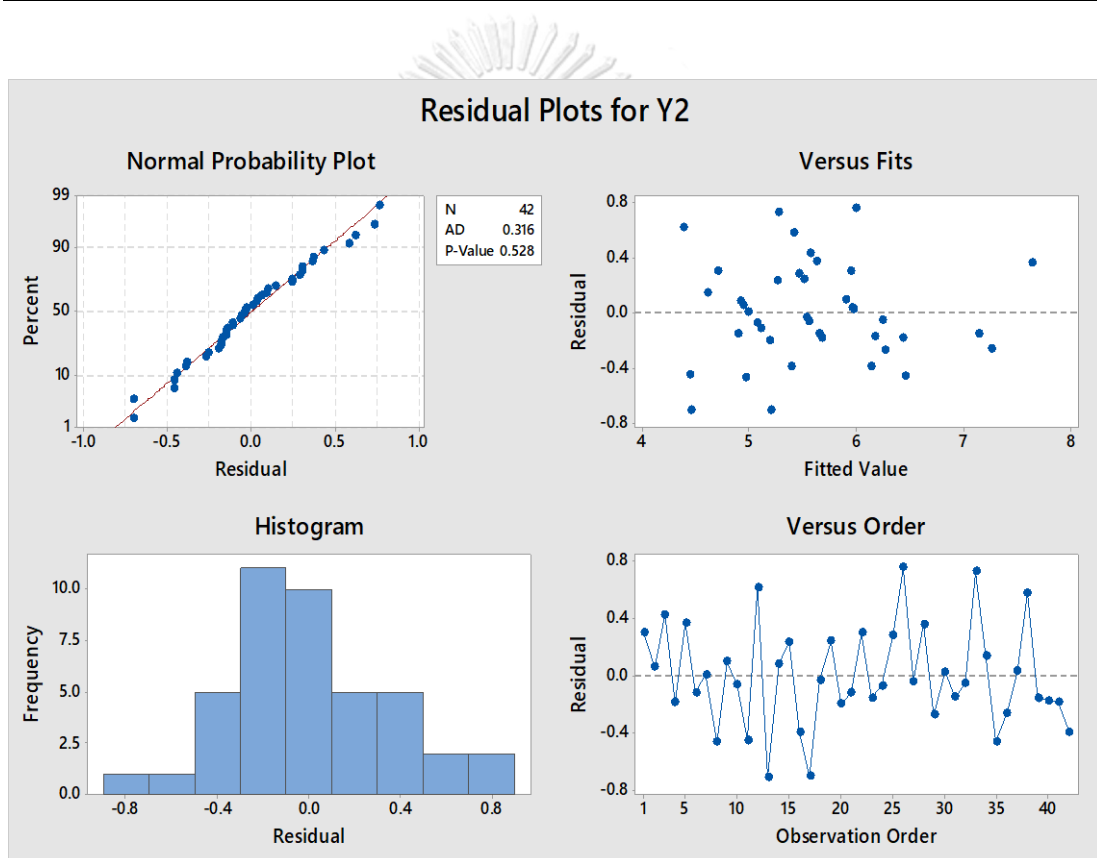
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	12	22.35	1.86	10.81	0.00	81.74%	74.18%
Linear	5	16.19	3.24	18.80	0.00		
X1	1	0.47	0.47	2.73	0.11		
X2	1	2.00	2.00	11.59	0.00		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X3	1	0.14	0.14	0.80	0.38		
X4	1	2.03	2.03	11.78	0.00		
X5	1	0.94	0.94	5.46	0.03		
Square	3	5.72	1.91	11.08	0.00		
X3*X3	1	1.73	1.73	10.05	0.00		
X4*X4	1	1.35	1.35	7.86	0.01		
X5*X5	1	1.59	1.59	9.23	0.01		
2-Way Interaction	4	1.62	0.40	2.35	0.08		
X1*X4	1	0.62	0.62	3.62	0.07		
X1*X5	1	0.66	0.66	3.83	0.06		
X2*X3	1	0.74	0.74	4.29	0.05		
X2*X4	1	0.94	0.94	5.48	0.03		
Error	29	4.99	0.17				
Total	41	27.35					

ตารางที่ ข36 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานขอสมการถดถอยแบบกำจัดตัวแปรแบบถอยหลัง  
ของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชิงพีลิ่ง B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.40	0.18	30.25	0.00
X1	-0.31	0.19	-1.65	0.11
X2	-0.90	0.26	-3.41	0.00
X3	-0.15	0.17	-0.90	0.38
X4	-0.64	0.19	-3.43	0.00
X5	-0.34	0.15	-2.34	0.03
X3*X3	-1.11	0.35	-3.17	0.00

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
X4*X4	0.97	0.35	2.80	0.01
X5*X5	0.92	0.30	3.04	0.01
X1*X4	-0.58	0.30	-1.90	0.07
X1*X5	0.54	0.28	1.96	0.06
X2*X3	1.11	0.54	2.07	0.05
X2*X4	-0.85	0.36	-2.34	0.03



รูปที่ ข18 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยแบบกำลังตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปร  
ตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง B

## 4.3 พิจารณาแอลฟา 0.25

ตัวแปรตอบสนอง Y1

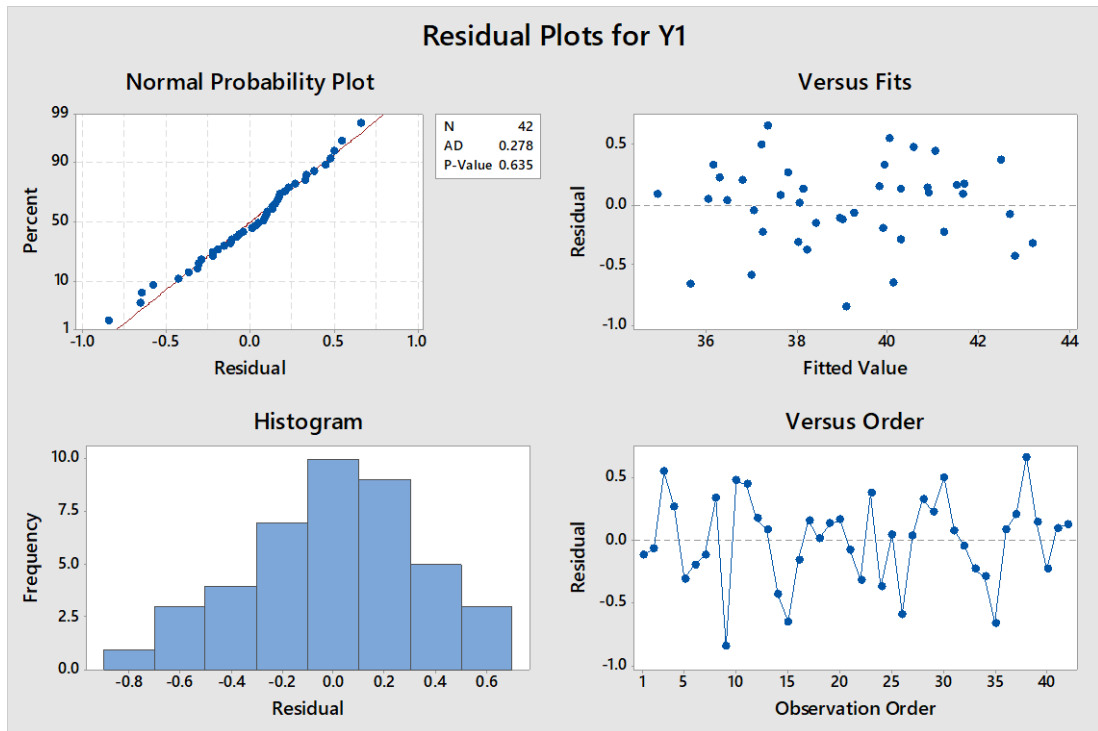
$$\begin{aligned}
 Y1 = & 108.4 - 0.561 X1 + 0.03015 X2 - 0.96 X3 - 1.74 X4 - 0.1782 X5 & (ข19) \\
 & + 0.00775 X1^2 - 0.0141 X3^2 + 0.0950 X1X4 + 0.00844 X2X4 \\
 & + 0.003117 X3X5 - 0.01697 X4X5
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ข37 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยแบบกำลังตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง B

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	11	191.62	17.42	109.06	0.00	97.56%	96.67%
Linear	5	141.11	28.22	176.68	0.00		
X1	1	3.48	3.48	21.76	0.00		
X2	1	37.53	37.53	234.97	0.00		
X3	1	0.21	0.21	1.31	0.26		
X4	1	0.62	0.62	3.89	0.06		
X5	1	5.63	5.63	35.22	0.00		
Square	2	0.68	0.34	2.12	0.14		
X1*X1	1	0.35	0.35	2.19	0.15		
X3*X3	1	0.28	0.28	1.77	0.19		
2-Way Interaction	4	5.37	1.34	8.40	0.00		
X1*X4	1	0.26	0.26	1.64	0.21		
X2*X4	1	2.22	2.22	13.91	0.00		
X3*X5	1	2.24	2.24	14.01	0.00		
X4*X5	1	1.44	1.44	9.03	0.01		
Error	30	4.79	0.16				
Total	41	196.41					

ตารางที่ ข38 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยแบบกำจัดตัวแปรแบบถอยหลัง  
ของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชิงพหุคูณ B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	38.73	0.12	322.53	0.00
X1	-0.77	0.17	-4.67	0.00
X2	3.23	0.21	15.33	0.00
X3	0.22	0.19	1.15	0.26
X4	-0.30	0.15	-1.97	0.06
X5	0.92	0.16	5.93	0.00
X1*X1	0.35	0.24	1.48	0.15
X3*X3	-0.33	0.25	-1.33	0.19
X1*X4	0.44	0.34	1.28	0.21
X2*X4	1.03	0.28	3.73	0.00
X3*X5	1.16	0.31	3.74	0.00
X4*X5	-0.89	0.30	-3.01	0.01



รูปที่ ข19 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยแบบกำลังตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปร  
ตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชิงพหุคูณ B

ตัวแปรตอบสนอง Y2

$$\begin{aligned}
 Y2 = & 134.8 - 1.016 X1 - 0.0640 X2 + 2.75 X3 + 19.74 X4 & (ข20) \\
 & - 0.2971 X5 - 0.0485 X3^2 + 2.306 X4^2 + 0.000113 X5^2 \\
 & - 0.1056 X1X4 + 0.001013 X1X5 + 0.000916 X2X3 \\
 & - 0.00757 X2X4 + 0.00137 X3X5
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ข39 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยแบบกำลังตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัว  
แปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชิงพหุคูณ B

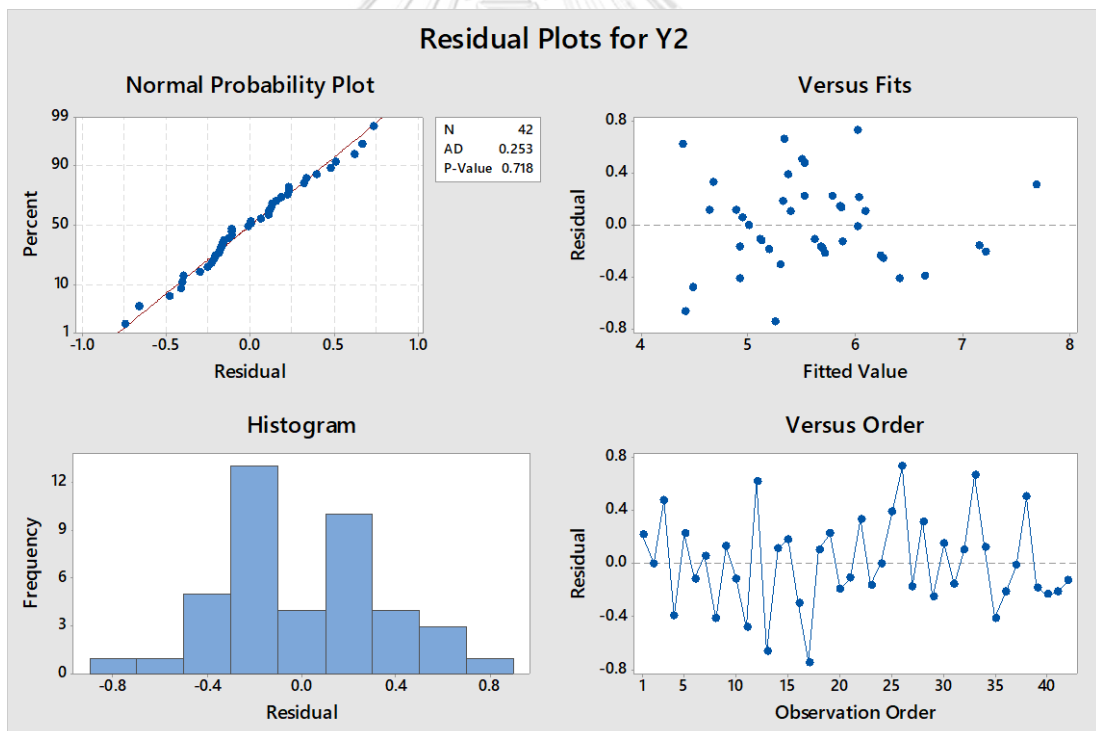
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	13	22.64	1.74	10.37	0.00	82.80%	74.82%
Linear	5	16.46	3.29	19.60	0.00		
X1	1	0.54	0.54	3.21	0.08		
X2	1	1.39	1.39	8.30	0.01		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X3	1	0.42	0.42	2.50	0.13		
X4	1	2.19	2.19	13.07	0.00		
X5	1	0.50	0.50	2.95	0.10		
Square	3	5.54	1.85	11.00	0.00		
X3*X3	1	1.84	1.84	10.94	0.00		
X4*X4	1	1.59	1.59	9.49	0.01		
X5*X5	1	0.57	0.57	3.38	0.08		
2-Way Interaction	5	1.91	0.38	2.27	0.08		
X1*X4	1	0.42	0.42	2.50	0.13		
X1*X5	1	0.61	0.61	3.62	0.07		
X2*X3	1	0.31	0.31	1.84	0.19		
X2*X4	1	1.09	1.09	6.49	0.02		
X3*X5	1	0.29	0.29	1.73	0.20		
Error	28	4.70	0.17				
Total	41	27.35					

จฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
 CHULALONGKORN UNIVERSITY  
 ตารางที่ ข40 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานขอสมการถดถอยแบบกำจัดตัวแปรแบบถอยหลัง  
 ของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.47	0.19	29.50	0.00
X1	-0.34	0.19	-1.79	0.08
X2	-0.79	0.27	-2.88	0.01
X3	-0.39	0.25	-1.58	0.13
X4	-0.67	0.19	-3.61	0.00
X5	-0.27	0.16	-1.72	0.10

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.47	0.19	29.50	0.00
X3*X3	-1.15	0.35	-3.31	0.00
X4*X4	1.09	0.35	3.08	0.01
X5*X5	0.66	0.36	1.84	0.08
X1*X4	-0.49	0.31	-1.58	0.13
X1*X5	0.52	0.27	1.90	0.07
X2*X3	0.79	0.58	1.36	0.19
X2*X4	-0.92	0.36	-2.55	0.02
X3*X5	0.51	0.39	1.32	0.20



รูปที่ ข20 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปร  
ตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง B



พิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการ

1. พิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัวในสมการ (Full model)

ตัวแปรตอบสนอง Y1

$$\begin{aligned}
 Y1 = & 206 - 0.87 X1 - 0.117 X2 + 3.63 X3 - 3.5 X4 - 0.221 X5 & (ข21) \\
 & - 28.8 X8 + 0.0141 X1^2 + 0.000023 X2^2 - 0.0370 X3^2 + 0.734 \\
 & X4^2 + 0.000012 X5^2 + 0.000072 X1X2 - 0.0074 X1X3 \\
 & + 0.183 X1X4 + 0.000307 X1X5 + 0.00975 X2X4 \\
 & + 0.000015 X2X5 - 0.036 X3X4 + 0.00300 X3X5 \\
 & - 0.01627 X4X5
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ข41 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัว  
ในสมการของตัวแปรตอบสนอง Y1 สูตรเชิงพีชคณิต B

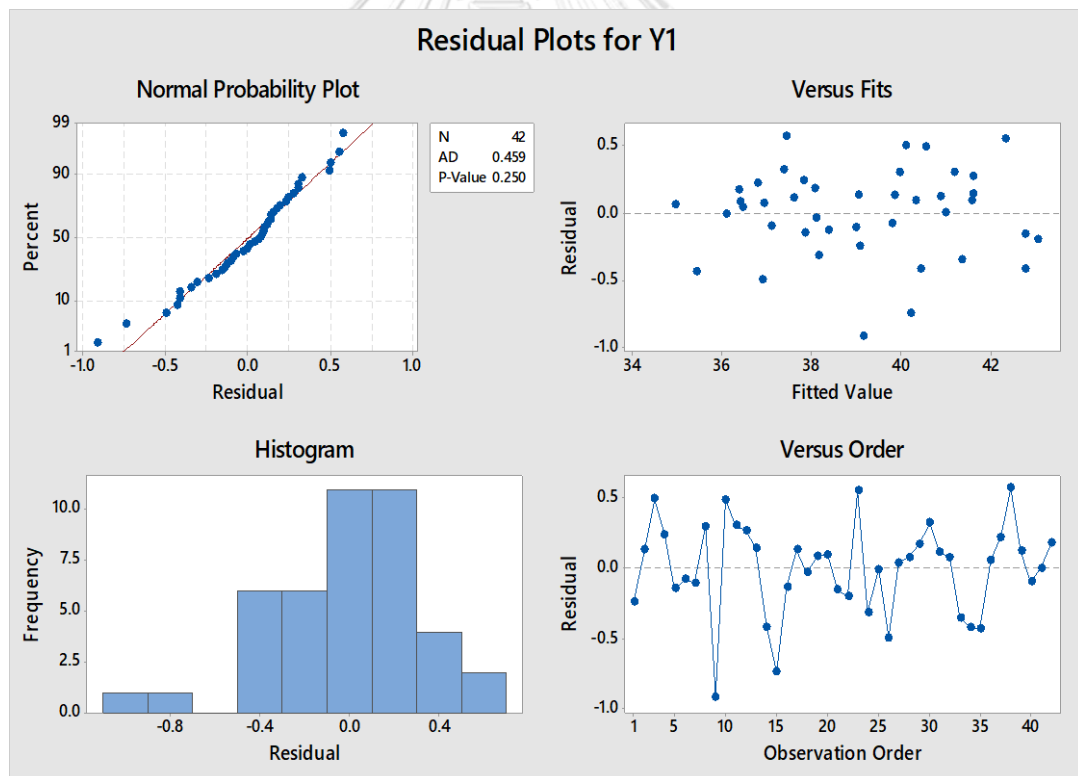
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	20	192.07	9.60	46.47	0.00	97.79%	95.69%
Linear	6	110.63	18.44	89.22	0.00		
X1	1	1.94	1.94	9.40	0.01		
X2	1	0.14	0.13	0.65	0.43		
X3	1	0.24	0.24	1.18	0.29		
X4	1	0.60	0.60	2.90	0.10		
X5	1	5.13	5.13	24.83	0.00		
X8	1	0.24	0.24	1.16	0.29		
Square	5	0.79	0.16	0.77	0.59		
X1*X1	1	0.34	0.34	1.65	0.21		
X2*X2	1	0.07	0.07	0.35	0.56		
X3*X3	1	0.49	0.49	2.37	0.14		
X4*X4	1	0.14	0.14	0.67	0.42		
X5*X5	1	0.01	0.01	0.02	0.88		
2-Way Interaction	9	4.20	0.47	2.26	0.06		
X1*X2	1	0.00	0.00	0.01	0.93		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X1*X3	1	0.04	0.04	0.18	0.67		
X1*X4	1	0.42	0.42	2.04	0.17		
X1*X5	1	0.02	0.02	0.10	0.76		
X2*X4	1	0.69	0.68	3.31	0.08		
X2*X5	1	0.02	0.02	0.10	0.75		
X3*X4	1	0.01	0.01	0.04	0.85		
X3*X5	1	1.04	1.04	5.01	0.04		
X4*X5	1	1.08	1.08	5.21	0.03		
Error	21	4.34	0.21				
Total	41	196.41					

ตารางที่ ข42 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทน  
ตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบทุกตัวแปรของตัวแปรตอบสนอง Y1 สูตรเชื้อเพลิง B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	36.91	1.71	21.55	0.00
X1	-0.89	0.29	-3.07	0.01
X2	-9.80	12.20	-0.81	0.43
X3	9.10	8.39	1.08	0.29
X4	-0.40	0.23	-1.70	0.10
X5	1.03	0.21	4.98	0.00
X8	-10.60	9.84	-1.08	0.29
X1*X1	0.63	0.49	1.28	0.21
X2*X2	0.71	1.21	0.59	0.56
X3*X3	-0.87	0.57	-1.54	0.14
X4*X4	0.35	0.42	0.82	0.42
X5*X5	0.07	0.46	0.16	0.88

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
X1*X2	0.09	0.90	0.09	0.93
X1*X3	-0.24	0.57	-0.43	0.67
X1*X4	0.85	0.59	1.43	0.17
X1*X5	0.16	0.50	0.31	0.76
X2*X4	1.19	0.65	1.82	0.08
X2*X5	0.20	0.62	0.32	0.75
X3*X4	-0.12	0.61	-0.19	0.85
X3*X5	1.11	0.50	2.24	0.04
X4*X5	-0.85	0.37	-2.28	0.03



รูปที่ ข21 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพล  
รวมในสมการแบบทุกตัวแปรของตัวแปรตอบสนอง Y1 สูตรเชิงพีลิ่ง B

ตัวแปรตอบสนอง Y2

$$\begin{aligned}
 Y2 = & 253 - 0.99 X1 - 0.302 X2 + 8.90 X3 + 16.2 X4 - 0.269 X5 & (ข22) \\
 & - 39.5 X8 + 0.0013 X1^2 \\
 & + 0.000061 X2^2 - 0.0646 X3^2 + 2.325 X4^2 \\
 & + 0.000120 X5^2 + 0.000438 X1X2 - 0.0053 X1X3 - 0.090 X1X4 \\
 & + 0.000504 X1X5 - 0.00825 X2X4 + 0.000005 X2X5 \\
 & + 0.057 X3X4 + 0.00092 X3X5 + 0.00113 X4X5
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ข43 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัว  
ในสมการของตัวแปรตอบสนอง Y2 สูตรเชิงพีลิป B

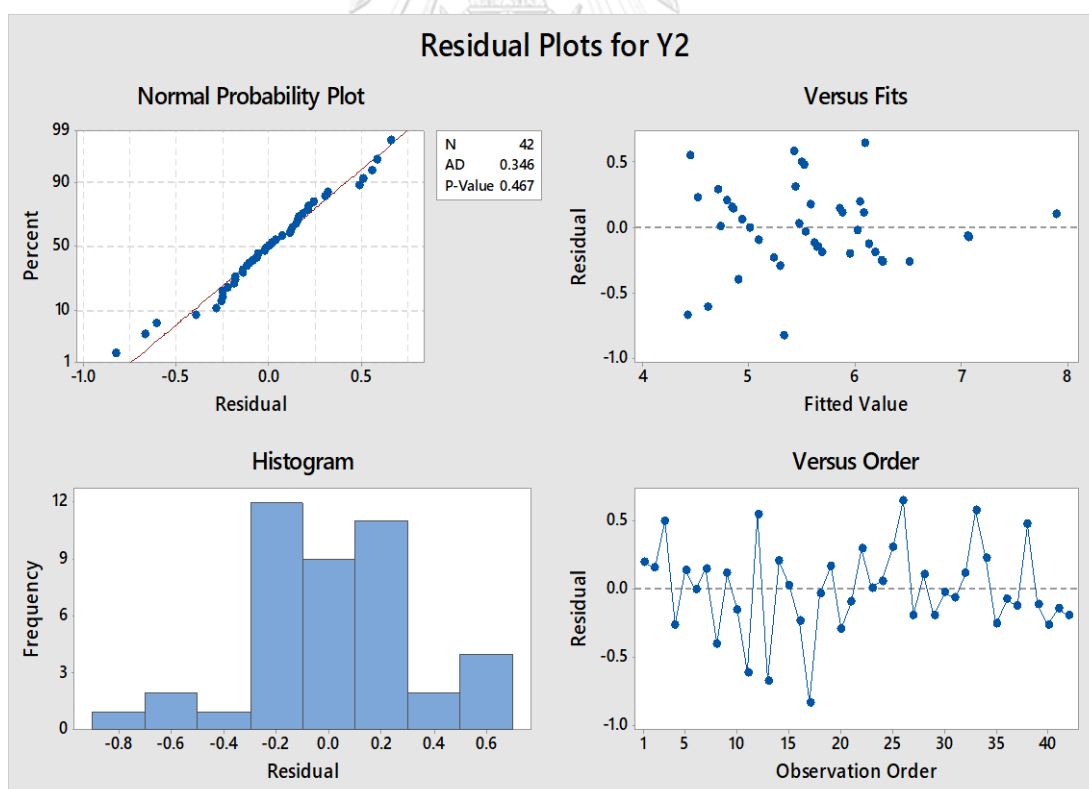
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	20	23.14	1.16	5.77	0.00	84.60%	69.94%
Linear	6	12.69	2.12	10.55	0.00		
X1	1	0.29	0.29	1.46	0.24		
X2	1	0.49	0.49	2.43	0.13		
X3	1	0.42	0.42	2.10	0.16		
X4	1	1.76	1.76	8.77	0.01		
X5	1	0.27	0.27	1.37	0.26		
X8	1	0.45	0.45	2.25	0.15		
Square	5	3.70	0.74	3.69	0.02		
X1*X1	1	0.00	0.00	0.01	0.91		
X2*X2	1	0.52	0.52	2.61	0.12		
X3*X3	1	1.50	1.50	7.47	0.01		
X4*X4	1	1.39	1.39	6.93	0.02		
X5*X5	1	0.48	0.48	2.41	0.14		
2-Way Interaction	9	0.98	0.11	0.55	0.83		
X1*X2	1	0.07	0.07	0.35	0.56		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X1*X3	1	0.02	0.02	0.10	0.76		
X1*X4	1	0.10	0.10	0.51	0.48		
X1*X5	1	0.06	0.06	0.28	0.61		
X2*X4	1	0.49	0.49	2.44	0.13		
X2*X5	1	0.00	0.00	0.01	0.92		
X3*X4	1	0.02	0.02	0.10	0.76		
X3*X5	1	0.10	0.10	0.49	0.49		
X4*X5	1	0.01	0.01	0.03	0.87		
Error	21	4.21	0.20				
Total	41	27.35					

ตารางที่ ข44 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทน  
ตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบพิจารณาทุกตัวแปรของตัวแปรตอบสนอง Y2 สูตรเชื้อเพลิง B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	3.05	1.69	1.81	0.09
X1	-0.35	0.29	-1.21	0.24
X2	-18.70	12.00	-1.56	0.13
X3	11.96	8.26	1.45	0.16
X4	-0.68	0.23	-2.96	0.01
X5	-0.24	0.20	-1.17	0.26
X8	-14.55	9.69	-1.50	0.15
X1*X1	0.06	0.49	0.12	0.91
X2*X2	1.93	1.19	1.62	0.12
X3*X3	-1.53	0.56	-2.73	0.01
X4*X4	1.10	0.42	2.63	0.02

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
X5*X5	0.70	0.45	1.55	0.14
X1*X2	0.52	0.89	0.59	0.56
X1*X3	-0.17	0.56	-0.31	0.76
X1*X4	-0.42	0.58	-0.71	0.48
X1*X5	0.26	0.49	0.52	0.61
X2*X4	-1.01	0.64	-1.56	0.13
X2*X5	0.06	0.61	0.10	0.92
X3*X4	0.19	0.60	0.31	0.76
X3*X5	0.34	0.49	0.70	0.49
X4*X5	0.06	0.37	0.16	0.87



รูปที่ ข22 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพล  
ร่วมในสมการแบบพิจารณาทุกตัวแปรของตัวแปรตอบสนอง Y2 สูตรเชื้อเพลิง B

## 2. การเลือกตัวแปรโดยการเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอน (Stepwise regression)

## 2.1 พิจารณาแอลฟา 0.10

ตัวแปรตอบสนอง Y1

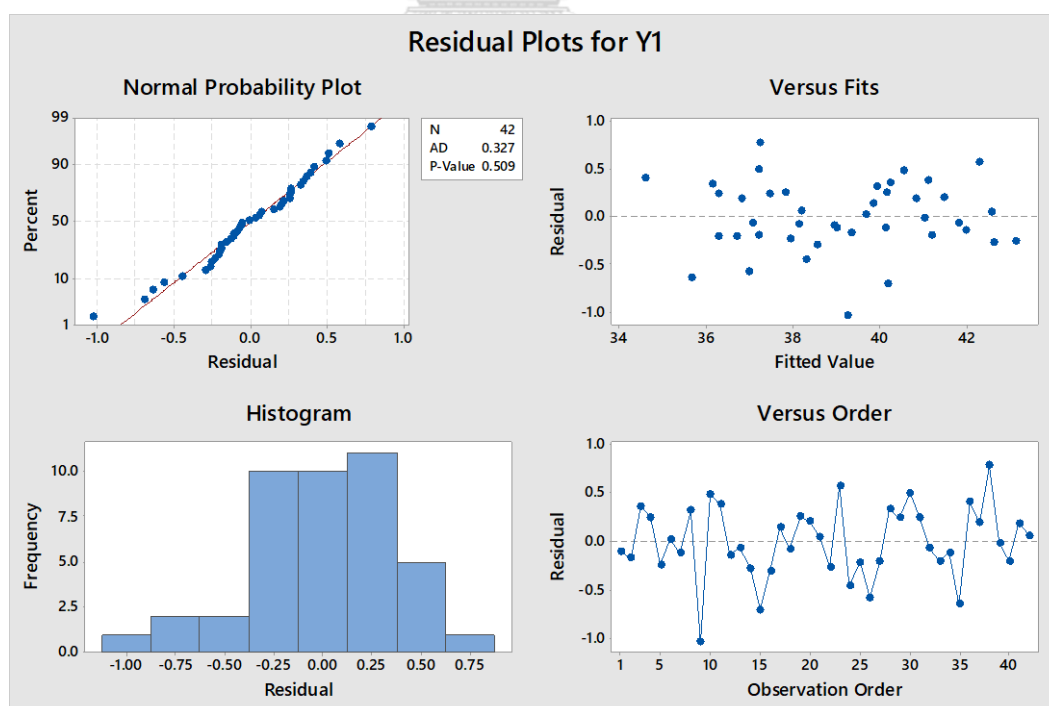
$$Y1 = 142.5 - 0.0974 X1 + 0.03021 X2 - 2.400 X3 + 4.35 X4 - 0.1796 X5 + 0.00867 X2*X4 + 0.003057 X3*X5 - 0.02034 X4*X5 \quad (\text{ข23})$$

ตารางที่ ข45 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง B

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	8	190.89	23.86	142.52	0.00	97.19%	96.51%
Linear	5	144.09	28.82	172.13	0.00		
X1	1	3.13	3.13	18.69	0.00		
X2	1	38.53	38.53	230.15	0.00		
X3	1	0.46	0.46	2.72	0.11		
X4	1	0.33	0.33	1.96	0.17		
X5	1	6.40	6.40	38.24	0.00		
2-Way Interaction	3	5.31	1.77	10.58	0.00		
X2*X4	1	2.49	2.49	14.88	0.00		
X3*X5	1	2.60	2.60	15.55	0.00		
X4*X5	1	2.80	2.80	16.70	0.00		
Error	33	5.53	0.17				
Total	41	196.41					

ตารางที่ ข46 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	38.70	0.09	435.60	0.00
X1	-0.65	0.15	-4.32	0.00
X2	3.19	0.21	15.17	0.00
X3	0.30	0.18	1.65	0.11
X4	-0.21	0.15	-1.40	0.17
X5	0.93	0.15	6.18	0.00
X2*X4	1.06	0.27	3.86	0.00
X3*X5	1.13	0.29	3.94	0.00
X4*X5	-1.07	0.26	-4.09	0.00



รูปที่ ข23 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง B



ตัวแปรตอบสนอง Y2

$$Y2 = -38.0 - 0.00468 X2 + 3.57 X3 - 0.1025 X5 - 0.0481 X3^2 + 0.001847 X3X5 \quad (\text{ข24})$$

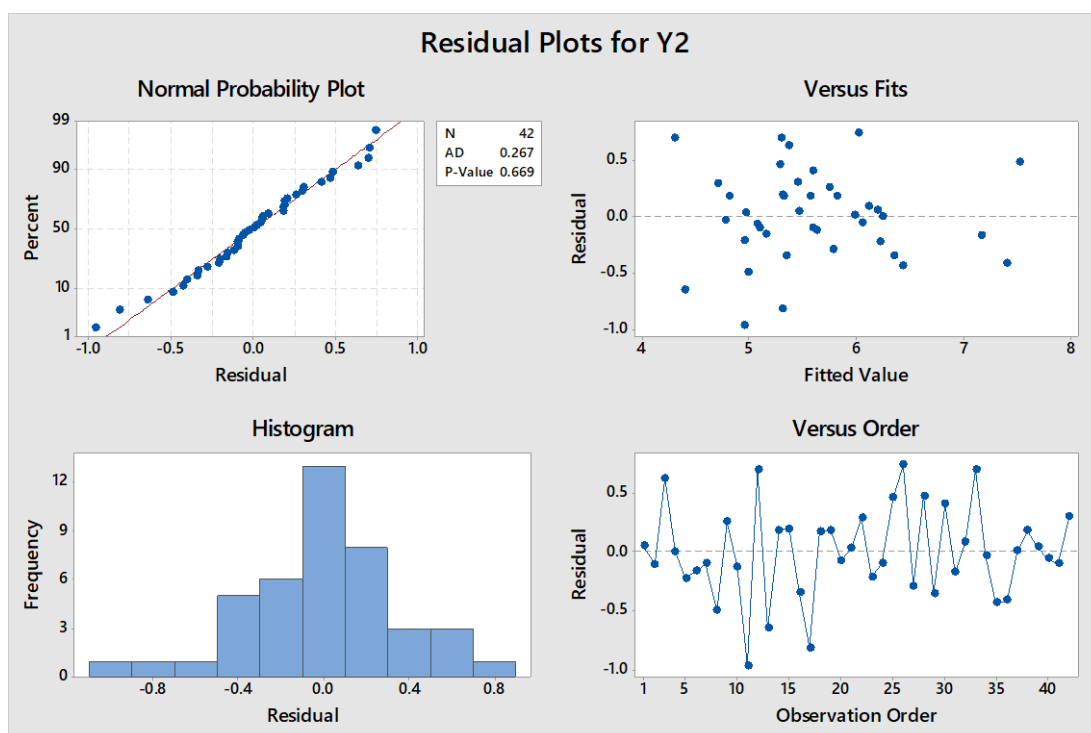
ตารางที่ ข47 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง B

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	5	18.78	3.76	15.79	0.00	68.68%	64.32%
Linear	3	15.33	5.11	21.48	0.00		
X2	1	3.34	3.34	14.05	0.00		
X3	1	0.75	0.75	3.15	0.08		
X5	1	0.75	0.75	3.14	0.09		
Square	1	3.59	3.59	15.10	0.00		
X3*X3	1	3.59	3.59	15.10	0.00		
2-Way Interaction	1	0.95	0.95	4.01	0.05		
X3*X5	1	0.95	0.95	4.01	0.05		
Error	36	8.57	0.24				
Total	41	27.35					

ตารางที่ ข48 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.93	0.12	51.24	0.00
X2	-0.83	0.22	-3.75	0.00
X3	-0.39	0.22	-1.77	0.08

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
X5	-0.30	0.17	-1.77	0.09
X3*X3	-1.14	0.29	-3.89	0.00
X3*X5	0.68	0.34	2.00	0.05



รูปที่ ข24 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง B

## 2.2 พิจารณาแอลฟา 0.15

### ตัวแปรตอบสนอง Y1

$$\begin{aligned}
 Y1 = & 142.5 - 0.0974 X1 + 0.03021 X2 - 2.400 X3 + 4.35 X4 & (ข25) \\
 & - 0.1796 X5 + 0.00867 X2*X4 + 0.003057 X3*X5 \\
 & - 0.02034 X4*X5
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ข49 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง B

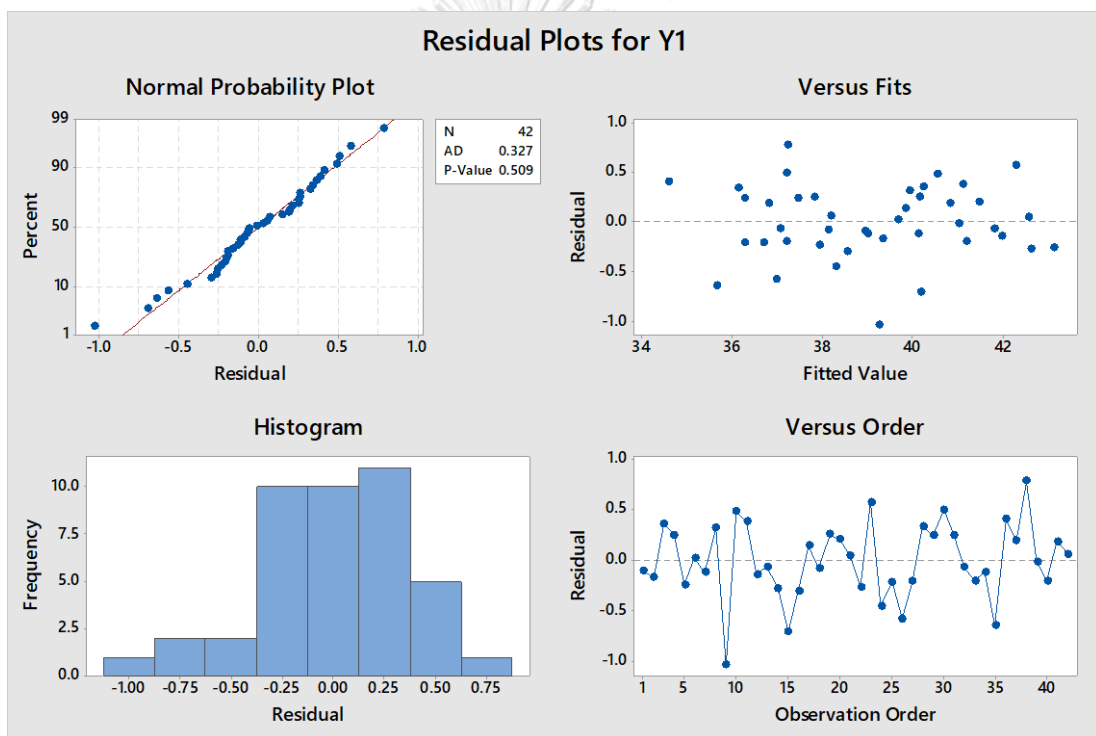
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	8	190.89	23.86	142.52	0.00	97.19%	96.51%
Linear	5	144.09	28.82	172.13	0.00		
X1	1	3.13	3.13	18.69	0.00		
X2	1	38.53	38.53	230.15	0.00		
X3	1	0.46	0.46	2.72	0.11		
X4	1	0.33	0.33	1.96	0.17		
X5	1	6.40	6.40	38.24	0.00		
2-Way Interaction	3	5.31	1.77	10.58	0.00		
X2*X4	1	2.49	2.49	14.88	0.00		
X3*X5	1	2.60	2.60	15.55	0.00		
X4*X5	1	2.80	2.80	16.70	0.00		
Error	33	5.53	0.17				
Total	41	196.41					

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ข50 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	38.70	0.09	435.60	0.00
X1	-0.65	0.15	-4.32	0.00
X2	3.19	0.21	15.17	0.00

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
X3	0.30	0.18	1.65	0.11
X4	-0.21	0.15	-1.40	0.17
X5	0.93	0.15	6.18	0.00
X2*X4	1.06	0.27	3.86	0.00
X3*X5	1.13	0.29	3.94	0.00
X4*X5	-1.07	0.26	-4.09	0.00



รูปที่ ข25 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพหุคูณตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพล  
ร่วมในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง B

### ตัวแปรตอบสนอง Y2

$$Y2 = 12.5 - 0.01000 X2 + 2.32 X3 + 13.29 X4 - 0.1174 X5 - 0.0391 X3^2 + 2.442 X4^2 - 0.00539 X2X4 + 0.002155 X3X5 \quad (\text{ข26})$$

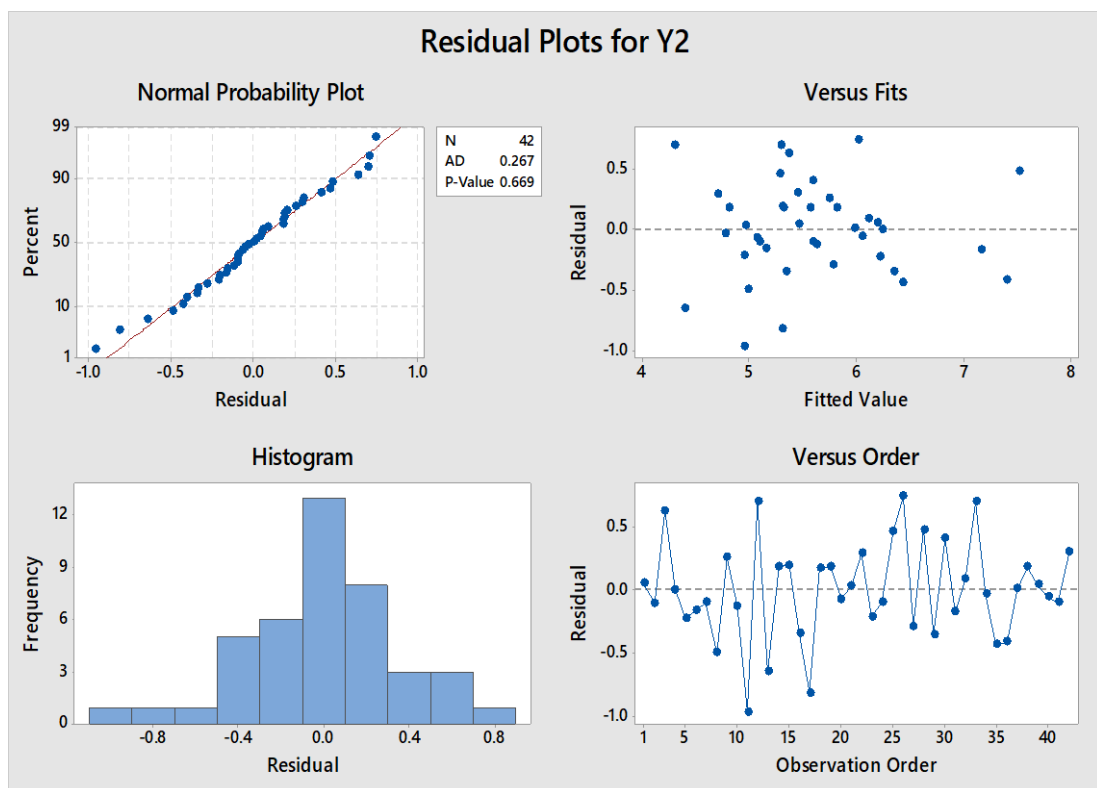
ตารางที่ ข51 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปร  
อิทธิพลร่วมในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตร  
เชื้อเพลิง B

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	8	21.32	2.66	14.59	0.00	77.96%	72.62%
Linear	4	15.79	3.95	21.61	0.00		
X2	1	0.62	0.62	3.37	0.08		
X3	1	1.57	1.57	8.60	0.01		
X4	1	1.89	1.89	10.33	0.00		
X5	1	0.26	0.26	1.42	0.24		
Square	2	5.67	2.84	15.53	0.00		
X3*X3	1	2.09	2.09	11.43	0.00		
X4*X4	1	2.06	2.06	11.27	0.00		
2-Way Interaction	2	1.72	0.86	4.70	0.02		
X2*X4	1	0.73	0.73	4.00	0.05		
X3*X5	1	1.26	1.26	6.91	0.01		
Error	33	6.03	0.18				
Total	41	27.35					

ตารางที่ ข52 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทน  
ตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15  
สูตรเชื้อเพลิง B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.67	0.14	39.64	0.00
X2	-0.42	0.23	-1.84	0.08
X3	-0.60	0.20	-2.93	0.01

X4	-0.61	0.19	-3.21	0.00
X5	-0.18	0.15	-1.19	0.24
X3*X3	-0.93	0.27	-3.38	0.00
X4*X4	1.15	0.34	3.36	0.00
X2*X4	-0.66	0.33	-2.00	0.05
X3*X5	0.80	0.30	2.63	0.01



รูปที่ ข26 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปร  
 ตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชิงพหุคูณ B

### 2.3 พิจารณาแอลฟา 0.25

ตัวแปรตอบสนอง Y1

$$\begin{aligned}
 Y1 = & 120.4 - 0.1008 X1 + 0.02965 X2 - 1.21 X3 + 5.31 X4 & (ข27) \\
 & - 0.2001 X5 - 0.0142 X3^2 + 0.00817 X2X4 + 0.003440 X3X5 \\
 & - 0.02074 X4X5
 \end{aligned}$$

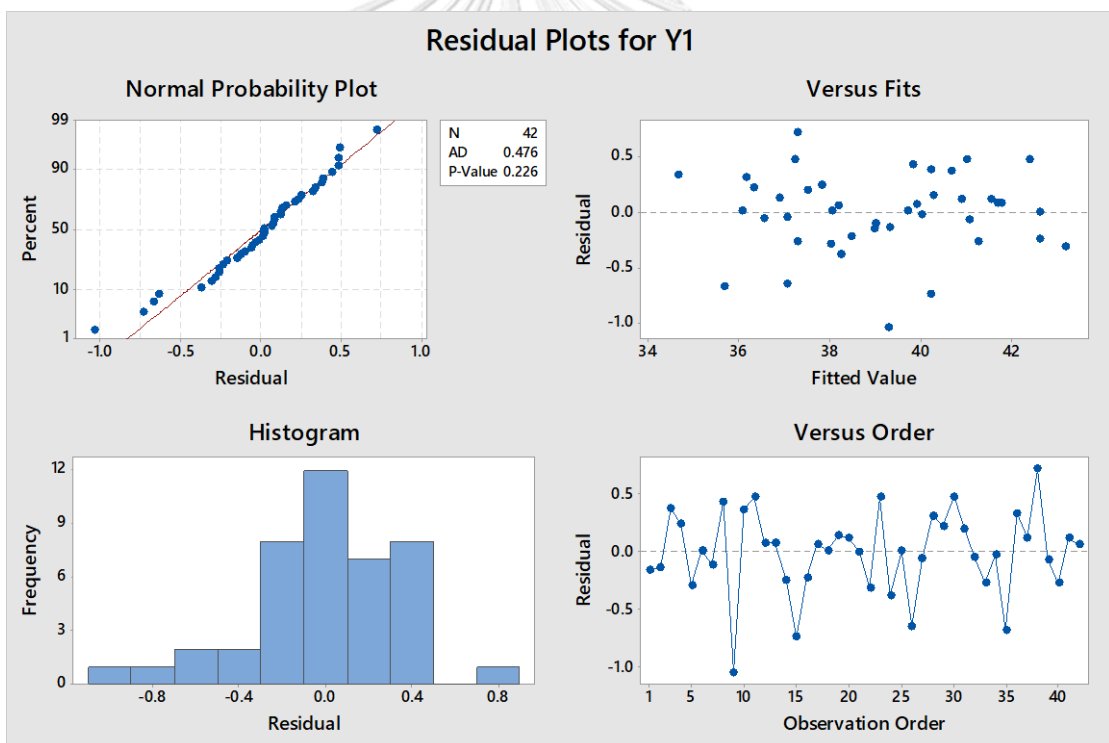
ตารางที่ ข53 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง B

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	9	191.18	21.24	129.85	0.00	97.33%	96.59%
Linear	5	144.36	28.87	176.50	0.00		
X1	1	3.31	3.31	20.23	0.00		
X2	1	38.82	38.82	237.31	0.00		
X3	1	0.22	0.22	1.37	0.25		
X4	1	0.42	0.42	2.58	0.12		
X5	1	6.69	6.69	40.90	0.00		
Square	1	0.29	0.29	1.77	0.19		
X3*X3	1	0.29	0.29	1.77	0.19		
2-Way Interaction	3	5.58	1.86	11.36	0.00		
X2*X4	1	2.15	2.15	13.13	0.00		
X3*X5	1	2.89	2.89	17.66	0.00		
X4*X5	1	2.90	2.90	17.70	0.00		
Error	32	5.24	0.16				
Total	41	196.41					

ตารางที่ ข54 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	38.78	0.11	361.87	0.00
X1	-0.68	0.15	-4.50	0.00

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
X2	3.21	0.21	15.40	0.00
X3	0.22	0.19	1.17	0.25
X4	-0.24	0.15	-1.61	0.12
X5	0.97	0.15	6.39	0.00
X3*X3	-0.34	0.25	-1.33	0.19
X2*X4	1.00	0.28	3.62	0.00
X3*X5	1.28	0.30	4.20	0.00
X4*X5	-1.09	0.26	-4.21	0.00



รูปที่ ข27 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปร  
ตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชื่อมเพลิง B



ตัวแปรตอบสนอง Y2

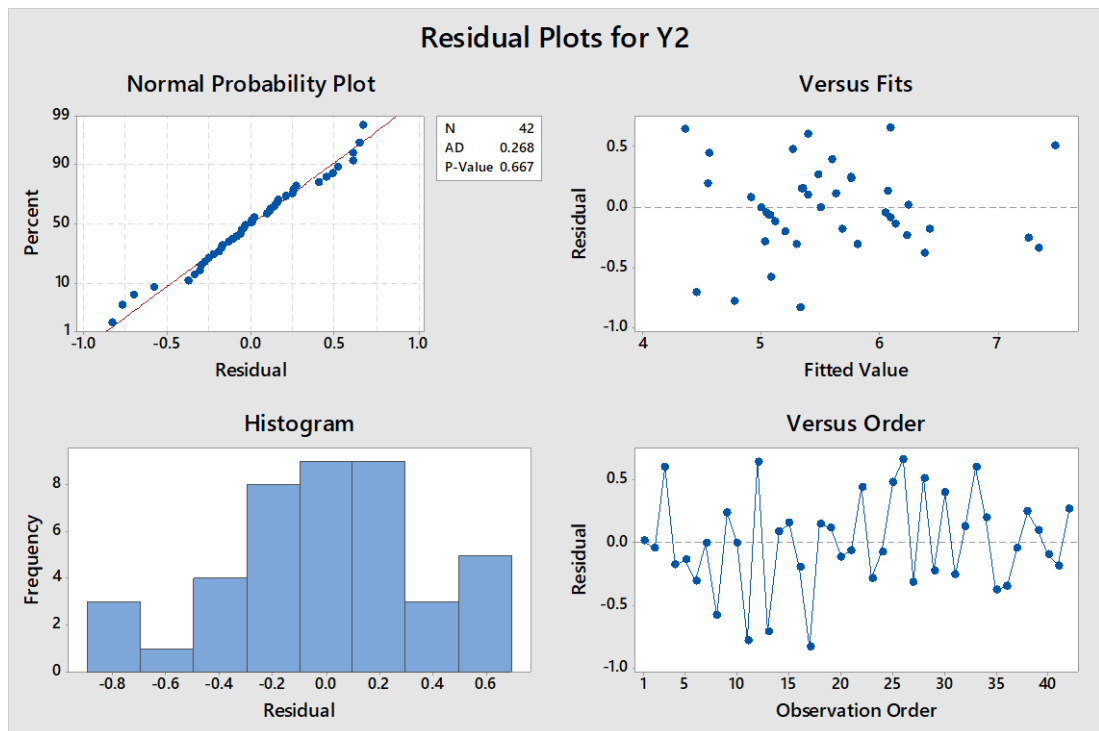
$$Y2 = 18.7 - 0.0322 X1 - 0.01141 X2 + 2.37 X3 + 13.85 X4 - 0.1288 X5 - 0.0412 X3^2 + 2.356 X4^2 - 0.00601 X2X4 + 0.002367 X3X5 \quad (\text{ข28})$$

ตารางที่ ข55 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง B

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	9	21.65	2.41	13.52	0.00	79.18%	73.33%
Linear	5	16.12	3.22	18.13	0.00		
X1	1	0.33	0.33	1.88	0.18		
X2	1	0.84	0.84	4.74	0.04		
X3	1	1.62	1.62	9.13	0.01		
X4	1	2.04	2.04	11.49	0.00		
X5	1	0.28	0.28	1.57	0.22		
Square	2	5.78	2.89	16.24	0.00		
X3*X3	1	2.28	2.28	12.81	0.00		
X4*X4	1	1.90	1.90	10.69	0.00		
2-Way Interaction	2	1.98	0.99	5.58	0.01		
X2*X4	1	0.88	0.88	4.96	0.03		
X3*X5	1	1.47	1.47	8.26	0.01		
Error	32	5.69	0.18				
Total	41	27.35					

ตารางที่ ข56 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทน  
ตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25  
สูตรเชื่อเพลิง B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.70	0.14	39.94	0.00
X1	-0.22	0.16	-1.37	0.18
X2	-0.52	0.24	-2.18	0.04
X3	-0.61	0.20	-3.02	0.01
X4	-0.64	0.19	-3.39	0.00
X5	-0.19	0.15	-1.25	0.22
X3*X3	-0.98	0.27	-3.58	0.00
X4*X4	1.11	0.34	3.27	0.00
X2*X4	-0.73	0.33	-2.23	0.03
X3*X5	0.88	0.31	2.87	0.01



รูปที่ ข28 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปร  
ตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชิงพหุคูณ B

### 3. การเลือกตัวแปรแบบเดินหน้า (Forward selection)

#### 3.1 พิจารณาแอลฟา 0.10

ตัวแปรตอบสนอง Y1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

$$Y1 = 124.8 - 0.0992 X1 + 0.0419 X2 - 2.717 X3 + 4.95 X4 - 0.1771 X5 + 5.16 X8 + 0.00747 X2X4 + 0.003038 X3X5 - 0.01914 X4X5 \quad (\text{ข29})$$

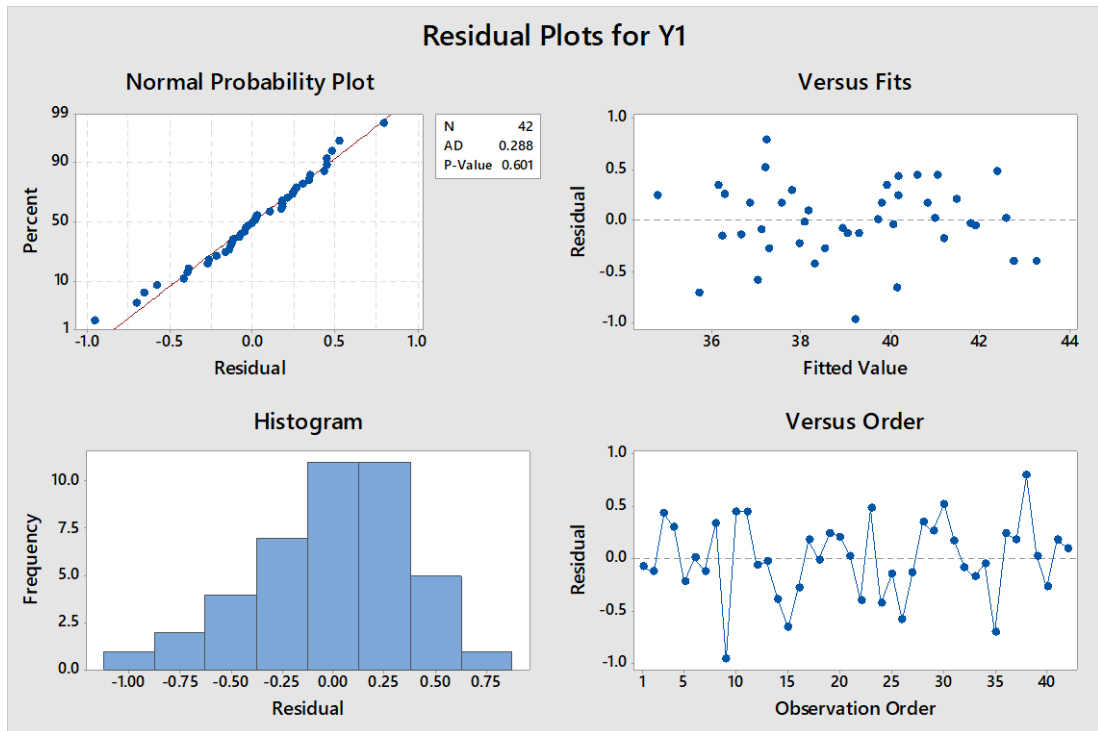
ตารางที่ ข57 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปร  
อิทธิพลร่วมในสมการแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชิงพหุคูณ B

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	9	191.03	21.23	126.19	0.00	97.26%	96.49%
Linear	6	144.23	24.04	142.91	0.00		
X1	1	3.22	3.22	19.15	0.00		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X2	1	0.78	0.78	4.63	0.04		
X3	1	0.09	0.09	0.56	0.46		
X4	1	0.41	0.41	2.45	0.13		
X5	1	6.06	6.06	36.05	0.00		
X8	1	0.14	0.14	0.85	0.36		
2-Way Interaction	3	4.21	1.40	8.34	0.00		
X2*X4	1	1.39	1.39	8.27	0.01		
X3*X5	1	2.57	2.57	15.27	0.00		
X4*X5	1	2.32	2.32	13.77	0.00		
Error	32	5.38	0.17				
Total	41	196.41					

ตารางที่ ข58 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทน  
ตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเดินทางของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชิงพีลิ่ง B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	39.00	0.34	114.04	0.00
X1	-0.67	0.15	-4.38	0.00
X2	5.55	2.58	2.15	0.04
X3	-1.31	1.76	-0.75	0.46
X4	-0.24	0.16	-1.57	0.13
X5	0.92	0.15	6.00	0.00
X8	1.90	2.06	0.92	0.36
X2*X4	0.91	0.32	2.88	0.01
X3*X5	1.13	0.29	3.91	0.00
X4*X5	-1.00	0.27	-3.71	0.00



รูปที่ ข29 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพล  
ร่วมในสมการแบบเดินทางของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชื่อเพลิง B

ตัวแปรตอบสนอง Y2

$$Y2 = -38.0 - 0.00468 X2 + 3.57 X3 - 0.1025 X5 - 0.0481 X3^2 + 0.001847 X3X5 \quad (\text{ข30})$$

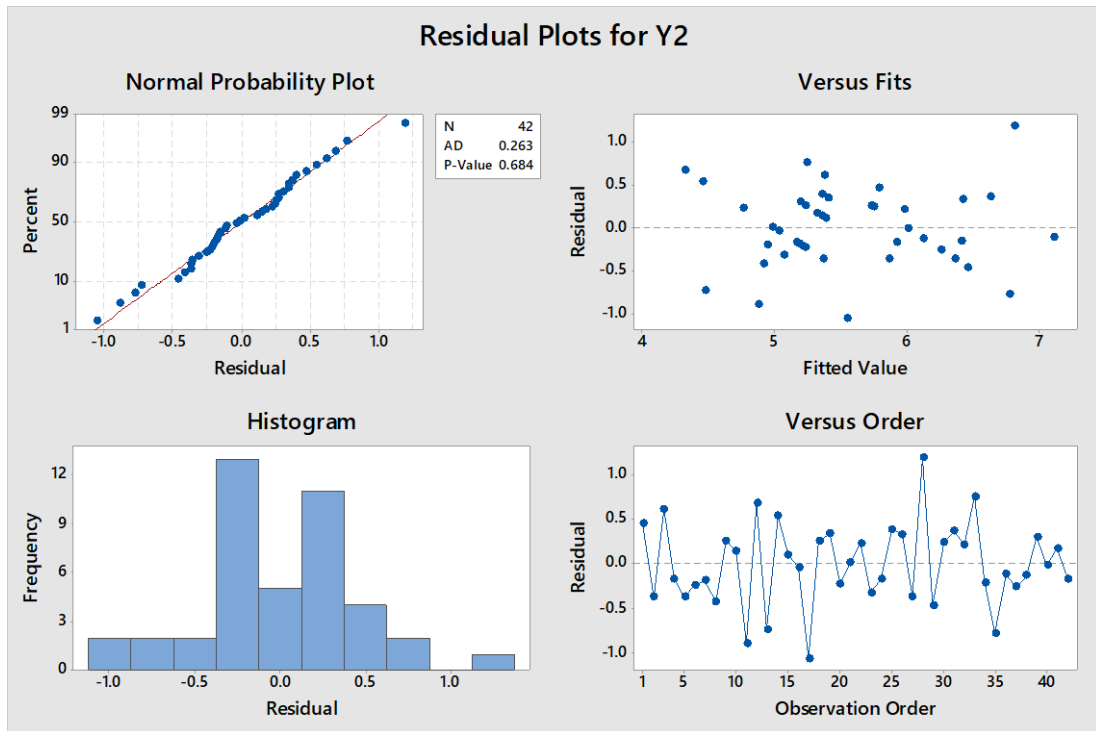
ตารางที่ ข59 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปร  
อิทธิพลร่วมในสมการแบบเดินทางของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชื่อเพลิง B

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	5	18.78	3.76	15.79	0.00	68.68%	64.32%
Linear	3	15.33	5.11	21.48	0.00		
X2	1	3.34	3.34	14.05	0.00		
X3	1	0.75	0.75	3.15	0.08		
X5	1	0.75	0.75	3.14	0.09		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Square	1	3.59	3.59	15.10	0.00		
X3*X3	1	3.59	3.59	15.10	0.00		
2-Way Interaction	1	0.95	0.95	4.01	0.05		
X3*X5	1	0.95	0.95	4.01	0.05		
Error	36	8.57	0.24				
Total	41	27.35					

ตารางที่ ข60 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเดินทางของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชิงพีลิ่ง B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.93	0.12	51.24	0.00
X2	-0.83	0.22	-3.75	0.00
X3	-0.39	0.22	-1.77	0.08
X5	-0.30	0.17	-1.77	0.09
X3*X3	-1.14	0.29	-3.89	0.00
X3*X5	0.68	0.34	2.00	0.05



รูปที่ ข30 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพล  
ร่วมในสมการแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชื่อเพลิง B

### 3.2 พิจารณาแอลฟา 0.15

ตัวแปรตอบสนอง Y1

$$Y1 = 124.8 - 0.0992 X1 + 0.0419 X2 - 2.717 X3 + 4.95 X4 \quad (ข31)$$

$$- 0.1771 X5 + 5.16 X8 + 0.00747 X2X4$$

$$+ 0.003038 X3X5 - 0.01914 X4X5$$

ตารางที่ ข61 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปร  
อิทธิพลร่วมในสมการแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื่อเพลิง B

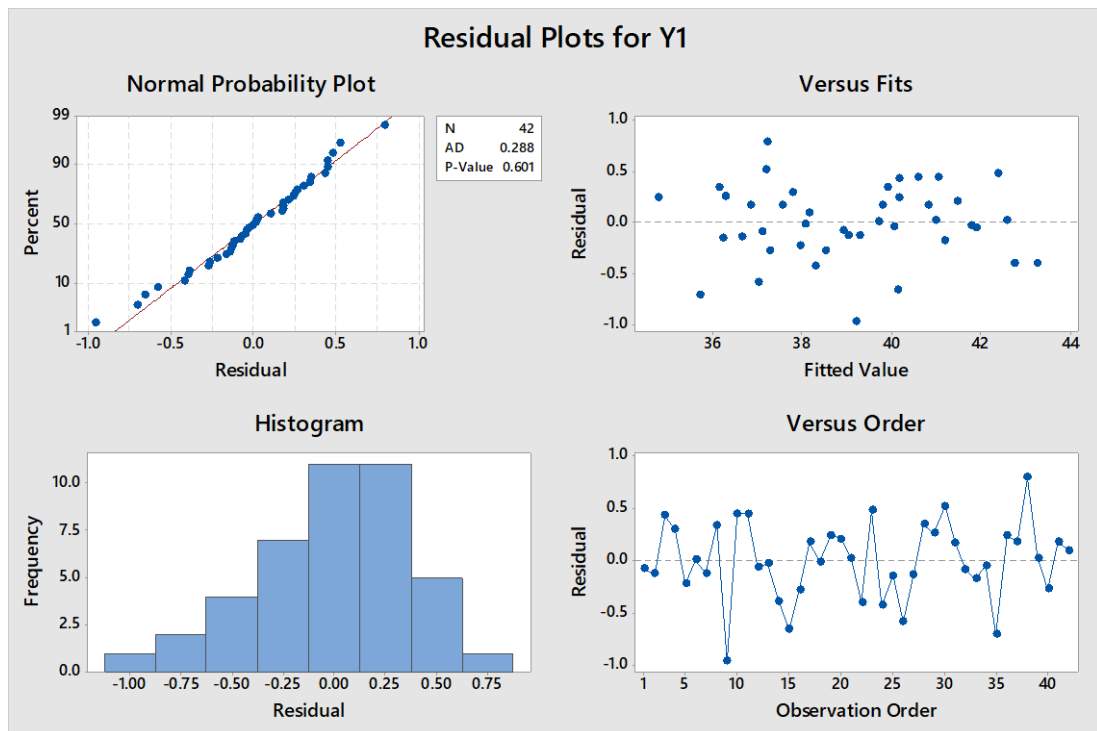
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	9	191.03	21.23	126.19	0.00	97.26%	96.49%
Linear	6	144.23	24.04	142.91	0.00		
X1	1	3.22	3.22	19.15	0.00		
X2	1	0.78	0.78	4.63	0.04		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X3	1	0.09	0.09	0.56	0.46		
X4	1	0.41	0.41	2.45	0.13		
X5	1	6.06	6.06	36.05	0.00		
X8	1	0.14	0.14	0.85	0.36		
2-Way Interaction	3	4.21	1.40	8.34	0.00		
X2*X4	1	1.39	1.39	8.27	0.01		
X3*X5	1	2.57	2.57	15.27	0.00		
X4*X5	1	2.32	2.32	13.77	0.00		
Error	32	5.38	0.17				
Total	41	196.41					

ตารางที่ ข62 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเดิหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	39.00	0.34	114.04	0.00
X1	-0.67	0.15	-4.38	0.00
X2	5.55	2.58	2.15	0.04
X3	-1.31	1.76	-0.75	0.46
X4	-0.24	0.16	-1.57	0.13
X5	0.92	0.15	6.00	0.00
X8	1.90	2.06	0.92	0.36
X2*X4	0.91	0.32	2.88	0.01
X3*X5	1.13	0.29	3.91	0.00
X4*X5	-1.00	0.27	-3.71	0.00





รูปที่ ข31 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพล  
ร่วมในสมการแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื่อเพลิง B

ตัวแปรตอบสนอง Y2

$$Y2 = 12.5 - 0.01000 X2 + 2.32 X3 + 13.29 X4 - 0.1174 X5 - 0.0391 X3^2 + 2.442 X4^2 - 0.00539 X2X4 + 0.002155 X3X5 \quad (\text{ข32})$$

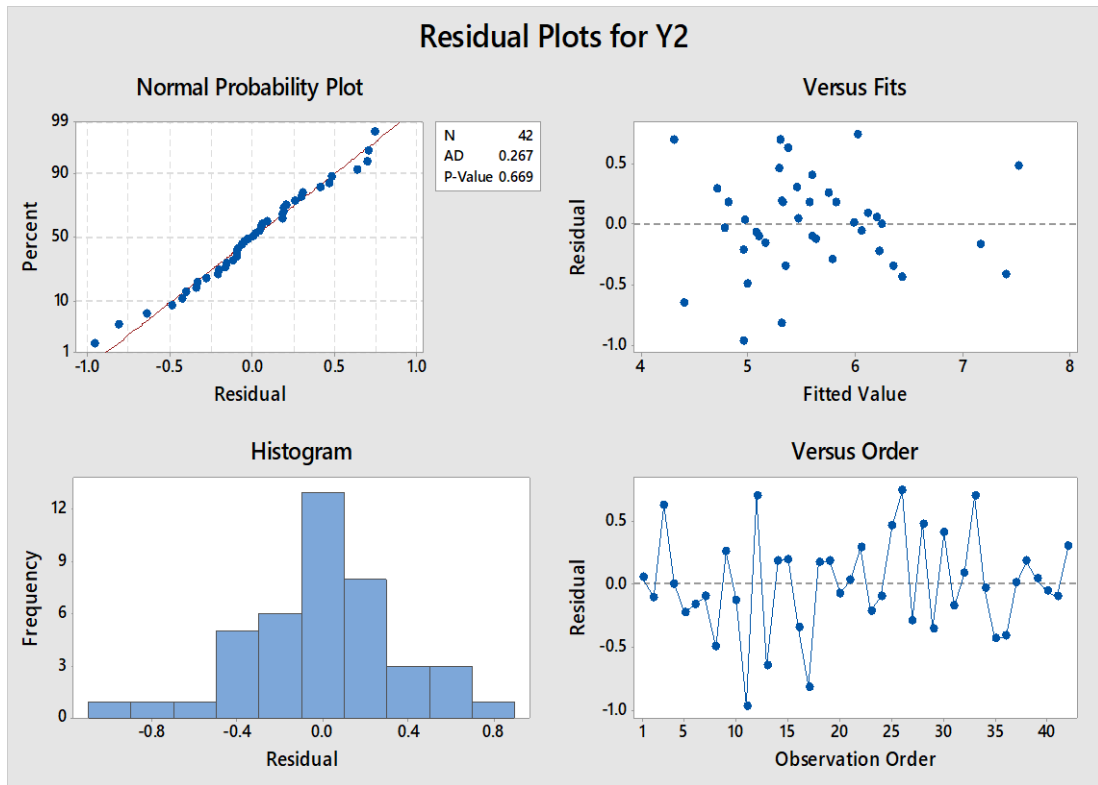
ตารางที่ ข63 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปร  
อิทธิพลร่วมในสมการแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชื่อเพลิง B

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	8	21.32	2.66	14.59	0.00	77.96%	72.62%
Linear	4	15.79	3.95	21.61	0.00		
X2	1	0.62	0.62	3.37	0.08		
X3	1	1.57	1.57	8.60	0.01		
X4	1	1.89	1.89	10.33	0.00		

X5	1	0.26	0.26	1.42	0.24		
Square	2	5.67	2.84	15.53	0.00		
X3*X3	1	2.09	2.09	11.43	0.00		
X4*X4	1	2.06	2.06	11.27	0.00		
2-Way Interaction	2	1.72	0.86	4.70	0.02		
X2*X4	1	0.73	0.73	4.00	0.05		
X3*X5	1	1.26	1.26	6.91	0.01		
Error	33	6.03	0.18				
Total	41	27.35					

ตารางที่ ข64 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเดินทางของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชิงพหุคูณ B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.67	0.14	39.64	0.00
X2	-0.42	0.23	-1.84	0.08
X3	-0.60	0.20	-2.93	0.01
X4	-0.61	0.19	-3.21	0.00
X5	-0.18	0.15	-1.19	0.24
X3*X3	-0.93	0.27	-3.38	0.00
X4*X4	1.15	0.34	3.36	0.00
X2*X4	-0.66	0.33	-2.00	0.05
X3*X5	0.80	0.30	2.63	0.01



รูปที่ ข32 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพล  
ร่วมในสมการแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชิงพีลิ่ง B

### 3.3 พิจารณาแอลฟา 0.25

ตัวแปรตอบสนอง Y1

$$Y1 = 124.8 - 0.0992 X1 + 0.0419 X2 - 2.717 X3 + 4.95 X4 - 0.1771 X5 + 5.16 X8 + 0.00747 X2X4 + 0.003038 X3X5 - 0.01914 X4X5 \quad (\text{ข33})$$

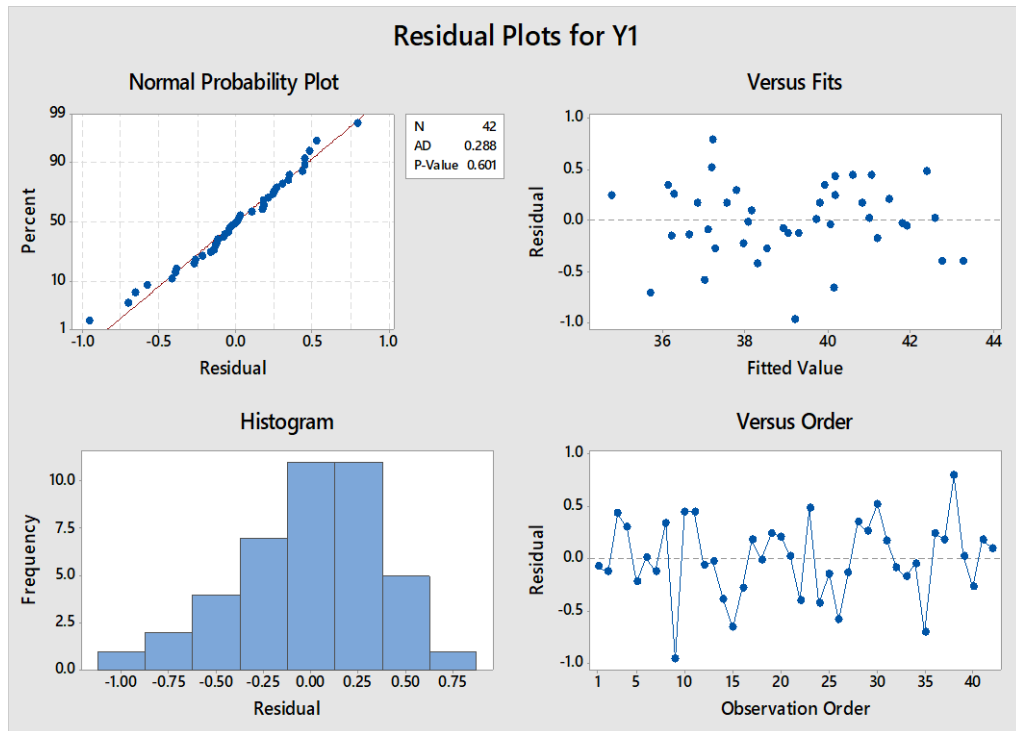
ตารางที่ ข65 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปร  
อิทธิพลร่วมในสมการแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชิงพีลิ่ง B

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	9	191.03	21.23	126.19	0.00	97.26%	96.49%
Linear	6	144.23	24.04	142.91	0.00		
X1	1	3.22	3.22	19.15	0.00		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X2	1	0.78	0.78	4.63	0.04		
X3	1	0.09	0.09	0.56	0.46		
X4	1	0.41	0.41	2.45	0.13		
X5	1	6.06	6.06	36.05	0.00		
X8	1	0.14	0.14	0.85	0.36		
2-Way Interaction	3	4.21	1.40	8.34	0.00		
X2*X4	1	1.39	1.39	8.27	0.01		
X3*X5	1	2.57	2.57	15.27	0.00		
X4*X5	1	2.32	2.32	13.77	0.00		
Error	32	5.38	0.17				
Total	41	196.41					

ตารางที่ ข66 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเดินทางของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	39.00	0.34	114.04	0.00
X1	-0.67	0.15	-4.38	0.00
X2	5.55	2.58	2.15	0.04
X3	-1.31	1.76	-0.75	0.46
X4	-0.24	0.16	-1.57	0.13
X5	0.92	0.15	6.00	0.00
X8	1.90	2.06	0.92	0.36
X2*X4	0.91	0.32	2.88	0.01
X3*X5	1.13	0.29	3.91	0.00
X4*X5	-1.00	0.27	-3.71	0.00



รูปที่ ข33 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพล  
ร่วมในสมการแบบเดินทางของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง B

ตัวแปรตอบสนอง Y2

$$\begin{aligned}
 Y2 = & 18.7 - 0.0322 X1 - 0.01141 X2 + 2.37 X3 + 13.85 X4 \\
 & - 0.1288 X5 - 0.0412 X3^2 + 2.356 X4^2 - 0.00601 X2X4 \\
 & + 0.002367 X3X5
 \end{aligned}
 \tag{ข34}$$

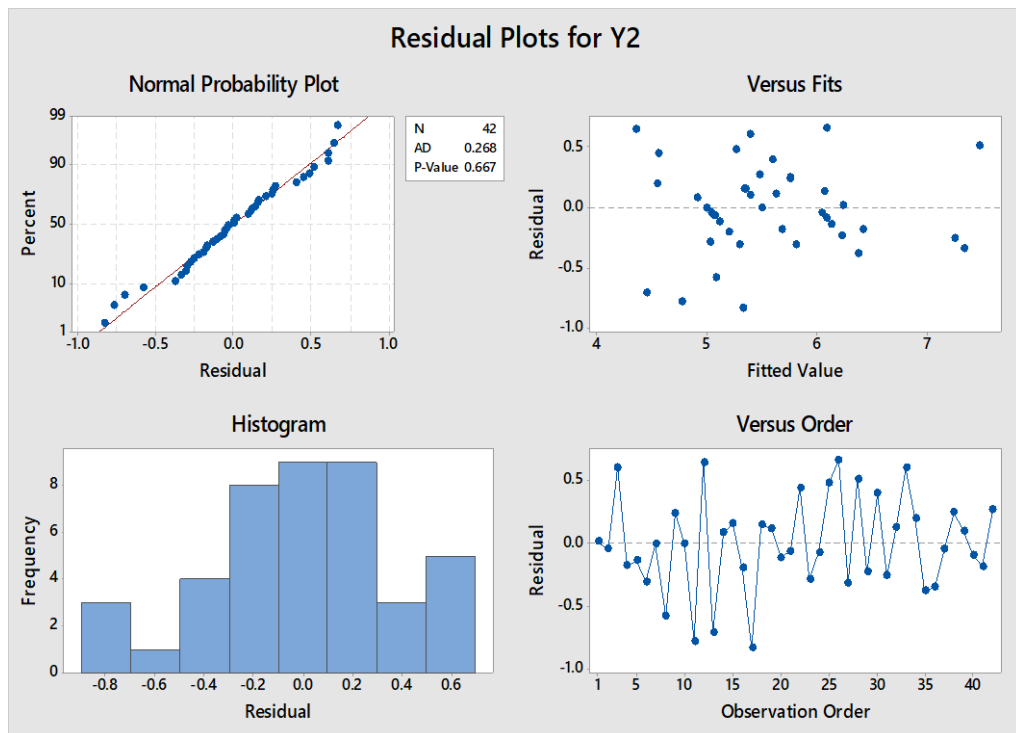
ตารางที่ ข67 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปร  
อิทธิพลร่วมในสมการแบบเดินทางของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง B

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	9	21.65	2.41	13.52	0.00	79.18%	73.33%
Linear	5	16.12	3.22	18.13	0.00		
X1	1	0.33	0.33	1.88	0.18		
X2	1	0.84	0.84	4.74	0.04		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X3	1	1.62	1.62	9.13	0.01		
X4	1	2.04	2.04	11.49	0.00		
X5	1	0.28	0.28	1.57	0.22		
Square	2	5.78	2.89	16.24	0.00		
X3*X3	1	2.28	2.28	12.81	0.00		
X4*X4	1	1.90	1.90	10.69	0.00		
2-Way Interaction	2	1.98	0.99	5.58	0.01		
X2*X4	1	0.88	0.88	4.96	0.03		
X3*X5	1	1.47	1.47	8.26	0.01		
Error	32	5.69	0.18				
Total	41	27.35					

ตารางที่ ข68 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทน  
ตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเต็มหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.70	0.14	39.94	0.00
X1	-0.22	0.16	-1.37	0.18
X2	-0.52	0.24	-2.18	0.04
X3	-0.61	0.20	-3.02	0.01
X4	-0.64	0.19	-3.39	0.00
X5	-0.19	0.15	-1.25	0.22
X3*X3	-0.98	0.27	-3.58	0.00
X4*X4	1.11	0.34	3.27	0.00
X2*X4	-0.73	0.33	-2.23	0.03
X3*X5	0.88	0.31	2.87	0.01



รูปที่ ข34 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพล  
ร่วมในสมการแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชิงพีลิ่ง B

#### 4. การกำจัดตัวแปรแบบถอยหลัง (Backward elimination)

##### 4.1 พิจารณาแอลฟา 0.10

ตัวแปรตอบสนอง Y1

$$Y1 = 142.5 - 0.0974 X1 + 0.03021 X2 - 2.4 X3 + 4.35 X4 - 0.1796 X5 + 0.00867 X2X4 + 0.003057 X3X5 - 0.02034 X4X5 \quad (\text{ข35})$$

ตารางที่ ข69 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปร  
อิทธิพลร่วมในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตร  
เชิงพีลิ่ง B

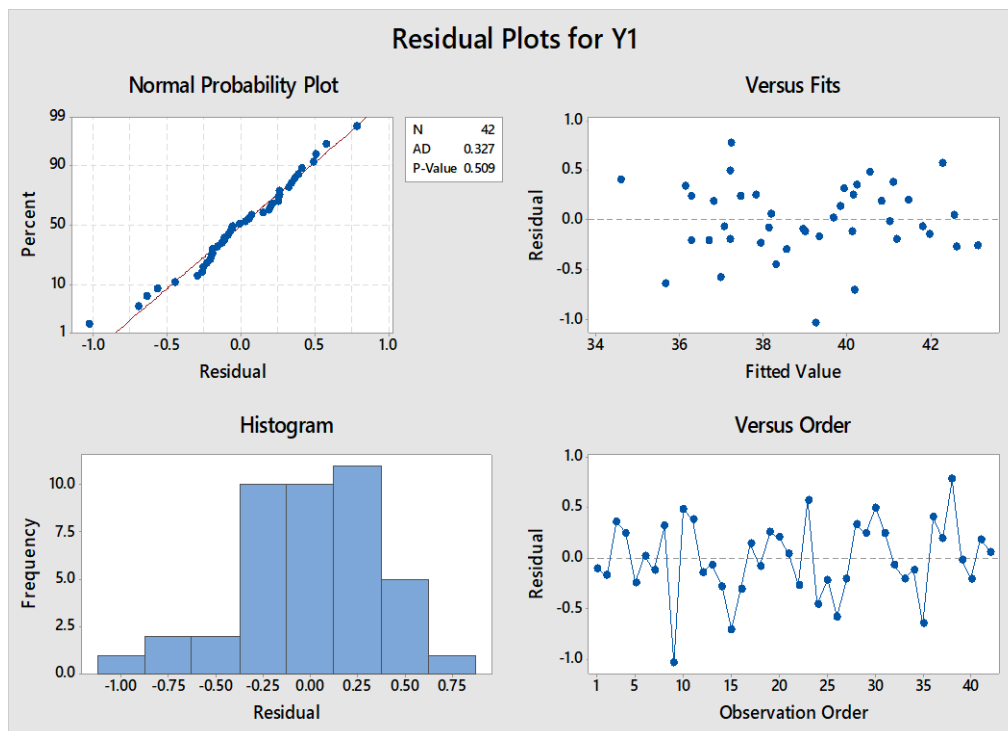
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	8	190.89	23.86	142.52	0.00	97.19%	96.51%

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Linear	5	144.09	28.82	172.13	0.00		
X1	1	3.13	3.13	18.69	0.00		
X2	1	38.53	38.53	230.15	0.00		
X3	1	0.46	0.46	2.72	0.11		
X4	1	0.33	0.33	1.96	0.17		
X5	1	6.40	6.40	38.24	0.00		
2-Way Interaction	3	5.31	1.77	10.58	0.00		
X2*X4	1	2.49	2.49	14.88	0.00		
X3*X5	1	2.60	2.60	15.55	0.00		
X4*X5	1	2.80	2.80	16.70	0.00		
Error	33	5.53	0.17				
Total	41	196.41					

ตารางที่ ข70 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบจำกัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	38.70	0.09	435.60	0.00
X1	-0.65	0.15	-4.32	0.00
X2	3.19	0.21	15.17	0.00
X3	0.30	0.18	1.65	0.11
X4	-0.21	0.15	-1.40	0.17
X5	0.93	0.15	6.18	0.00
X2*X4	1.06	0.27	3.86	0.00
X3*X5	1.13	0.29	3.94	0.00
X4*X5	-1.07	0.26	-4.09	0.00





รูปที่ ข35 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง B

ตัวแปรตอบสนอง Y2

$$Y2 = 212.6 - 0.305 X2 + 10.39 X3 + 4.64 X4 - 0.2261 X5 - 52.3 X8 \quad (\text{ข36}) \\ + 0.000062 X2^2 - 0.0664 X3 * X3 + 1.914 X4^2 + 0.000138 X5^2$$

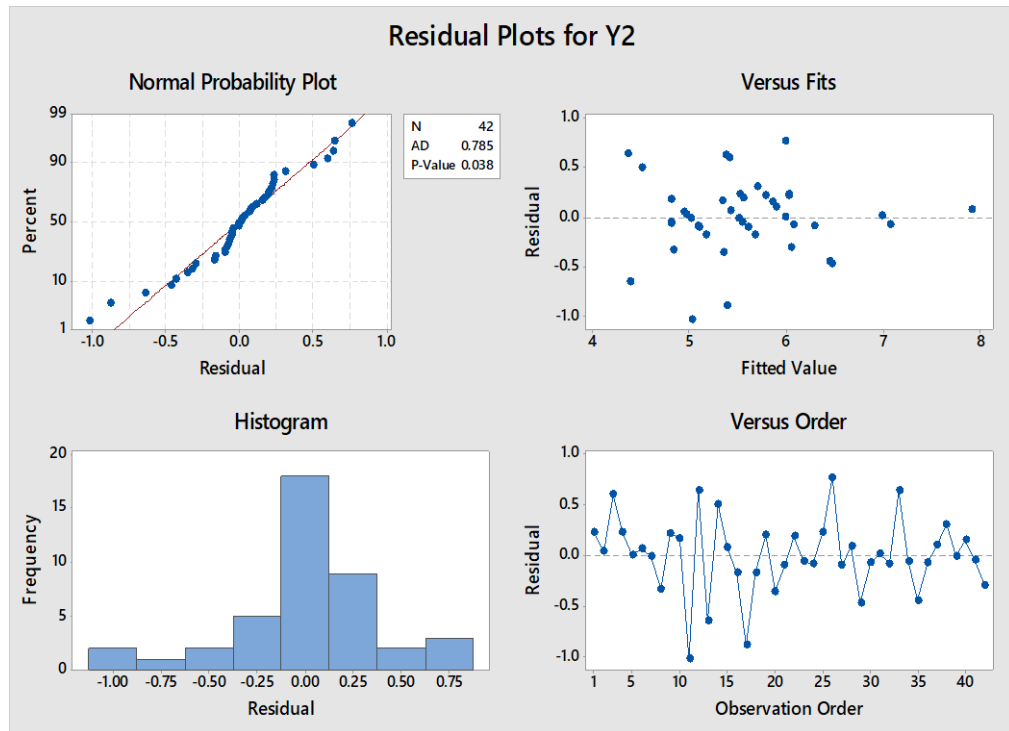
ตารางที่ ข71 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง B

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	9	21.83	2.43	14.06	0.00	79.81%	74.14%
Linear	5	17.37	3.47	20.14	0.00		
X2	1	1.39	1.39	8.04	0.01		
X3	1	1.28	1.28	7.41	0.01		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X4	1	1.87	1.87	10.85	0.00		
X5	1	0.43	0.43	2.48	0.13		
X8	1	1.30	1.30	7.55	0.01		
Square	4	5.49	1.37	7.96	0.00		
X2*X2	1	1.00	1.00	5.80	0.02		
X3*X3	1	2.40	2.40	13.93	0.00		
X4*X4	1	1.74	1.74	10.11	0.00		
X5*X5	1	1.56	1.56	9.07	0.01		
Error	32	5.52	0.17				
Total	41	27.35					

ตารางที่ ข72 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบจำกัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชื่อเพลิง B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	2.27	1.20	1.89	0.07
X2	-24.42	8.61	-2.84	0.01
X3	16.07	5.91	2.72	0.01
X4	-0.53	0.16	-3.29	0.00
X5	-0.23	0.15	-1.57	0.13
X8	-19.24	7.00	-2.75	0.01
X2*X2	1.95	0.81	2.41	0.02
X3*X3	-1.57	0.42	-3.73	0.00
X4*X4	0.91	0.28	3.18	0.00
X5*X5	0.80	0.27	3.01	0.01



รูปที่ ข36 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง B

#### 4.2 พิจารณาแอลฟา 0.15

ตัวแปรตอบสนอง Y1

$$Y1 = 142.5 - 0.0974 X1 + 0.03021 X2 - 2.4 X3 + 4.35 X4 - 0.1796 X5 + 0.00867 X2X4 + 0.003057 X3X5 - 0.02034 X4X5 \quad (\text{ข37})$$

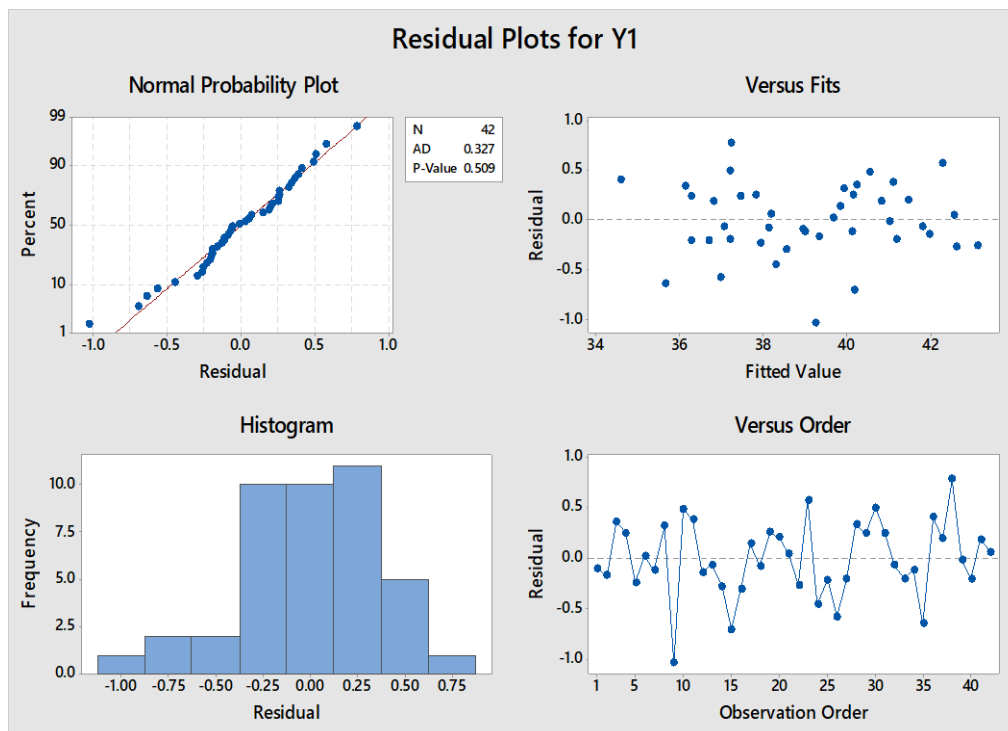
ตารางที่ ข73 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง B

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	8	190.89	23.86	142.52	0.00	97.19%	96.51%
Linear	5	144.09	28.82	172.13	0.00		
X1	1	3.13	3.13	18.69	0.00		
X2	1	38.53	38.53	230.15	0.00		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X3	1	0.46	0.46	2.72	0.11		
X4	1	0.33	0.33	1.96	0.17		
X5	1	6.40	6.40	38.24	0.00		
2-Way Interaction	3	5.31	1.77	10.58	0.00		
X2*X4	1	2.49	2.49	14.88	0.00		
X3*X5	1	2.60	2.60	15.55	0.00		
X4*X5	1	2.80	2.80	16.70	0.00		
Error	33	5.53	0.17				
Total	41	196.41					

ตารางที่ ข74 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	38.70	0.09	435.60	0.00
X1	-0.65	0.15	-4.32	0.00
X2	3.19	0.21	15.17	0.00
X3	0.30	0.18	1.65	0.11
X4	-0.21	0.15	-1.40	0.17
X5	0.93	0.15	6.18	0.00
X2*X4	1.06	0.27	3.86	0.00
X3*X5	1.13	0.29	3.94	0.00
X4*X5	-1.07	0.26	-4.09	0.00



รูปที่ ข37 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง B

ตัวแปรตอบสนอง Y2

$$Y2 = 212.6 - 0.305 X2 + 10.39 X3 + 4.64 X4 - 0.2261 X5 - 52.3 X8 \quad (\text{ข38}) \\ + 0.000062 X2^2 - 0.0664 X3 * X3 + 1.914 X4^2 + 0.000138 X5^2$$

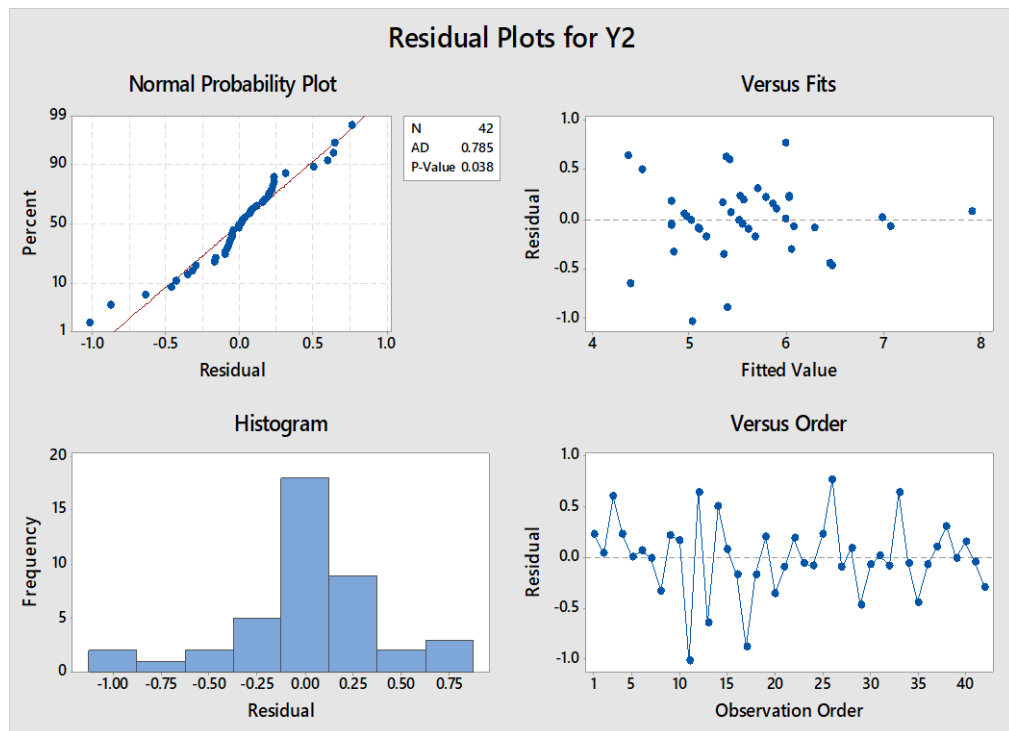
ตารางที่ ข75 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง B

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	9	21.83	2.43	14.06	0.00	79.81%	74.14%
Linear	5	17.37	3.47	20.14	0.00		
X2	1	1.39	1.39	8.04	0.01		
X3	1	1.28	1.28	7.41	0.01		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X4	1	1.87	1.87	10.85	0.00		
X5	1	0.43	0.43	2.48	0.13		
X8	1	1.30	1.30	7.55	0.01		
Square	4	5.49	1.37	7.96	0.00		
X2*X2	1	1.00	1.00	5.80	0.02		
X3*X3	1	2.40	2.40	13.93	0.00		
X4*X4	1	1.74	1.74	10.11	0.00		
X5*X5	1	1.56	1.56	9.07	0.01		
Error	32	5.52	0.17				
Total	41	27.35					

ตารางที่ ข76 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบจำกัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชื่อเพลิง B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	2.27	1.20	1.89	0.07
X2	-24.42	8.61	-2.84	0.01
X3	16.07	5.91	2.72	0.01
X4	-0.53	0.16	-3.29	0.00
X5	-0.23	0.15	-1.57	0.13
X8	-19.24	7.00	-2.75	0.01
X2*X2	1.95	0.81	2.41	0.02
X3*X3	-1.57	0.42	-3.73	0.00
X4*X4	0.91	0.28	3.18	0.00
X5*X5	0.80	0.27	3.01	0.01



รูปที่ ข38 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง B

#### 4.3 พิจารณาแอลฟา 0.25

ตัวแปรตอบสนอง Y1

$$\begin{aligned}
 Y1 = & 108.4 - 0.561 X1 + 0.03015 X2 - 0.96 X3 - 1.74 X4 - 0.1782 X5 & (ข39) \\
 & + 0.00775 X1^2 - 0.0141 X3^2 + 0.0950 X1X4 + 0.00844 X2*X4 \\
 & + 0.003117 X3X5 - 0.01697 X4X5
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ข77 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง B

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	11	191.62	17.42	109.06	0.00	97.56%	96.67%
Linear	5	141.11	28.22	176.68	0.00		
X1	1	3.48	3.48	21.76	0.00		
X2	1	37.53	37.53	234.97	0.00		

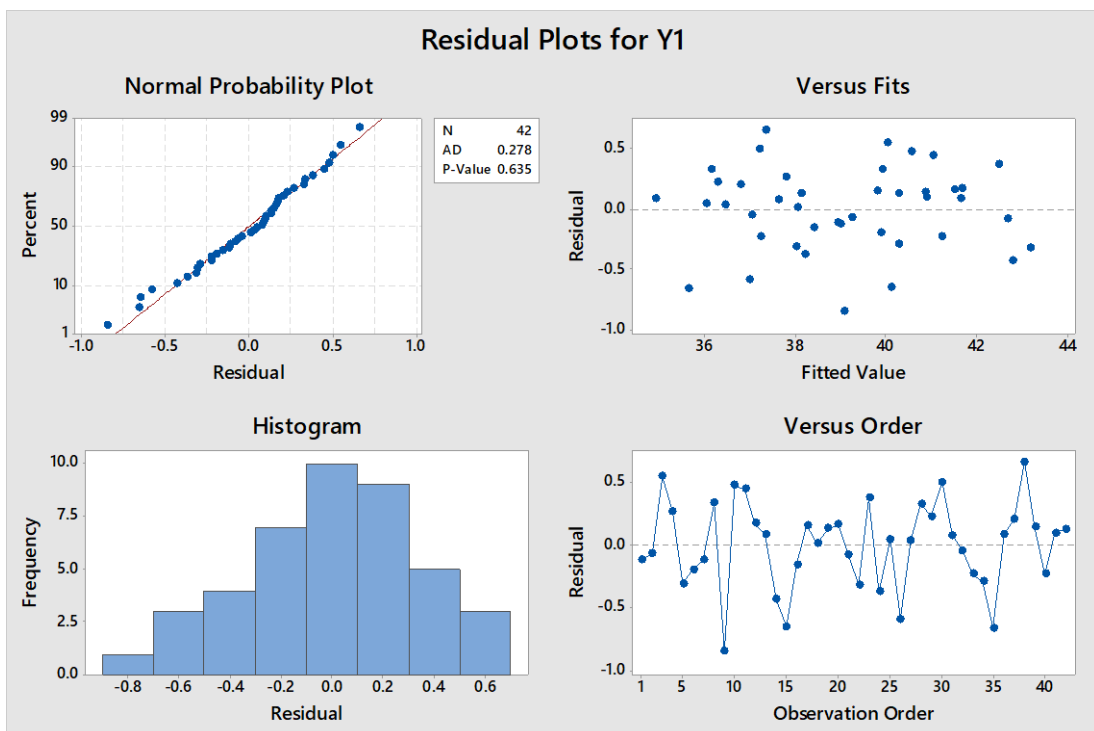
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X3	1	0.21	0.21	1.31	0.26		
X4	1	0.62	0.62	3.89	0.06		
X5	1	5.63	5.63	35.22	0.00		
Square	2	0.68	0.34	2.12	0.14		
X1*X1	1	0.35	0.35	2.19	0.15		
X3*X3	1	0.28	0.28	1.77	0.19		
2-Way Interaction	4	5.37	1.34	8.40	0.00		
X1*X4	1	0.26	0.26	1.64	0.21		
X2*X4	1	2.22	2.22	13.91	0.00		
X3*X5	1	2.24	2.24	14.01	0.00		
X4*X5	1	1.44	1.44	9.03	0.01		
Error	30	4.79	0.16				
Total	41	196.41					

ตารางที่ ข78 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	38.73	0.12	322.53	0.00
X1	-0.77	0.17	-4.67	0.00
X2	3.23	0.21	15.33	0.00
X3	0.22	0.19	1.15	0.26
X4	-0.30	0.15	-1.97	0.06
X5	0.92	0.16	5.93	0.00
X1*X1	0.35	0.24	1.48	0.15
X3*X3	-0.33	0.25	-1.33	0.19



Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
X1*X4	0.44	0.34	1.28	0.21
X2*X4	1.03	0.28	3.73	0.00
X3*X5	1.16	0.31	3.74	0.00
X4*X5	-0.89	0.30	-3.01	0.01



รูปที่ ข39 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง B

### ตัวแปรตอบสนอง Y2

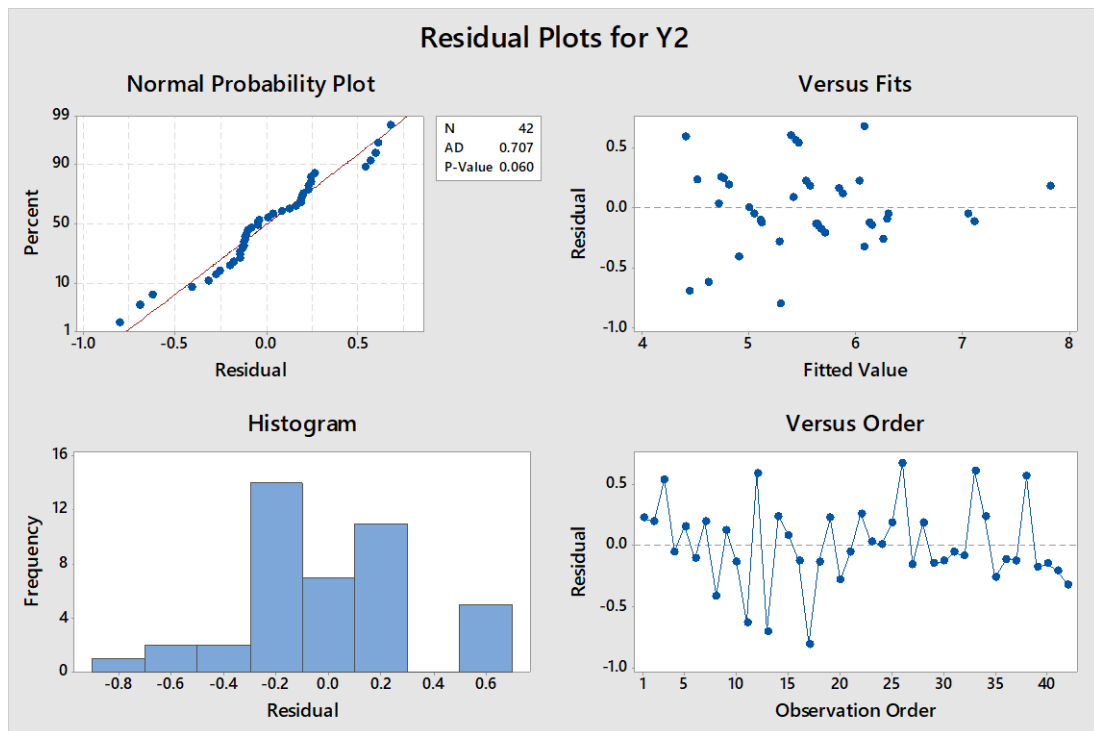
$$\begin{aligned}
 Y2 = & 301.1 - 1.017 X1 - 0.377 X2 + 9.73 X3 + 20.54 X4 - 0.2342 X5 & (\text{ข40}) \\
 & - 48.9 X8 + 0.000079 X2^2 - 0.0621 X3^2 + 2.173 X4^2 \\
 & + 0.000143 X5^2 + 0.000588 X1X2 - 0.1344 X1X4 \\
 & - 0.00761 X2X4
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ข79 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปร  
อิทธิพลร่วมในสมการแบบจำกัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตร  
เชื้อเพลิง B

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	13	22.91	1.76	11.14	0.00	83.79%	76.27%
Linear	6	16.28	2.71	17.14	0.00		
X1	1	0.28	0.28	1.78	0.19		
X2	1	1.11	1.11	7.01	0.01		
X3	1	1.03	1.03	6.48	0.02		
X4	1	1.97	1.97	12.45	0.00		
X5	1	0.56	0.56	3.55	0.07		
X8	1	1.03	1.03	6.51	0.02		
Square	4	4.63	1.16	7.32	0.00		
X2*X2	1	1.45	1.45	9.19	0.01		
X3*X3	1	1.86	1.86	11.74	0.00		
X4*X4	1	1.46	1.46	9.22	0.01		
X5*X5	1	1.50	1.50	9.49	0.01		
2-Way Interaction	3	0.77	0.26	1.63	0.20		
X1*X2	1	0.45	0.45	2.85	0.10		
X1*X4	1	0.34	0.34	2.16	0.15		
X2*X4	1	0.72	0.72	4.53	0.04		
Error	28	4.43	0.16				
Total	41	27.35					

ตารางที่ ข80 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทน  
ตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบจำกัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25  
สูตรเชื่อเพลิง B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	2.42	1.19	2.02	0.05
X1	-0.22	0.16	-1.33	0.19
X2	-22.93	8.66	-2.65	0.01
X3	15.09	5.93	2.54	0.02
X4	-0.64	0.18	-3.53	0.00
X5	-0.28	0.15	-1.88	0.07
X8	-17.99	7.05	-2.55	0.02
X2*X2	2.50	0.83	3.03	0.01
X3*X3	-1.47	0.43	-3.43	0.00
X4*X4	1.03	0.34	3.04	0.01
X5*X5	0.83	0.27	3.08	0.01
X1*X2	0.70	0.42	1.69	0.10
X1*X4	-0.62	0.42	-1.47	0.15
X2*X4	-0.93	0.44	-2.13	0.04



รูปที่ ข40 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง B

พิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการ

1. พิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัวในสมการ (Full model)

ตัวแปรตอบสนอง Y1

$$\begin{aligned}
 Y1 = & 0 - 2.89 X1 + 180.3 X8 + 21.9 X4 - 0.503 X5 + 0.0572 X1^2 & (ข41) \\
 & - 22.71 X8^2 + 1.53 X4^2 + 0.000329 X5^2 - 0.609 X1X8 \\
 & + 0.457 X1X4 + 0.00131 X1X5 - 8.47 X8X4 \\
 & - 0.0193 X8X5 - 0.0069 X4X5
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ข81 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบพิจารณาตัวแปรทุกตัวของตัวแปรตอบสนอง Y1 สูตรเชื้อเพลิง B

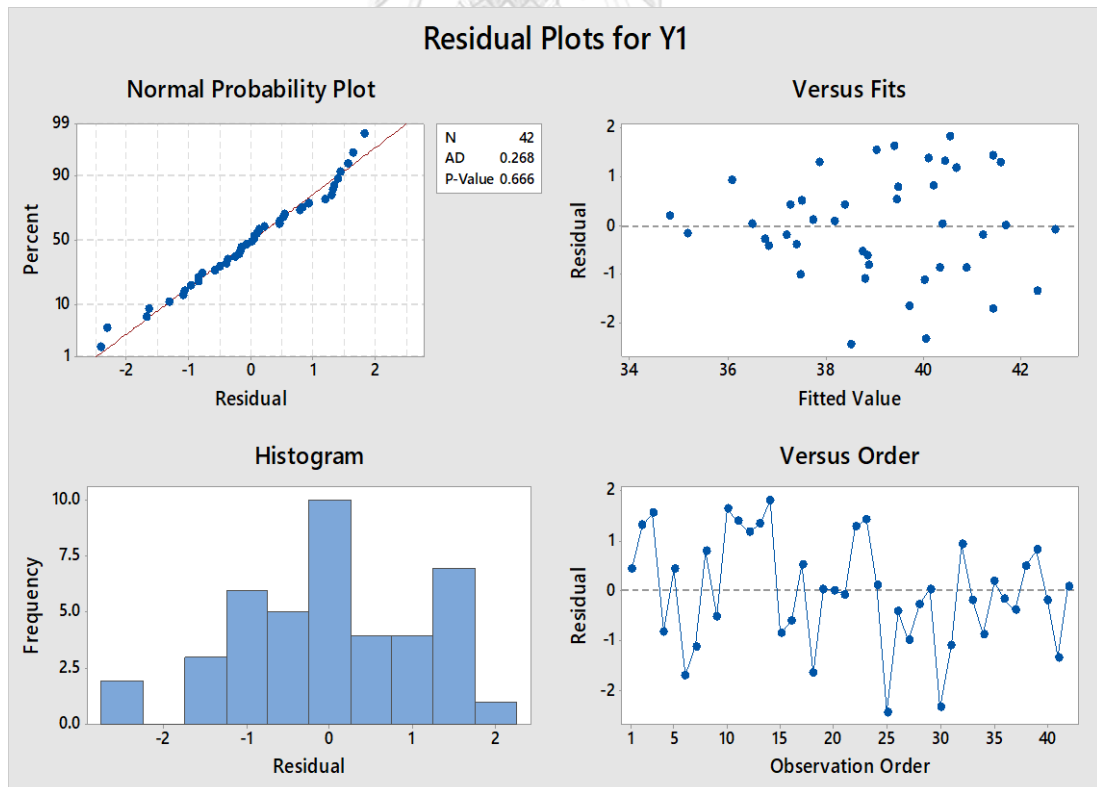
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	14	149.08	10.65	6.07	0.00	75.90%	63.40%
Linear	4	79.04	19.76	11.27	0.00		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X1	1	12.39	12.39	7.07	0.01		
X8	1	5.51	5.51	3.14	0.09		
X4	1	0.17	0.17	0.09	0.76		
X5	1	12.65	12.65	7.21	0.01		
Square	4	25.19	6.30	3.59	0.02		
X1*X1	1	9.34	9.34	5.33	0.03		
X8*X8	1	12.61	12.61	7.19	0.01		
X4*X4	1	0.82	0.82	0.47	0.50		
X5*X5	1	6.78	6.78	3.87	0.06		
2-Way Interaction	6	16.50	2.75	1.57	0.20		
X1*X8	1	1.99	1.99	1.13	0.30		
X1*X4	1	5.32	5.32	3.03	0.09		
X1*X5	1	0.75	0.75	0.43	0.52		
X8*X4	1	5.76	5.76	3.28	0.08		
X8*X5	1	0.46	0.46	0.26	0.61		
X4*X5	1	0.23	0.23	0.13	0.72		
Error	27	47.34	1.75				
Total	41	196.41					

ตารางที่ ข82 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบพิจารณาตัวแปรทุกตัวของตัวแปรตอบสนอง Y1 สูตรเชื้อเพลิง B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	37.78	0.46	82.74	0.00
X1	-2.04	0.77	-2.66	0.01
X8	-1.36	0.77	-1.77	0.09
X4	-0.19	0.61	-0.31	0.76

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
X5	1.53	0.57	2.69	0.01
X1*X1	2.58	1.12	2.31	0.03
X8*X8	-3.08	1.15	-2.68	0.01
X4*X4	0.72	1.06	0.69	0.50
X5*X5	1.91	0.97	1.97	0.06
X1*X8	-1.50	1.41	-1.07	0.30
X1*X4	2.11	1.21	1.74	0.09
X1*X5	0.67	1.03	0.65	0.52
X8*X4	-2.14	1.18	-1.81	0.08
X8*X5	-0.54	1.05	-0.51	0.61
X4*X5	-0.36	0.99	-0.36	0.72



รูปที่ ข41 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบพิจารณาตัวแปรทุกตัวของตัวแปรตอบสนอง Y1 สูตรเชิงพีลิ่ง B

## ตัวแปรตอบสนอง 2

$$\begin{aligned}
 Y2 = & 179.6 + 0.15 X1 - 48.8 X8 + 8.2 X4 - 0.214 X5 - 0.0243 X1*X1 \quad (ข42) \\
 & + 2.95 X8^2 + 2.492 X4^2 + 0.000090 X5^2 + 0.461 X1X8 \\
 & - 0.150 X1X4 - 0.000108 X1X5 + 2.06 X8X4 + 0.0174 X8X5 \\
 & - 0.00464 X4X5
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ข83 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบพิจารณาตัวแปรทุกตัวของตัวแปรตอบสนอง Y2 สูตรเชื่อมเพลิง B

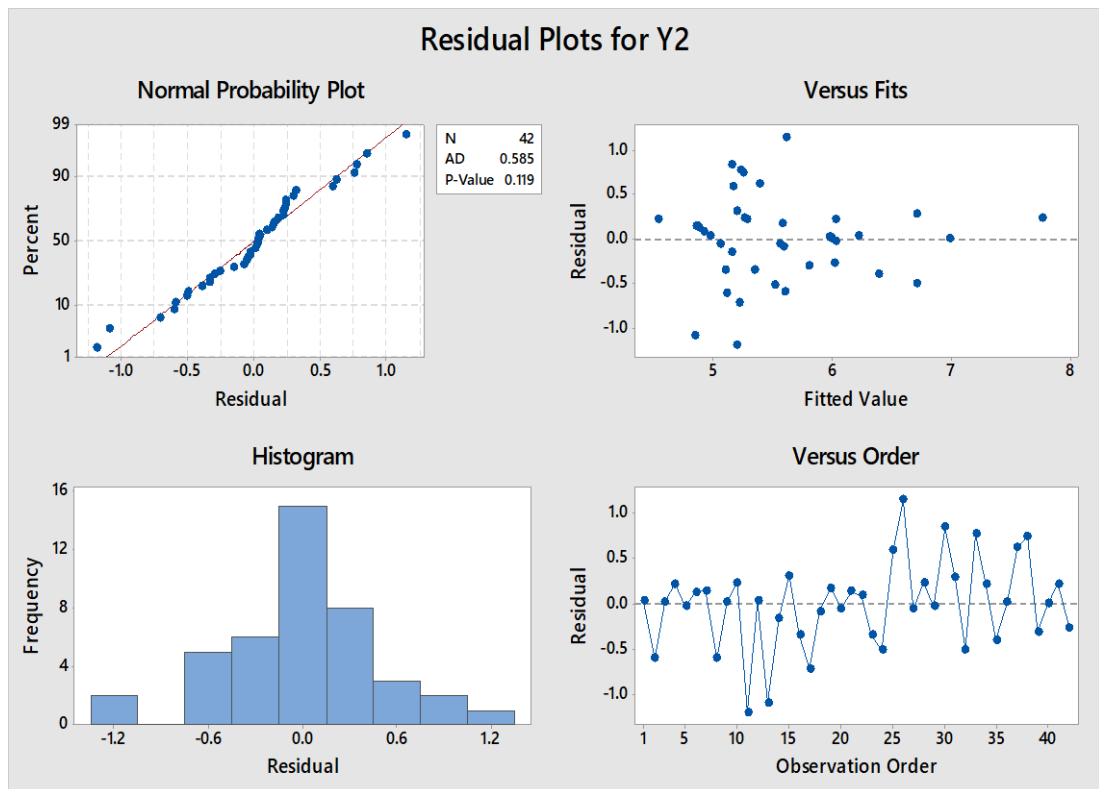
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	14	17.96	1.28	3.69	0.00	65.67%	47.87%
Linear	4	10.12	2.53	7.28	0.00		
X1	1	0.52	0.52	1.49	0.23		
X8	1	0.00	0.00	0.01	0.94		
X4	1	2.67	2.67	7.67	0.01		
X5	1	1.09	1.09	3.12	0.09		
Square	4	5.06	1.26	3.64	0.02		
X1*X1	1	1.68	1.68	4.83	0.04		
X8*X8	1	0.21	0.21	0.61	0.44		
X4*X4	1	2.18	2.18	6.27	0.02		
X5*X5	1	0.51	0.51	1.47	0.24		
2-Way Interaction	6	2.11	0.35	1.01	0.44		
X1*X8	1	1.14	1.14	3.28	0.08		
X1*X4	1	0.57	0.57	1.65	0.21		
X1*X5	1	0.01	0.01	0.01	0.90		
X8*X4	1	0.34	0.34	0.98	0.33		
X8*X5	1	0.38	0.38	1.08	0.31		
X4*X5	1	0.11	0.11	0.30	0.59		
Error	27	9.39	0.35				

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Total	41	27.35					

ตารางที่ ข84 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบพิจารณาตัวแปรทุกตัวของตัวแปรตอบสนอง Y2 สูตรเชื้อเพลิง B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.45	0.20	26.79	0.00
X1	0.42	0.34	1.22	0.23
X8	0.02	0.34	0.07	0.94
X4	-0.75	0.27	-2.77	0.01
X5	-0.45	0.25	-1.77	0.09
X1*X1	-1.09	0.50	-2.20	0.04
X8*X8	0.40	0.51	0.78	0.44
X4*X4	1.18	0.47	2.50	0.02
X5*X5	0.53	0.43	1.21	0.24
X1*X8	1.14	0.63	1.81	0.08
X1*X4	-0.69	0.54	-1.28	0.21
X1*X5	-0.06	0.46	-0.12	0.90
X8*X4	0.52	0.53	0.99	0.33
X8*X5	0.49	0.47	1.04	0.31
X4*X5	-0.24	0.44	-0.55	0.59





รูปที่ ข42 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบพิจารณาตัวแปรทุกตัวของตัวแปรตอบสนอง Y2 สูตรเชื้อเพลิง B

2. การเลือกตัวแปรโดยการเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอน (Stepwise regression)
  - 2.1 พิจารณาแอลฟา 0.10

ตัวแปรตอบสนอง Y1

$$Y1 = 40.44 - 0.1972 X1 - 3.50 X8 + 0.02169 X5$$

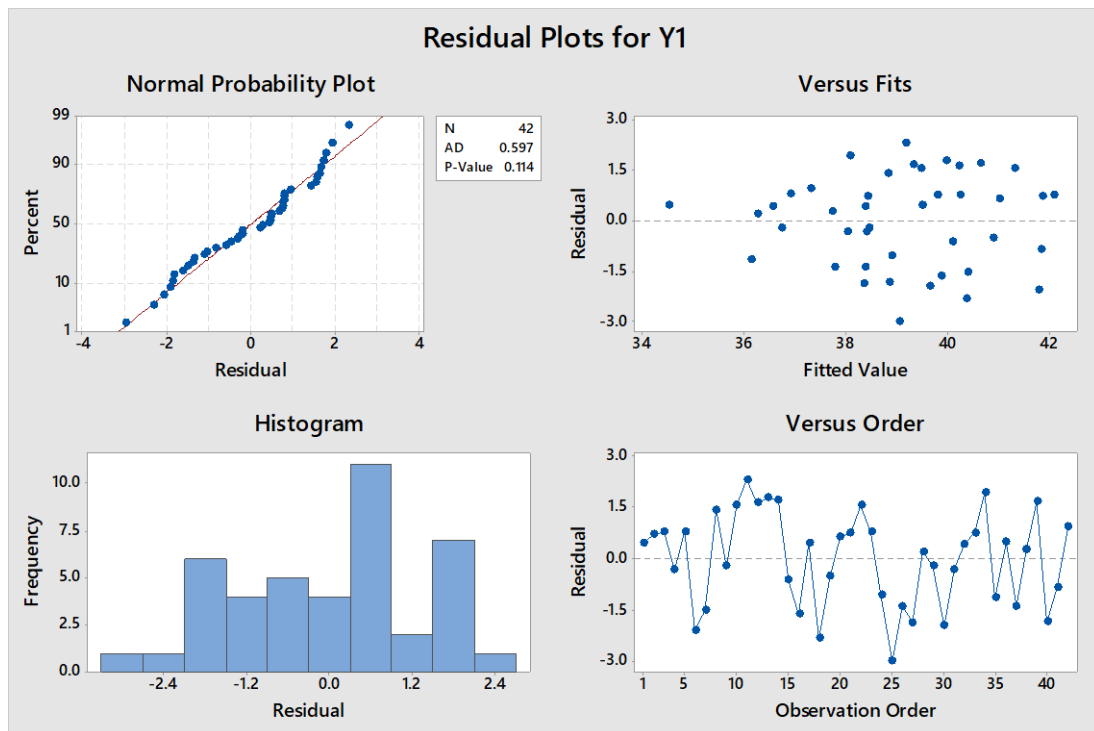
(ข43)

ตารางที่ ข85 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง B

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	3	121.46	40.49	20.53	0.00	61.84%	58.83%
Linear	3	121.46	40.49	20.53	0.00		
X1	1	15.34	15.34	7.78	0.01		
X8	1	14.14	14.14	7.17	0.01		
X5	1	30.37	30.37	15.40	0.00		
Error	38	74.95	1.97				
Total	41	196.41					

ตารางที่ ข86 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	38.39	0.25	154.43	0.00
X1	-1.32	0.48	-2.79	0.01
X8	-1.29	0.48	-2.68	0.01
X5	1.65	0.42	3.92	0.00



รูปที่ ข43 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชื่อเพลิง B

ตัวแปรตอบสนอง Y2

$$Y2 = 15.72 + 5.06 X4 - 0.00893 X5 + 2.114 X4^2 \quad (\text{ข44})$$

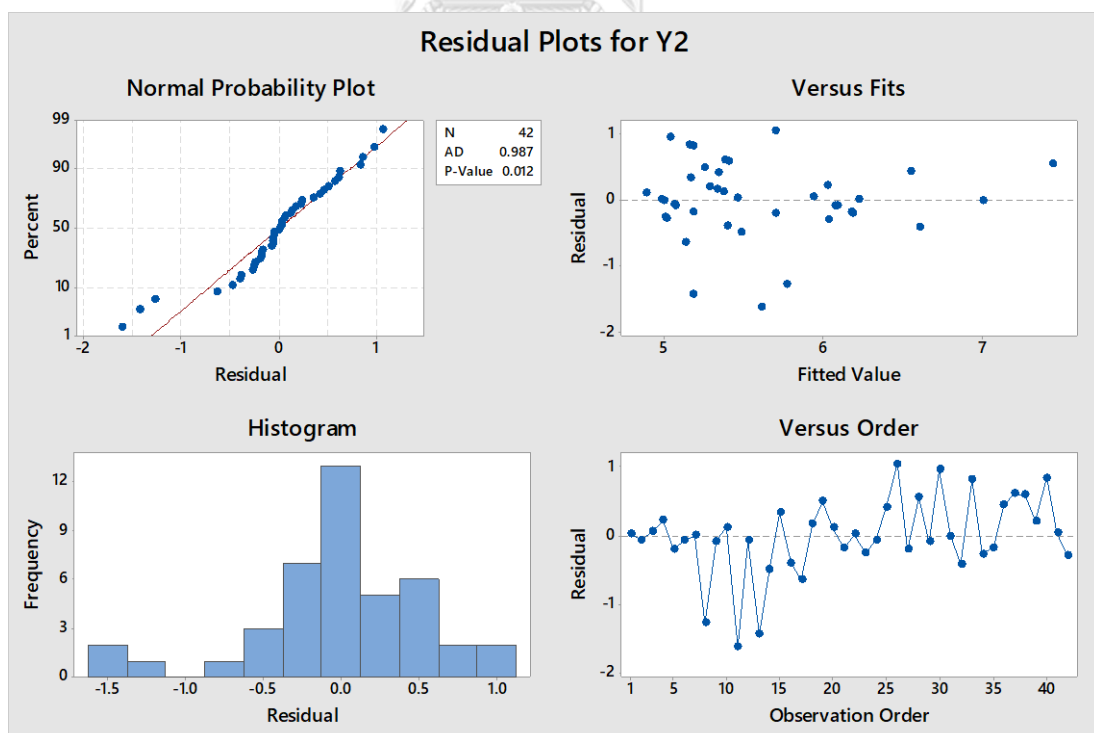
ตารางที่ ข87 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชื่อเพลิง B

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	3	14.40	4.80	14.10	0.00	52.67%	48.94%
Linear	2	12.05	6.02	17.69	0.00		
X4	1	3.35	3.35	9.82	0.00		
X5	1	5.60	5.60	16.45	0.00		
Square	1	3.26	3.26	9.58	0.00		
X4*X4	1	3.26	3.26	9.58	0.00		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Error	38	12.94	0.34				
Total	41	27.35					

ตารางที่ ข88 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.60	0.14	41.44	0.00
X4	-0.63	0.20	-3.13	0.00
X5	-0.68	0.17	-4.06	0.00
X4*X4	1.00	0.32	3.10	0.00



รูปที่ ข44 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง B

## 2.2 พิจารณาแอลฟา 0.15

ตัวแปรตอบสนอง Y1

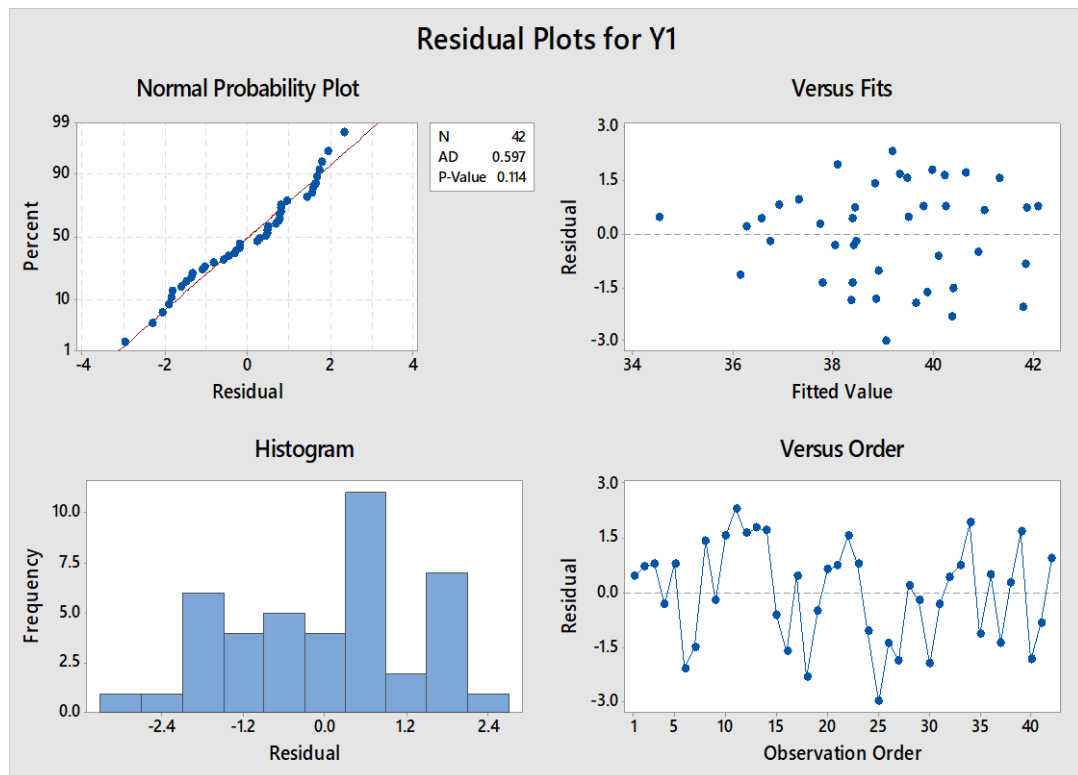
$$Y1 = 40.44 - 0.1972 X1 - 3.50 X8 + 0.02169 X5 \quad (\text{ข45})$$

ตารางที่ ข89 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื่อเพลิง B

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	3	121.46	40.49	20.53	0.00	61.84%	58.83%
Linear	3	121.46	40.49	20.53	0.00		
X1	1	15.34	15.34	7.78	0.01		
X8	1	14.14	14.14	7.17	0.01		
X5	1	30.37	30.37	15.40	0.00		
Error	38	74.95	1.97				
Total	41	196.41					

ตารางที่ ข90 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื่อเพลิง B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	38.39	0.25	154.43	0.00
X1	-1.32	0.48	-2.79	0.01
X8	-1.29	0.48	-2.68	0.01
X5	1.65	0.42	3.92	0.00



รูปที่ ข45 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง B

ตัวแปรตอบสนอง Y2

$$Y2 = 5.58 + 2.92 X8 - 0.28 X4 - 0.00775 X5 + 2.657 X4^2 + 1.96 X8X4 \quad (\text{ข46})$$

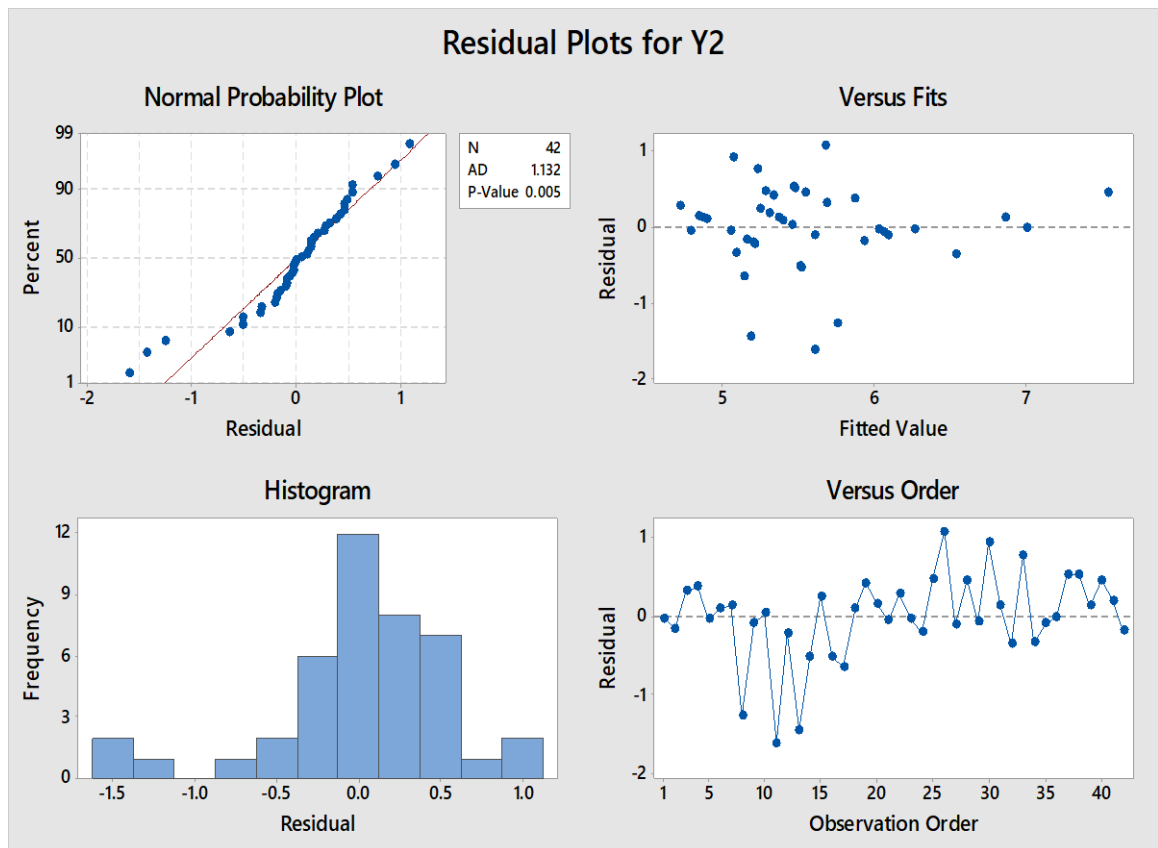
ตารางที่ ข91 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง B

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	5	15.26	3.05	9.09	0.00	55.81%	49.67%
Linear	3	11.48	3.83	11.40	0.00		
X8	1	0.02	0.02	0.07	0.80		
X4	1	3.03	3.03	9.04	0.01		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X5	1	3.79	3.79	11.30	0.00		
Square	1	3.13	3.13	9.33	0.00		
X4*X4	1	3.13	3.13	9.33	0.00		
2-Way Interaction	1	0.56	0.56	1.66	0.21		
X8*X4	1	0.56	0.56	1.66	0.21		
Error	36	12.09	0.34				
Total	41	27.35					

ตารางที่ ข92 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทน  
ตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15  
สูตรชื่อเพลิง B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.57	0.14	39.03	0.00
X8	0.06	0.22	0.26	0.80
X4	-0.68	0.23	-3.01	0.01
X5	-0.59	0.18	-3.36	0.00
X4*X4	1.26	0.41	3.06	0.00
X8*X4	0.50	0.39	1.29	0.21



รูปที่ ข46 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชื่อเพลิง B

2.2 พิจารณาแอลฟา 0.25

ตัวแปรตอบสนอง Y1

$$\begin{aligned}
 Y1 = & 154.0 - 0.0959 X1 + 0.02765 X2 - 2.550 X3 + 9.24 X4 & (ข47) \\
 & - 0.1870 X5 + 0.860 X4^2 + 0.00637 X2X4 + 0.003221 X3X5 \\
 & - 0.01979 X4X5
 \end{aligned}$$

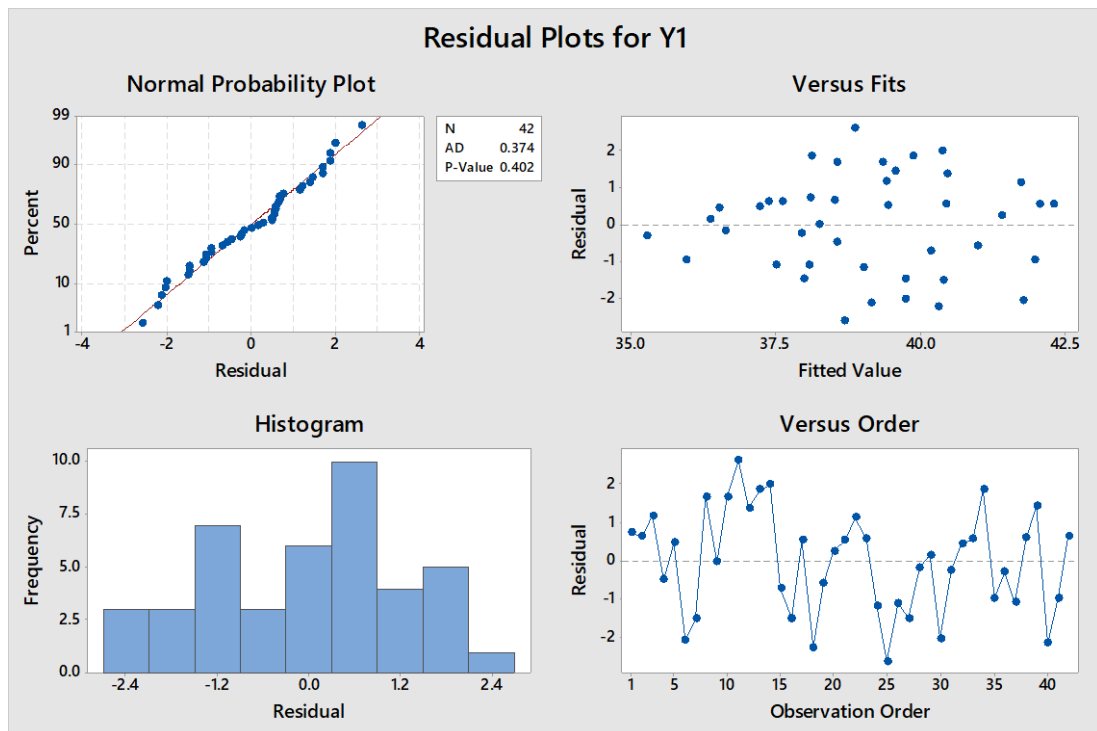


ตารางที่ ข93 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปร  
อิทธิพลหลักในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตร  
เชื้อเพลิง B

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	4	124.40	31.10	15.98	0.00	63.34%	59.37%
Linear	3	109.55	36.52	18.76	0.00		
X1	1	16.91	16.91	8.69	0.01		
X8	1	9.90	9.90	5.09	0.03		
X5	1	27.77	27.77	14.27	0.00		
Square	1	2.94	2.94	1.51	0.23		
X5*X5	1	2.94	2.94	1.51	0.23		
Error	37	72.01	1.95				
Total	41	196.41					

ตารางที่ ข94 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทน  
ตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25  
สูตรเชื้อเพลิง B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	38.034	0.381	99.91	0
X1	-1.40	0.48	-2.95	0.01
X8	-1.12	0.50	-2.26	0.03
X5	1.59	0.42	3.78	0.00
X5*X5	1.00	0.81	1.23	0.23



รูปที่ ข47 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง B

ตัวแปรตอบสนอง Y2

$$Y2 = 71.6 + 0.682 X8 + 4.47 X4 - 0.1551 X5 + 1.900 X4^2 + 0.000091 X5^2 \quad (\text{ข47})$$

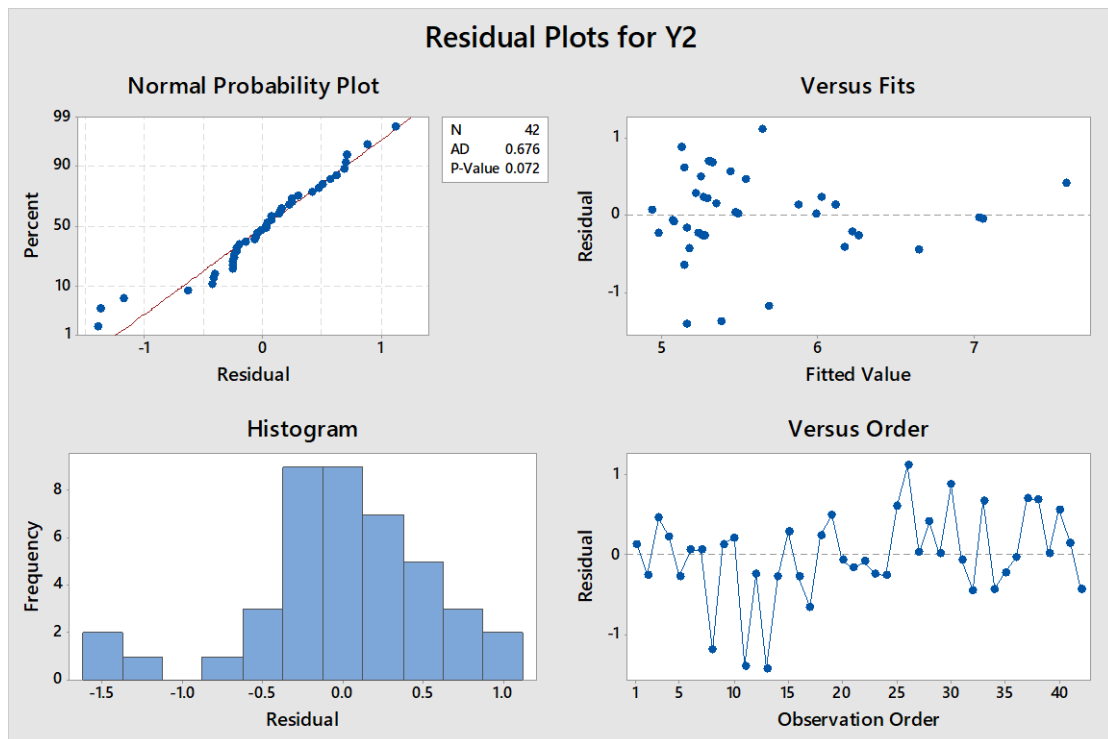
ตารางที่ ข95 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง B

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	5	15.51	3.10	9.43	0.00	56.71%	50.69%
Linear	3	13.11	4.37	13.29	0.00		
X8	1	0.52	0.52	1.58	0.22		
X4	1	2.88	2.88	8.77	0.01		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X5	1	5.00	5.00	15.21	0.00		
Square	2	3.55	1.77	5.39	0.01		
X4*X4	1	2.51	2.51	7.64	0.01		
X5*X5	1	0.80	0.80	2.44	0.13		
Error	36	11.84	0.33				
Total	41	27.35					

ตารางที่ ข96 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทน  
ตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25  
สูตรเชื่อเพลิง B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.446	0.175	31.04	0
X8	0.25	0.20	1.26	0.22
X4	-0.62	0.21	-2.96	0.01
X5	-0.66	0.17	-3.90	0.00
X4*X4	0.90	0.33	2.76	0.01
X5*X5	0.53	0.34	1.56	0.13



รูปที่ ข48 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง B

### 3. การเลือกตัวแปรแบบเดินหน้า (Forward selection)

#### 3.1 พิจารณาแอลฟา 0.10

ตัวแปรตอบสนอง Y1

$$Y1 = 40.44 - 0.1972 X1 - 3.50 X8 + 0.02169 X5$$

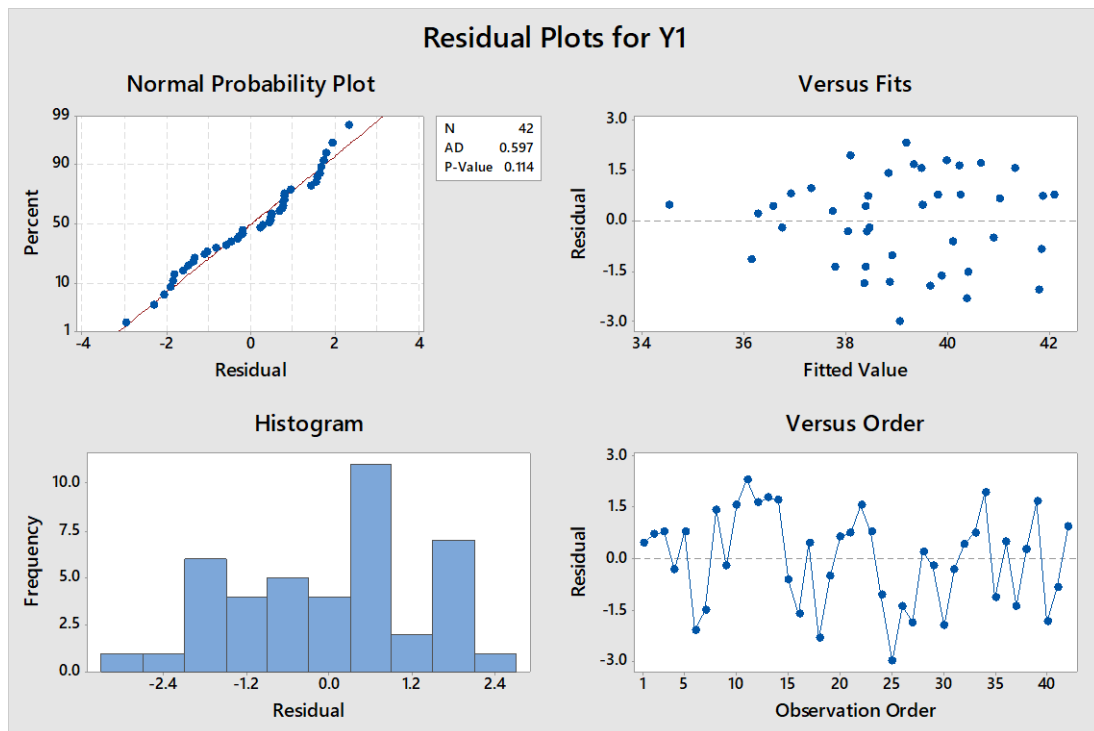
(ข49)

ตารางที่ ข97 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดิหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง B

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	3	121.46	40.49	20.53	0.00	61.84%	58.83%
Linear	3	121.46	40.49	20.53	0.00		
X1	1	15.34	15.34	7.78	0.01		
X8	1	14.14	14.14	7.17	0.01		
X5	1	30.37	30.37	15.40	0.00		
Error	38	74.95	1.97				
Total	41	196.41					

ตารางที่ ข98 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดิหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	38.39	0.25	154.43	0.00
X1	-1.32	0.48	-2.79	0.01
X8	-1.29	0.48	-2.68	0.01
X5	1.65	0.42	3.92	0.00



รูปที่ ข49 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดิหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง B

ตัวแปรตอบสนอง Y2

$$Y2 = 15.72 + 5.06 X4 - 0.00893 X5 + 2.114 X4^2 \quad (\text{ข50})$$

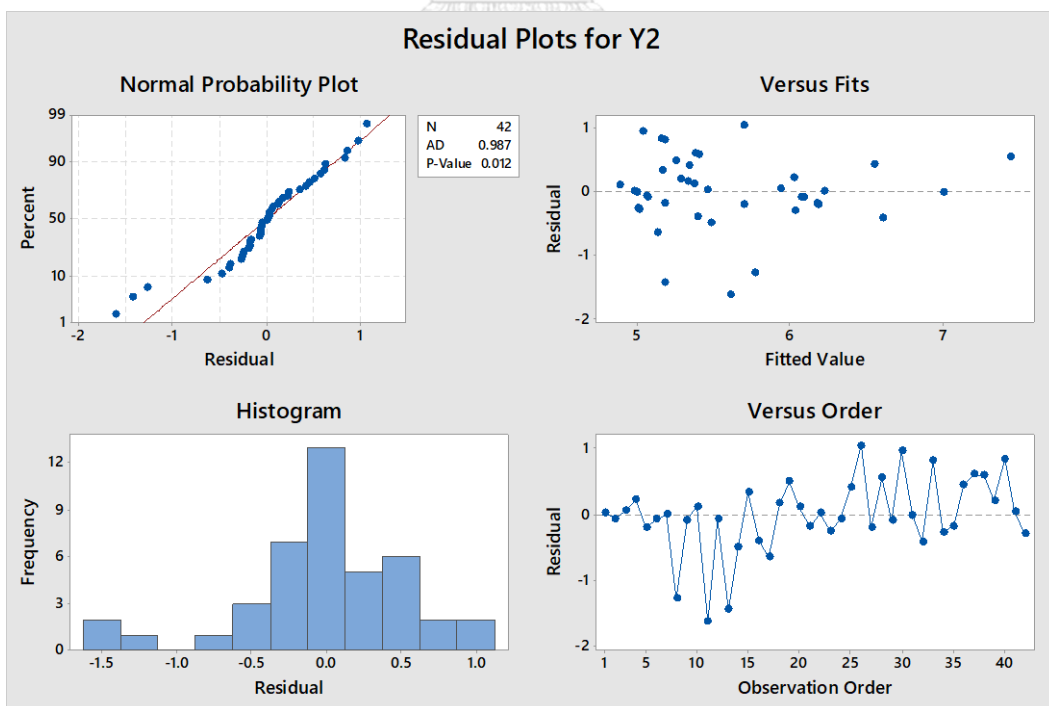
ตารางที่ ข99 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดิหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง B

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	3	14.40	4.80	14.10	0.00	52.67%	48.94%
Linear	2	12.05	6.02	17.69	0.00		
X4	1	3.35	3.35	9.82	0.00		
X5	1	5.60	5.60	16.45	0.00		
Square	1	3.26	3.26	9.58	0.00		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X4*X4	1	3.26	3.26	9.58	0.00		
Error	38	12.94	0.34				
Total	41	27.35					

ตารางที่ ข100 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.60	0.14	41.44	0.00
X4	-0.63	0.20	-3.13	0.00
X5	-0.68	0.17	-4.06	0.00
X4*X4	1.00	0.32	3.10	0.00



รูปที่ ข50 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง B

## 2.2 พิจารณาแอลฟา 0.15

ตัวแปรตอบสนอง Y1

$$Y1 = 40.44 - 0.1972 X1 - 3.50 X8 + 0.02169 X5 \quad (\text{ข51})$$

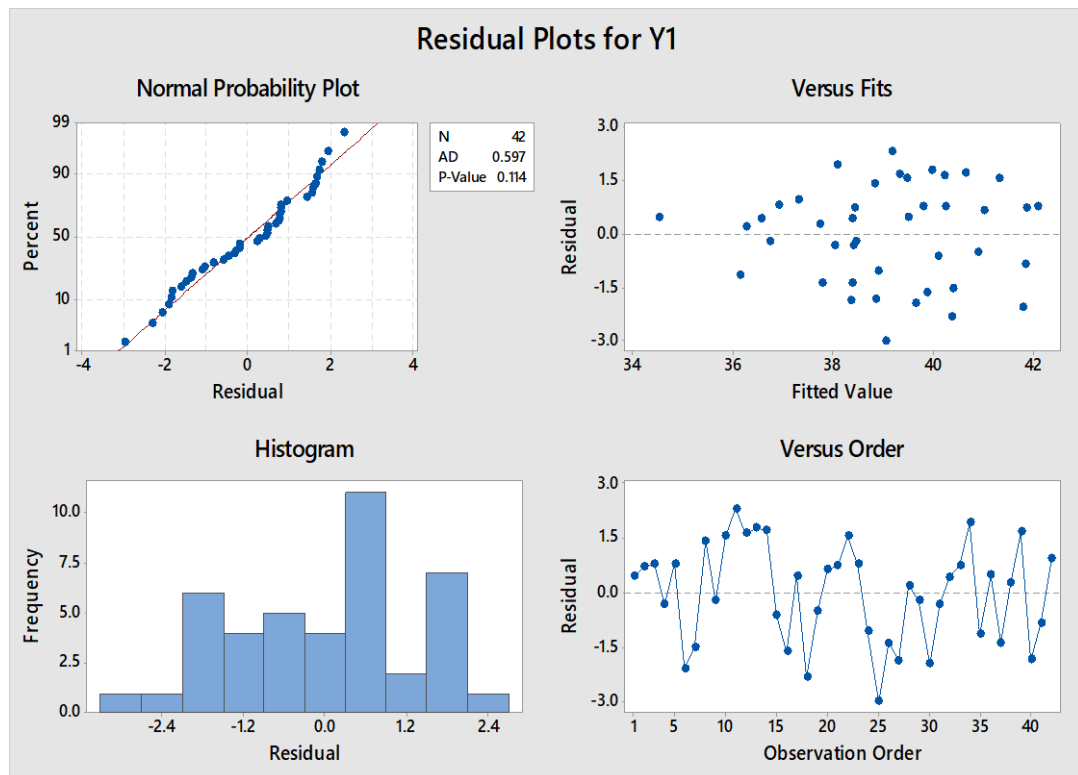
ตารางที่ ข101 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื่อเพลิง B

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	3	121.46	40.49	20.53	0.00	61.84%	58.83%
Linear	3	121.46	40.49	20.53	0.00		
X1	1	15.34	15.34	7.78	0.01		
X8	1	14.14	14.14	7.17	0.01		
X5	1	30.37	30.37	15.40	0.00		
Error	38	74.95	1.97				
Total	41	196.41					

ตารางที่ ข102 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื่อเพลิง B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	38.39	0.25	154.43	0.00
X1	-1.32	0.48	-2.79	0.01
X8	-1.29	0.48	-2.68	0.01
X5	1.65	0.42	3.92	0.00





รูปที่ ข51 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง B

ตัวแปรตอบสนอง Y2

$$Y2 = 5.58 + 2.92 X8 - 0.28 X4 - 0.00775 X5 + 2.657 X4^2 + 1.96 X8X4 \quad (ข46)$$

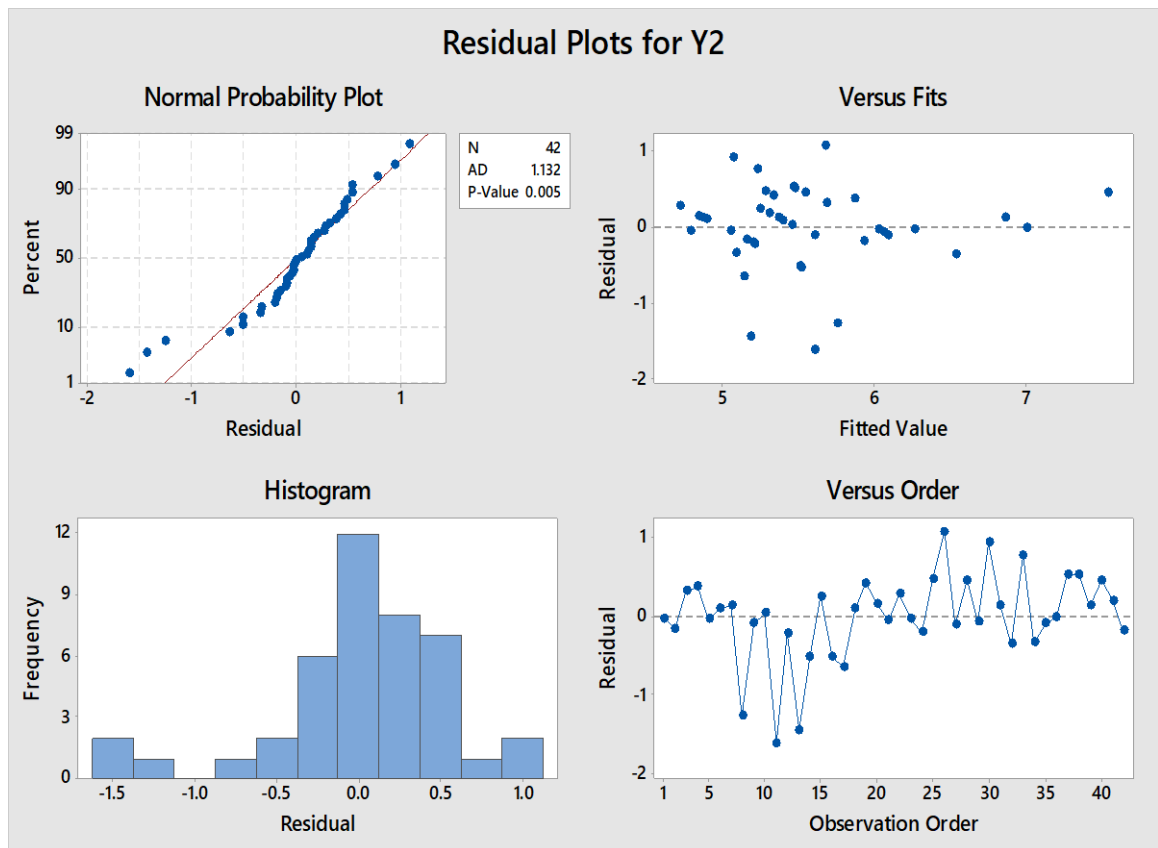
ตารางที่ ข103 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง B

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	5	15.26	3.05	9.09	0.00	55.81%	49.67%
Linear	3	11.48	3.83	11.40	0.00		
X8	1	0.02	0.02	0.07	0.80		
X4	1	3.03	3.03	9.04	0.01		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X5	1	3.79	3.79	11.30	0.00		
Square	1	3.13	3.13	9.33	0.00		
X4*X4	1	3.13	3.13	9.33	0.00		
2-Way Interaction	1	0.56	0.56	1.66	0.21		
X8*X4	1	0.56	0.56	1.66	0.21		
Error	36	12.09	0.34				
Total	41	27.35					

ตารางที่ ข104 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรชื่อเพลิง B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.57	0.14	39.03	0.00
X8	0.06	0.22	0.26	0.80
X4	-0.68	0.23	-3.01	0.01
X5	-0.59	0.18	-3.36	0.00
X4*X4	1.26	0.41	3.06	0.00
X8*X4	0.50	0.39	1.29	0.21



รูปที่ ข52 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง B

2.2 พิจารณาแอลฟา 0.25

ตัวแปรตอบสนอง Y1

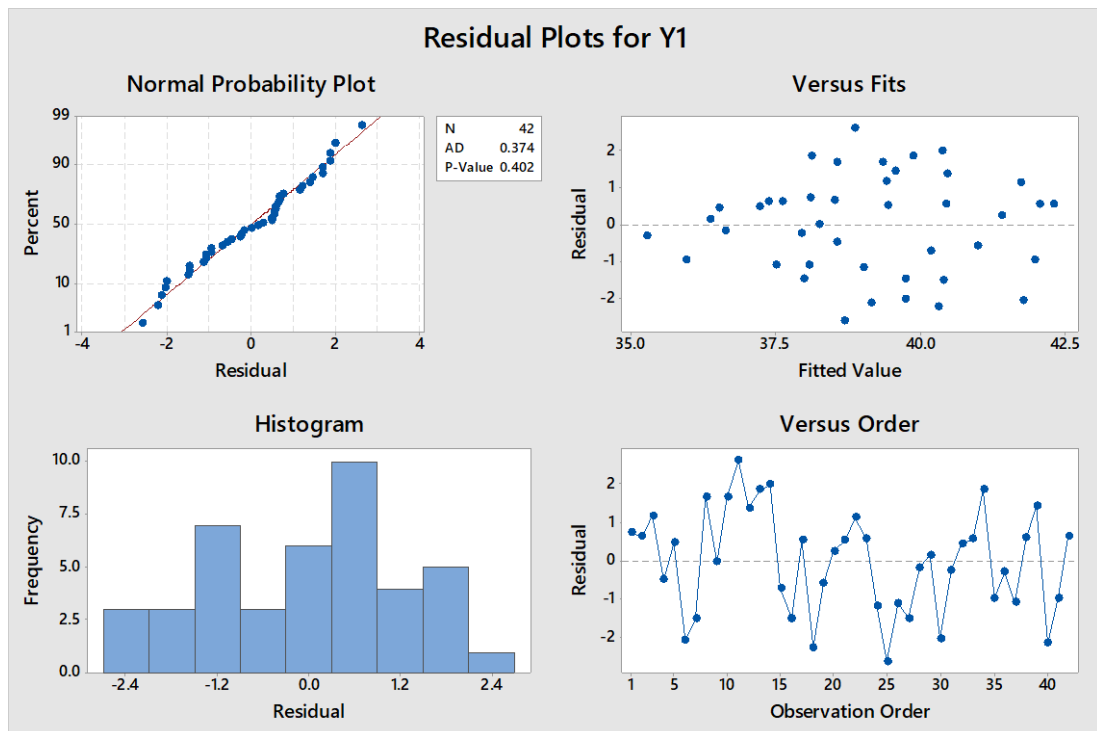
$$\begin{aligned}
 Y1 = & 154.0 - 0.0959 X1 + 0.02765 X2 - 2.550 X3 + 9.24 X4 & (ข53) \\
 & - 0.1870 X5 + 0.860 X4^2 + 0.00637 X2X4 + 0.003221 X3X5 \\
 & - 0.01979 X4X5
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ข105 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดิหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง B

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	4	124.40	31.10	15.98	0.00	63.34%	59.37%
Linear	3	109.55	36.52	18.76	0.00		
X1	1	16.91	16.91	8.69	0.01		
X8	1	9.90	9.90	5.09	0.03		
X5	1	27.77	27.77	14.27	0.00		
Square	1	2.94	2.94	1.51	0.23		
X5*X5	1	2.94	2.94	1.51	0.23		
Error	37	72.01	1.95				
Total	41	196.41					

ตารางที่ ข106 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดิหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	38.034	0.381	99.91	0
X1	-1.40	0.48	-2.95	0.01
X8	-1.12	0.50	-2.26	0.03
X5	1.59	0.42	3.78	0.00
X5*X5	1.00	0.81	1.23	0.23



รูปที่ ข53 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชิงพีลิ่ง B

ตัวแปรตอบสนอง Y2

$$Y2 = 55.5 + 2.29 X8 + 1.09 X4 - 0.128 X5 + 2.375 [(X4)]^2 + 0.000074 [(X5)]^2 + 1.33 X8X4 \quad (ข54)$$

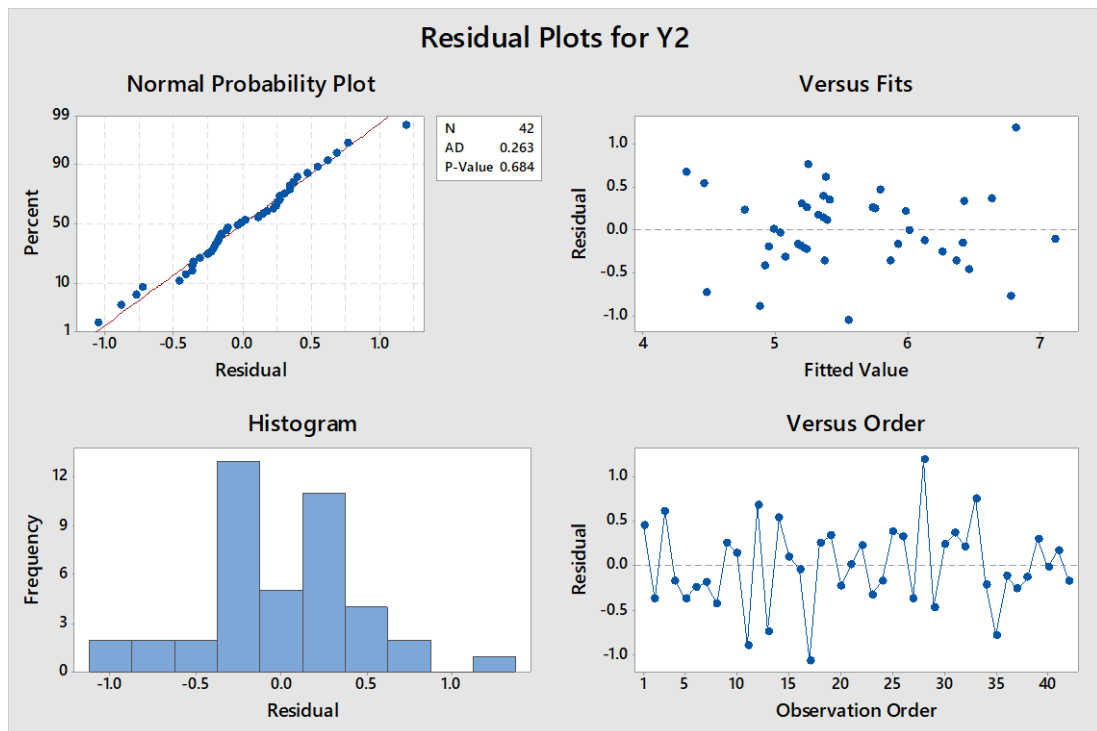
ตารางที่ ข107 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชิงพีลิ่ง B

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	5	18.78	3.76	15.79	0.00	68.68%	64.32%
Linear	3	15.33	5.11	21.48	0.00		
X2	1	3.34	3.34	14.05	0.00		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X3	1	0.75	0.75	3.15	0.08		
X5	1	0.75	0.75	3.14	0.09		
Square	1	3.59	3.59	15.10	0.00		
X3*X3	1	3.59	3.59	15.10	0.00		
2-Way Interaction	1	0.95	0.95	4.01	0.05		
X3*X5	1	0.95	0.95	4.01	0.05		
Error	36	8.57	0.24				
Total	41	27.35					

ตารางที่ ข108 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.93	0.12	51.24	0.00
X2	-0.83	0.22	-3.75	0.00
X3	-0.39	0.22	-1.77	0.08
X5	-0.30	0.17	-1.77	0.09
X3*X3	-1.14	0.29	-3.89	0.00
X3*X5	0.68	0.34	2.00	0.05



รูปที่ ข54 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง B

#### 4. การกำจัดตัวแปรแบบถอยหลัง (Backward elimination)

##### 4.1 พิจารณาแอลฟา 0.10

ตัวแปรตอบสนอง Y1

$$\begin{aligned}
 Y1 = & 49.3 - 2.23 X1 + 130.8 X8 + 14.6 X4 - 0.456 X5 & (ข55) \\
 & + 0.0368 X1^2 - 21.47 X8^2 + 0.000296 X5^2 + 0.525 X1X4 \\
 & - 9.94 X8X4
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ข109 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปร  
อิทธิพลหลักในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตร  
เชื้อเพลิง B

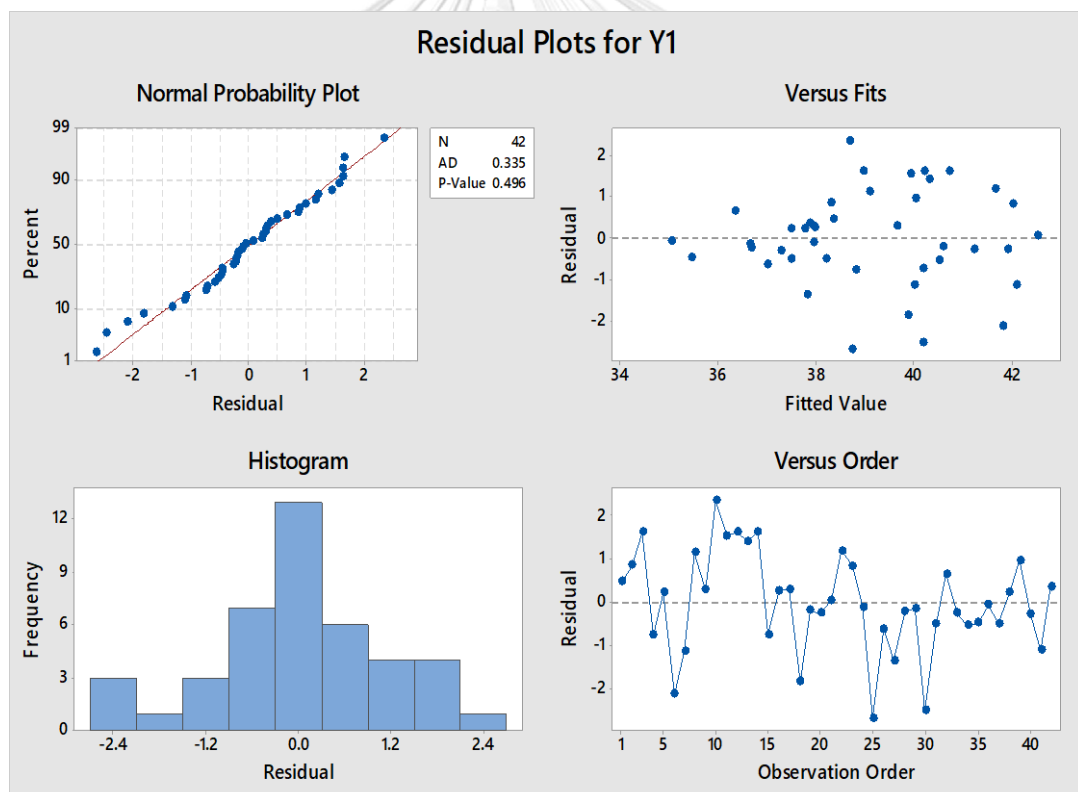
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	9	144.23	16.03	9.83	0.00	73.43%	65.96%
Linear	4	90.66	22.67	13.90	0.00		
X1	1	14.03	14.03	8.60	0.01		
X8	1	15.78	15.78	9.68	0.00		
X4	1	0.32	0.32	0.20	0.66		
X5	1	28.94	28.94	17.75	0.00		
Square	3	20.41	6.80	4.17	0.01		
X1*X1	1	7.60	7.60	4.66	0.04		
X8*X8	1	14.08	14.08	8.63	0.01		
X5*X5	1	6.91	6.91	4.24	0.05		
2-Way Interaction	2	14.08	7.04	4.32	0.02		
X1*X4	1	9.43	9.43	5.78	0.02		
X8*X4	1	11.06	11.06	6.78	0.01		
Error	32	52.19	1.63				
Total	41	196.41					

ตารางที่ ข110 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทน  
ตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10  
สูตรเชื้อเพลิง B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	38.00	0.39	98.29	0.00
X1	-1.49	0.51	-2.93	0.01



Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
X8	-1.56	0.50	-3.11	0.00
X4	-0.20	0.45	-0.44	0.66
X5	1.64	0.39	4.21	0.00
X1*X1	1.66	0.77	2.16	0.04
X8*X8	-2.91	0.99	-2.94	0.01
X5*X5	1.72	0.84	2.06	0.05
X1*X4	2.43	1.01	2.40	0.02
X8*X4	-2.52	0.97	-2.60	0.01



รูปที่ ข55 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบก้ำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรข้อเพลิง B

ตัวแปรตอบสนอง Y2

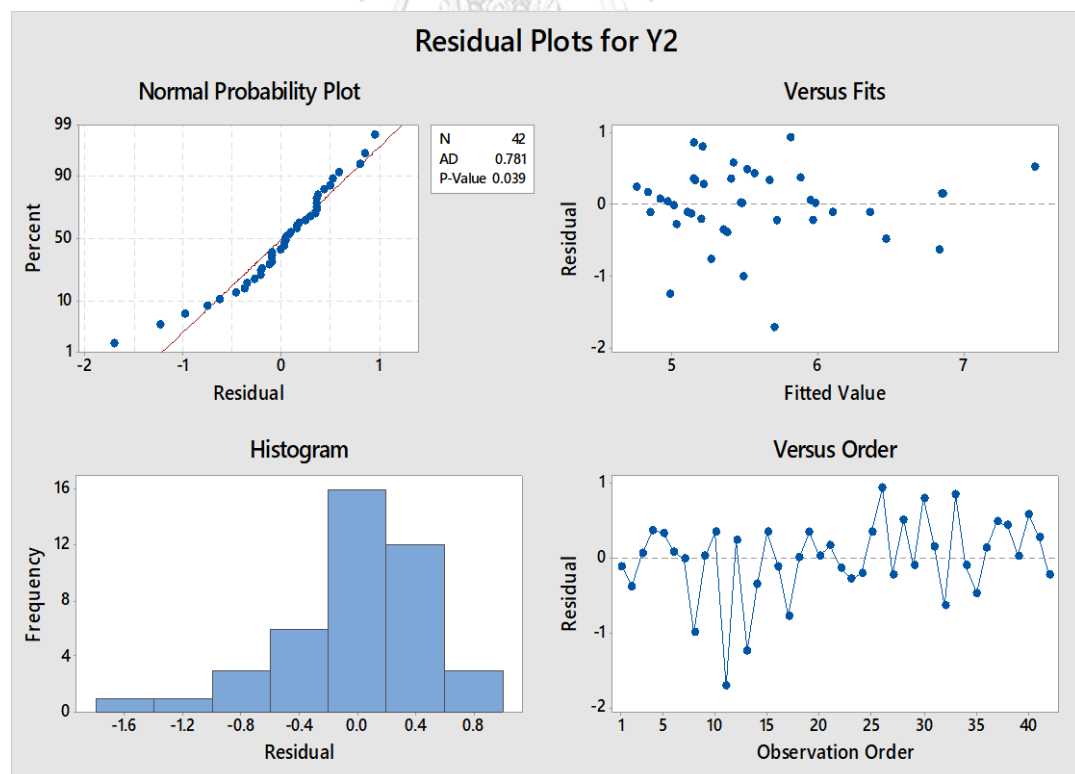
$$Y1 = 35.6 + 0.072 X1 - 13.41 X8 + 5.34 X4 - 0.00739 X5 - 0.01709 X1^2 + 2.230 X4^2 + 0.361 X1X8 \quad (\text{ข56})$$

ตารางที่ ข111 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง B

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	7	15.99	2.28	6.84	0.00	58.46%	49.91%
Linear	4	12.92	3.23	9.67	0.00		
X1	1	0.61	0.61	1.82	0.19		
X8	1	0.01	0.01	0.04	0.85		
X4	1	2.98	2.98	8.93	0.01		
X5	1	3.24	3.24	9.71	0.00		
Square	2	3.70	1.85	5.54	0.01		
X1*X1	1	1.03	1.03	3.07	0.09		
X4*X4	1	3.17	3.17	9.49	0.00		
2-Way Interaction	1	0.99	0.99	2.97	0.09		
X1*X8	1	0.99	0.99	2.97	0.09		
Error	34	11.36	0.33				
Total	41	27.35					

ตารางที่ ข112 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.68	0.16	36.61	0.00
X1	0.32	0.23	1.35	0.19
X8	0.04	0.22	0.19	0.85
X4	-0.66	0.22	-2.99	0.01
X5	-0.56	0.18	-3.12	0.00
X1*X1	-0.77	0.44	-1.75	0.09
X4*X4	1.05	0.34	3.08	0.00
X1*X8	0.89	0.52	1.72	0.09



รูปที่ ข56 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง B

## 4.1 พิจารณาแอลฟา 0.15

ตัวแปรตอบสนอง Y1

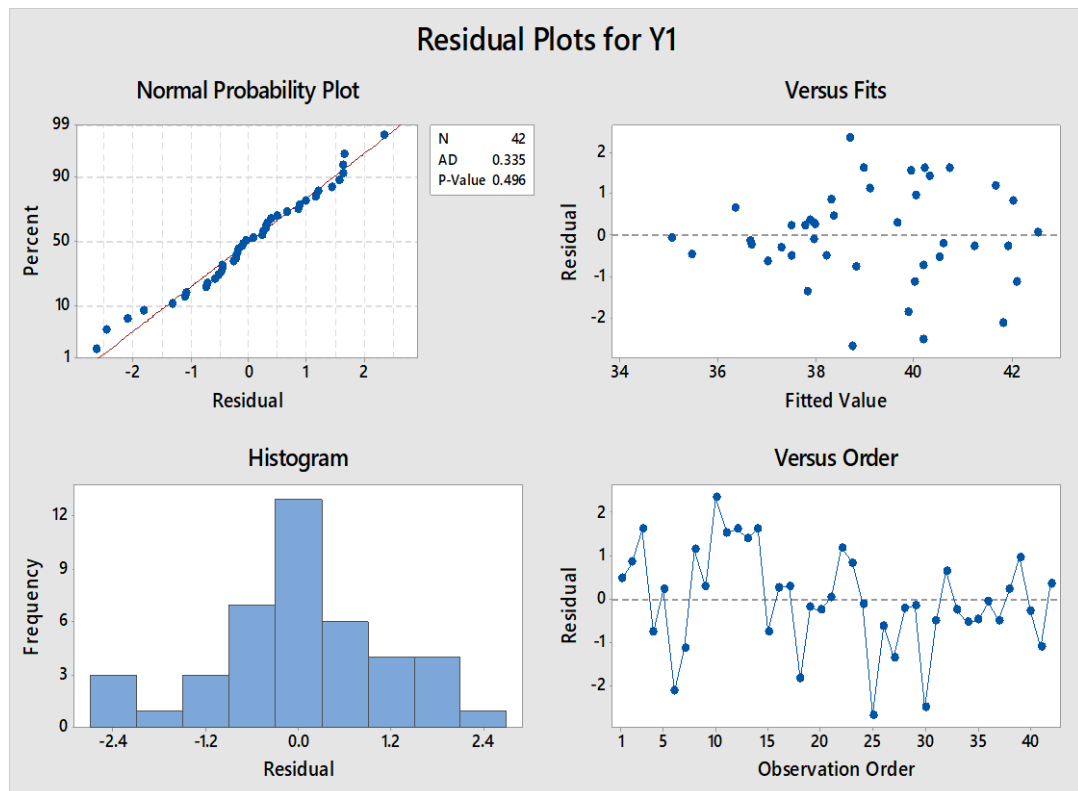
$$\begin{aligned}
 Y1 = & 49.3 - 2.23 X1 + 130.8 X8 + 14.6 X4 - 0.456 X5 & (ข57) \\
 & + 0.0368 X1^2 - 21.47 X8^2 + 0.000296 X5^2 + 0.525 X1X4 \\
 & - 9.94 X8X4
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ข113 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง B

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	9	144.23	16.03	9.83	0.00	73.43%	65.96%
Linear	4	90.66	22.67	13.90	0.00		
X1	1	14.03	14.03	8.60	0.01		
X8	1	15.78	15.78	9.68	0.00		
X4	1	0.32	0.32	0.20	0.66		
X5	1	28.94	28.94	17.75	0.00		
Square	3	20.41	6.80	4.17	0.01		
X1*X1	1	7.60	7.60	4.66	0.04		
X8*X8	1	14.08	14.08	8.63	0.01		
X5*X5	1	6.91	6.91	4.24	0.05		
2-Way Interaction	2	14.08	7.04	4.32	0.02		
X1*X4	1	9.43	9.43	5.78	0.02		
X8*X4	1	11.06	11.06	6.78	0.01		
Error	32	52.19	1.63				
Total	41	196.41					

ตารางที่ ข114 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทน  
ตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15  
สูตรเชิงพีชคณิต B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	38.00	0.39	98.29	0.00
X1	-1.49	0.51	-2.93	0.01
X8	-1.56	0.50	-3.11	0.00
X4	-0.20	0.45	-0.44	0.66
X5	1.64	0.39	4.21	0.00
X1*X1	1.66	0.77	2.16	0.04
X8*X8	-2.91	0.99	-2.94	0.01
X5*X5	1.72	0.84	2.06	0.05
X1*X4	2.43	1.01	2.40	0.02
X8*X4	-2.52	0.97	-2.60	0.01



รูปที่ ข57 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง B

ตัวแปรตอบสนอง Y2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$Y2 = 89.8 + 0.188 X1 - 12.44 X8 + 4.98 X4 - 0.1525 X5 - 0.01786 X1^2 + 2.125 X4^2 + 0.000090 X5^2 + 0.341 X1X8 \quad (\text{ข58})$$

ตารางที่ ข115 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง B

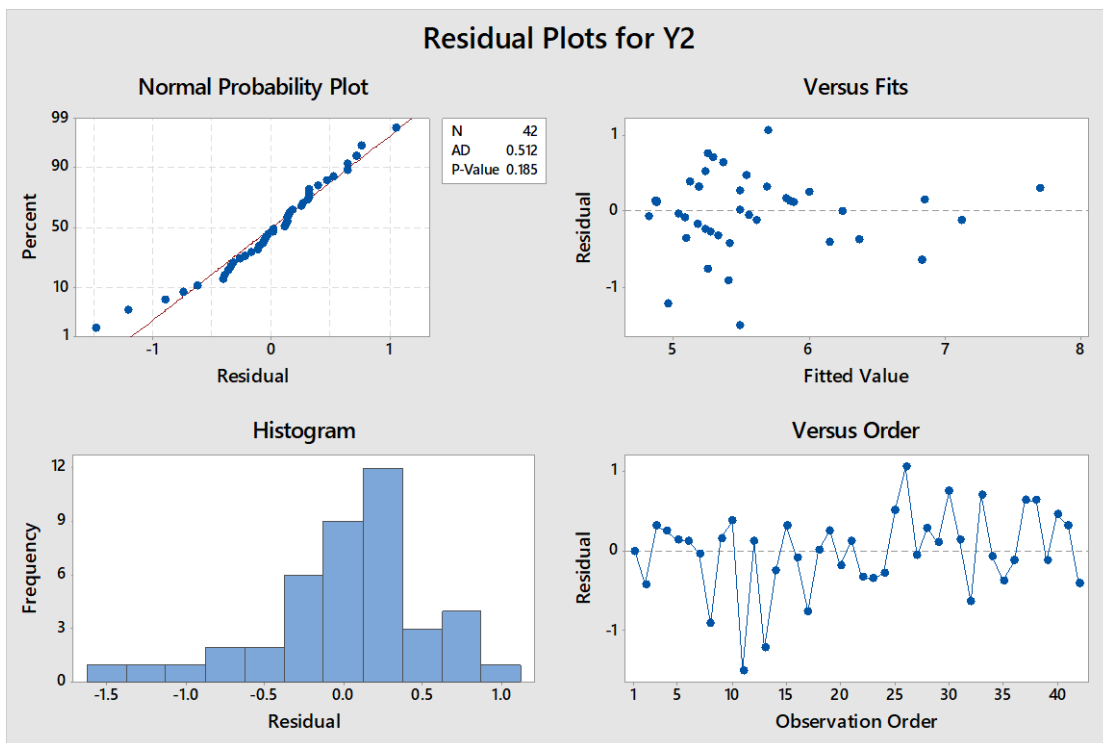
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	8	16.72	2.09	6.49	0.00	61.14%	51.72%
Linear	4	13.66	3.41	10.60	0.00		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X1	1	0.35	0.35	1.08	0.31		
X8	1	0.10	0.10	0.32	0.58		
X4	1	3.34	3.34	10.36	0.00		
X5	1	3.62	3.62	11.25	0.00		
Square	3	4.44	1.48	4.59	0.01		
X1*X1	1	1.12	1.12	3.47	0.07		
X4*X4	1	2.85	2.85	8.86	0.01		
X5*X5	1	0.73	0.73	2.28	0.14		
2-Way Interaction	1	0.88	0.88	2.74	0.11		
X1*X8	1	0.88	0.88	2.74	0.11		
Error	33	10.63	0.32				
Total	41	27.35					

ตารางที่ ข116 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.53	0.18	30.39	0.00
X1	0.24	0.23	1.04	0.31
X8	0.12	0.22	0.56	0.58
X4	-0.70	0.22	-3.22	0.00
X5	-0.60	0.18	-3.35	0.00
X1*X1	-0.81	0.43	-1.86	0.07
X4*X4	1.00	0.34	2.98	0.01
X5*X5	0.52	0.35	1.51	0.14

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
X1*X8	0.84	0.51	1.66	0.11



รูปที่ ข58 การวิเคราะห์ที่ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบก้ำจัดตัวแปรแบบถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง B

CHULALONGKORN UNIVERSITY

#### 4.3 พิจารณาแอลฟา 0.25

ตัวแปรตอบสนอง Y1

$$\begin{aligned}
 Y1 = & 16 - 1.65 X1 + 144.4 X8 + 13.9 X4 - 0.459 X5 + 0.0542 X1^2 & (ข59) \\
 & - 20.24 X8^2 + 0.000297 X5^2 - 0.565 X1X8 + 0.508 X1X4 \\
 & - 9.50 X8X4
 \end{aligned}$$

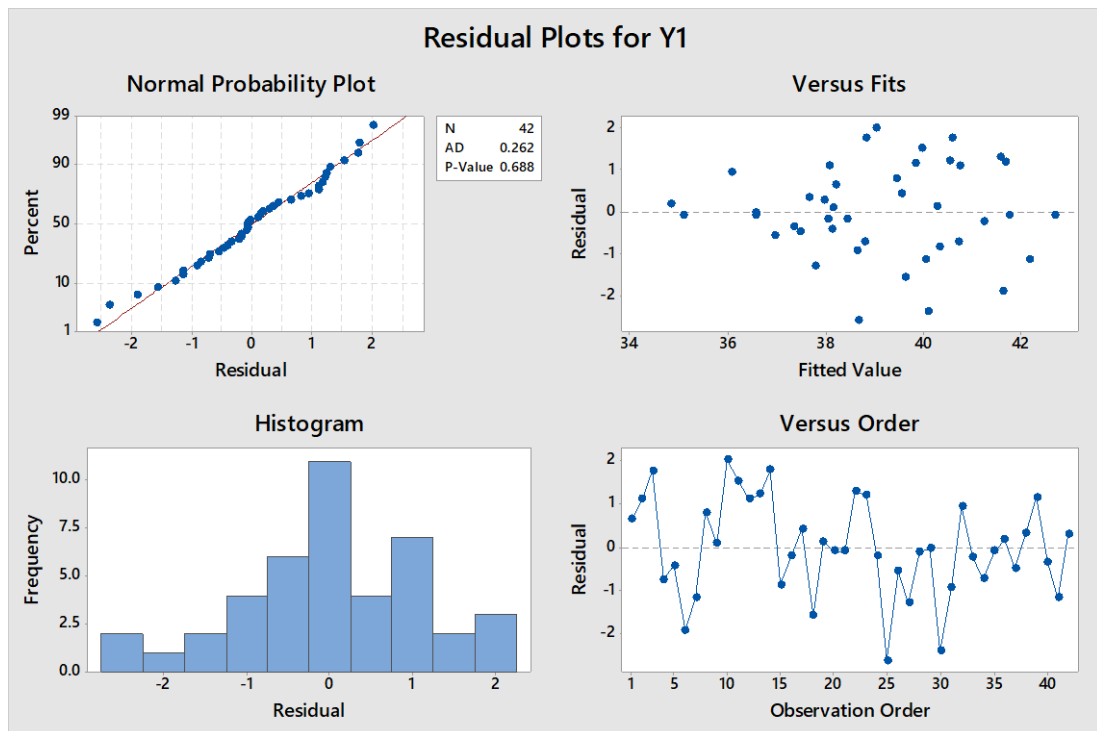


ตารางที่ ข117 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปร  
อิทธิพลหลักในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตร  
เชื้อเพลิง B

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	10	146.60	14.66	9.12	0.00	74.64%	66.46%
Linear	4	92.93	23.23	14.46	0.00		
X1	1	16.32	16.32	10.15	0.00		
X8	1	12.14	12.14	7.55	0.01		
X4	1	0.01	0.01	0.00	0.95		
X5	1	24.77	24.77	15.42	0.00		
Square	3	22.78	7.59	4.73	0.01		
X1*X1	1	9.61	9.61	5.98	0.02		
X8*X8	1	12.28	12.27	7.64	0.01		
X5*X5	1	6.97	6.96	4.33	0.05		
2-Way Interaction	3	16.45	5.48	3.41	0.03		
X1*X8	1	2.38	2.38	1.48	0.23		
X1*X4	1	8.76	8.76	5.45	0.03		
X8*X4	1	9.99	9.99	6.22	0.02		
Error	31	49.81	1.61				
Total	41	196.41					

ตารางที่ ข118 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทน  
ตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25  
สูตรเชิงพีชคณิต B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	38.73	0.12	322.53	0.00
X1	-0.77	0.17	-4.67	0.00
X2	3.23	0.21	15.33	0.00
X3	0.22	0.19	1.15	0.26
X4	-0.30	0.15	-1.97	0.06
X5	0.92	0.16	5.93	0.00
X1*X1	0.35	0.24	1.48	0.15
X3*X3	-0.33	0.25	-1.33	0.19
X1*X4	0.44	0.34	1.28	0.21
X2*X4	1.03	0.28	3.73	0.00
X3*X5	1.16	0.31	3.74	0.00
X4*X5	-0.89	0.30	-3.01	0.01



รูปที่ ข59 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบก้ำจัดตัวแปรแบบถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิงB

### ตัวแปรตอบสนอง Y2

$$Y2 = 89.8 + 0.188 X1 - 12.44 X8 + 4.98 X4 - 0.1525 X5 - 0.01786 X1^2 + 2.125 X4^2 + 0.000090 X5^2 + 0.341 X1X8 \quad (\text{ข60})$$

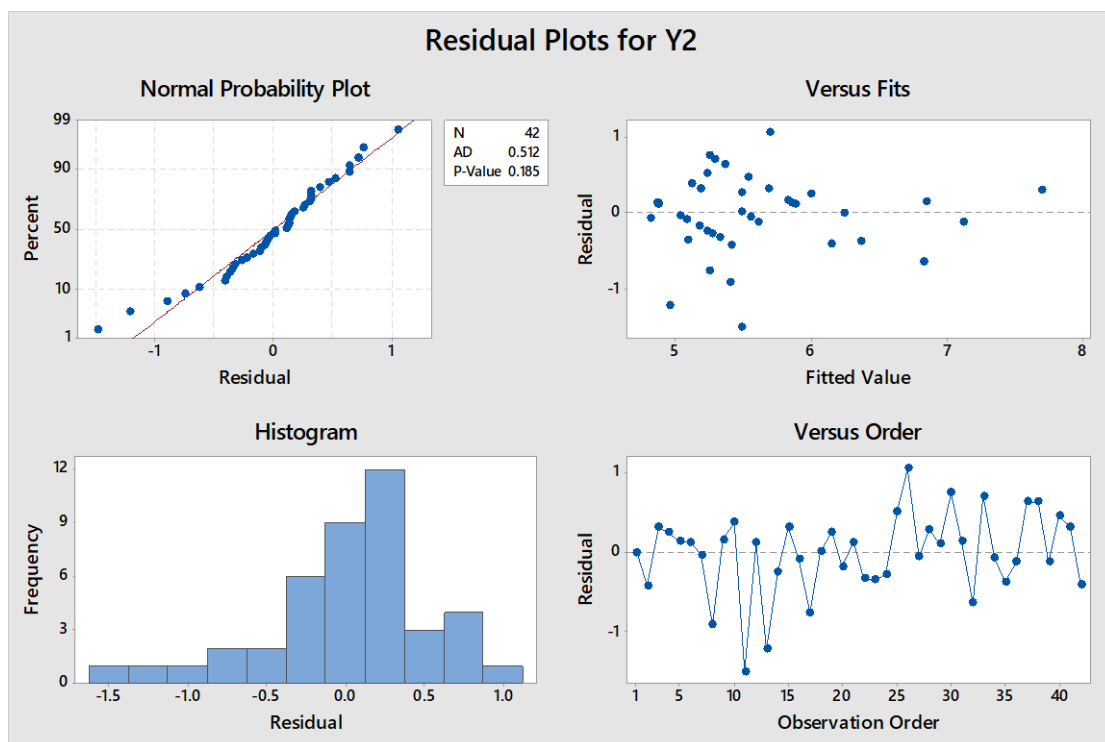
ตารางที่ ข119 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบก้ำจัดตัวแปรแบบถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง B

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	8	16.72	2.09	6.49	0.00	61.14%	51.72%
Linear	4	13.66	3.41	10.60	0.00		
X1	1	0.35	0.35	1.08	0.31		
X8	1	0.10	0.10	0.32	0.58		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X4	1	3.34	3.34	10.36	0.00		
X5	1	3.62	3.62	11.25	0.00		
Square	3	4.44	1.48	4.59	0.01		
X1*X1	1	1.12	1.12	3.47	0.07		
X4*X4	1	2.85	2.85	8.86	0.01		
X5*X5	1	0.73	0.73	2.28	0.14		
2-Way Interaction	1	0.88	0.88	2.74	0.11		
X1*X8	1	0.88	0.88	2.74	0.11		
Error	33	10.63	0.32				
Total	41	27.35					

ตารางที่ ข120 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.53	0.18	30.39	0.00
X1	0.24	0.23	1.04	0.31
X8	0.12	0.22	0.56	0.58
X4	-0.70	0.22	-3.22	0.00
X5	-0.60	0.18	-3.35	0.00
X1*X1	-0.81	0.43	-1.86	0.07
X4*X4	1.00	0.34	2.98	0.01
X5*X5	0.52	0.35	1.51	0.14
X1*X8	0.84	0.51	1.66	0.11



รูปที่ ข60 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิงB

## ภาคผนวก ค

## การวิเคราะห์สมการถดถอยของสูตรเชื้อเพลิง C

พิจารณาตัวแปรนำเข้าแบบปกติ

1. พิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัวในสมการ (Full model)

ตัวแปรตอบสนอง Y1

$$\begin{aligned}
 Y1 = & 532 - 13.14 X1 - 0.388 X2 - 4.62 X3 + 16.2 X4 + 0.333 X5 & (ค1) \\
 & + 0.0082 X1^2 - 0.000022 X2^2 + 0.0083 X3^2 - 2.276 X4^2 \\
 & - 0.000821 X5^2 + 0.00408 X1X2 - 0.0681 X1X3 - 0.868 X1X4 \\
 & + 0.01096 X1X5 + 0.00122 X2X3 + 0.0055 X2X4 \\
 & + 0.000309 X2X5 - 0.480 X3X4 + 0.00481 X3X5 + 0.0315 X4X5
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ค1 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัวในสมการของตัวแปรตอบสนอง Y1 สูตรเชื้อเพลิง C

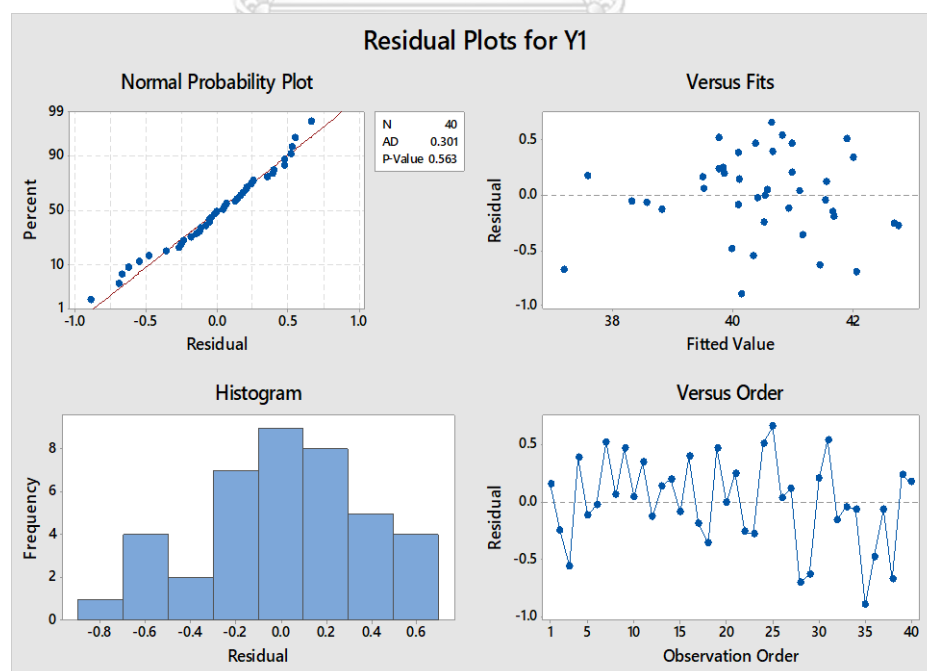
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	20	59.77	2.99	10.28	0.00	91.54%	82.64%
Linear	5	19.11	3.82	13.15	0.00		
X1	1	0.35	0.35	1.21	0.29		
X2	1	0.05	0.05	0.18	0.67		
X3	1	0.51	0.51	1.75	0.20		
X4	1	0.54	0.54	1.87	0.19		
X5	1	0.44	0.44	1.53	0.23		
Square	5	4.98	1.00	3.43	0.02		
X1*X1	1	0.15	0.15	0.52	0.48		
X2*X2	1	0.05	0.05	0.16	0.70		
X3*X3	1	0.02	0.02	0.07	0.79		
X4*X4	1	1.92	1.92	6.60	0.02		
X5*X5	1	2.26	2.26	7.77	0.01		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
2-Way Interaction	10	14.45	1.45	4.97	0.00		
X1*X2	1	4.23	4.23	14.54	0.00		
X1*X3	1	1.45	1.45	5.00	0.04		
X1*X4	1	6.07	6.07	20.89	0.00		
X1*X5	1	2.68	2.68	9.22	0.01		
X2*X3	1	0.20	0.20	0.70	0.42		
X2*X4	1	0.04	0.04	0.14	0.72		
X2*X5	1	1.27	1.27	4.36	0.05		
X3*X4	1	1.38	1.38	4.74	0.04		
X3*X5	1	0.33	0.33	1.14	0.30		
X4*X5	1	0.58	0.58	2.01	0.17		
Error	19	5.52	0.29				
Total	39	65.29					

ตารางที่ ค2 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วม  
ทุกตัวในสมการของตัวแปรตอบสนอง Y1 สูตรเชื้อเพลิง C

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	40.82	0.43	95.47	0.00
X1	-0.60	0.55	-1.10	0.29
X2	-0.32	0.74	-0.43	0.67
X3	1.03	0.78	1.32	0.20
X4	1.09	0.80	1.37	0.19
X5	1.05	0.85	1.24	0.23
X1*X1	0.31	0.43	0.72	0.48
X2*X2	-0.33	0.84	-0.40	0.70

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
X3*X3	0.15	0.54	0.27	0.79
X4*X4	-2.00	0.78	-2.57	0.02
X5*X5	-2.02	0.73	-2.79	0.01
X1*X2	3.04	0.80	3.81	0.00
X1*X3	-1.75	0.79	-2.24	0.04
X1*X4	-4.98	1.09	-4.57	0.00
X1*X5	3.33	1.10	3.04	0.01
X2*X3	0.62	0.75	0.83	0.42
X2*X4	0.63	1.70	0.37	0.72
X2*X5	1.87	0.89	2.09	0.05
X3*X4	-1.89	0.87	-2.18	0.04
X3*X5	1.00	0.94	1.07	0.30
X4*X5	1.46	1.03	1.42	0.17



รูปที่ ค61 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัวในสมการของตัวแปรตอบสนอง Y1 สูตรเชิงพีลิ่ง C



## ตัวแปรตอบสนอง Y2

$$\begin{aligned}
 Y2 = & 32 - 3.90 X1 - 0.004 X2 - 5.33 X3 - 15.0 X4 + 0.447 X5 & (ค2) \\
 & - 0.00240 X1^2 - 0.000077 X2^2 + 0.0452 X3^2 + 0.040 X4^2 \\
 & - 0.000428 X5^2 - 0.000097 X1X2 + 0.0041 X1X3 - 0.119 X1X4 \\
 & + 0.00457 X1X5 + 0.00187 X2X3 + 0.0131 X2X4 \\
 & + 0.000172 X2X5 - 0.150 X3X4 - 0.00284 X3X5 + 0.0102 X4X5
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ค3 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัวในสมการของตัวแปรตอบสนอง Y2 สูตรเชิงพีลิปง C

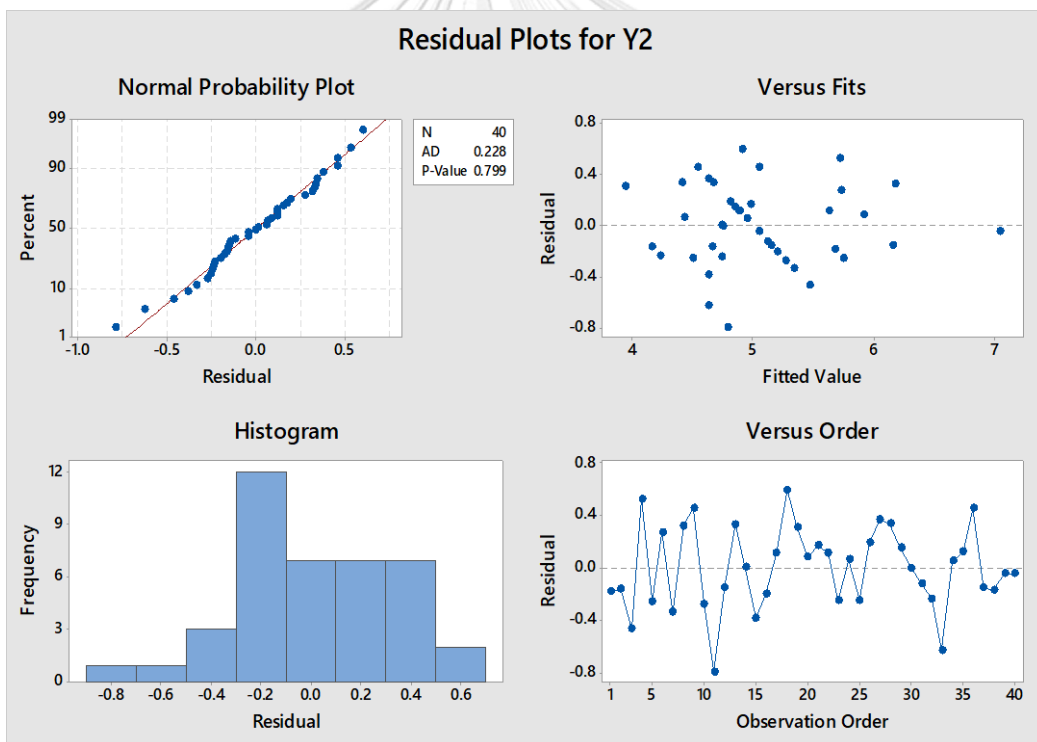
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	20	15.08	0.75	3.75	0.00	79.78%	58.50%
Linear	5	2.98	0.60	2.96	0.04		
X1	1	0.33	0.33	1.63	0.22		
X2	1	0.69	0.69	3.45	0.08		
X3	1	0.10	0.10	0.47	0.50		
X4	1	0.00	0.00	0.00	0.97		
X5	1	0.12	0.12	0.60	0.45		
Square	5	1.63	0.33	1.62	0.20		
X1*X1	1	0.01	0.01	0.06	0.80		
X2*X2	1	0.55	0.55	2.71	0.12		
X3*X3	1	0.65	0.65	3.22	0.09		
X4*X4	1	0.00	0.00	0.00	0.96		
X5*X5	1	0.62	0.62	3.06	0.10		
2-Way Interaction	10	2.30	0.23	1.14	0.38		
X1*X2	1	0.00	0.00	0.01	0.92		
X1*X3	1	0.01	0.01	0.03	0.87		
X1*X4	1	0.11	0.11	0.56	0.46		
X1*X5	1	0.47	0.47	2.31	0.15		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X2*X3	1	0.48	0.48	2.36	0.14		
X2*X4	1	0.23	0.23	1.12	0.30		
X2*X5	1	0.39	0.39	1.95	0.18		
X3*X4	1	0.14	0.14	0.67	0.42		
X3*X5	1	0.12	0.12	0.57	0.46		
X4*X5	1	0.06	0.06	0.31	0.59		
Error	19	3.82	0.20				
Total	39	18.91					

ตารางที่ ค121 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรและอิทธิพล  
ร่วมทุกตัวในสมการของตัวแปรตอบสนอง Y2 สูตรเชื้อเพลิง B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.52	0.36	15.52	0.00
X1	-0.58	0.46	-1.28	0.22
X2	-1.14	0.62	-1.86	0.08
X3	0.45	0.65	0.69	0.50
X4	-0.02	0.66	-0.03	0.97
X5	-0.55	0.71	-0.77	0.45
X1*X1	-0.09	0.36	-0.25	0.80
X2*X2	-1.15	0.70	-1.65	0.12
X3*X3	0.80	0.45	1.80	0.09
X4*X4	0.04	0.65	0.05	0.96
X5*X5	-1.06	0.60	-1.75	0.10
X1*X2	-0.07	0.66	-0.11	0.92
X1*X3	0.11	0.65	0.16	0.87

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
X1*X4	-0.68	0.91	-0.75	0.46
X1*X5	1.39	0.91	1.52	0.15
X2*X3	0.96	0.62	1.54	0.14
X2*X4	1.50	1.42	1.06	0.30
X2*X5	1.04	0.74	1.40	0.18
X3*X4	-0.59	0.72	-0.82	0.42
X3*X5	-0.59	0.78	-0.76	0.46
X4*X5	0.48	0.86	0.55	0.59



รูปที่ ค62 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัวในสมการของตัวแปรตอบสนอง Y2 สูตรเชิงพีลิ่ง B

## 2. การเลือกตัวแปรโดยการเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอน (Stepwise regression)

## 2.1 พิจารณาแอลฟา 0.10

ตัวแปรตอบสนอง Y1

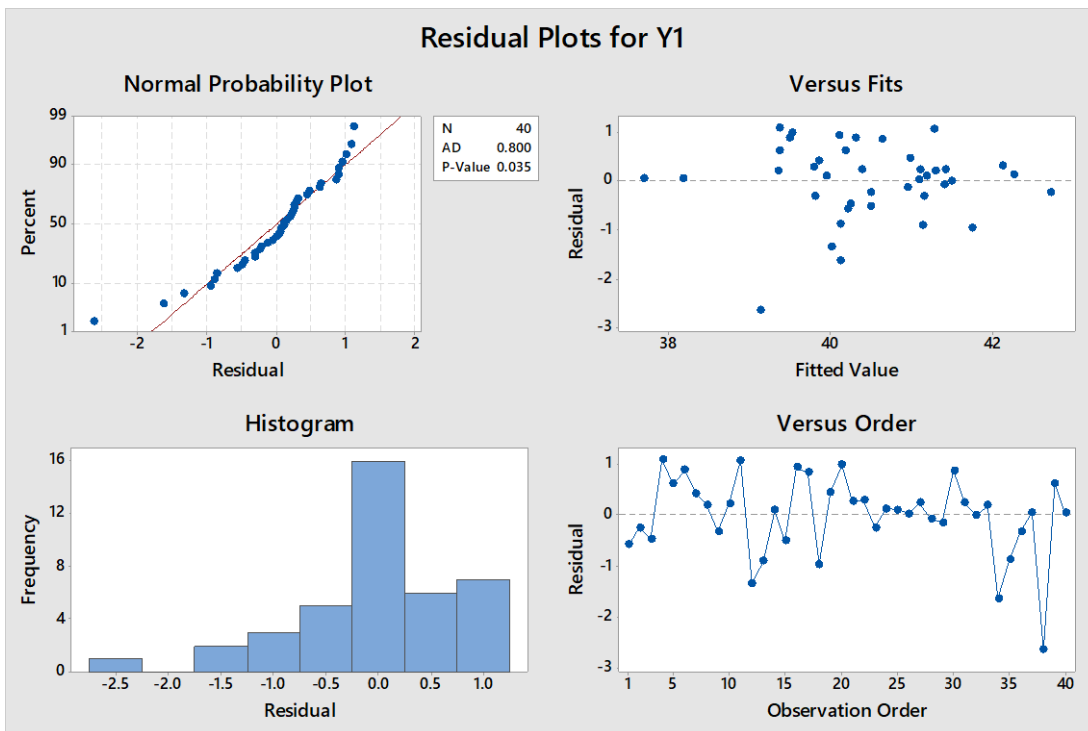
$$Y1 = 5.47 + 0.01168 X2 + 0.02215 X5 \quad (\text{ค3})$$

ตารางที่ ค122 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัวในสมการของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชิงพีลิ่ง C

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	2	42.14	21.07	33.66	0.00	64.53%	62.62%
Linear	2	42.14	21.07	33.66	0.00		
X2	1	15.30	15.30	24.45	0.00		
X5	1	10.20	10.20	16.30	0.00		
Error	37	23.16	0.63				
Total	39	65.29					

ตารางที่ ค6 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชิงพีลิ่ง B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	40.22	0.19	207.96	0.00
X2	1.42	0.29	4.94	0.00
X5	1.10	0.27	4.04	0.00



รูปที่ ค63 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปร  
 ตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชิงพีลิป C

ตัวแปรตอบสนอง Y2

$$Y2 = -82.1 + 1.99 X3 + 2.548 X4 + 0.1078 X5 + 1.050 X4^2 - 0.00242 X3 * X5 \tag{ค4}$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

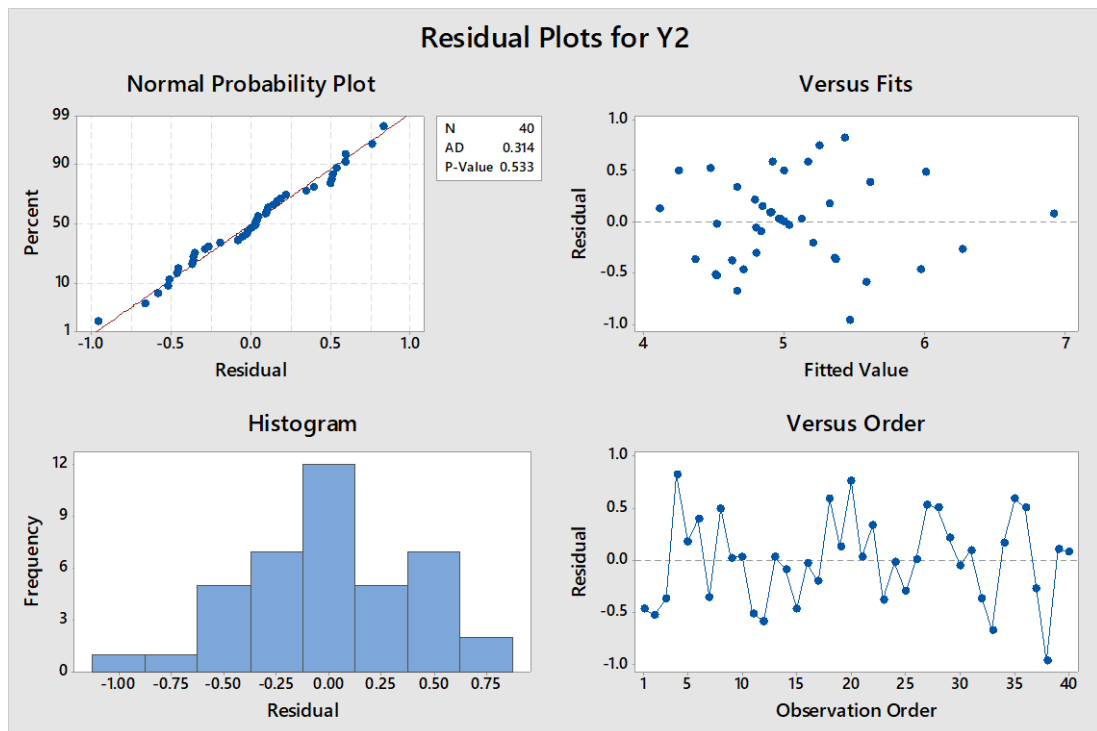
ตารางที่ ค123 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชิงพีลิป B

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	5	12.11	2.42	12.10	0.00	64.03%	58.74%
Linear	3	10.99	3.66	18.30	0.00		
X3	1	0.02	0.02	0.09	0.76		
X4	1	1.58	1.58	7.90	0.01		
X5	1	2.57	2.57	12.87	0.00		
Square	1	1.98	1.98	9.88	0.00		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X4*X4	1	1.98	1.98	9.88	0.00		
2-Way Interaction	1	0.40	0.40	1.99	0.17		
X3*X5	1	0.40	0.40	1.99	0.17		
Error	34	6.80	0.20				
Total	39	18.91					

ตารางที่ ค124 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชิงพีลิ่ง C

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.40	0.17	32.00	0.00
X3	0.08	0.27	0.30	0.76
X4	-0.49	0.17	-2.81	0.01
X5	-0.93	0.26	-3.59	0.00
X4*X4	0.92	0.29	3.14	0.00
X3*X5	-0.51	0.36	-1.41	0.17



รูปที่ ค64 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปร  
ตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง B

## 2.2 พิจารณาแอลฟา 0.15

ตัวแปรตอบสนอง Y1

$$Y1 = 163.5 - 4.28 X1 - 0.1221 X2 + 1.491 X3 + 17.1 X4 - 2.238 X4^2 + 0.004299 X1X2 - 0.0515 X1X3 - 0.640 X1X4 + 0.01357 X2X4 - 0.367 X3X4 \quad (\text{ค5})$$

ตารางที่ ข125 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัว  
ในสมการของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง C

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	10	55.26	5.53	15.98	0.00	84.64%	79.34%
Linear	4	34.98	8.74	25.28	0.00		
X1	1	1.83	1.83	5.30	0.03		
X2	1	2.44	2.44	7.04	0.01		

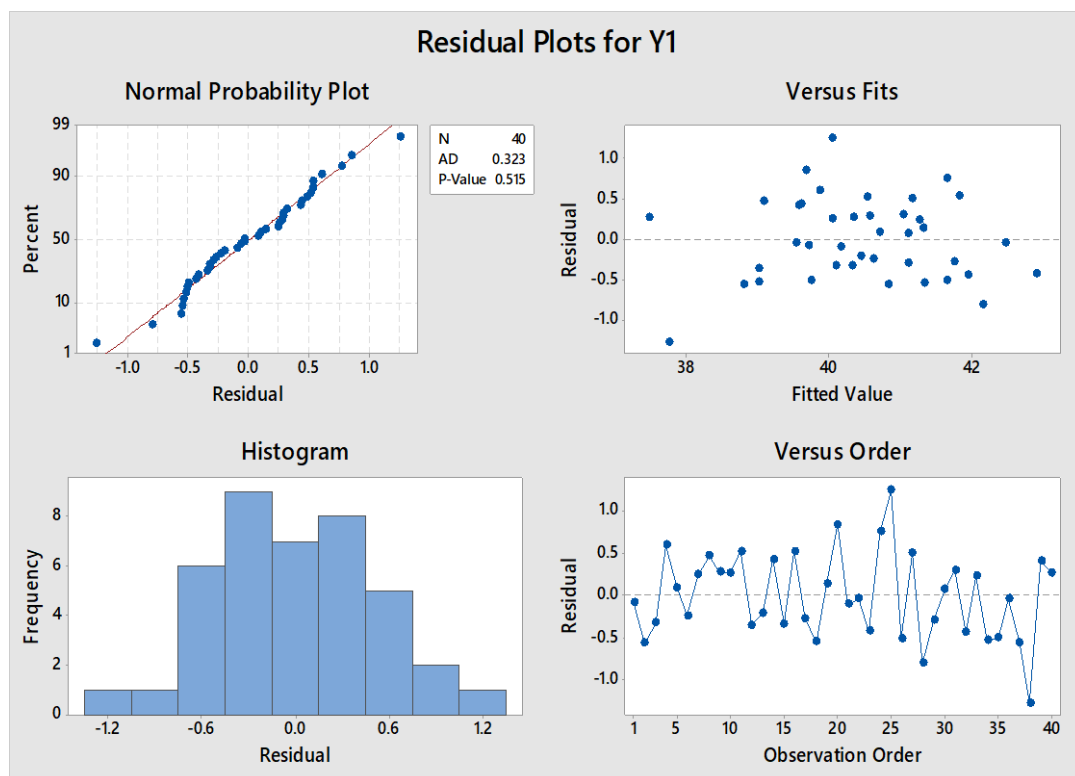
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X3	1	9.02	9.02	26.08	0.00		
X4	1	4.66	4.66	13.46	0.00		
Square	1	3.00	3.00	8.67	0.01		
X4*X4	1	3.00	3.00	8.67	0.01		
2-Way Interaction	5	14.35	2.87	8.30	0.00		
X1*X2	1	12.38	12.38	35.79	0.00		
X1*X3	1	2.71	2.71	7.84	0.01		
X1*X4	1	6.00	6.00	17.35	0.00		
X2*X4	1	1.12	1.11	3.22	0.08		
X3*X4	1	2.12	2.12	6.12	0.02		
Error	29	10.03	0.35				
Total	39	65.29					

ตารางที่ ค126 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง C

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	40.80	0.15	275.10	0.00
X1	0.67	0.29	2.30	0.03
X2	0.87	0.33	2.65	0.01
X3	1.02	0.20	5.11	0.00
X4	1.55	0.42	3.67	0.00
X4*X4	-1.97	0.67	-2.95	0.01
X1*X2	3.21	0.54	5.98	0.00
X1*X3	-1.33	0.47	-2.80	0.01
X1*X4	-3.68	0.88	-4.17	0.00



Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
X2*X4	1.55	0.86	1.80	0.08
X3*X4	-1.45	0.59	-2.47	0.02



รูปที่ ค65 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปร  
ตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชิงพหุนาม C

ตัวแปรตอบสนอง Y2

$$Y2 = -82.1 + 1.99 X3 + 2.548 X4 + 0.1078 X5 + 1.050 X4^2 - 0.00242 X3X5 \quad (\text{ค6})$$

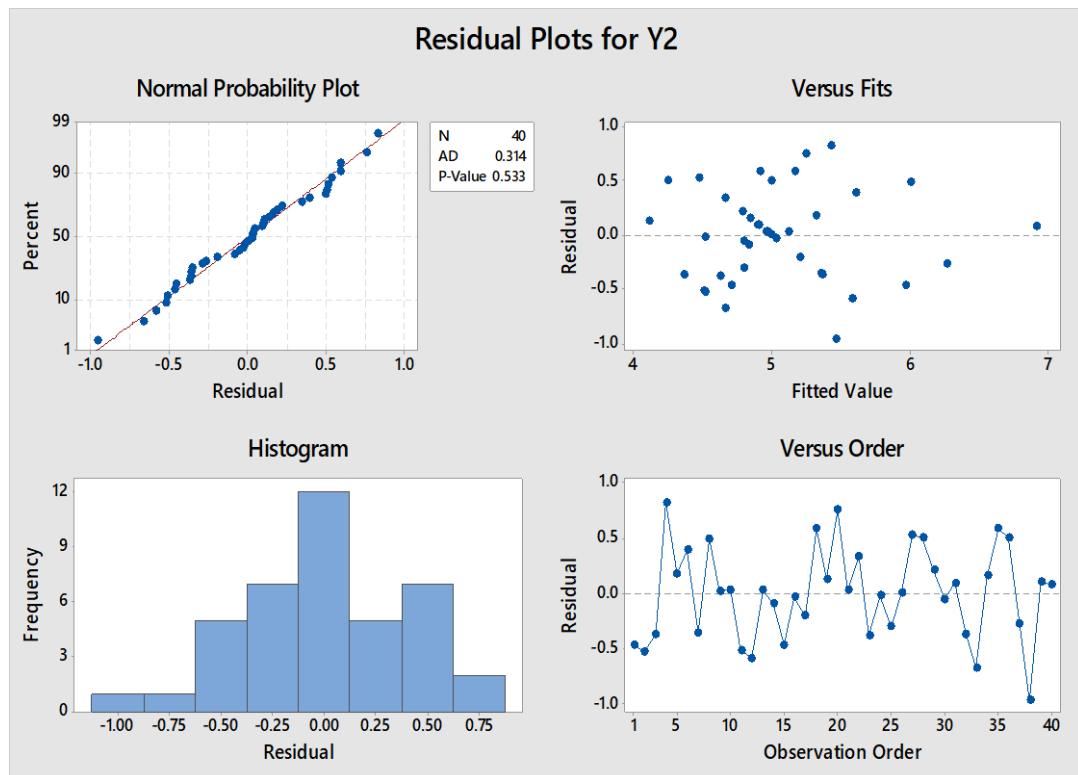
ตารางที่ ค127 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชิงพหุนาม C

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	5	12.11	2.42	12.10	0.00	64.03%	58.74%
Linear	3	10.99	3.66	18.30	0.00		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X3	1	0.02	0.02	0.09	0.76		
X4	1	1.58	1.58	7.90	0.01		
X5	1	2.57	2.57	12.87	0.00		
Square	1	1.98	1.98	9.88	0.00		
X4*X4	1	1.98	1.98	9.88	0.00		
2-Way Interaction	1	0.40	0.40	1.99	0.17		
X3*X5	1	0.40	0.40	1.99	0.17		
Error	34	6.80	0.20				
Total	39	18.91					

ตารางที่ ค128 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง C

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.67	0.14	39.64	0.00
X2	-0.42	0.23	-1.84	0.08
X3	-0.60	0.20	-2.93	0.01
X4	-0.61	0.19	-3.21	0.00
X5	-0.18	0.15	-1.19	0.24
X3*X3	-0.93	0.27	-3.38	0.00
X4*X4	1.15	0.34	3.36	0.00
X2*X4	-0.66	0.33	-2.00	0.05
X3*X5	0.80	0.30	2.63	0.01



รูปที่ ค66 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปร  
ตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชิงพหุนาม C

2.2 พิจารณาแอลฟา 0.25

ตัวแปรตอบสนอง Y1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

$$Y1 = 163.5 - 4.28 X1 - 0.1221 X2 + 1.491 X3 + 17.1 X4 - 2.238 X4^2 + 0.004299 X1X2 - 0.0515 X1X3 - 0.640 X1X4 + 0.01357 X2X4 - 0.367 X3X4 \quad (ค7)$$

ตารางที่ ค129 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปร  
ตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชิงพหุนาม C

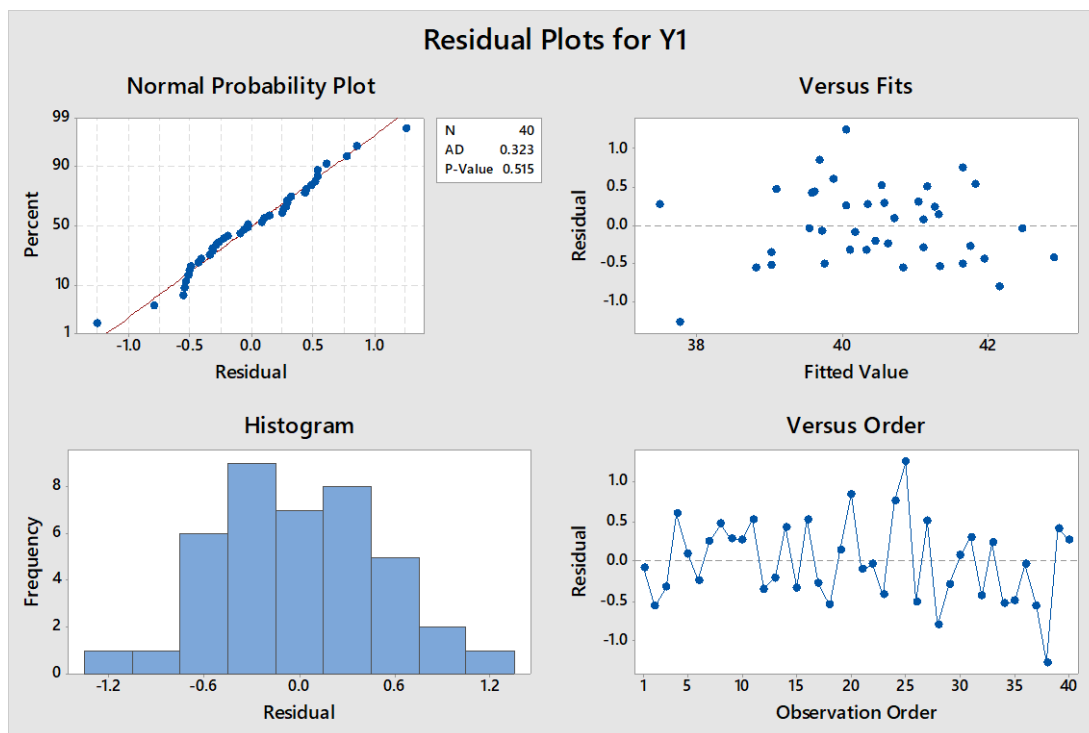
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	10	55.26	5.53	15.98	0.00
Linear	4	34.98	8.74	25.28	0.00
X1	1	1.83	1.83	5.30	0.03

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
X2	1	2.44	2.44	7.04	0.01
X3	1	9.02	9.02	26.08	0.00
X4	1	4.66	4.66	13.46	0.00
Square	1	3.00	3.00	8.67	0.01
X4*X4	1	3.00	3.00	8.67	0.01
2-Way Interaction	5	14.35	2.87	8.30	0.00
X1*X2	1	12.38	12.38	35.79	0.00
X1*X3	1	2.71	2.71	7.84	0.01
X1*X4	1	6.00	6.00	17.35	0.00
X2*X4	1	1.12	1.11	3.22	0.08
X3*X4	1	2.12	2.12	6.12	0.02
Error	29	10.03	0.35		
Total	39	65.29			

ตารางที่ ค130 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอน  
ของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง C

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	40.80	0.15	275.10	0.00
X1	0.67	0.29	2.30	0.03
X2	0.87	0.33	2.65	0.01
X3	1.02	0.20	5.11	0.00
X4	1.55	0.42	3.67	0.00
X4*X4	-1.97	0.67	-2.95	0.01
X1*X2	3.21	0.54	5.98	0.00
X1*X3	-1.33	0.47	-2.80	0.01

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
X1*X4	-3.68	0.88	-4.17	0.00
X2*X4	1.55	0.86	1.80	0.08
X3*X4	-1.45	0.59	-2.47	0.02



รูปที่ ค67 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปร  
 ตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชิง C

ตัวแปรตอบสนอง Y2

$$Y2 = -82.1 + 1.99 X3 + 2.548 X4 + 0.1078 X5 + 1.050 X4^2 - 0.00242 X3X5 \quad (\text{ค}7)$$

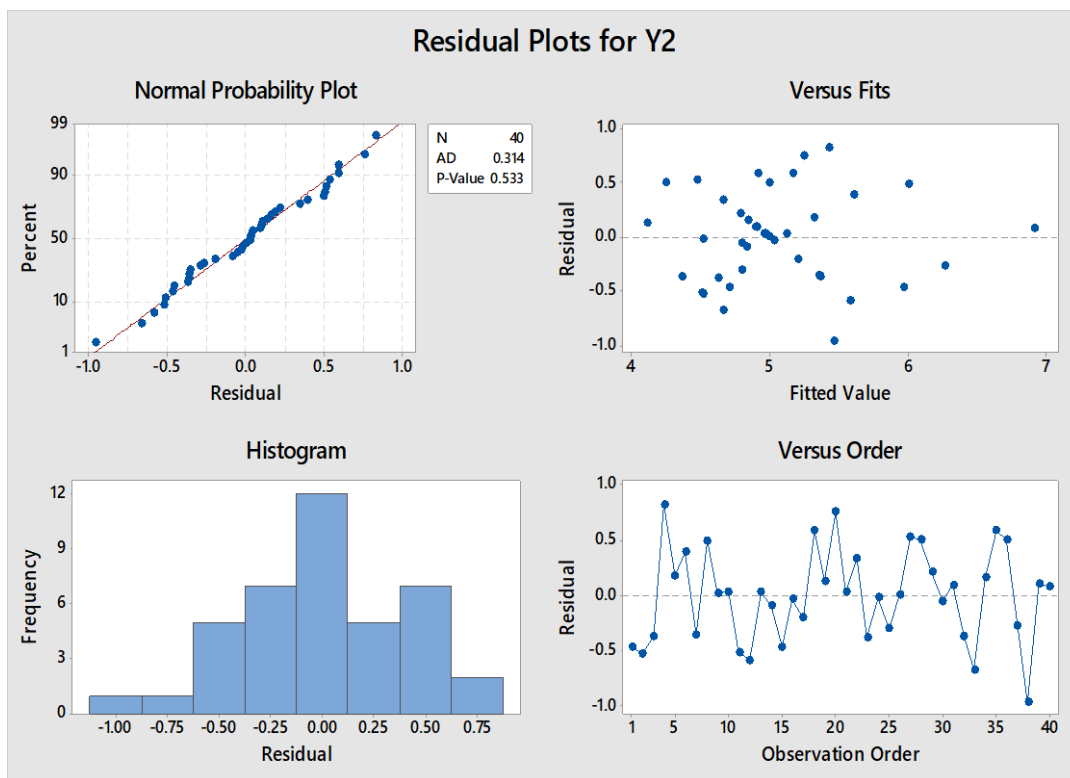
ตารางที่ ค15 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปร  
ตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง C

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	5	12.11	2.42	12.10	0.00	64.03%	58.74%
Linear	3	10.99	3.66	18.30	0.00		
X3	1	0.02	0.02	0.09	0.76		
X4	1	1.58	1.58	7.90	0.01		
X5	1	2.57	2.57	12.87	0.00		
Square	1	1.98	1.98	9.88	0.00		
X4*X4	1	1.98	1.98	9.88	0.00		
2-Way Interaction	1	0.40	0.40	1.99	0.17		
X3*X5	1	0.40	0.40	1.99	0.17		
Error	34	6.80	0.20				
Total	39	18.91					

ตารางที่ ค16 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของ  
ตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง C

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.67	0.14	39.64	0.00
X2	-0.42	0.23	-1.84	0.08
X3	-0.60	0.20	-2.93	0.01
X4	-0.61	0.19	-3.21	0.00
X5	-0.18	0.15	-1.19	0.24
X3*X3	-0.93	0.27	-3.38	0.00
X4*X4	1.15	0.34	3.36	0.00
X2*X4	-0.66	0.33	-2.00	0.05

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
X3*X5	0.80	0.30	2.63	0.01



รูปที่ ค8 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปร  
ตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชิงพหุคูณ C

3. การเลือกตัวแปรแบบเดินหน้า (Forward selection)

3.1 พิจารณาแอลฟา 0.10

ตัวแปรตอบสนอง Y1

$$Y1 = 5.47 + 0.01168 X2 + 0.02215 X5$$

(ค9)

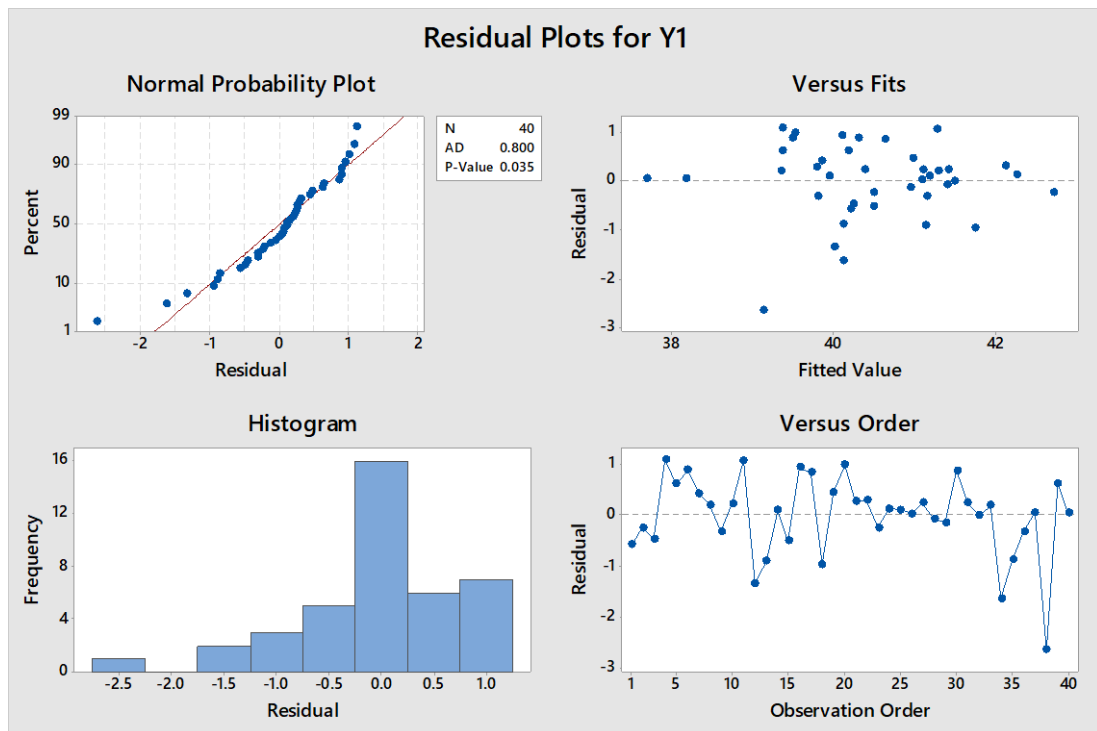
ตารางที่ ค131 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชิง C

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	2	42.14	21.07	33.66	0.00	64.53%	62.62%
Linear	2	42.14	21.07	33.66	0.00		
X2	1	15.30	15.30	24.45	0.00		
X5	1	10.20	10.20	16.30	0.00		
Error	37	23.16	0.63				
Total	39	65.29					

ตารางที่ ค132 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชิง B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	40.22	0.19	207.96	0.00
X2	1.42	0.29	4.94	0.00
X5	1.10	0.27	4.04	0.00





รูปที่ ค68 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปร  
ตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชื่อเพลิง C

ตัวแปรตอบสนอง Y2

$$Y2 = -82.1 + 1.99 X3 + 2.548 X4 + 0.1078 X5 + 1.050 X4^2 - 0.00242 X3 * X5 \quad (\text{ค10})$$

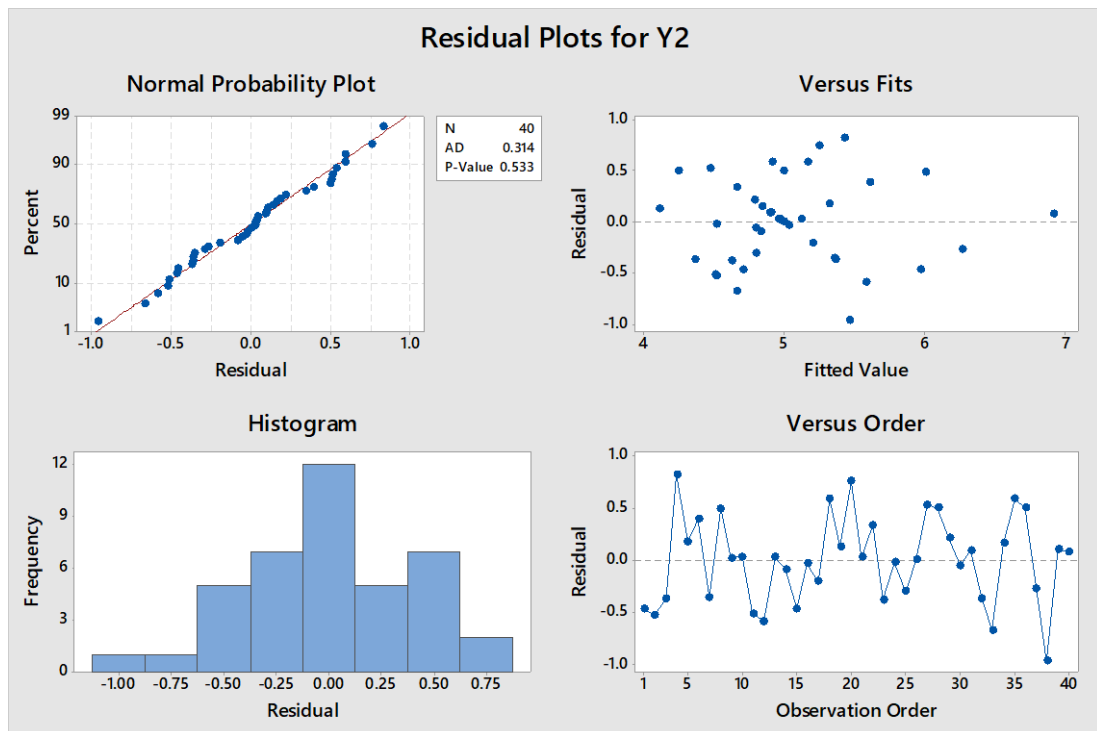
ตารางที่ ค133 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัว  
แปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชื่อเพลิง C

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	5	12.11	2.42	12.10	0.00	64.03%	58.74%
Linear	3	10.99	3.66	18.30	0.00		
X3	1	0.02	0.02	0.09	0.76		
X4	1	1.58	1.58	7.90	0.01		
X5	1	2.57	2.57	12.87	0.00		
Square	1	1.98	1.98	9.88	0.00		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X4*X4	1	1.98	1.98	9.88	0.00		
2-Way Interaction	1	0.40	0.40	1.99	0.17		
X3*X5	1	0.40	0.40	1.99	0.17		
Error	34	6.80	0.20				
Total	39	18.91					

ตารางที่ ค134 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยแบบเลือกตัวแปรแบบเดินทาง  
ของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชิงพีชคณิต C

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.40	0.17	32.00	0.00
X3	0.08	0.27	0.30	0.76
X4	-0.49	0.17	-2.81	0.01
X5	-0.93	0.26	-3.59	0.00
X4*X4	0.92	0.29	3.14	0.00
X3*X5	-0.51	0.36	-1.41	0.17



รูปที่ ค69 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปร  
ตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชิงพีลิ่ง C

### 3.2 พิจารณาแอลฟา 0.15

ตัวแปรตอบสนอง Y1

$$\begin{aligned}
 Y1 = & 160.4 - 4.22 X1 - 0.1196 X2 + 1.453 X3 + 16.5 X4 & (ค11) \\
 & + 0.00141 X5 - 2.205 X4^2 + 0.004220 X1X2 - 0.0502 X1X3 \\
 & - 0.630 X1X4 + 0.01343 X2X4 - 0.356 X3X4
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ค135 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชิงพีลิ่ง C

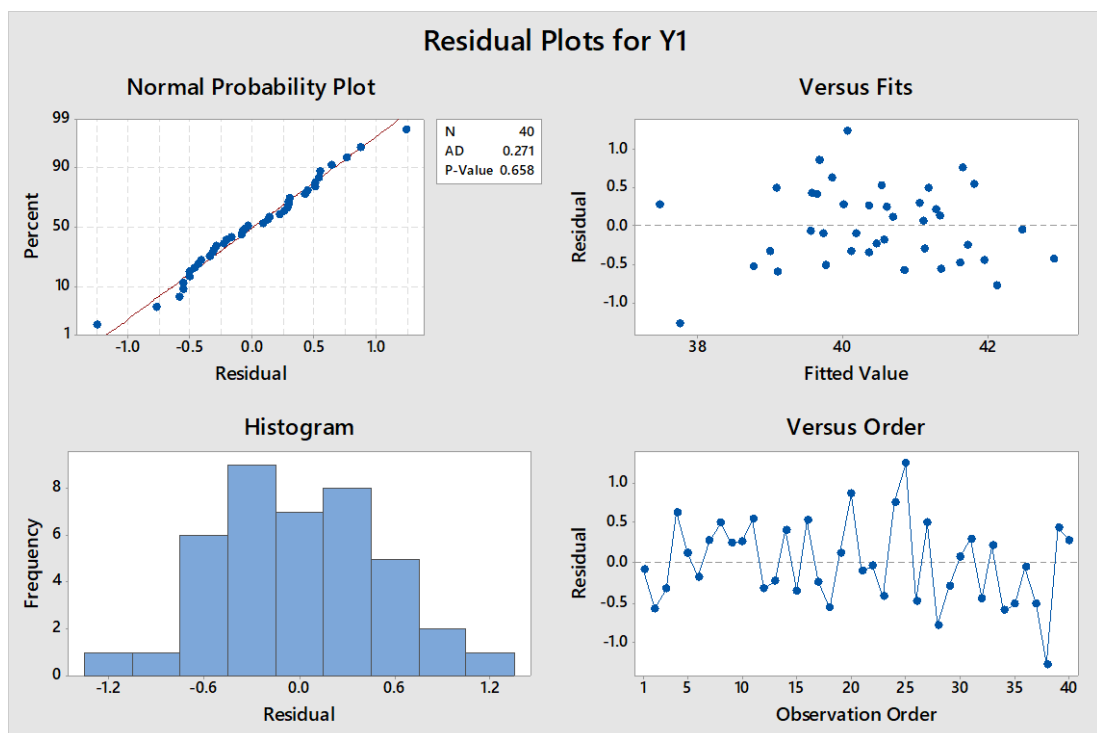
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	11	55.28	5.03	14.06	0.00	84.67%	78.65%
Linear	5	35.00	7.00	19.58	0.00		
X1	1	1.68	1.68	4.71	0.04		
X2	1	2.37	2.37	6.62	0.02		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X3	1	4.88	4.88	13.65	0.00		
X4	1	4.14	4.14	11.59	0.00		
X5	1	0.02	0.02	0.06	0.81		
Square	1	2.82	2.82	7.89	0.01		
X4*X4	1	2.82	2.82	7.89	0.01		
2-Way Interaction	5	11.17	2.23	6.25	0.00		
X1*X2	1	9.89	9.89	27.66	0.00		
X1*X3	1	2.37	2.37	6.64	0.02		
X1*X4	1	5.44	5.44	15.22	0.00		
X2*X4	1	1.08	1.08	3.03	0.09		
X3*X4	1	1.81	1.81	5.06	0.03		
Error	28	10.01	0.36				
Total	39	65.29					

ตารางที่ ค136 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยแบบเลือกตัวแปรแบบเดินทาง  
ของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง C

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	40.763	0.216	188.48	0
X1	0.655	0.302	2.17	0.039
X2	0.859	0.334	2.57	0.016
X3	0.981	0.266	3.69	0.001
X4	1.521	0.447	3.4	0.002
X5	0.07	0.294	0.24	0.813
X4*X4	-1.938	0.69	-2.81	0.009
X1*X2	3.146	0.598	5.26	0

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
X1*X3	-1.293	0.502	-2.58	0.016
X1*X4	-3.62	0.928	-3.9	0.001
X2*X4	1.532	0.88	1.74	0.093
X3*X4	-1.403	0.623	-2.25	0.032



รูปที่ ค70 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปร  
ตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชิง C

ตัวแปรตอบสนอง Y2

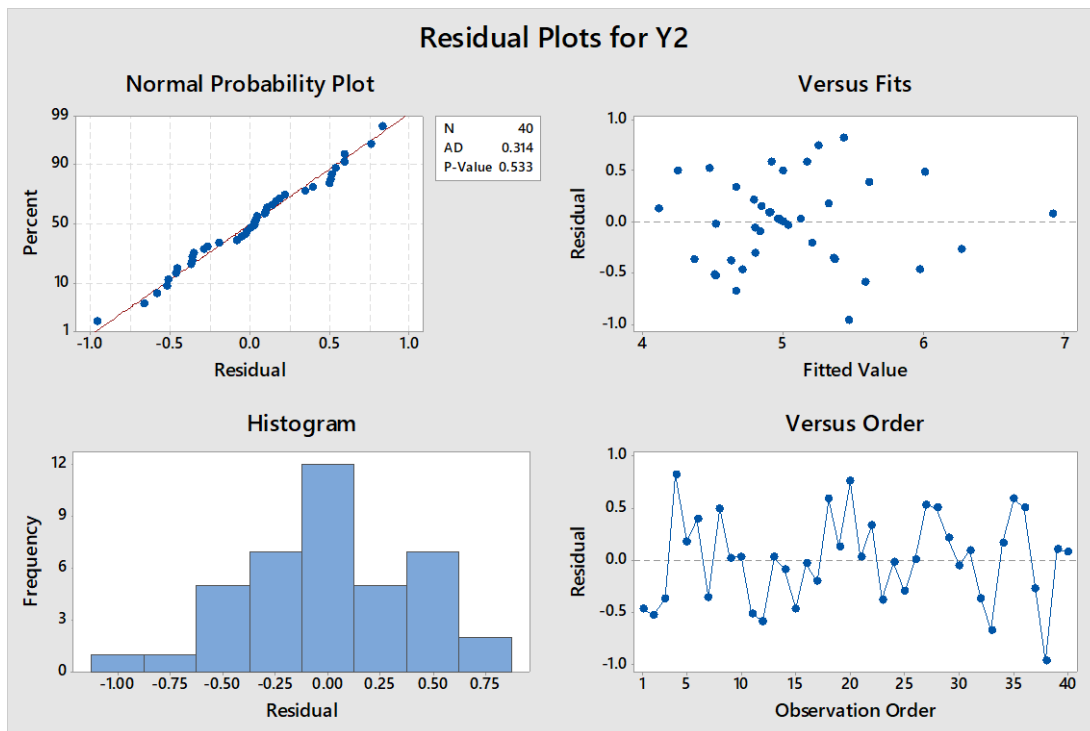
$$Y2 = -82.1 + 1.99 X3 + 2.548 X4 + 0.1078 X5 + 1.050 X4^2 - 0.00242 X3 * X5 \quad (\text{ค}12)$$

ตารางที่ ค137 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยแบบเลือกตัวแปรแบบเดินทางของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง C

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	5	12.11	2.42	12.10	0.00	64.03%	58.74%
Linear	3	10.99	3.66	18.30	0.00		
X3	1	0.02	0.02	0.09	0.76		
X4	1	1.58	1.58	7.90	0.01		
X5	1	2.57	2.57	12.87	0.00		
Square	1	1.98	1.98	9.88	0.00		
X4*X4	1	1.98	1.98	9.88	0.00		
2-Way Interaction	1	0.40	0.40	1.99	0.17		
X3*X5	1	0.40	0.40	1.99	0.17		
Error	34	6.80	0.20				
Total	39	18.91					

ตารางที่ ค138 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยแบบเลือกตัวแปรแบบเดินทางของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง C

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.40	0.17	32.00	0.00
X3	0.08	0.27	0.30	0.76
X4	-0.49	0.17	-2.81	0.01
X5	-0.93	0.26	-3.59	0.00
X4*X4	0.92	0.29	3.14	0.00
X3*X5	-0.51	0.36	-1.41	0.17



รูปที่ ค71 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปร  
ตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื่อเพลิง C

3.3 พิจารณาแอลฟา 0.25

ตัวแปรตอบสนอง Y1

$$Y1 = 160.4 - 4.22 X1 - 0.1196 X2 + 1.453 X3 + 16.5 X4 + 0.00141 X5 - 2.205 X4^2 + 0.004220 X1X2 - 0.0502 X1X3 - 0.630 X1X4 + 0.01343 X2X4 - 0.356 X3X4 \tag{ค13}$$

ตารางที่ ค139 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชื่อเพลิง C

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	11	55.28	5.03	14.06	0.00	84.67%	78.65%
Linear	5	35.00	7.00	19.58	0.00		
X1	1	1.68	1.68	4.71	0.04		

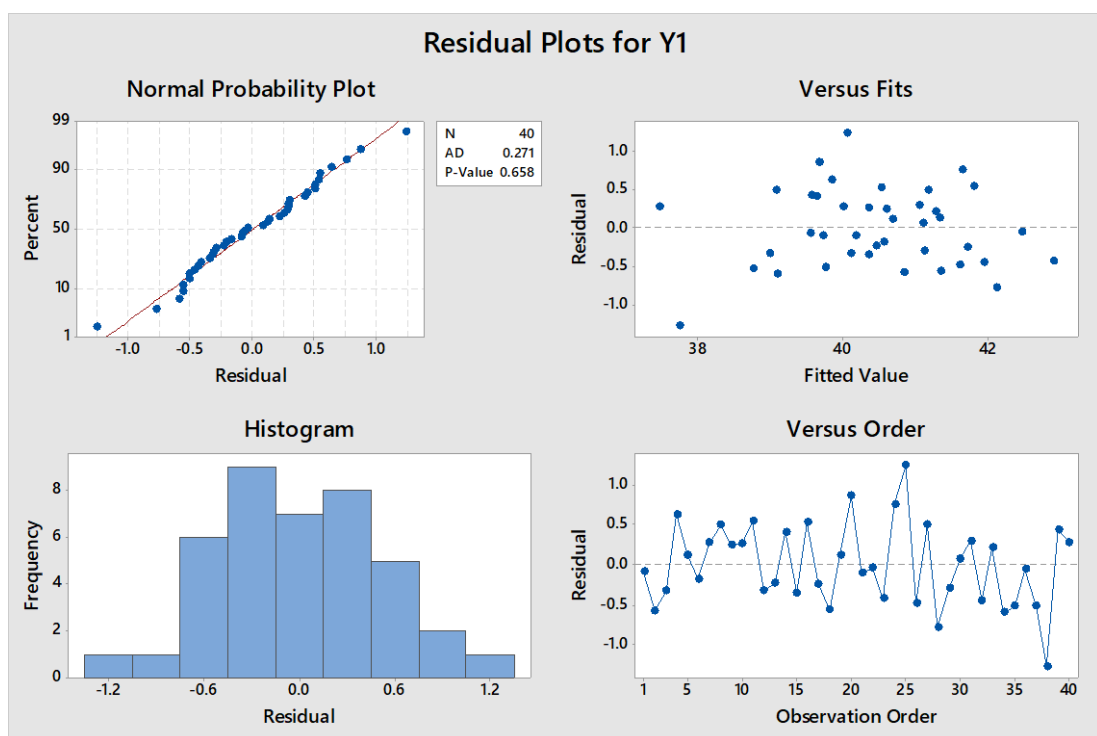
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X2	1	2.37	2.37	6.62	0.02		
X3	1	4.88	4.88	13.65	0.00		
X4	1	4.14	4.14	11.59	0.00		
X5	1	0.02	0.02	0.06	0.81		
Square	1	2.82	2.82	7.89	0.01		
X4*X4	1	2.82	2.82	7.89	0.01		
2-Way Interaction	5	11.17	2.23	6.25	0.00		
X1*X2	1	9.89	9.89	27.66	0.00		
X1*X3	1	2.37	2.37	6.64	0.02		
X1*X4	1	5.44	5.44	15.22	0.00		
X2*X4	1	1.08	1.08	3.03	0.09		
X3*X4	1	1.81	1.81	5.06	0.03		
Error	28	10.01	0.36				
Total	39	65.29					

ตารางที่ ค140 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้า  
ของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง C

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	40.763	0.216	188.48	0
X1	0.655	0.302	2.17	0.039
X2	0.859	0.334	2.57	0.016
X3	0.981	0.266	3.69	0.001
X4	1.521	0.447	3.4	0.002
X5	0.07	0.294	0.24	0.813
X4*X4	-1.938	0.69	-2.81	0.009



Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
X1*X2	3.146	0.598	5.26	0
X1*X3	-1.293	0.502	-2.58	0.016
X1*X4	-3.62	0.928	-3.9	0.001
X2*X4	1.532	0.88	1.74	0.093
X3*X4	-1.403	0.623	-2.25	0.032



รูปที่ ค72 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปร  
ตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชิงพหุคูณ C

ตัวแปรตอบสนอง Y2

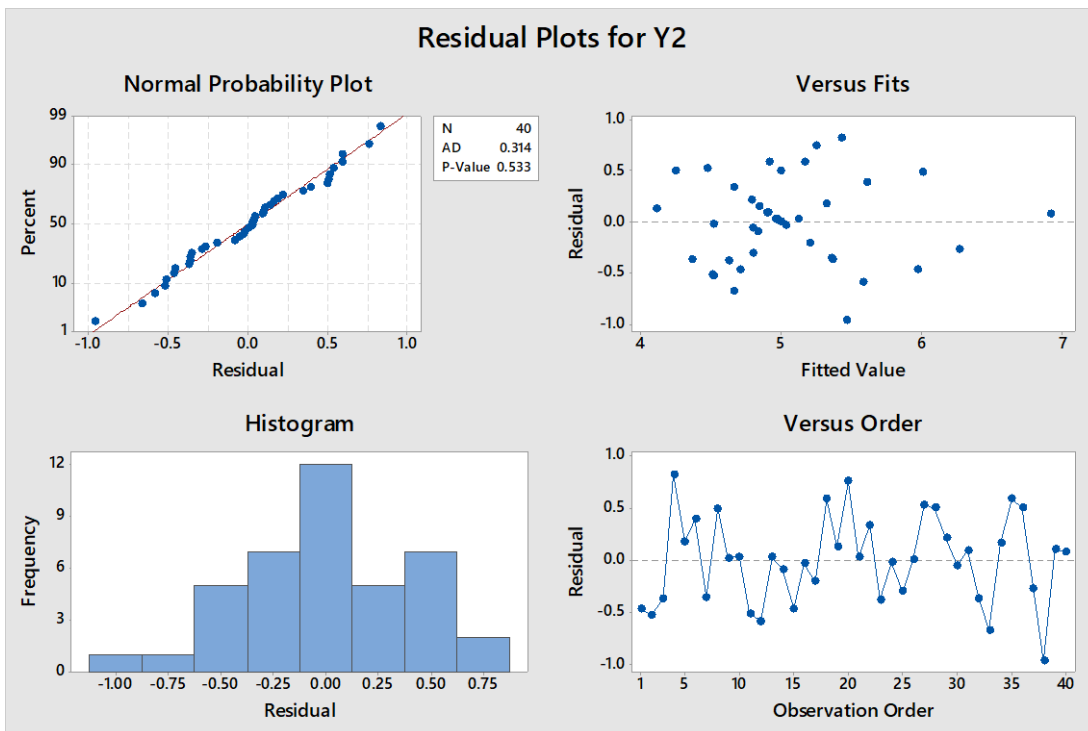
$$Y2 = -82.1 + 1.99 X3 + 2.548 X4 + 0.1078 X5 + 1.050 X4^2 - 0.00242 X3 * X5 \quad (ค14)$$

ตารางที่ ค141 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยแบบเลือกตัวแปรแบบเดินทางของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง C

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	5	12.11	2.42	12.10	0.00	64.03%	58.74%
Linear	3	10.99	3.66	18.30	0.00		
X3	1	0.02	0.02	0.09	0.76		
X4	1	1.58	1.58	7.90	0.01		
X5	1	2.57	2.57	12.87	0.00		
Square	1	1.98	1.98	9.88	0.00		
X4*X4	1	1.98	1.98	9.88	0.00		
2-Way Interaction	1	0.40	0.40	1.99	0.17		
X3*X5	1	0.40	0.40	1.99	0.17		
Error	34	6.80	0.20				
Total	39	18.91					

ตารางที่ ข142 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยแบบเลือกตัวแปรแบบเดินทางของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.40	0.17	32.00	0.00
X3	0.08	0.27	0.30	0.76
X4	-0.49	0.17	-2.81	0.01
X5	-0.93	0.26	-3.59	0.00
X4*X4	0.92	0.29	3.14	0.00
X3*X5	-0.51	0.36	-1.41	0.17



รูปที่ ค73 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปร  
ตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชิงพหุคูณ B

4. การกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลัง (Backward elimination)

4.1 พิจารณาแอลฟา 0.10

ตัวแปรตอบสนอง Y1



$$\begin{aligned}
 Y1 = & 273 - 11.30 X1 - 0.339 X2 + 2.824 X3 + 15.0 X4 + 0.329 X5 & (ค15) \\
 & - 1.681 X4^2 - 0.000606 X5^2 + 0.004077 X1X2 - 0.0867 X1X3 \\
 & - 0.842 X1X4 + 0.01063 X1X5 + 0.000244 X2X5 - 0.377 X3X4 \\
 & + 0.0366 X4X5
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ค143 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชิงพหุคูณ C

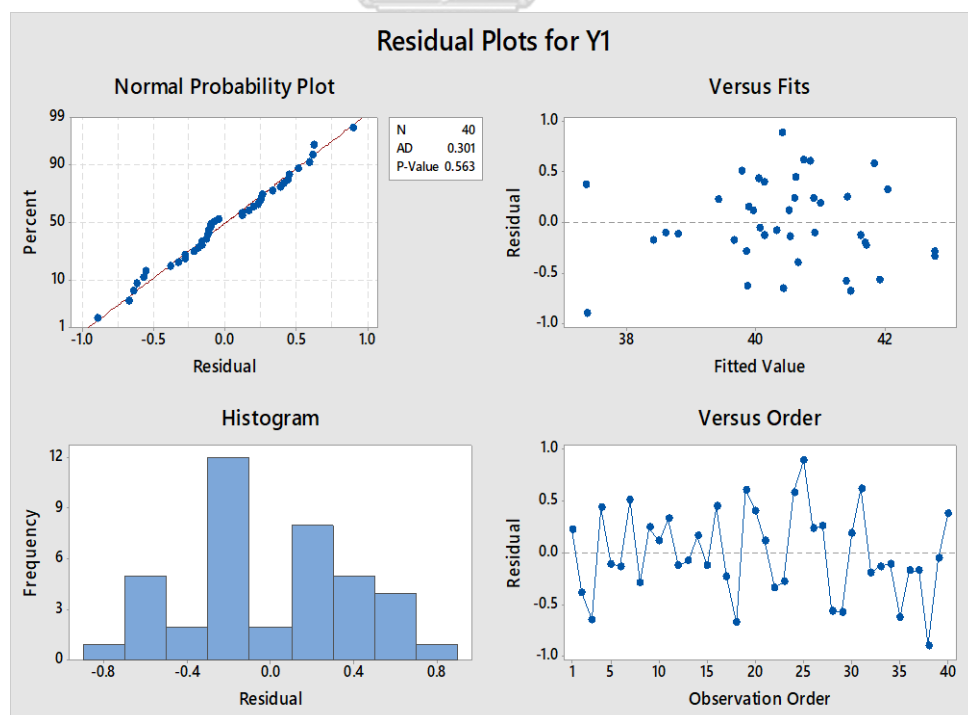
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	14	58.67	4.19	15.81	0.00	89.85%	84.17%
Linear	5	28.13	5.63	21.23	0.00		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X1	1	0.53	0.53	2.00	0.17		
X2	1	0.02	0.02	0.08	0.78		
X3	1	7.42	7.42	28.00	0.00		
X4	1	0.80	0.80	3.00	0.10		
X5	1	0.08	0.08	0.30	0.59		
Square	2	5.60	2.80	10.56	0.00		
X4*X4	1	2.45	2.45	9.23	0.01		
X5*X5	1	2.19	2.19	8.26	0.01		
2-Way Interaction	7	14.19	2.03	7.65	0.00		
X1*X2	1	8.96	8.96	33.81	0.00		
X1*X3	1	3.57	3.57	13.46	0.00		
X1*X4	1	8.40	8.40	31.70	0.00		
X1*X5	1	2.95	2.95	11.14	0.00		
X2*X5	1	1.04	1.04	3.94	0.06		
X3*X4	1	1.14	1.14	4.31	0.05		
X4*X5	1	1.41	1.41	5.33	0.03		
Error	25	6.63	0.27				
Total	39	65.29					

ตารางที่ ค144 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยแบบกำลังตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง C

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	41.22	0.24	172.07	0.00
X1	-0.69	0.49	-1.41	0.17
X2	0.14	0.49	0.29	0.78

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
X3	1.55	0.29	5.29	0.00
X4	0.75	0.44	1.73	0.10
X5	0.20	0.36	0.55	0.59
X4*X4	-1.48	0.49	-3.04	0.01
X5*X5	-1.49	0.52	-2.87	0.01
X1*X2	3.04	0.52	5.81	0.00
X1*X3	-2.23	0.61	-3.67	0.00
X1*X4	-4.84	0.86	-5.63	0.00
X1*X5	3.23	0.97	3.34	0.00
X2*X5	1.47	0.74	1.98	0.06
X3*X4	-1.49	0.72	-2.08	0.05
X4*X5	1.70	0.74	2.31	0.03



รูปที่ ค74 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยแบบกำลังตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปร  
ตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชิงพีลิ่ง C

ตัวแปรตอบสนอง Y2

$$Y2 = -337 + 0.2098 X2 - 3.61 X3 - 29.59 X4 + 0.671 X5 - 0.000065 X2^2 + 0.0336 X3^2 - 0.000414 X5^2 + 0.02094 X2X4 \quad (\text{ค16})$$

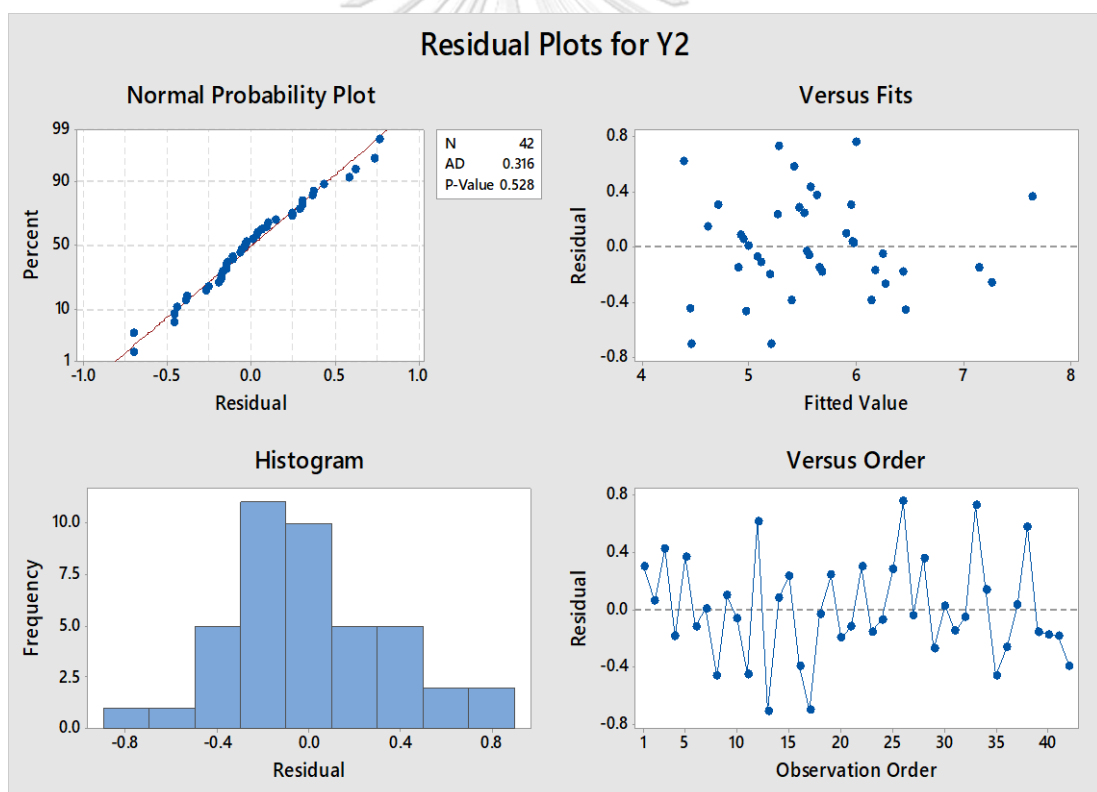
ตารางที่ ค145 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยแบบกำจัดตัวแปรแบบถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชิง C

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	8	13.72	1.72	10.25	0.00	72.57%	65.49%
Linear	4	5.41	1.35	8.09	0.00		
X2	1	1.65	1.65	9.89	0.00		
X3	1	0.78	0.78	4.66	0.04		
X4	1	0.26	0.26	1.53	0.23		
X5	1	0.10	0.10	0.62	0.44		
Square	3	2.21	0.74	4.40	0.01		
X2*X2	1	1.09	1.09	6.52	0.02		
X3*X3	1	0.55	0.55	3.32	0.08		
X5*X5	1	1.51	1.51	9.01	0.01		
2-Way Interaction	1	3.38	3.38	20.22	0.00		
X2*X4	1	3.38	3.38	20.22	0.00		
Error	31	5.19	0.17				
Total	39	18.91					

ตารางที่ ค146 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยแบบกำจัดตัวแปรแบบถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชิง C

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.23	0.17	30.38	0.00

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
X2	-0.81	0.26	-3.14	0.00
X3	-0.40	0.19	-2.16	0.04
X4	0.31	0.25	1.24	0.23
X5	-0.19	0.24	-0.79	0.44
X2*X2	-0.96	0.38	-2.55	0.02
X3*X3	0.59	0.33	1.82	0.08
X5*X5	-1.02	0.34	-3.00	0.01
X2*X4	2.39	0.53	4.50	0.00



รูปที่ ค75 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยแบบกำลังตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปร  
ตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชิงพีลิ่ง C

## 4.2 พิจารณาแอลฟา 0.15

ตัวแปรตอบสนอง Y1

$$\begin{aligned}
 Y1 = & 273 - 11.30 X1 - 0.339 X2 + 2.824 X3 + 15.0 X4 + 0.329 X5 & (ค17) \\
 & - 1.681 X4^2 - 0.000606 X5^2 + 0.004077 X1X2 - 0.0867 X1X3 \\
 & - 0.842 X1X4 + 0.01063 X1X5 + 0.000244 X2X5 - 0.377 X3X4 \\
 & + 0.0366 X4X5
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ค147 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยแบบกำจัดตัวแปรแบบถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชิงพหุคูณ C

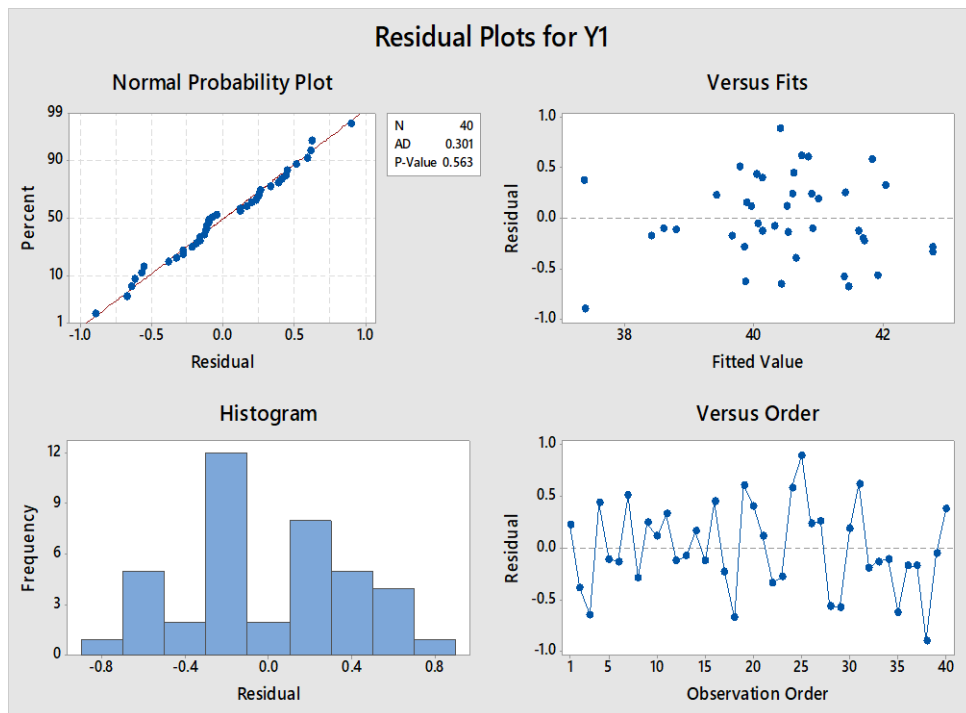
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	14	58.67	4.19	15.81	0.00	89.85%	84.17%
Linear	5	28.13	5.63	21.23	0.00		
X1	1	0.53	0.53	2.00	0.17		
X2	1	0.02	0.02	0.08	0.78		
X3	1	7.42	7.42	28.00	0.00		
X4	1	0.80	0.80	3.00	0.10		
X5	1	0.08	0.08	0.30	0.59		
Square	2	5.60	2.80	10.56	0.00		
X4*X4	1	2.45	2.45	9.23	0.01		
X5*X5	1	2.19	2.19	8.26	0.01		
2-Way Interaction	7	14.19	2.03	7.65	0.00		
X1*X2	1	8.96	8.96	33.81	0.00		
X1*X3	1	3.57	3.57	13.46	0.00		
X1*X4	1	8.40	8.40	31.70	0.00		
X1*X5	1	2.95	2.95	11.14	0.00		
X2*X5	1	1.04	1.04	3.94	0.06		
X3*X4	1	1.14	1.14	4.31	0.05		



Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X4*X5	1	1.41	1.41	5.33	0.03		
Error	25	6.63	0.27				
Total	39	65.29					

ตารางที่ ค148 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยแบบกำจัดตัวแปรแบบถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง C

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	41.22	0.24	172.07	0.00
X1	-0.69	0.49	-1.41	0.17
X2	0.14	0.49	0.29	0.78
X3	1.55	0.29	5.29	0.00
X4	0.75	0.44	1.73	0.10
X5	0.20	0.36	0.55	0.59
X4*X4	-1.48	0.49	-3.04	0.01
X5*X5	-1.49	0.52	-2.87	0.01
X1*X2	3.04	0.52	5.81	0.00
X1*X3	-2.23	0.61	-3.67	0.00
X1*X4	-4.84	0.86	-5.63	0.00
X1*X5	3.23	0.97	3.34	0.00
X2*X5	1.47	0.74	1.98	0.06
X3*X4	-1.49	0.72	-2.08	0.05
X4*X5	1.70	0.74	2.31	0.03



รูปที่ ค76 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยแบบกำลังตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปร  
ตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชิงพหุคูณ C

ตัวแปรตอบสนอง Y2

$$Y2 = -337 + 0.2098 X2 - 3.61 X3 - 29.59 X4 + 0.671 X5 - 0.000065 X2^2 + 0.0336 X3^2 - 0.000414 X5^2 + 0.02094 X2X4 \quad (\text{ค18})$$

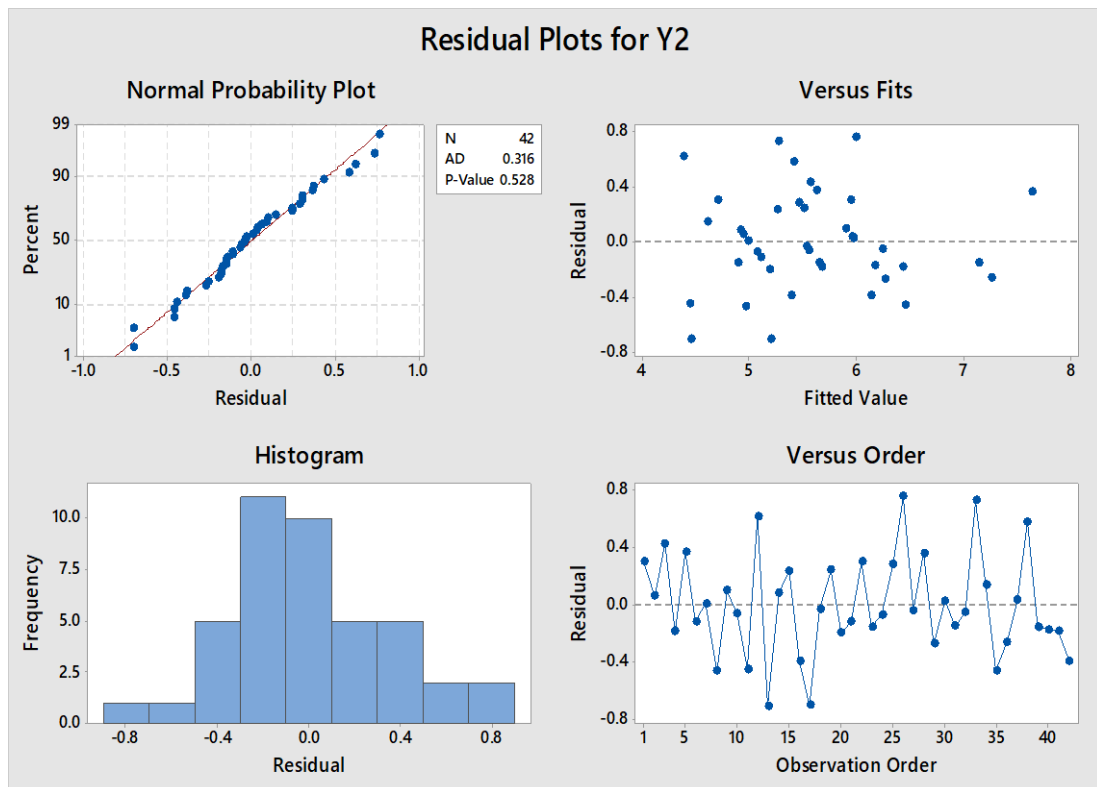
ตารางที่ ค149 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยแบบกำลังตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชิงพหุคูณ C

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	8	13.72	1.72	10.25	0.00	72.57%	65.49%
Linear	4	5.41	1.35	8.09	0.00		
X2	1	1.65	1.65	9.89	0.00		
X3	1	0.78	0.78	4.66	0.04		
X4	1	0.26	0.26	1.53	0.23		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X5	1	0.10	0.10	0.62	0.44		
Square	3	2.21	0.74	4.40	0.01		
X2*X2	1	1.09	1.09	6.52	0.02		
X3*X3	1	0.55	0.55	3.32	0.08		
X5*X5	1	1.51	1.51	9.01	0.01		
2-Way Interaction	1	3.38	3.38	20.22	0.00		
X2*X4	1	3.38	3.38	20.22	0.00		
Error	31	5.19	0.17				
Total	39	18.91					

ตารางที่ ค36 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานขอสมการถดถอยแบบกำจัดตัวแปรแบบถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง C

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.23	0.17	30.38	0.00
X2	-0.81	0.26	-3.14	0.00
X3	-0.40	0.19	-2.16	0.04
X4	0.31	0.25	1.24	0.23
X5	-0.19	0.24	-0.79	0.44
X2*X2	-0.96	0.38	-2.55	0.02
X3*X3	0.59	0.33	1.82	0.08
X5*X5	-1.02	0.34	-3.00	0.01
X2*X4	2.39	0.53	4.50	0.00



รูปที่ ค77 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปร  
ตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชิงพีลิป C

#### 4.3 พิจารณาแอลฟา 0.25

ตัวแปรตอบสนอง Y1

$$\begin{aligned}
 Y1 = & 404 - 11.23 X1 - 0.380 X2 - 2.05 X3 + 17.4 X4 + 0.387 X5 & (ค19) \\
 & - 1.823 X4^2 - 0.000855 X5^2 + 0.003908 X1X2 - 0.0809 X1X3 \\
 & - 0.821 X1X4 + 0.01053 X1X5 + 0.000299 X2X5 - 0.391 X3X4 \\
 & + 0.00549 X3X5 + 0.0332 X4X5
 \end{aligned}$$

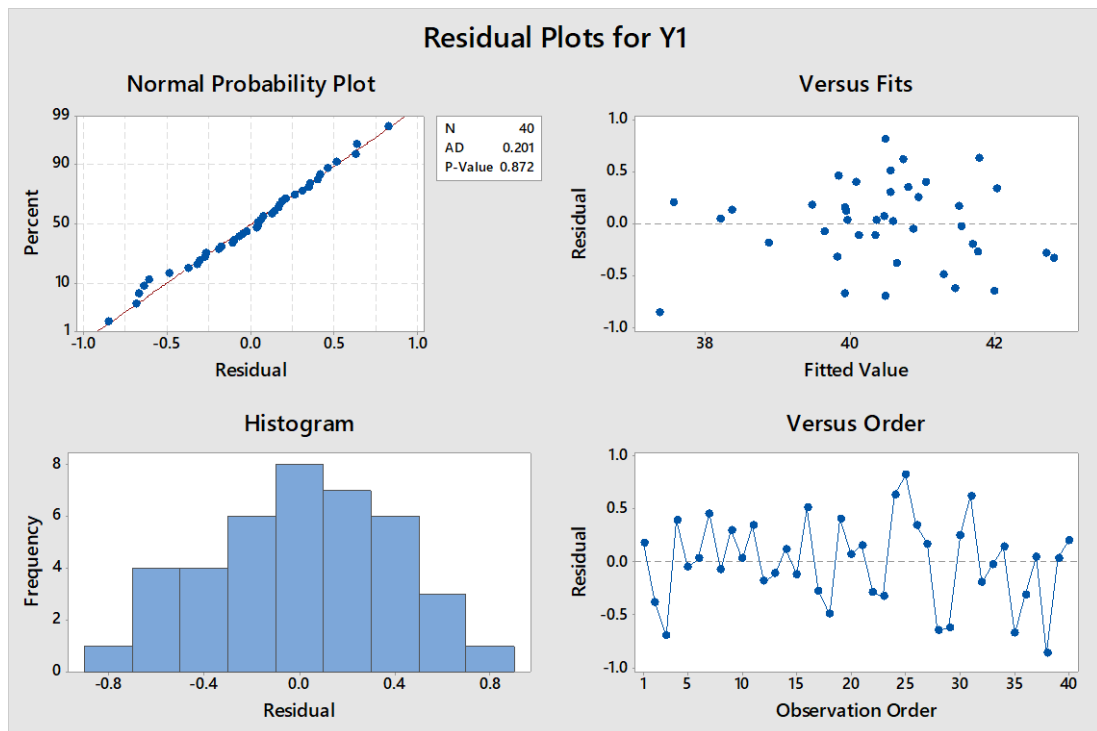
ตารางที่ ค150 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัว  
แปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชิงพีลิป C

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	15	59.19	3.95	15.51	0.00	90.65%	84.81%
Linear	5	26.32	5.26	20.69	0.00		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X1	1	0.39	0.39	1.52	0.23		
X2	1	0.00	0.00	0.02	0.90		
X3	1	0.46	0.46	1.82	0.19		
X4	1	0.94	0.94	3.69	0.07		
X5	1	0.59	0.59	2.32	0.14		
Square	2	5.40	2.70	10.62	0.00		
X4*X4	1	2.78	2.78	10.95	0.00		
X5*X5	1	2.55	2.55	10.02	0.00		
2-Way Interaction	8	14.71	1.84	7.23	0.00		
X1*X2	1	7.99	7.99	31.43	0.00		
X1*X3	1	3.01	3.01	11.84	0.00		
X1*X4	1	7.92	7.92	31.12	0.00		
X1*X5	1	2.89	2.89	11.37	0.00		
X2*X5	1	1.42	1.42	5.59	0.03		
X3*X4	1	1.22	1.22	4.81	0.04		
X3*X5	1	0.52	0.52	2.05	0.17		
X4*X5	1	1.13	1.13	4.45	0.05		
Error	24	6.11	0.25				
Total	39	65.29					

ตารางที่ ค151 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยแบบกำจัดตัวแปรแบบถอยหลัง  
ของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชิง C

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	40.88	0.33	122.71	0.00
X1	-0.60	0.49	-1.23	0.23
X2	-0.06	0.50	-0.13	0.90
X3	0.81	0.60	1.35	0.19
X4	0.83	0.43	1.92	0.07
X5	1.14	0.75	1.52	0.14
X4*X4	-1.60	0.48	-3.31	0.00
X5*X5	-2.11	0.67	-3.16	0.00
X1*X2	2.91	0.52	5.61	0.00
X1*X3	-2.09	0.61	-3.44	0.00
X1*X4	-4.72	0.85	-5.58	0.00
X1*X5	3.20	0.95	3.37	0.00
X2*X5	1.81	0.76	2.36	0.03
X3*X4	-1.54	0.70	-2.19	0.04
X3*X5	1.15	0.80	1.43	0.17
X4*X5	1.54	0.73	2.11	0.05



รูปที่ ค78 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยแบบจำกัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปร  
ตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชิงพีลิป C

ตัวแปรตอบสนอง Y2

$$\begin{aligned}
 Y2 = & -20 - 2.96 X1 + 0.035 X2 - 6.11 X3 - 25.33 X4 + 0.498 X5 & (ค20) \\
 & - 0.000075 X2^2 + 0.0436 X3^2 - 0.000529 X5^2 + 0.00351 X1X5 \\
 & + 0.001059 X2X3 + 0.01786 X2X4 + 0.000170 X2X5
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ค152 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยแบบจำกัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัว  
แปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชิงพีลิป C

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	12	14.58	1.21	7.58	0.00	77.11%	66.93%
Linear	5	3.82	0.76	4.77	0.00		
X1	1	0.48	0.48	2.97	0.10		
X2	1	1.94	1.94	12.08	0.00		
X3	1	0.05	0.05	0.33	0.57		

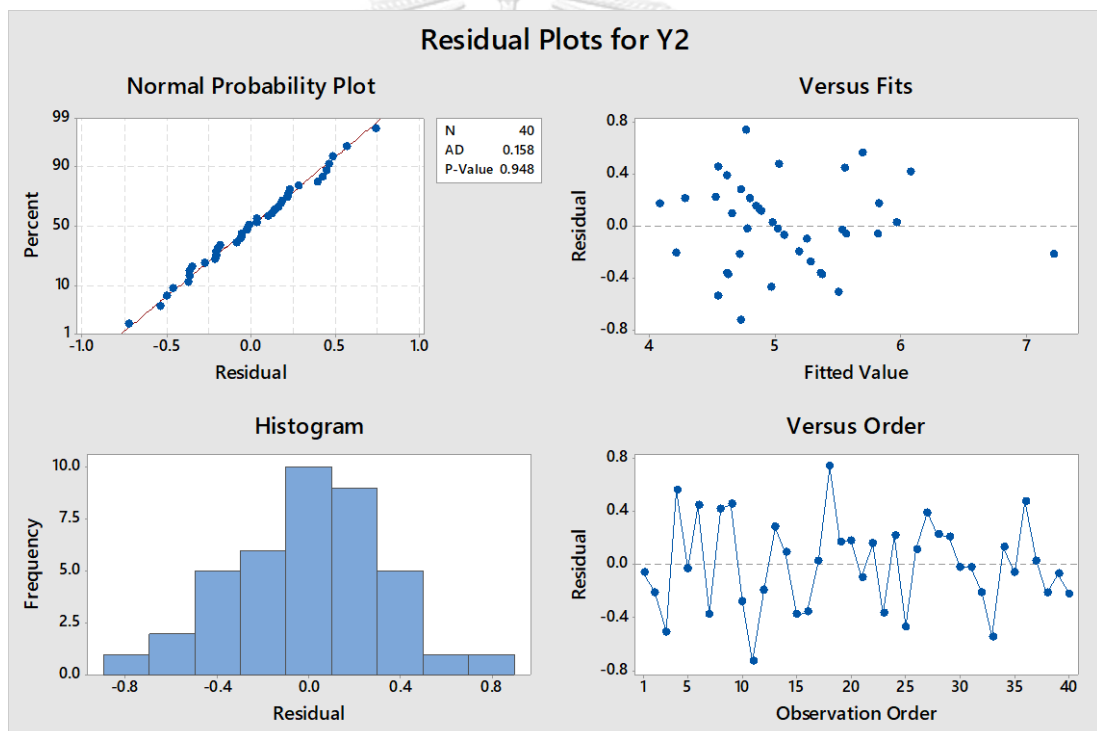
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X4	1	0.08	0.08	0.49	0.49		
X5	1	0.00	0.00	0.00	0.96		
Square	3	2.91	0.97	6.04	0.00		
X2*X2	1	1.41	1.41	8.77	0.01		
X3*X3	1	0.81	0.81	5.05	0.03		
X5*X5	1	2.13	2.13	13.31	0.00		
2-Way Interaction	4	4.24	1.06	6.61	0.00		
X1*X5	1	0.50	0.50	3.11	0.09		
X2*X3	1	0.30	0.30	1.89	0.18		
X2*X4	1	2.11	2.11	13.16	0.00		
X2*X5	1	0.50	0.50	3.12	0.09		
Error	27	4.33	0.16				
Total	39	18.91					

ตารางที่ ค153 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานขอสมการถดถอยแบบกึ่งจัดตัวแปรแบบถอยหลัง  
ของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชิง C

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.47	0.19	29.50	0.00
X1	-0.34	0.19	-1.79	0.08
X2	-0.79	0.27	-2.88	0.01
X3	-0.39	0.25	-1.58	0.13
X4	-0.67	0.19	-3.61	0.00
X5	-0.27	0.16	-1.72	0.10
X3*X3	-1.15	0.35	-3.31	0.00
X4*X4	1.09	0.35	3.08	0.01



Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.47	0.19	29.50	0.00
X5*X5	0.66	0.36	1.84	0.08
X1*X4	-0.49	0.31	-1.58	0.13
X1*X5	0.52	0.27	1.90	0.07
X2*X3	0.79	0.58	1.36	0.19
X2*X4	-0.92	0.36	-2.55	0.02
X3*X5	0.51	0.39	1.32	0.20



รูปที่ ค79 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยแบบกำลังตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปร  
ตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชิงพหุนาม C

พิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการ

1. พิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัวในสมการ (Full model)

ตัวแปรตอบสนอง Y1

$$\begin{aligned}
 Y1 = & 600 - 13.12 X1 - 0.495 X2 - 1.31 X3 + 15.7 X4 + 0.340 X5 & (ค21) \\
 & - 25.7 X8 + 0.0085 X1^2 + 0.000017 X2^2 + 0.0090 X3^2 \\
 & - 2.276 X4^2 - 0.000825 X5^2 + 0.00406 X1X2 - 0.0687 X1X3 \\
 & - 0.869 X1X4 + 0.01096 X1X5 + 0.0057 X2X4 + 0.000311 X2X5 \\
 & - 0.471 X3X4 + 0.00473 X3X5 + 0.0312 X4X5
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ค154 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัวในสมการของตัวแปรตอบสนอง Y1 สูตรเชิงพีลิป C

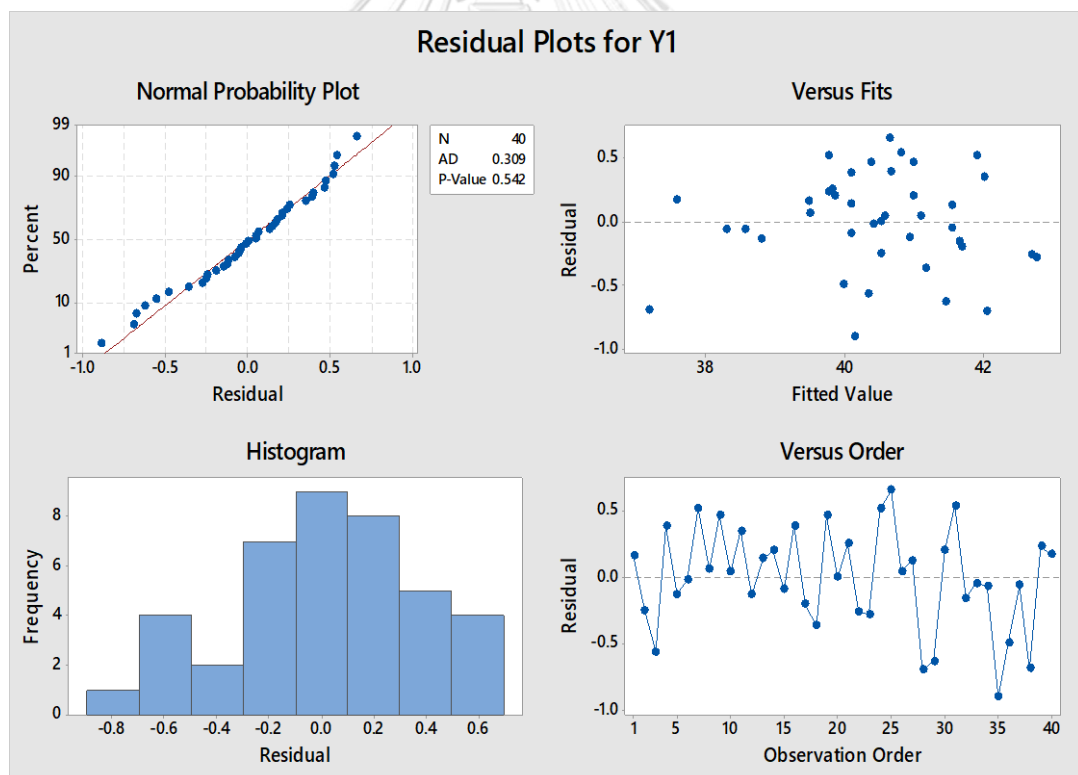
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	20	59.75	2.99	10.25	0.00	91.52%	82.59%
Linear	6	22.13	3.69	12.65	0.00		
X1	1	0.35	0.35	1.21	0.29		
X2	1	0.21	0.21	0.72	0.41		
X3	1	0.23	0.22	0.77	0.39		
X4	1	0.57	0.57	1.96	0.18		
X5	1	0.45	0.45	1.53	0.23		
X8	1	0.19	0.19	0.64	0.43		
Square	5	5.28	1.06	3.62	0.02		
X1*X1	1	0.16	0.16	0.55	0.47		
X2*X2	1	0.02	0.02	0.05	0.82		
X3*X3	1	0.03	0.03	0.09	0.77		
X4*X4	1	1.92	1.92	6.58	0.02		
X5*X5	1	2.29	2.29	7.85	0.01		
2-Way Interaction	9	12.91	1.43	4.92	0.00		
X1*X2	1	4.20	4.20	14.43	0.00		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X1*X3	1	1.48	1.48	5.09	0.04		
X1*X4	1	6.03	6.03	20.70	0.00		
X1*X5	1	2.68	2.68	9.18	0.01		
X2*X4	1	0.04	0.04	0.15	0.71		
X2*X5	1	1.29	1.29	4.42	0.05		
X3*X4	1	1.36	1.36	4.67	0.04		
X3*X5	1	0.32	0.32	1.08	0.31		
X4*X5	1	0.58	0.58	1.97	0.18		
Error	19	5.54	0.29				
Total	39	65.29					

ตารางที่ ค155 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทน  
ตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบทุกตัวแปรของตัวแปรตอบสนอง Y1 สูตรเชื้อเพลิง C

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	38.14	3.24	11.78	0.00
X1	-0.60	0.55	-1.10	0.29
X2	-7.28	8.55	-0.85	0.41
X3	7.57	8.61	0.88	0.39
X4	1.11	0.79	1.40	0.18
X5	1.06	0.85	1.24	0.23
X8	-11.40	14.30	-0.80	0.43
X1*X1	0.32	0.43	0.74	0.47
X2*X2	0.25	1.11	0.23	0.82
X3*X3	0.16	0.54	0.30	0.77
X4*X4	-2.00	0.78	-2.56	0.02
X5*X5	-2.03	0.73	-2.80	0.01

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
X1*X2	3.03	0.80	3.80	0.00
X1*X3	-1.77	0.78	-2.26	0.04
X1*X4	-4.99	1.10	-4.55	0.00
X1*X5	3.33	1.10	3.03	0.01
X2*X4	0.65	1.70	0.38	0.71
X2*X5	1.88	0.90	2.10	0.05
X3*X4	-1.86	0.86	-2.16	0.04
X3*X5	0.99	0.95	1.04	0.31
X4*X5	1.45	1.03	1.40	0.18



รูปที่ ค80 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพล  
ร่วมในสมการแบบทุกตัวแปรของตัวแปรตอบสนอง Y1 สูตรเชิงพีชคณิต C

ตัวแปรตอบสนอง Y2

$$\begin{aligned}
 Y2 = & 136 - 3.86 X1 - 0.168 X2 - 0.26 X3 - 15.8 X4 + 0.458 X5 & (ค22) \\
 & - 39.3 X8 - 0.00197X1^2 - 0.000017 X2^2 + 0.0464 X3^2 \\
 & + 0.040 X4^2 - 0.000435 X5^2 - 0.000115 X1X2 + 0.0031 X1X3 \\
 & - 0.121 X1X4 + 0.00457 X1X5 + 0.0135 X2X4 + 0.000175 X2X5 \\
 & - 0.137 X3X4 - 0.00296 X3X5 + 0.0098 X4X5
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ค156 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัว  
ในสมการของตัวแปรตอบสนอง Y2 สูตรเชิงพีชคณิต C

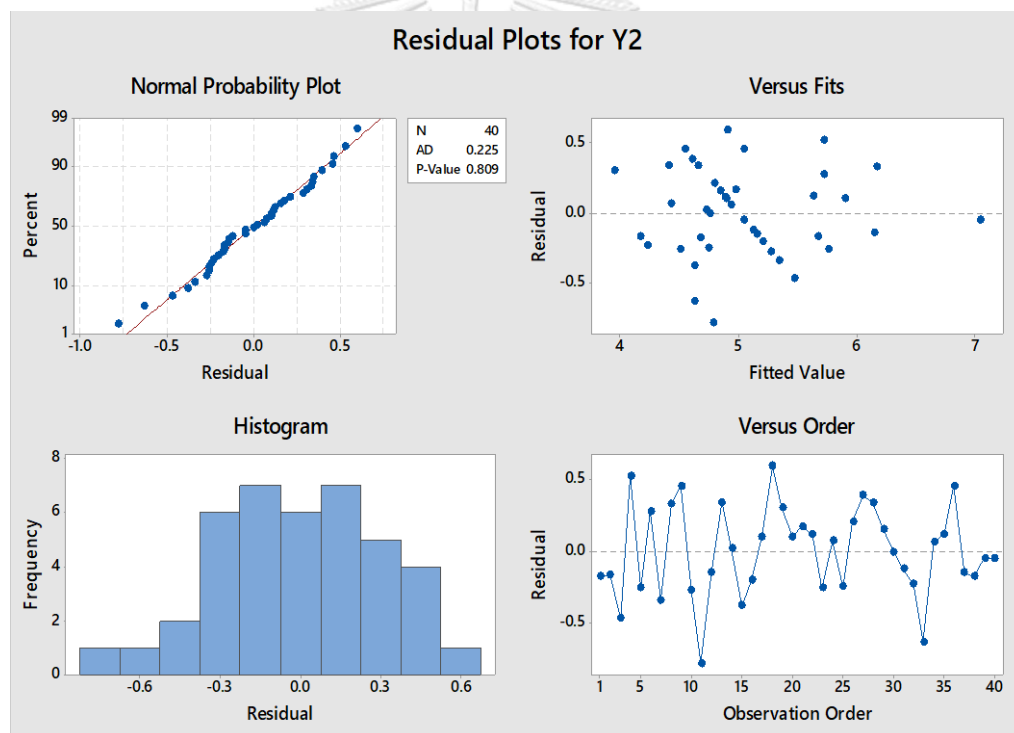
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	20	15.05	0.75	3.70	0.00	79.58%	58.08%
Linear	6	4.65	0.77	3.81	0.01		
X1	1	0.33	0.33	1.62	0.22		
X2	1	0.56	0.56	2.74	0.12		
X3	1	0.43	0.43	2.11	0.16		
X4	1	0.00	0.00	0.00	0.99		
X5	1	0.12	0.12	0.57	0.46		
X8	1	0.44	0.44	2.15	0.16		
Square	5	1.31	0.26	1.29	0.31		
X1*X1	1	0.01	0.01	0.04	0.84		
X2*X2	1	0.01	0.01	0.07	0.79		
X3*X3	1	0.67	0.67	3.30	0.09		
X4*X4	1	0.00	0.00	0.00	0.96		
X5*X5	1	0.64	0.64	3.13	0.09		
2-Way Interaction	9	1.90	0.21	1.04	0.45		
X1*X2	1	0.00	0.00	0.02	0.90		
X1*X3	1	0.00	0.00	0.01	0.90		
X1*X4	1	0.12	0.12	0.58	0.46		
X1*X5	1	0.47	0.47	2.29	0.15		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X2*X4	1	0.24	0.24	1.17	0.29		
X2*X5	1	0.41	0.41	2.01	0.17		
X3*X4	1	0.12	0.12	0.57	0.46		
X3*X5	1	0.12	0.12	0.61	0.45		
X4*X5	1	0.06	0.06	0.28	0.60		
Error	19	3.86	0.20				
Total	39	18.91					

ตารางที่ ค157 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบพิจารณาทุกตัวแปรของตัวแปรตอบสนอง Y2 สูตรเชิงพีลิป C

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	1.41	2.70	0.52	0.61
X1	-0.58	0.46	-1.27	0.22
X2	-11.81	7.14	-1.65	0.12
X3	10.46	7.19	1.45	0.16
X4	0.01	0.66	0.02	0.99
X5	-0.54	0.71	-0.76	0.46
X8	-17.50	12.00	-1.47	0.16
X1*X1	-0.07	0.36	-0.21	0.84
X2*X2	-0.25	0.93	-0.27	0.79
X3*X3	0.82	0.45	1.82	0.09
X4*X4	0.04	0.65	0.05	0.96
X5*X5	-1.07	0.61	-1.77	0.09
X1*X2	-0.09	0.67	-0.13	0.90
X1*X3	0.08	0.66	0.12	0.90

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
X1*X4	-0.70	0.92	-0.76	0.46
X1*X5	1.39	0.92	1.51	0.15
X2*X4	1.54	1.42	1.08	0.29
X2*X5	1.06	0.75	1.42	0.17
X3*X4	-0.54	0.72	-0.75	0.46
X3*X5	-0.62	0.79	-0.78	0.45
X4*X5	0.46	0.86	0.53	0.60



รูปที่ ค81 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพล  
ร่วมในสมการแบบพิจารณาทุกตัวแปรของตัวแปรตอบสนอง Y2 สูตรเชื้อเพลิง C

## 2. การเลือกตัวแปรโดยการเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอน (Stepwise regression)

### 2.1 พิจารณาแอลฟา 0.10

ตัวแปรตอบสนอง Y1

$$Y1 = 5.47 + 0.01168 X2 + 0.02215 X5 \quad (\text{ค23})$$

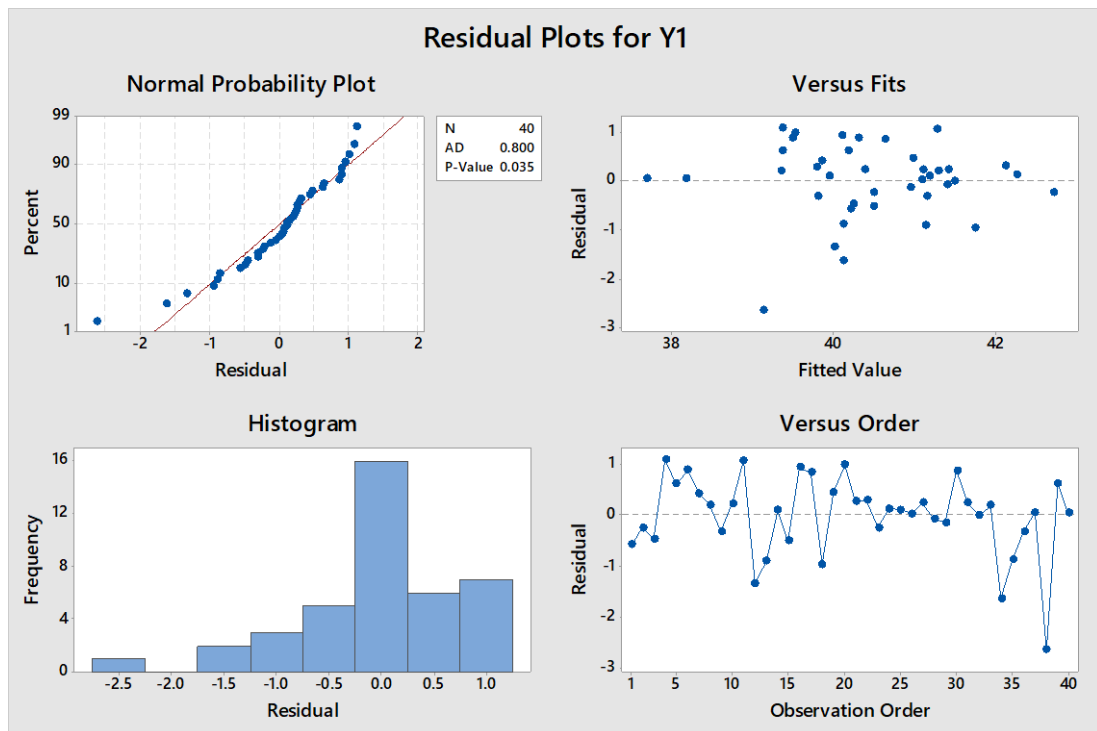
ตารางที่ ค158 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชื่อเพลิง C

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	2	42.14	21.07	33.66	0.00	64.53%	62.62%
Linear	2	42.14	21.07	33.66	0.00		
X2	1	15.30	15.30	24.45	0.00		
X5	1	10.20	10.20	16.30	0.00		
Error	37	23.16	0.63				
Total	39	65.29					

ตารางที่ ค159 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชื่อเพลิง C

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	40.22	0.19	207.96	0.00
X2	1.42	0.29	4.94	0.00
X5	1.10	0.27	4.04	0.00





รูปที่ ค82 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง C

ตัวแปรตอบสนอง Y2

$$Y2 = -82.1 + 1.99 X3 + 2.548 X4 + 0.1078 X5 + 1.050 X4^2 - 0.00242 X3 * X5 \quad (\text{ค24})$$

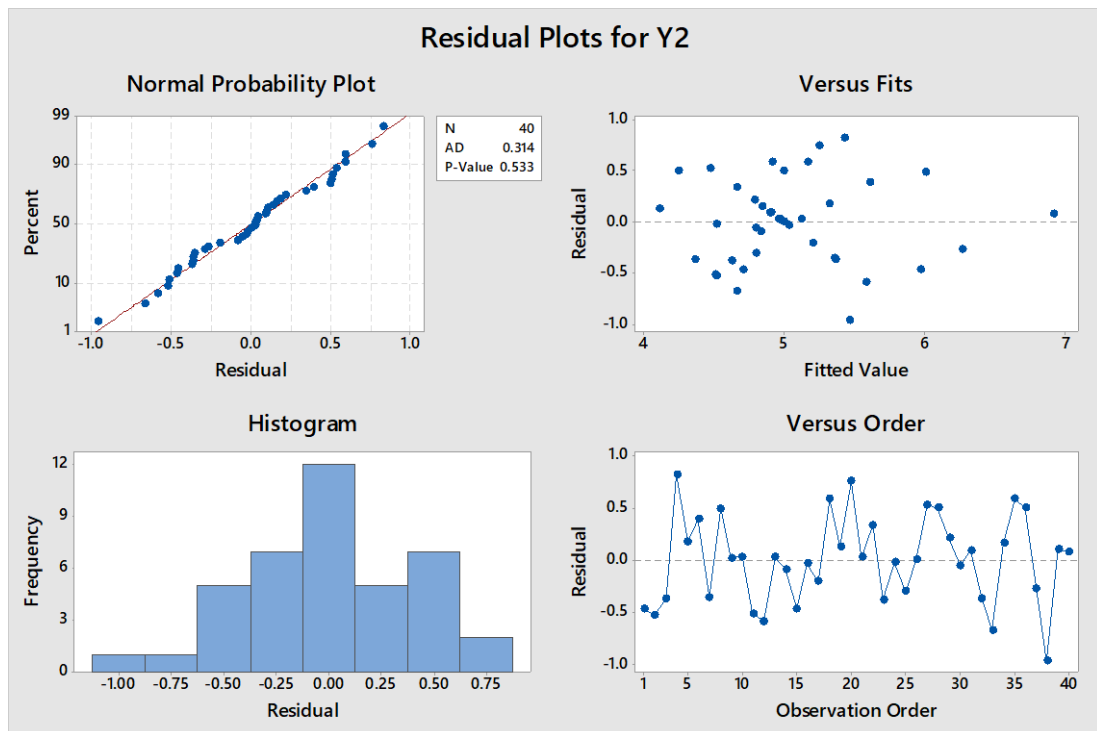
ตารางที่ ค160 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง C

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	5	12.11	2.42	12.10	0.00	64.03%	58.74%
Linear	3	10.99	3.66	18.30	0.00		
X3	1	0.02	0.02	0.09	0.76		
X4	1	1.58	1.58	7.90	0.01		
X5	1	2.57	2.57	12.87	0.00		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Square	1	1.98	1.98	9.88	0.00		
X4*X4	1	1.98	1.98	9.88	0.00		
2-Way Interaction	1	0.40	0.40	1.99	0.17		
X3*X5	1	0.40	0.40	1.99	0.17		
Error	34	6.80	0.20				
Total	39	18.91					

ตารางที่ ค161 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง C

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.40	0.17	32.00	0.00
X3	0.08	0.27	0.30	0.76
X4	-0.49	0.17	-2.81	0.01
X5	-0.93	0.26	-3.59	0.00
X4*X4	0.92	0.29	3.14	0.00
X3*X5	-0.51	0.36	-1.41	0.17



รูปที่ ค83 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชิงพีลิ่ง C

## 2.2 พิจารณาแอลฟา 0.15

ตัวแปรตอบสนอง Y1

$$\begin{aligned}
 Y1 = & 163.5 - 4.28 X1 - 0.1221 X2 + 1.491 X3 + 17.1 X4 - 2.238 X4^2 & (ข25) \\
 & + 0.004299 X1X2 - 0.0515 X1X3 - 0.640 X1X4 + 0.01357 X2X4 \\
 & - 0.367 X3X4
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ค162 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชิงพีลิ่ง C

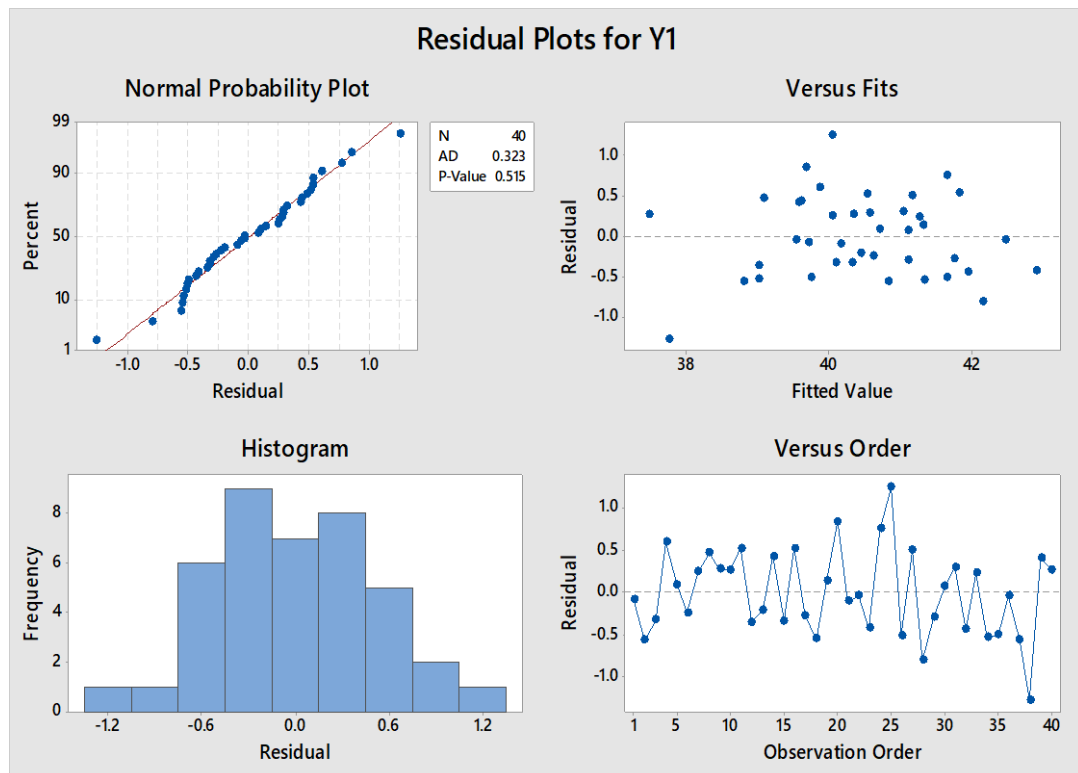
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	10	55.26	5.53	15.98	0.00	84.64%	79.34%
Linear	4	34.98	8.74	25.28	0.00		
X1	1	1.83	1.83	5.30	0.03		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X2	1	2.44	2.44	7.04	0.01		
X3	1	9.02	9.02	26.08	0.00		
X4	1	4.66	4.66	13.46	0.00		
Square	1	3.00	3.00	8.67	0.01		
X4*X4	1	3.00	3.00	8.67	0.01		
2-Way Interaction	5	14.35	2.87	8.30	0.00		
X1*X2	1	12.38	12.38	35.79	0.00		
X1*X3	1	2.71	2.71	7.84	0.01		
X1*X4	1	6.00	6.00	17.35	0.00		
X2*X4	1	1.12	1.11	3.22	0.08		
X3*X4	1	2.12	2.12	6.12	0.02		
Error	29	10.03	0.35				
Total	39	65.29					

ตารางที่ ค163 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	40.80	0.15	275.10	0.00
X1	0.67	0.29	2.30	0.03
X2	0.87	0.33	2.65	0.01
X3	1.02	0.20	5.11	0.00
X4	1.55	0.42	3.67	0.00
X4*X4	-1.97	0.67	-2.95	0.01
X1*X2	3.21	0.54	5.98	0.00
X1*X3	-1.33	0.47	-2.80	0.01

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
X1*X4	-3.68	0.88	-4.17	0.00
X2*X4	1.55	0.86	1.80	0.08
X3*X4	-1.45	0.59	-2.47	0.02



รูปที่ ค84 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื่อมเพลิง C

ตัวแปรตอบสนอง Y2

$$Y2 = -82.1 + 1.99 X3 + 2.548 X4 + 0.1078 X5 + 1.050 X4^2 - 0.00242 X3X5 \quad (ค26)$$

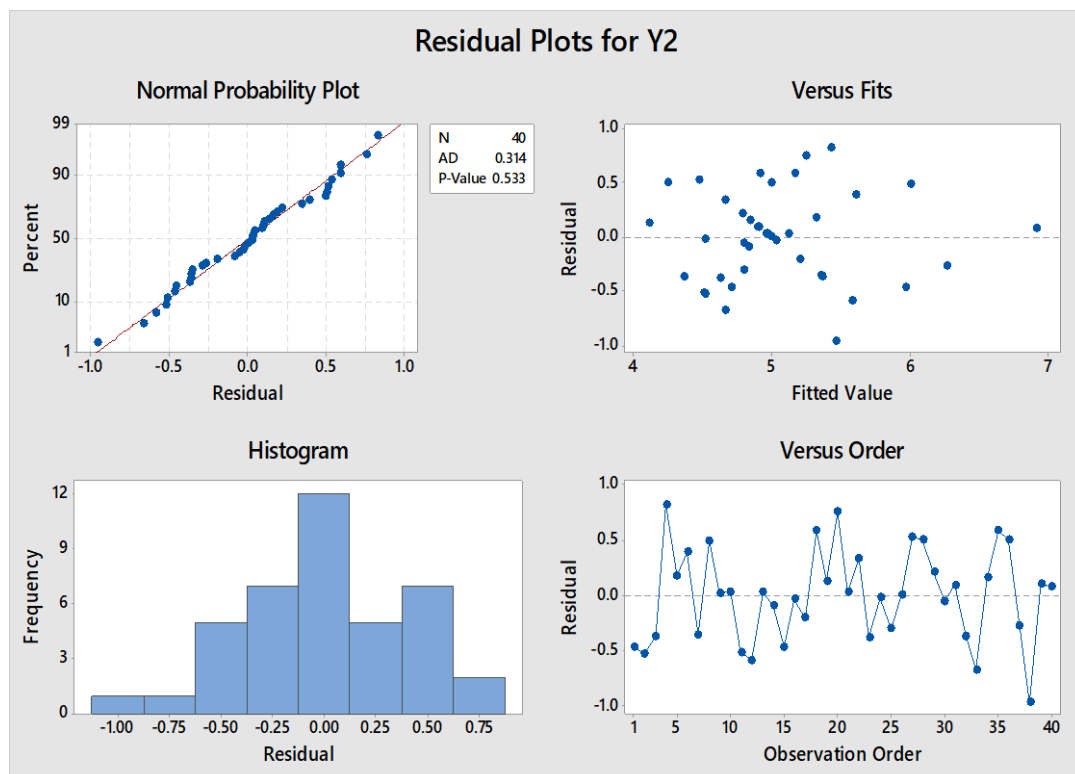
ตารางที่ ค164 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง C

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	5	12.11	2.42	12.10	0.00	64.03%	58.74%
Linear	3	10.99	3.66	18.30	0.00		
X3	1	0.02	0.02	0.09	0.76		
X4	1	1.58	1.58	7.90	0.01		
X5	1	2.57	2.57	12.87	0.00		
Square	1	1.98	1.98	9.88	0.00		
X4*X4	1	1.98	1.98	9.88	0.00		
2-Way Interaction	1	0.40	0.40	1.99	0.17		
X3*X5	1	0.40	0.40	1.99	0.17		
Error	34	6.80	0.20				
Total	39	18.91					

ตารางที่ ข165 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.67	0.14	39.64	0.00
X2	-0.42	0.23	-1.84	0.08
X3	-0.60	0.20	-2.93	0.01
X4	-0.61	0.19	-3.21	0.00
X5	-0.18	0.15	-1.19	0.24
X3*X3	-0.93	0.27	-3.38	0.00

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
X4*X4	1.15	0.34	3.36	0.00
X2*X4	-0.66	0.33	-2.00	0.05
X3*X5	0.80	0.30	2.63	0.01



รูปที่ ค85 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปร  
ตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชิงพีลิ่ง C

2.3 พิจารณาแอลฟา 0.25

ตัวแปรตอบสนอง Y1

$$\begin{aligned}
 Y1 = & 163.5 - 4.28 X1 - 0.1221 X2 + 1.491 X3 + 17.1 X4 - 2.238 X4^2 \\
 & + 0.004299 X1X2 - 0.0515 X1X3 - 0.640 X1X4 + 0.01357 X2X4 \\
 & - 0.367 X3X4
 \end{aligned} \quad (ค27)$$

ตารางที่ ค166 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปร  
อิทธิพลร่วมในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตร  
เชื้อเพลิง C

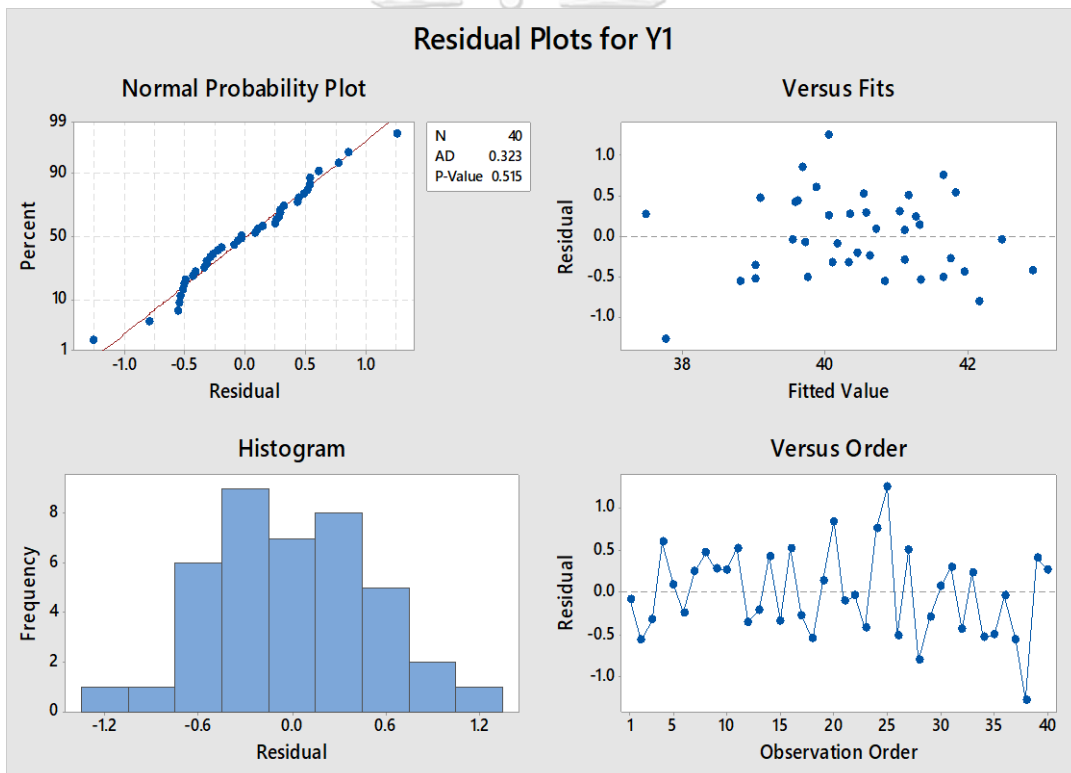
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	9	191.18	21.24	129.85	0.00	97.33%	96.59%
Linear	5	144.36	28.87	176.50	0.00		
X1	1	3.31	3.31	20.23	0.00		
X2	1	38.82	38.82	237.31	0.00		
X3	1	0.22	0.22	1.37	0.25		
X4	1	0.42	0.42	2.58	0.12		
X5	1	6.69	6.69	40.90	0.00		
Square	1	0.29	0.29	1.77	0.19		
X3*X3	1	0.29	0.29	1.77	0.19		
2-Way Interaction	3	5.58	1.86	11.36	0.00		
X2*X4	1	2.15	2.15	13.13	0.00		
X3*X5	1	2.89	2.89	17.66	0.00		
X4*X5	1	2.90	2.90	17.70	0.00		
Error	32	5.24	0.16				
Total	41	196.41					

ตารางที่ ค167 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทน  
ตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25  
สูตรเชื้อเพลิง C

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	38.78	0.11	361.87	0.00
X1	-0.68	0.15	-4.50	0.00
X2	3.21	0.21	15.40	0.00



Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
X3	0.22	0.19	1.17	0.25
X4	-0.24	0.15	-1.61	0.12
X5	0.97	0.15	6.39	0.00
X3*X3	-0.34	0.25	-1.33	0.19
X2*X4	1.00	0.28	3.62	0.00
X3*X5	1.28	0.30	4.20	0.00
X4*X5	-1.09	0.26	-4.21	0.00



รูปที่ ค86 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปร  
ตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชิงพีลิ่ง C

ตัวแปรตอบสนอง Y2

$$Y2 = -82.1 + 1.99 X3 + 2.548 X4 + 0.1078 X5 + 1.050 X4^2 - 0.00242 X3X5 \quad (ค28)$$

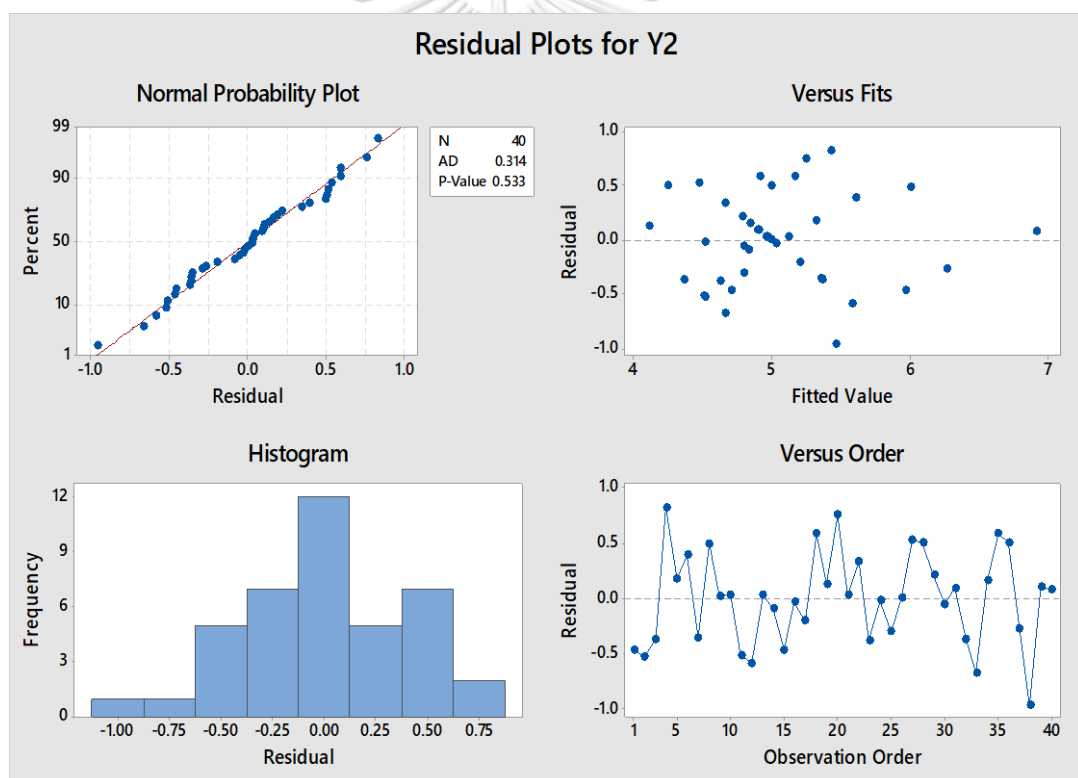
ตารางที่ ค168 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง C

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	5	12.11	2.42	12.10	0.00	64.03%	58.74%
Linear	3	10.99	3.66	18.30	0.00		
X3	1	0.02	0.02	0.09	0.76		
X4	1	1.58	1.58	7.90	0.01		
X5	1	2.57	2.57	12.87	0.00		
Square	1	1.98	1.98	9.88	0.00		
X4*X4	1	1.98	1.98	9.88	0.00		
2-Way Interaction	1	0.40	0.40	1.99	0.17		
X3*X5	1	0.40	0.40	1.99	0.17		
Error	34	6.80	0.20				
Total	39	18.91					

ตารางที่ ค169 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง C

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.67	0.14	39.64	0.00
X2	-0.42	0.23	-1.84	0.08

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
X3	-0.60	0.20	-2.93	0.01
X4	-0.61	0.19	-3.21	0.00
X5	-0.18	0.15	-1.19	0.24
X3*X3	-0.93	0.27	-3.38	0.00
X4*X4	1.15	0.34	3.36	0.00
X2*X4	-0.66	0.33	-2.00	0.05
X3*X5	0.80	0.30	2.63	0.01



รูปที่ ค87 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปร  
ตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชิง C

## 3. การเลือกตัวแปรแบบเดินหน้า (Forward selection)

## 3.1 พิจารณาแอลฟา 0.10

ตัวแปรตอบสนอง Y1

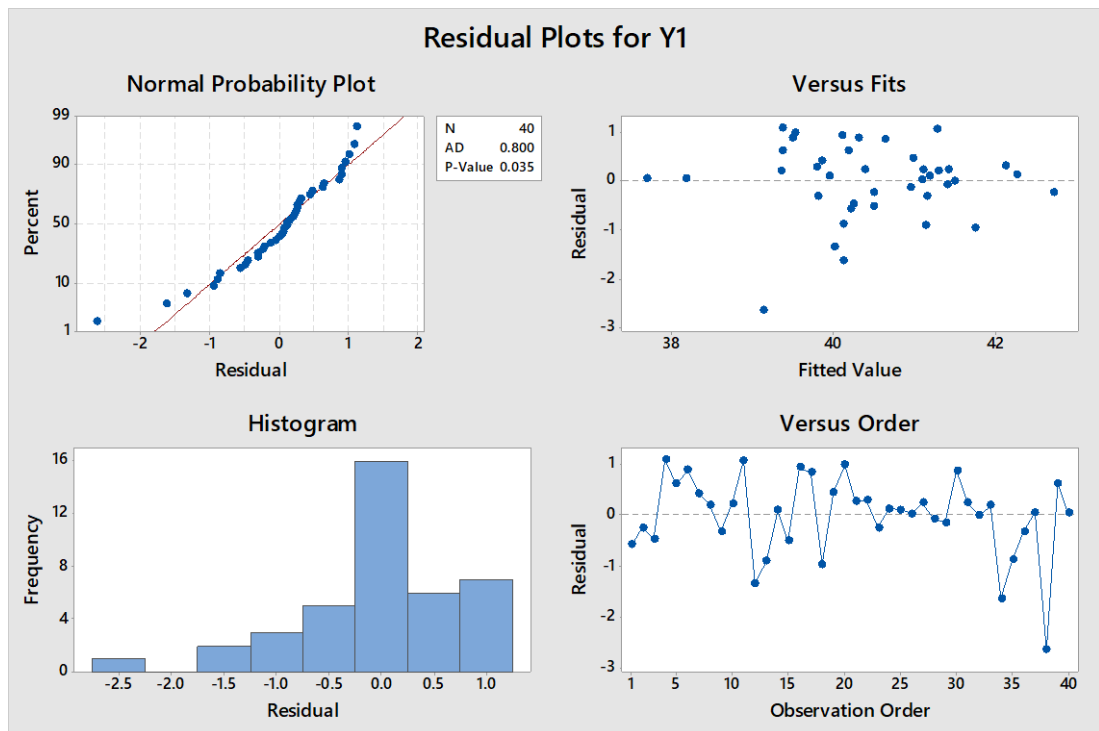
$$Y1 = 5.47 + 0.01168 X2 + 0.02215 X5 \quad (\text{ค29})$$

ตารางที่ ค170 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรชื่อเพลิง C

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	2	42.14	21.07	33.66	0.00	64.53%	62.62%
Linear	2	42.14	21.07	33.66	0.00		
X2	1	15.30	15.30	24.45	0.00		
X5	1	10.20	10.20	16.30	0.00		
Error	37	23.16	0.63				
Total	39	65.29					

ตารางที่ ค171 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรชื่อเพลิง C

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	40.22	0.19	207.96	0.00
X2	1.42	0.29	4.94	0.00
X5	1.10	0.27	4.04	0.00



รูปที่ ค88 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพล  
ร่วมในสมการแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชื่อเพลิง C

ตัวแปรตอบสนอง Y2

$$Y2 = -82.1 + 1.99 X3 + 2.548 X4 + 0.1078 X5 + 1.050 X4^2 - 0.00242 X3 \cdot X5 \quad (\text{ค30})$$

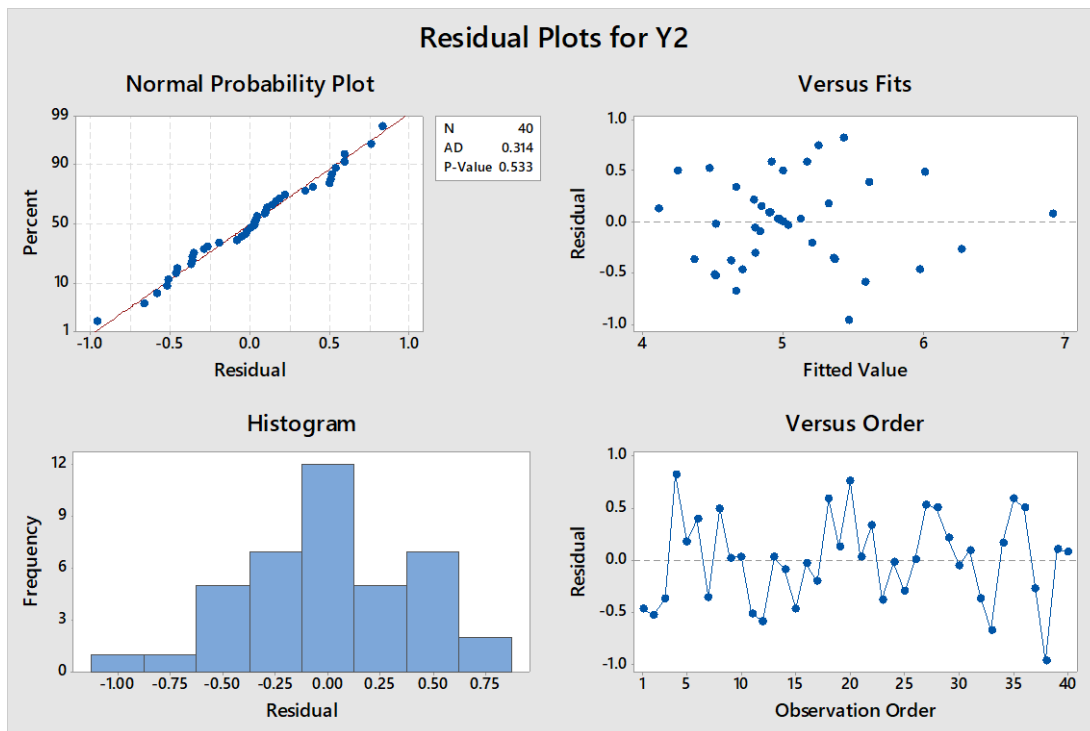
ตารางที่ ค172 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปร  
อิทธิพลร่วมในสมการแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชื่อเพลิง C

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	5	12.11	2.42	12.10	0.00	64.03%	58.74%
Linear	3	10.99	3.66	18.30	0.00		
X3	1	0.02	0.02	0.09	0.76		
X4	1	1.58	1.58	7.90	0.01		
X5	1	2.57	2.57	12.87	0.00		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Square	1	1.98	1.98	9.88	0.00		
X4*X4	1	1.98	1.98	9.88	0.00		
2-Way Interaction	1	0.40	0.40	1.99	0.17		
X3*X5	1	0.40	0.40	1.99	0.17		
Error	34	6.80	0.20				
Total	39	18.91					

ตารางที่ ค173 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทน  
ตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเดินทางของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชิงพีชคณิต C

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.40	0.17	32.00	0.00
X3	0.08	0.27	0.30	0.76
X4	-0.49	0.17	-2.81	0.01
X5	-0.93	0.26	-3.59	0.00
X4*X4	0.92	0.29	3.14	0.00
X3*X5	-0.51	0.36	-1.41	0.17



รูปที่ ค89 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพล  
ร่วมในสมการแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชื่อเพลิง C

### 3.2 พิจารณาแอลฟา 0.15

ตัวแปรตอบสนอง Y1

$$Y1 = 160.4 - 4.22 X1 - 0.1196 X2 + 1.453 X3 + 16.5 X4 + 0.00141 X5 - 2.205 X4^2 + 0.004220 X1X2 - 0.0502 X1X3 - 0.630 X1X4 + 0.01343 X2X4 - 0.356 X3X4 \quad (ค31)$$

ตารางที่ ค174 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื่อเพลิง C

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	11	55.28	5.03	14.06	0.00	84.67%	78.65%
Linear	5	35.00	7.00	19.58	0.00		
X1	1	1.68	1.68	4.71	0.04		
X2	1	2.37	2.37	6.62	0.02		

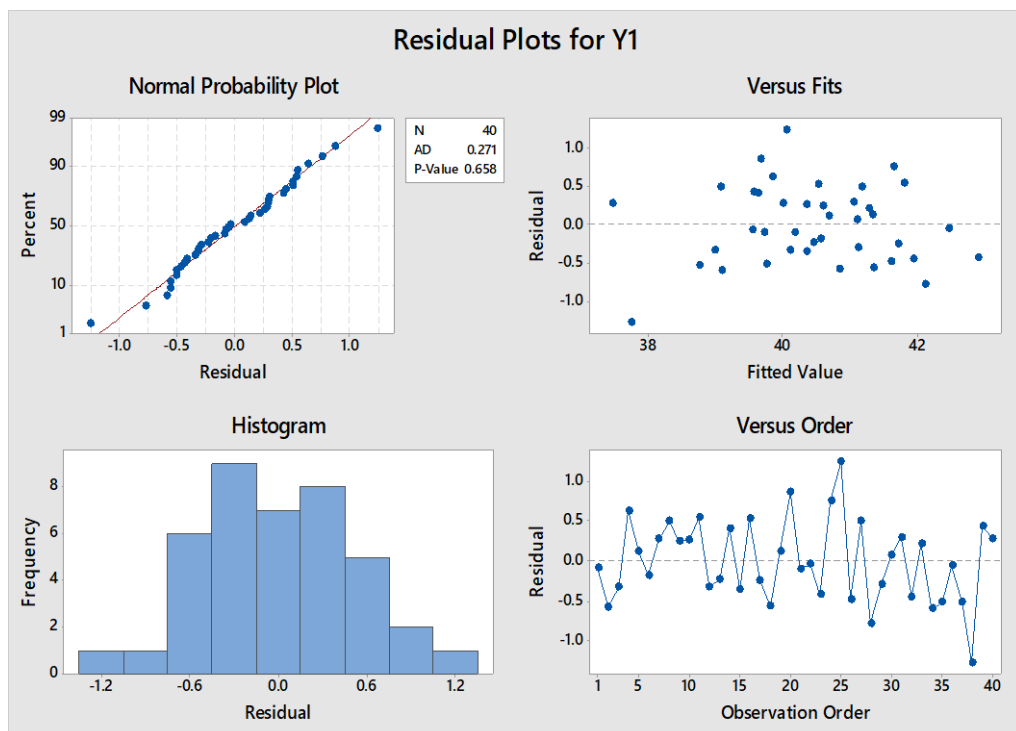
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X3	1	4.88	4.88	13.65	0.00		
X4	1	4.14	4.14	11.59	0.00		
X5	1	0.02	0.02	0.06	0.81		
Square	1	2.82	2.82	7.89	0.01		
X4*X4	1	2.82	2.82	7.89	0.01		
2-Way Interaction	5	11.17	2.23	6.25	0.00		
X1*X2	1	9.89	9.89	27.66	0.00		
X1*X3	1	2.37	2.37	6.64	0.02		
X1*X4	1	5.44	5.44	15.22	0.00		
X2*X4	1	1.08	1.08	3.03	0.09		
X3*X4	1	1.81	1.81	5.06	0.03		
Error	28	10.01	0.36				
Total	39	65.29					

ตารางที่ ค175 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเดินทางของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชิงพีชคณิต C

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	40.76	0.22	188.48	0.00
X1	0.66	0.30	2.17	0.04
X2	0.86	0.33	2.57	0.02
X3	0.98	0.27	3.69	0.00
X4	1.52	0.45	3.40	0.00
X5	0.07	0.29	0.24	0.81
X4*X4	-1.94	0.69	-2.81	0.01
X1*X2	3.15	0.60	5.26	0.00



Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
X1*X3	-1.29	0.50	-2.58	0.02
X1*X4	-3.62	0.93	-3.90	0.00
X2*X4	1.53	0.88	1.74	0.09
X3*X4	-1.40	0.62	-2.25	0.03



รูปที่ ค90 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพล  
ร่วมในสมการแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื่อมเพลิง C

ตัวแปรตอบสนอง Y2

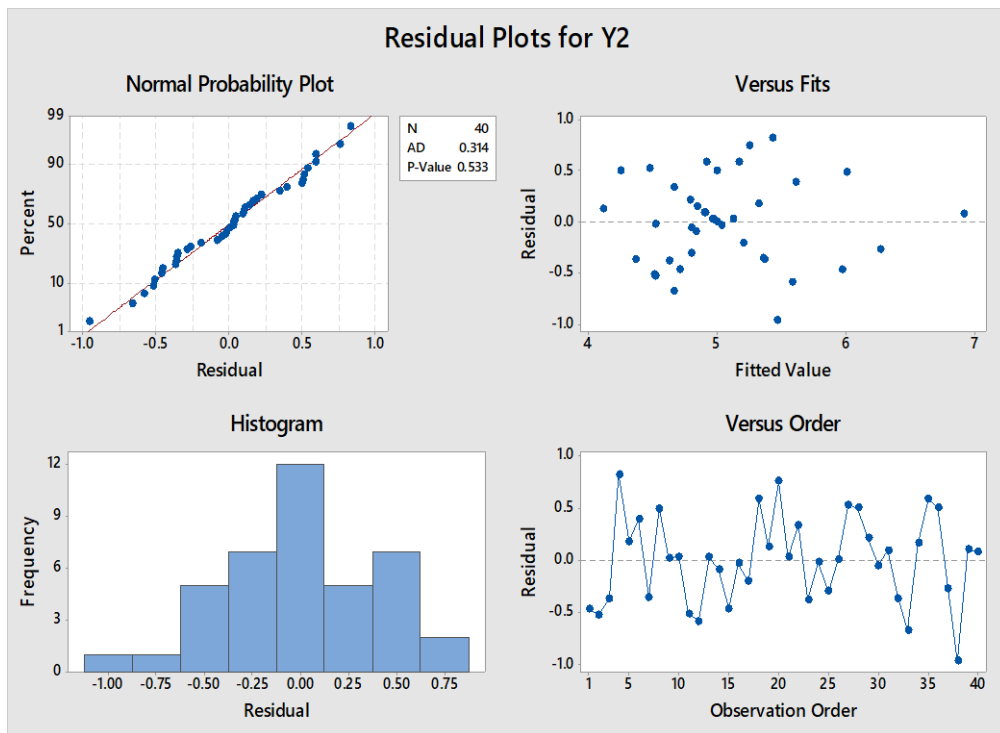
$$Y2 = -82.1 + 1.99 X3 + 2.548 X4 + 0.1078 X5 + 1.050 X4^2 - 0.00242 X3X5 \quad (\text{ค32})$$

ตารางที่ ค176 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปร  
อิทธิพลร่วมในสมการแบบเดินทางของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง C

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	5	12.11	2.42	12.10	0.00	64.03%	58.74%
Linear	3	10.99	3.66	18.30	0.00		
X3	1	0.02	0.02	0.09	0.76		
X4	1	1.58	1.58	7.90	0.01		
X5	1	2.57	2.57	12.87	0.00		
Square	1	1.98	1.98	9.88	0.00		
X4*X4	1	1.98	1.98	9.88	0.00		
2-Way Interaction	1	0.40	0.40	1.99	0.17		
X3*X5	1	0.40	0.40	1.99	0.17		
Error	34	6.80	0.20				
Total	39	18.91					

ตารางที่ ค177 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทน  
ตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเดินทางของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.40	0.17	32.00	0.00
X3	0.08	0.27	0.30	0.76
X4	-0.49	0.17	-2.81	0.01
X5	-0.93	0.26	-3.59	0.00
X4*X4	0.92	0.29	3.14	0.00
X3*X5	-0.51	0.36	-1.41	0.17



รูปที่ ค91 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพล  
ร่วมในสมการแบบเดินทางของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชิงพีลิ่ง C

### 3.3 พิจารณาแอลฟา 0.25

ตัวแปรตอบสนอง Y1

$$Y1 = 160.4 - 4.22 X1 - 0.1196 X2 + 1.453 X3 + 16.5 X4 + 0.00141 X5 - 2.205 X4^2 + 0.004220 X1X2 - 0.0502 X1X3 - 0.630 X1X4 + 0.01343 X2X4 - 0.356 X3X4 \quad (ค33)$$

ตารางที่ ค178 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเดินทางของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชิงพีลิ่ง C

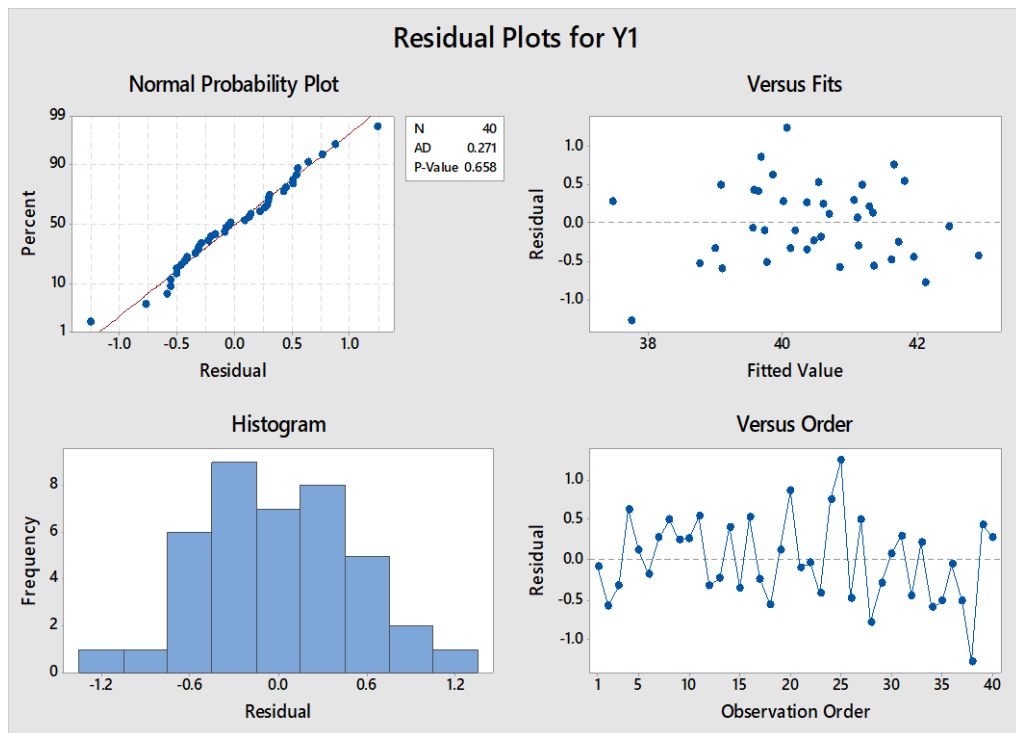
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	11	55.28	5.03	14.06	0.00	84.67%	78.65%
Linear	5	35.00	7.00	19.58	0.00		
X1	1	1.68	1.68	4.71	0.04		
X2	1	2.37	2.37	6.62	0.02		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X3	1	4.88	4.88	13.65	0.00		
X4	1	4.14	4.14	11.59	0.00		
X5	1	0.02	0.02	0.06	0.81		
Square	1	2.82	2.82	7.89	0.01		
X4*X4	1	2.82	2.82	7.89	0.01		
2-Way Interaction	5	11.17	2.23	6.25	0.00		
X1*X2	1	9.89	9.89	27.66	0.00		
X1*X3	1	2.37	2.37	6.64	0.02		
X1*X4	1	5.44	5.44	15.22	0.00		
X2*X4	1	1.08	1.08	3.03	0.09		
X3*X4	1	1.81	1.81	5.06	0.03		
Error	28	10.01	0.36				
Total	39	65.29					

ตารางที่ ค179 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง C

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	40.76	0.22	188.48	0.00
X1	0.66	0.30	2.17	0.04
X2	0.86	0.33	2.57	0.02
X3	0.98	0.27	3.69	0.00
X4	1.52	0.45	3.40	0.00
X5	0.07	0.29	0.24	0.81
X4*X4	-1.94	0.69	-2.81	0.01
X1*X2	3.15	0.60	5.26	0.00
X1*X3	-1.29	0.50	-2.58	0.02

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
X1*X4	-3.62	0.93	-3.90	0.00
X2*X4	1.53	0.88	1.74	0.09
X3*X4	-1.40	0.62	-2.25	0.03



รูปที่ ค92 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพหุคูณตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพล  
ร่วมในสมการแบบเต็มหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง C

ตัวแปรตอบสนอง Y2

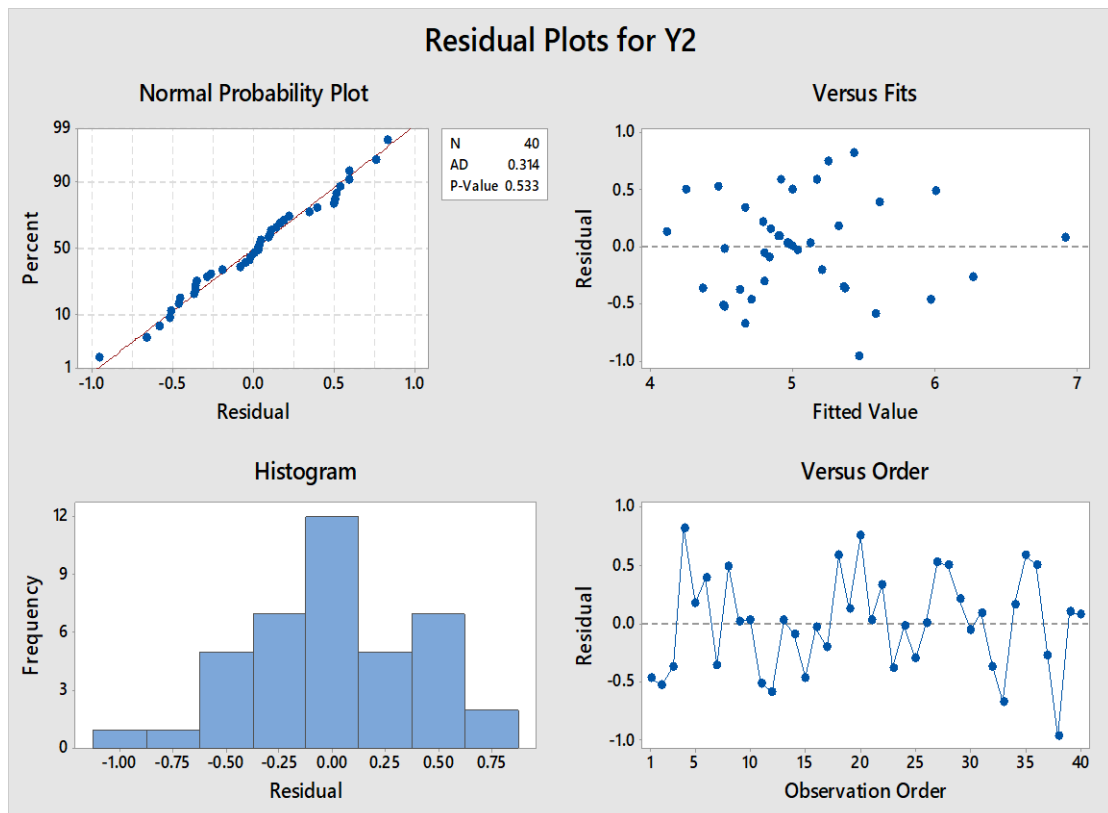
$$Y2 = -82.1 + 1.99 X3 + 2.548 X4 + 0.1078 X5 + 1.050 X4^2 - 0.00242 X3X5 \quad (\text{ค34})$$

ตารางที่ ค180 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปร  
อิทธิพลร่วมในสมการแบบเดินทางของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง C

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	5	12.11	2.42	12.10	0.00	64.03%	58.74%
Linear	3	10.99	3.66	18.30	0.00		
X3	1	0.02	0.02	0.09	0.76		
X4	1	1.58	1.58	7.90	0.01		
X5	1	2.57	2.57	12.87	0.00		
Square	1	1.98	1.98	9.88	0.00		
X4*X4	1	1.98	1.98	9.88	0.00		
2-Way Interaction	1	0.40	0.40	1.99	0.17		
X3*X5	1	0.40	0.40	1.99	0.17		
Error	34	6.80	0.20				
Total	39	18.91					

ตารางที่ ค181 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทน  
ตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเดินทางของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง C

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.40	0.17	32.00	0.00
X3	0.08	0.27	0.30	0.76
X4	-0.49	0.17	-2.81	0.01
X5	-0.93	0.26	-3.59	0.00
X4*X4	0.92	0.29	3.14	0.00
X3*X5	-0.51	0.36	-1.41	0.17



รูปที่ ค93 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพล  
ร่วมในสมการแบบเดินทางของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชิงพีลิ่ง C

#### 4. การกำจัดตัวแปรแบบถอยหลัง (Backward elimination)

##### 4.1 พิจารณาแอลฟา 0.10

ตัวแปรตอบสนอง Y1

$$\begin{aligned}
 Y1 = & 273 - 11.30 X1 - 0.339 X2 + 2.824 X3 + 15.0 X4 + 0.329 X5 & (ค35) \\
 & - 1.681 X4^2 - 0.000606 X5^2 + 0.004077 X1X2 - 0.0867 X1X3 \\
 & - 0.842 X1X4 + 0.01063 X1X5 + 0.000244 X2X5 - 0.377 X3X4 \\
 & + 0.0366 X4X5
 \end{aligned}$$

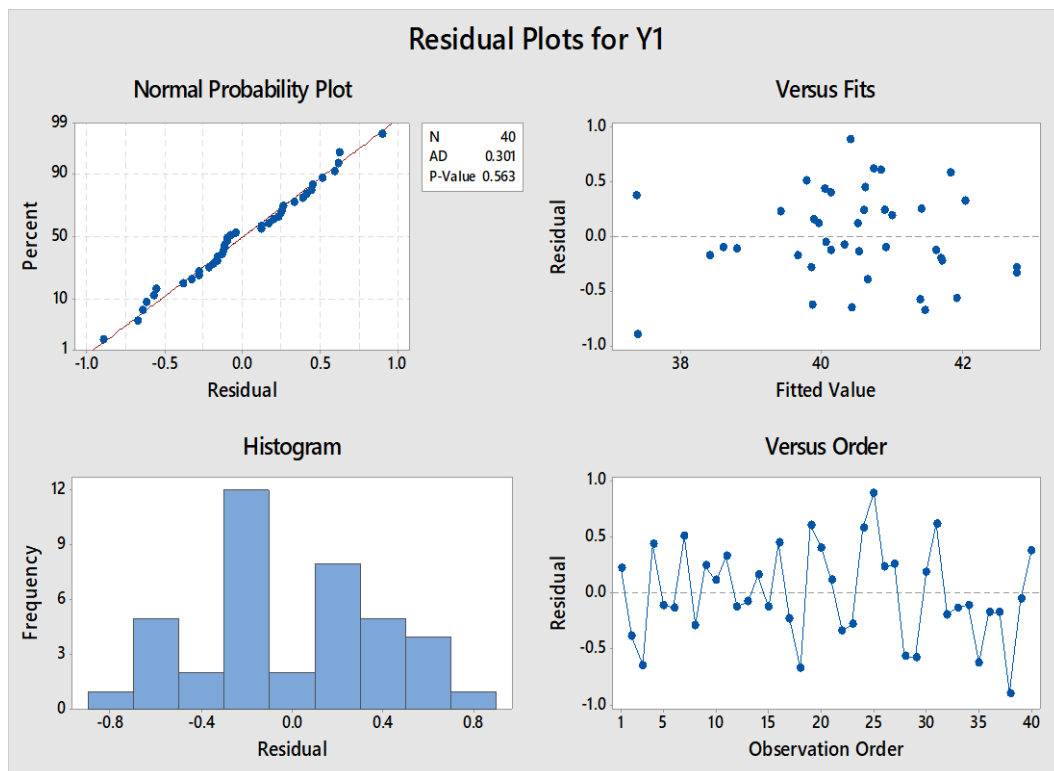
ตารางที่ ค182 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปร  
 อิทธิพลร่วมในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตร  
 เชื้อเพลิง C

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	14	58.67	4.19	15.81	0.00	89.85%	84.17%
Linear	5	28.13	5.63	21.23	0.00		
X1	1	0.53	0.53	2.00	0.17		
X2	1	0.02	0.02	0.08	0.78		
X3	1	7.42	7.42	28.00	0.00		
X4	1	0.80	0.80	3.00	0.10		
X5	1	0.08	0.08	0.30	0.59		
Square	2	5.60	2.80	10.56	0.00		
X4*X4	1	2.45	2.45	9.23	0.01		
X5*X5	1	2.19	2.19	8.26	0.01		
2-Way Interaction	7	14.19	2.03	7.65	0.00		
X1*X2	1	8.96	8.96	33.81	0.00		
X1*X3	1	3.57	3.57	13.46	0.00		
X1*X4	1	8.40	8.40	31.70	0.00		
X1*X5	1	2.95	2.95	11.14	0.00		
X2*X5	1	1.04	1.04	3.94	0.06		
X3*X4	1	1.14	1.14	4.31	0.05		
X4*X5	1	1.41	1.41	5.33	0.03		
Error	25	6.63	0.27				
Total	39	65.29					



ตารางที่ ค183 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทน  
ตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10  
สูตรชื่อเพลิง C

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	41.22	0.24	172.07	0.00
X1	-0.69	0.49	-1.41	0.17
X2	0.14	0.49	0.29	0.78
X3	1.55	0.29	5.29	0.00
X4	0.75	0.44	1.73	0.10
X5	0.20	0.36	0.55	0.59
X4*X4	-1.48	0.49	-3.04	0.01
X5*X5	-1.49	0.52	-2.87	0.01
X1*X2	3.04	0.52	5.81	0.00
X1*X3	-2.23	0.61	-3.67	0.00
X1*X4	-4.84	0.86	-5.63	0.00
X1*X5	3.23	0.97	3.34	0.00
X2*X5	1.47	0.74	1.98	0.06
X3*X4	-1.49	0.72	-2.08	0.05
X4*X5	1.70	0.74	2.31	0.03



รูปที่ ค94 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง C

ตัวแปรตอบสนอง Y2

$$Y2 = -141.1 - 0.0385 X2 - 2.26 X3 - 22.75 X4 + 0.745 X5 - 25.7 X8 + 0.0359 X3^2 - 0.000458 X5^2 + 0.01599 X2X4 \quad (\text{ค36})$$

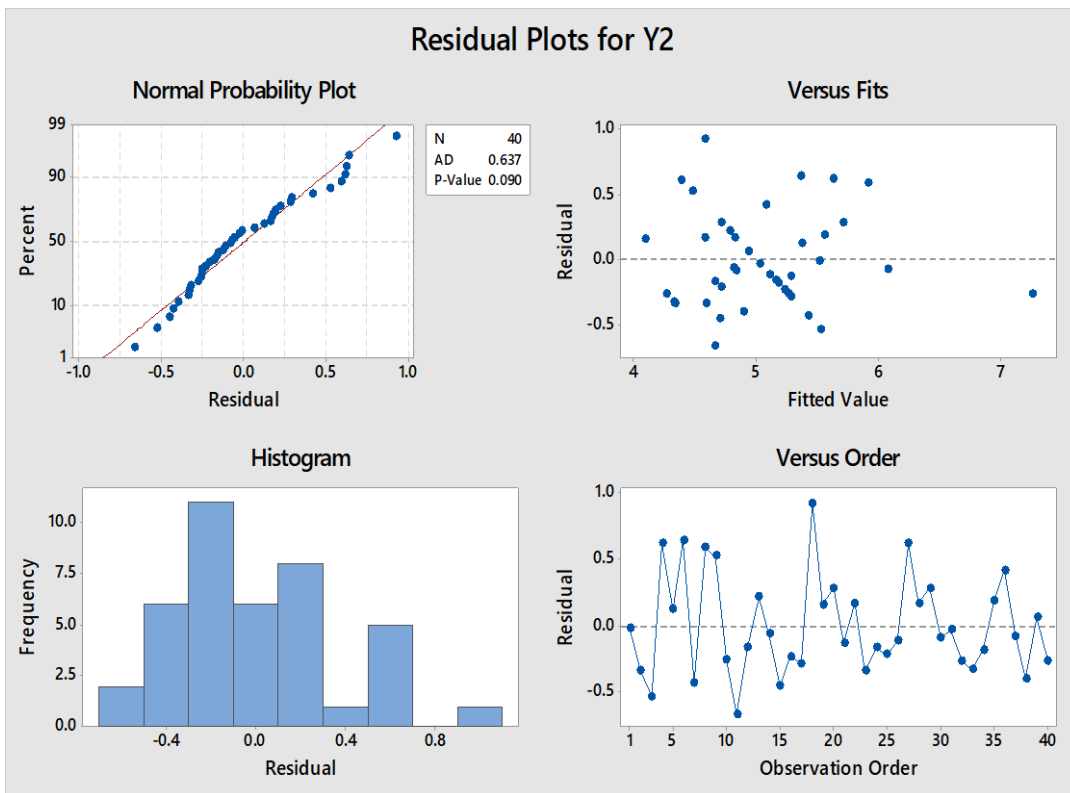
ตารางที่ ค184 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง C

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	8	13.63	1.70	10.01	0.00	72.09%	64.89%
Linear	5	5.39	1.08	6.34	0.00		
X2	1	1.11	1.11	6.53	0.02		
X3	1	0.88	0.88	5.17	0.03		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X4	1	0.03	0.03	0.17	0.69		
X5	1	0.05	0.05	0.28	0.60		
X8	1	1.00	1.00	5.88	0.02		
Square	2	1.74	0.87	5.12	0.01		
X3*X3	1	0.61	0.61	3.59	0.07		
X5*X5	1	1.73	1.73	10.15	0.00		
2-Way Interaction	1	3.31	3.31	19.42	0.00		
X2*X4	1	3.31	3.31	19.42	0.00		
Error	31	5.28	0.17				
Total	39	18.91					

ตารางที่ ค185 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบจำกัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชื่อเพลิง C

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	2.58	1.09	2.36	0.03
X2	-7.53	2.95	-2.56	0.02
X3	6.28	2.76	2.27	0.03
X4	0.09	0.22	0.41	0.69
X5	-0.13	0.25	-0.52	0.60
X8	-11.44	4.72	-2.42	0.02
X3*X3	0.64	0.34	1.89	0.07
X5*X5	-1.13	0.35	-3.19	0.00
X2*X4	1.83	0.41	4.41	0.00



รูปที่ ค95 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบจำกัดตัวแปรแบบถ้อยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง C

4.2 พิจารณาแอลฟา 0.15

ตัวแปรตอบสนอง Y1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

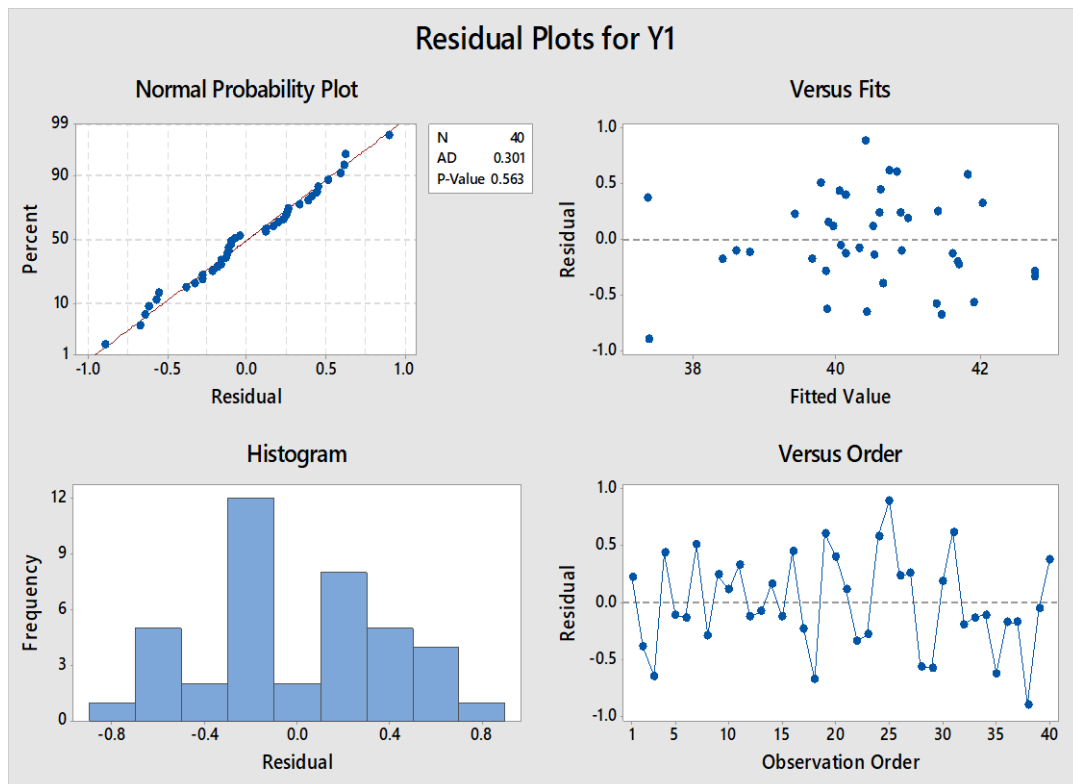
$$\begin{aligned}
 Y1 = & 273 - 11.30 X1 - 0.339 X2 + 2.824 X3 + 15.0 X4 + 0.329 X5 & (ค37) \\
 & - 1.681 X4^2 - 0.000606 X5^2 + 0.004077 X1X2 - 0.0867 X1X3 \\
 & - 0.842 X1X4 + 0.01063 X1X5 + 0.000244 X2X5 - 0.377 X3X4 \\
 & + 0.0366 X4X5
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ค186 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปร  
 อิทธิพลร่วมในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตร  
 เชื้อเพลิง C

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	14	58.67	4.19	15.81	0.00	89.85%	84.17%
Linear	5	28.13	5.63	21.23	0.00		
X1	1	0.53	0.53	2.00	0.17		
X2	1	0.02	0.02	0.08	0.78		
X3	1	7.42	7.42	28.00	0.00		
X4	1	0.80	0.80	3.00	0.10		
X5	1	0.08	0.08	0.30	0.59		
Square	2	5.60	2.80	10.56	0.00		
X4*X4	1	2.45	2.45	9.23	0.01		
X5*X5	1	2.19	2.19	8.26	0.01		
2-Way Interaction	7	14.19	2.03	7.65	0.00		
X1*X2	1	8.96	8.96	33.81	0.00		
X1*X3	1	3.57	3.57	13.46	0.00		
X1*X4	1	8.40	8.40	31.70	0.00		
X1*X5	1	2.95	2.95	11.14	0.00		
X2*X5	1	1.04	1.04	3.94	0.06		
X3*X4	1	1.14	1.14	4.31	0.05		
X4*X5	1	1.41	1.41	5.33	0.03		
Error	25	6.63	0.27				
Total	39	65.29					

ตารางที่ ข187 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทน  
ตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15  
สูตรเชื่อเพลิง B

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	41.22	0.24	172.07	0.00
X1	-0.69	0.49	-1.41	0.17
X2	0.14	0.49	0.29	0.78
X3	1.55	0.29	5.29	0.00
X4	0.75	0.44	1.73	0.10
X5	0.20	0.36	0.55	0.59
X4*X4	-1.48	0.49	-3.04	0.01
X5*X5	-1.49	0.52	-2.87	0.01
X1*X2	3.04	0.52	5.81	0.00
X1*X3	-2.23	0.61	-3.67	0.00
X1*X4	-4.84	0.86	-5.63	0.00
X1*X5	3.23	0.97	3.34	0.00
X2*X5	1.47	0.74	1.98	0.06
X3*X4	-1.49	0.72	-2.08	0.05
X4*X5	1.70	0.74	2.31	0.03



รูปที่ ค96 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชิงพีลิ่ง C

ตัวแปรตอบสนอง Y2

$$\begin{aligned}
 Y2 = & 169 - 3.37 X1 - 0.1973 X2 - 2.22 X3 - 21.86 X4 + 0.491 X5 & (ค38) \\
 & - 35.7 X8 + 0.0418 X3^2 - 0.000528 X5^2 + 0.00401 X1X5 \\
 & + 0.01536 X2X4 + 0.000160 X2X5
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ค188 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชิงพีลิ่ง C

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	11	14.34	1.30	8.00	0.00	75.85%	66.36%
Linear	6	6.04	1.01	6.17	0.00		
X1	1	0.57	0.57	3.49	0.07		
X2	1	1.54	1.54	9.42	0.01		

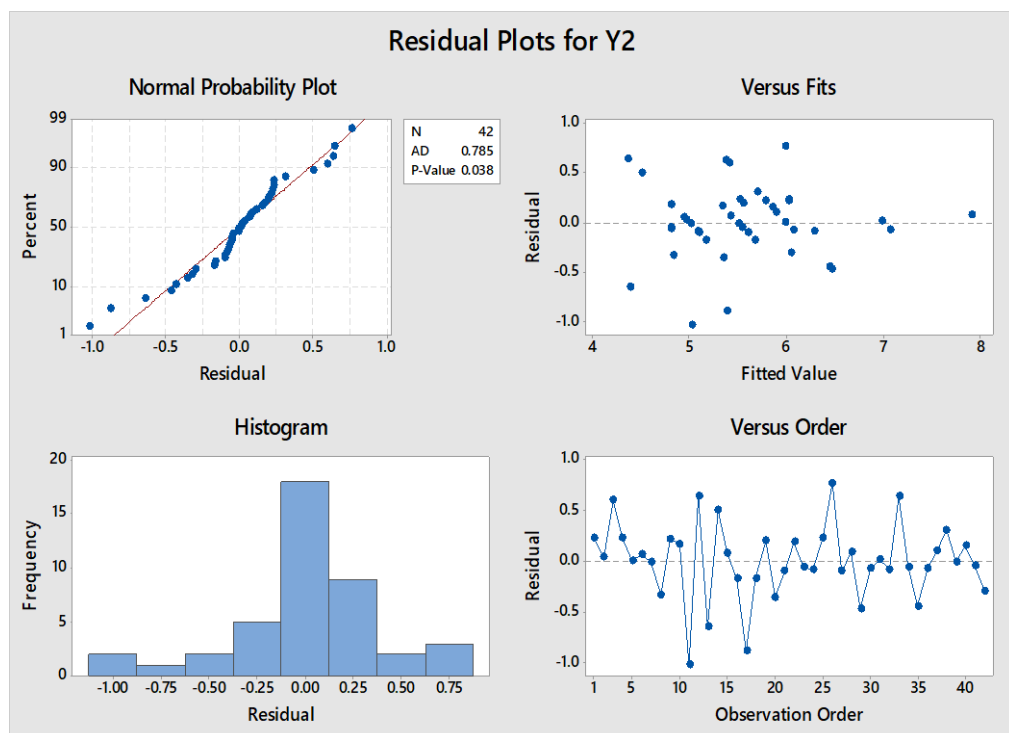
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X3	1	1.23	1.23	7.53	0.01		
X4	1	0.02	0.02	0.11	0.74		
X5	1	0.01	0.01	0.06	0.82		
X8	1	1.33	1.33	8.18	0.01		
Square	2	2.13	1.06	6.52	0.01		
X3*X3	1	0.75	0.75	4.58	0.04		
X5*X5	1	2.11	2.11	12.97	0.00		
2-Way Interaction	3	4.01	1.34	8.19	0.00		
X1*X5	1	0.71	0.71	4.36	0.05		
X2*X4	1	1.95	1.95	11.93	0.00		
X2*X5	1	0.45	0.45	2.75	0.11		
Error	28	4.57	0.16				
Total	39	18.91					

ตารางที่ ค189 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบจำกัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง C

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	1.56	1.27	1.23	0.23
X1	-0.61	0.33	-1.87	0.07
X2	-10.84	3.53	-3.07	0.01
X3	9.04	3.30	2.74	0.01
X4	0.08	0.24	0.34	0.74
X5	-0.07	0.29	-0.23	0.82
X8	-15.89	5.56	-2.86	0.01
X3*X3	0.74	0.35	2.14	0.04



Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
X5*X5	-1.30	0.36	-3.60	0.00
X1*X5	1.22	0.58	2.09	0.05
X2*X4	1.75	0.51	3.45	0.00
X2*X5	0.97	0.58	1.66	0.11



รูปที่ ค97 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชิงพีลิ่ง C

#### 4.3 พิจารณาแอลฟา 0.25

##### ตัวแปรตอบสนอง Y1

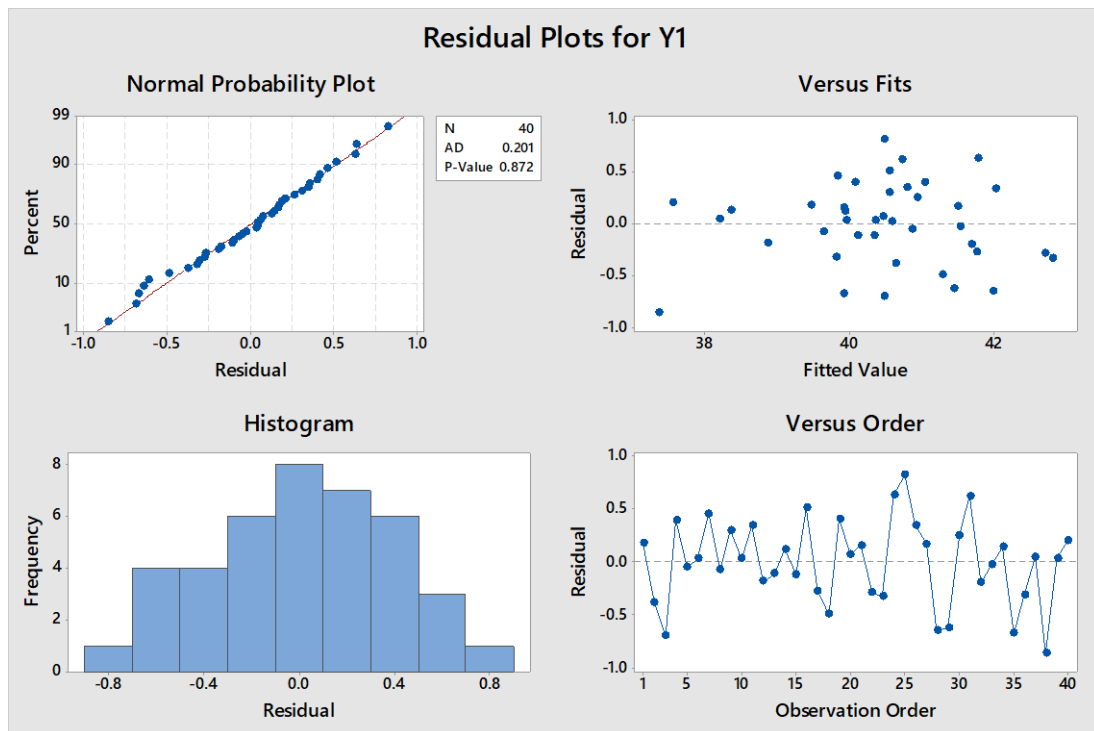
$$\begin{aligned}
 Y1 = & 404 - 11.23 X1 - 0.380 X2 - 2.05 X3 + 17.4 X4 + 0.387 X5 & (ค39) \\
 & - 1.823 X4^2 - 0.000855 X5^2 + 0.003908 X1X2 - 0.0809 X1X3 \\
 & - 0.821 X1X4 + 0.01053 X1X5 + 0.000299 X2X5 - 0.391 X3X4 \\
 & + 0.00549 X3X5 + 0.0332 X4X5
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ค190 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยแบบกำลังตัวแปรแบบถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง C

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	15	59.19	3.95	15.51	0.00	90.65%	84.81%
Linear	5	26.32	5.26	20.69	0.00		
X1	1	0.39	0.39	1.52	0.23		
X2	1	0.00	0.00	0.02	0.90		
X3	1	0.46	0.46	1.82	0.19		
X4	1	0.94	0.94	3.69	0.07		
X5	1	0.59	0.59	2.32	0.14		
Square	2	5.40	2.70	10.62	0.00		
X4*X4	1	2.78	2.78	10.95	0.00		
X5*X5	1	2.55	2.55	10.02	0.00		
2-Way Interaction	8	14.71	1.84	7.23	0.00		
X1*X2	1	7.99	7.99	31.43	0.00		
X1*X3	1	3.01	3.01	11.84	0.00		
X1*X4	1	7.92	7.92	31.12	0.00		
X1*X5	1	2.89	2.89	11.37	0.00		
X2*X5	1	1.42	1.42	5.59	0.03		
X3*X4	1	1.22	1.22	4.81	0.04		
X3*X5	1	0.52	0.52	2.05	0.17		
X4*X5	1	1.13	1.13	4.45	0.05		
Error	24	6.11	0.25				
Total	39	65.29					

ตารางที่ ค191 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทน  
ตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25  
สูตรเชื่อเพลิง C

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	40.88	0.33	122.71	0.00
X1	-0.60	0.49	-1.23	0.23
X2	-0.06	0.50	-0.13	0.90
X3	0.81	0.60	1.35	0.19
X4	0.83	0.43	1.92	0.07
X5	1.14	0.75	1.52	0.14
X4*X4	-1.60	0.48	-3.31	0.00
X5*X5	-2.11	0.67	-3.16	0.00
X1*X2	2.91	0.52	5.61	0.00
X1*X3	-2.09	0.61	-3.44	0.00
X1*X4	-4.72	0.85	-5.58	0.00
X1*X5	3.20	0.95	3.37	0.00
X2*X5	1.81	0.76	2.36	0.03
X3*X4	-1.54	0.70	-2.19	0.04
X3*X5	1.15	0.80	1.43	0.17
X4*X5	1.54	0.73	2.11	0.05



รูปที่ ค98 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชิงพีลิ่ง C

### ตัวแปรตอบสนอง Y2

$$\begin{aligned}
 Y2 = & 229 - 4.59 X1 - 0.2378 X2 - 1.83 X3 - 15.24 X4 + 0.477 X5 & (ค40) \\
 & - 38.5 X8 + 0.0399 X3^2 - 0.000579 X5^2 - 0.1158 X1X4 \\
 & + 0.00529 X1X5 + 0.01364 X2X4 + 0.000198 X2X5
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ค192 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชิงพีลิ่ง C

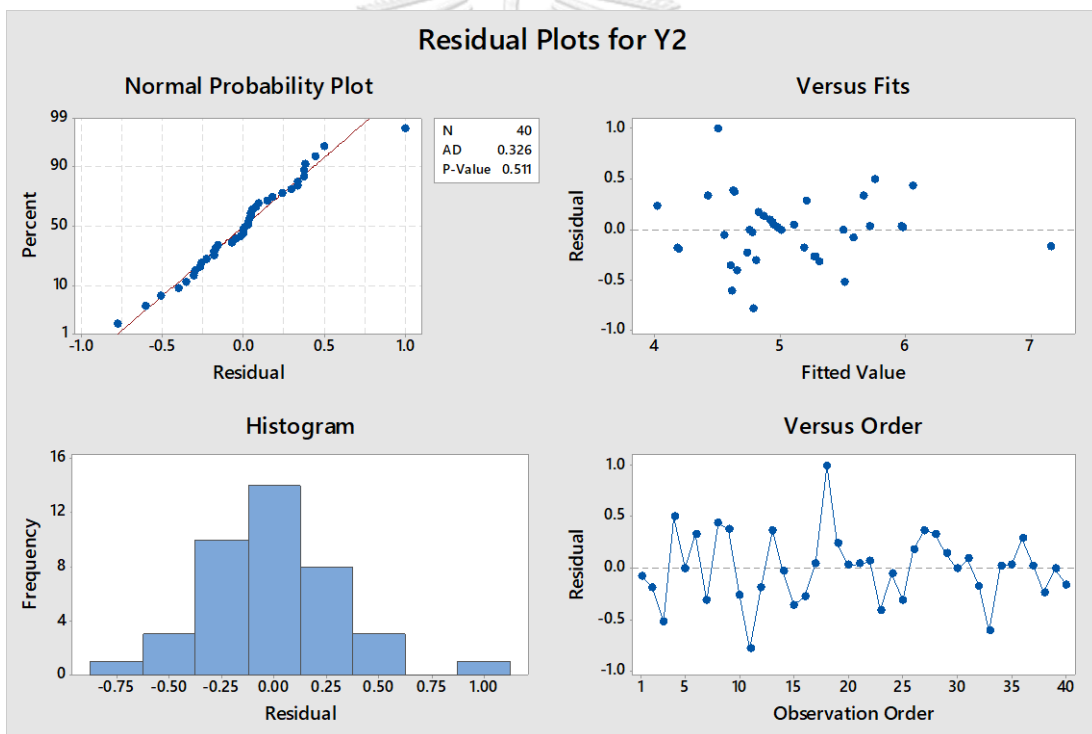
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	12	14.57	1.21	7.56	0.00	77.06%	66.86%
Linear	6	5.78	0.96	5.99	0.00		
X1	1	0.64	0.64	3.98	0.06		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X2	1	1.72	1.72	10.72	0.00		
X3	1	1.40	1.40	8.70	0.01		
X4	1	0.10	0.10	0.63	0.43		
X5	1	0.01	0.01	0.05	0.82		
X8	1	1.50	1.50	9.34	0.01		
Square	2	2.35	1.17	7.31	0.00		
X3*X3	1	0.68	0.68	4.23	0.05		
X5*X5	1	2.34	2.34	14.57	0.00		
2-Way Interaction	4	4.23	1.06	6.59	0.00		
X1*X4	1	0.23	0.23	1.42	0.24		
X1*X5	1	0.94	0.94	5.84	0.02		
X2*X4	1	1.38	1.38	8.62	0.01		
X2*X5	1	0.62	0.62	3.84	0.06		
Error	27	4.34	0.16				
Total	39	18.91					

ตารางที่ ค193 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทน  
ตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบจำกัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25  
สูตรเชื่อเพลิง C

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	1.30	1.28	1.02	0.32
X1	-0.65	0.33	-1.99	0.06
X2	-11.74	3.59	-3.27	0.00
X3	9.86	3.34	2.95	0.01
X4	0.21	0.26	0.80	0.43
X5	-0.07	0.29	-0.23	0.82

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
X8	-17.18	5.62	-3.06	0.01
X3*X3	0.71	0.34	2.06	0.05
X5*X5	-1.43	0.37	-3.82	0.00
X1*X4	-0.67	0.56	-1.19	0.24
X1*X5	1.61	0.67	2.42	0.02
X2*X4	1.56	0.53	2.94	0.01
X2*X5	1.19	0.61	1.96	0.06



รูปที่ ค99 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง C

พิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการ

1. พิจารณาตัวแปรและอิทธิพลร่วมทุกตัวในสมการ (Full model)

ตัวแปรตอบสนอง Y1

$$Y1 = -283 - 0.10 X1 + 1.0 X8 + 18.6 X4 + 0.811 X5 + 0.0175 X1^2 \quad (ค41) \\ + 4.81 X8^2 - 1.46 X4^2 - 0.000621 X5^2 - 1.919 X1X8 - 0.664 X1X4 \\ + 0.00482 X1X5 - 7.13 X8X4 + 0.0307 X8X5 + 0.0300 X4X5$$

ตารางที่ ค194 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบพิจารณาตัวแปรทุกตัวของตัวแปรตอบสนอง Y1 สูตรเชื่อมเพลิง C

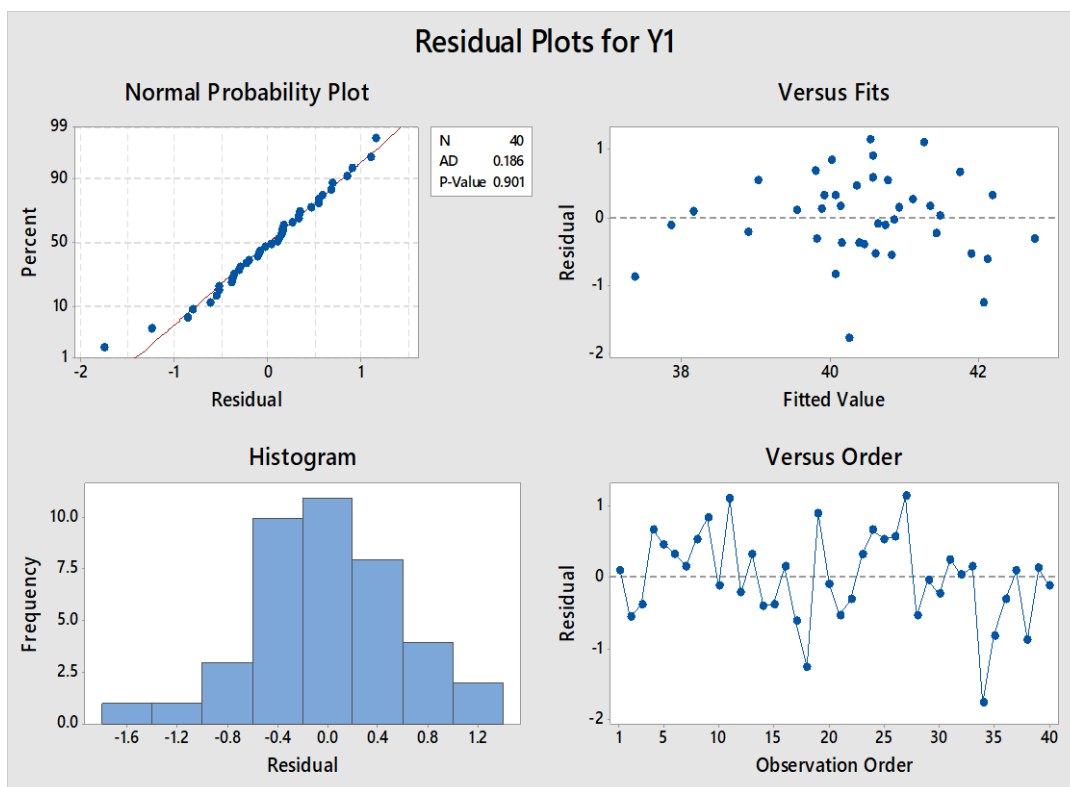
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	14	50.68	3.62	6.19	0.00	77.62%	65.09%
Linear	4	19.75	4.94	8.45	0.00		
X1	1	2.02	2.02	3.46	0.08		
X8	1	0.21	0.21	0.35	0.56		
X4	1	1.27	1.27	2.17	0.15		
X5	1	1.22	1.22	2.08	0.16		
Square	4	7.21	1.80	3.08	0.03		
X1*X1	1	0.94	0.94	1.61	0.22		
X8*X8	1	0.76	0.76	1.30	0.27		
X4*X4	1	1.14	1.14	1.95	0.18		
X5*X5	1	2.38	2.38	4.07	0.06		
2-Way Interaction	6	14.36	2.39	4.10	0.01		
X1*X8	1	9.23	9.23	15.78	0.00		
X1*X4	1	5.39	5.39	9.22	0.01		
X1*X5	1	0.75	0.75	1.29	0.27		
X8*X4	1	2.28	2.28	3.91	0.06		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X8*X5	1	0.18	0.18	0.31	0.58		
X4*X5	1	1.55	1.55	2.64	0.12		
Error	25	14.61	0.58				
Total	39	65.29					

ตารางที่ ค195 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบพิจารณาตัวแปรทุกตัวของตัวแปรตอบสนอง Y1 สูตรเชื้อเพลิง C

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	40.24	0.43	93.22	0.00
X1	-1.51	0.81	-1.86	0.08
X8	0.58	0.97	0.59	0.56
X4	0.91	0.62	1.47	0.15
X5	1.11	0.77	1.44	0.16
X1*X1	0.66	0.52	1.27	0.22
X8*X8	0.96	0.84	1.14	0.27
X4*X4	-1.28	0.92	-1.40	0.18
X5*X5	-1.53	0.76	-2.02	0.06
X1*X8	-5.24	1.32	-3.97	0.00
X1*X4	-3.82	1.26	-3.04	0.01
X1*X5	1.47	1.29	1.13	0.27
X8*X4	-2.98	1.51	-1.98	0.06
X8*X5	0.68	1.21	0.56	0.58
X4*X5	1.40	0.86	1.63	0.12





รูปที่ ค100 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบพิจารณาตัวแปรทุกตัวของตัวแปรตอบสนอง Y1 สูตรเชิงพีลิ่ง C

ตัวแปรตอบสนอง 2

$$\begin{aligned}
 Y2 = & -215 - 2.82 X1 + 49.5 X8 - 1.6 X4 + 0.482 X5 - 0.00254 X1^2 & (ค42) \\
 & - 2.61 X8^2 + 0.432 X4^2 - 0.000317 X5^2 - 0.218 X1X8 \\
 & - 0.171 X1X4 + 0.00411 X1X5 - 1.92 X8X4 - 0.0323 X8X5 \\
 & + 0.0177 X4X5
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ค196 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบพิจารณาตัวแปรทุกตัวของตัวแปรตอบสนอง Y2 สูตรเชิงพีลิ่ง C

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	14	13.56	0.97	4.52	0.00	71.70%	55.86%
Linear	4	4.29	1.07	5.01	0.00		
X1	1	0.35	0.35	1.65	0.21		
X8	1	0.24	0.24	1.14	0.30		

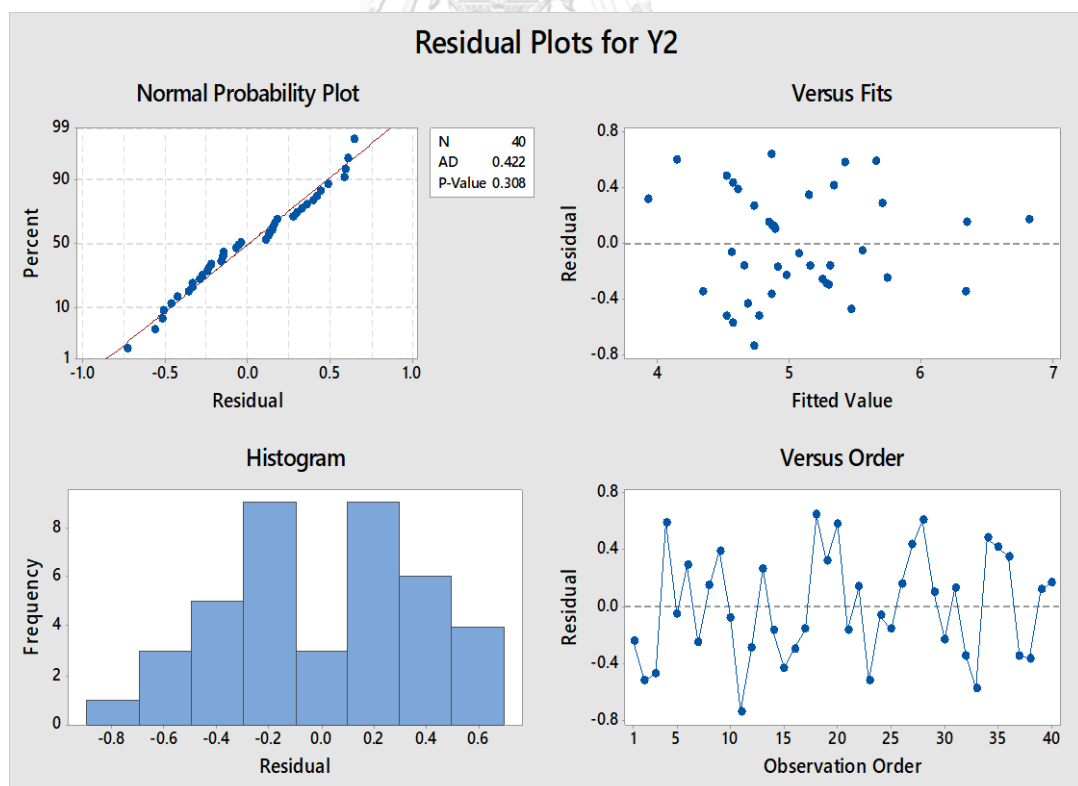
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X4	1	0.60	0.60	2.81	0.11		
X5	1	1.31	1.31	6.12	0.02		
Square	4	0.97	0.24	1.13	0.37		
X1*X1	1	0.02	0.02	0.09	0.76		
X8*X8	1	0.22	0.22	1.05	0.32		
X4*X4	1	0.10	0.10	0.47	0.50		
X5*X5	1	0.62	0.62	2.89	0.10		
2-Way Interaction	6	1.24	0.21	0.96	0.47		
X1*X8	1	0.12	0.12	0.55	0.46		
X1*X4	1	0.36	0.36	1.67	0.21		
X1*X5	1	0.55	0.55	2.56	0.12		
X8*X4	1	0.17	0.17	0.77	0.39		
X8*X5	1	0.20	0.20	0.95	0.34		
X4*X5	1	0.54	0.54	2.51	0.13		
Error	25	5.35	0.21				
Total	39	18.91					

### CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ค197 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทน  
ตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบพิจารณาตัวแปรทุกตัวของตัวแปรตอบสนอง Y2 สูตรเชื้อเพลิง C

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.94	0.26	22.74	0.00
X1	-0.63	0.49	-1.29	0.21
X8	0.63	0.59	1.07	0.30
X4	-0.62	0.37	-1.68	0.11
X5	-1.15	0.47	-2.47	0.02

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
X1*X1	-0.10	0.31	-0.31	0.76
X8*X8	-0.52	0.51	-1.02	0.32
X4*X4	0.38	0.56	0.68	0.50
X5*X5	-0.78	0.46	-1.70	0.10
X1*X8	-0.59	0.80	-0.74	0.46
X1*X4	-0.98	0.76	-1.29	0.21
X1*X5	1.25	0.78	1.60	0.12
X8*X4	-0.80	0.91	-0.88	0.39
X8*X5	-0.71	0.73	-0.98	0.34
X4*X5	0.82	0.52	1.58	0.13



รูปที่ ค101 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบพิจารณาตัวแปรทุกตัวของตัวแปรตอบสนอง Y2 สูตรเชิงพีลิ่ง C

## 2. การเลือกตัวแปรโดยการเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอน (Stepwise regression)

## 2.1 พิจารณาแอลฟา 0.10

ตัวแปรตอบสนอง Y1

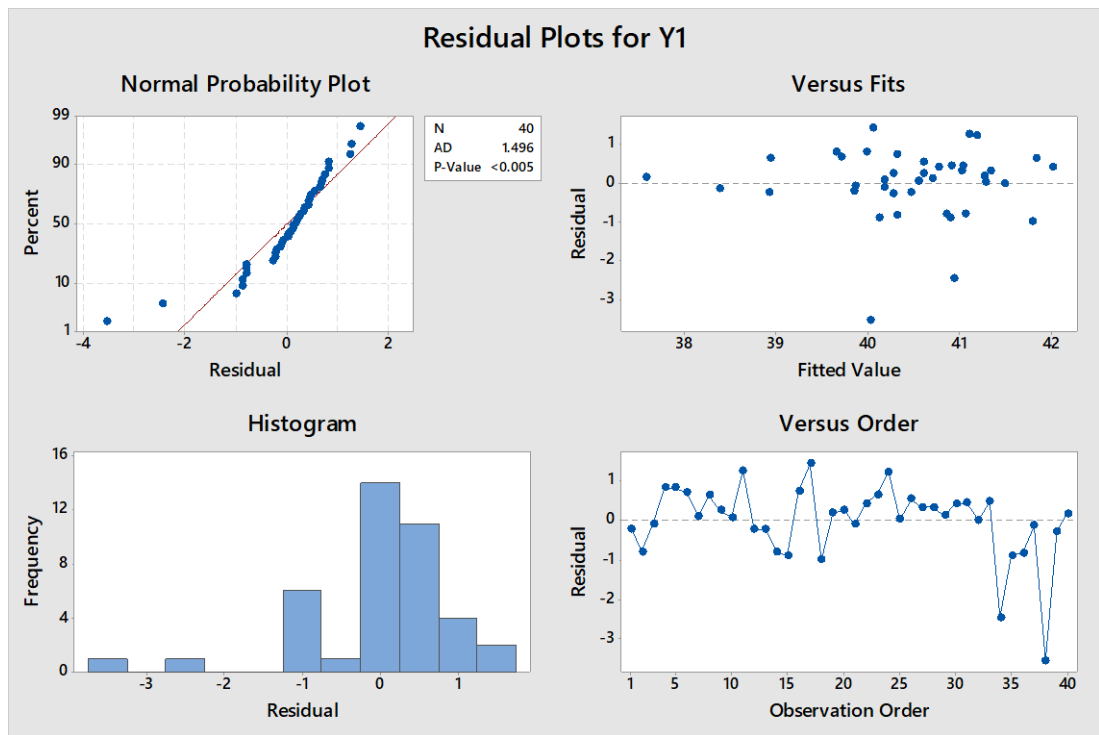
$$Y1 = 18.84 + 0.962 X4 + 0.02737 X5 \quad (\text{ค43})$$

ตารางที่ ค198 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชิงพีลิ่ง C

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	2	32.29	16.15	18.10	0.00	49.46%	46.73%
Linear	2	32.29	16.15	18.10	0.00		
X4	1	5.46	5.46	6.12	0.02		
X5	1	16.23	16.23	18.19	0.00		
Error	37	33.00	0.89				
Total	39	65.29					

ตารางที่ ค199 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชิงพีลิ่ง C

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	39.75	0.20	199.55	0.00
X4	0.90	0.37	2.47	0.02
X5	1.36	0.32	4.27	0.00



รูปที่ ค102 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชิงพีลิ่ง C

ตัวแปรตอบสนอง Y2

$$Y2 = 19.51 + 1.847 X4 - 0.01619 X5 + 0.800 X4^2 \quad (\text{ค44})$$

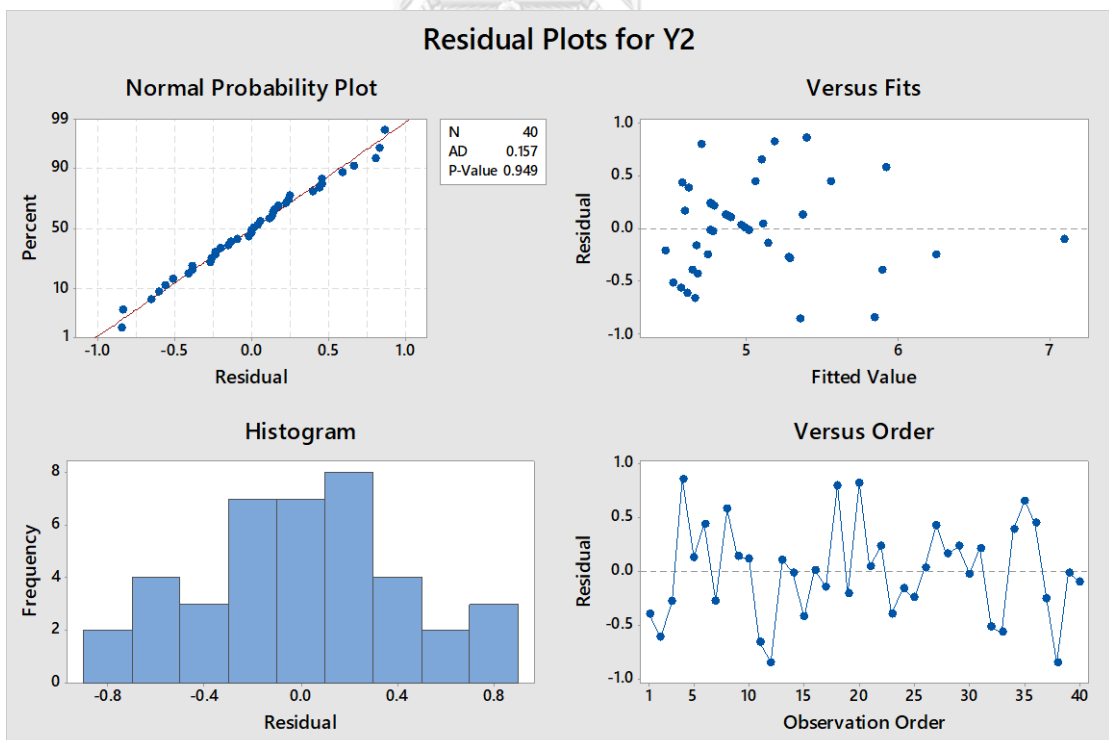
ตารางที่ ค200 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชิงพีลิ่ง C

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	3	11.45	3.82	18.41	0.00	60.54%	57.26%
Linear	2	10.37	5.19	25.02	0.00		
X4	1	1.43	1.42	6.88	0.01		
X5	1	5.68	5.68	27.39	0.00		
Square	1	1.41	1.41	6.80	0.01		
X4*X4	1	1.41	1.41	6.80	0.01		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Error	36	7.46	0.21				
Total	39	18.91					

ตารางที่ ค201 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง C

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.32	0.11	48.28	0.00
X4	-0.46	0.18	-2.62	0.01
X5	-0.80	0.15	-5.23	0.00
X4*X4	0.70	0.27	2.61	0.01



รูปที่ ค103 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง C

## 2.2 พิจารณาแอลฟา 0.15

ตัวแปรตอบสนอง Y1

$$Y1 = -287 + 4.08 X1 - 11.6 X8 + 16.54 X4 + 0.683 X5 + 9.74 X8^2 \quad (ค45) \\ - 0.000401 X5^2 - 1.488 X1X8 - 0.439 X1X4$$

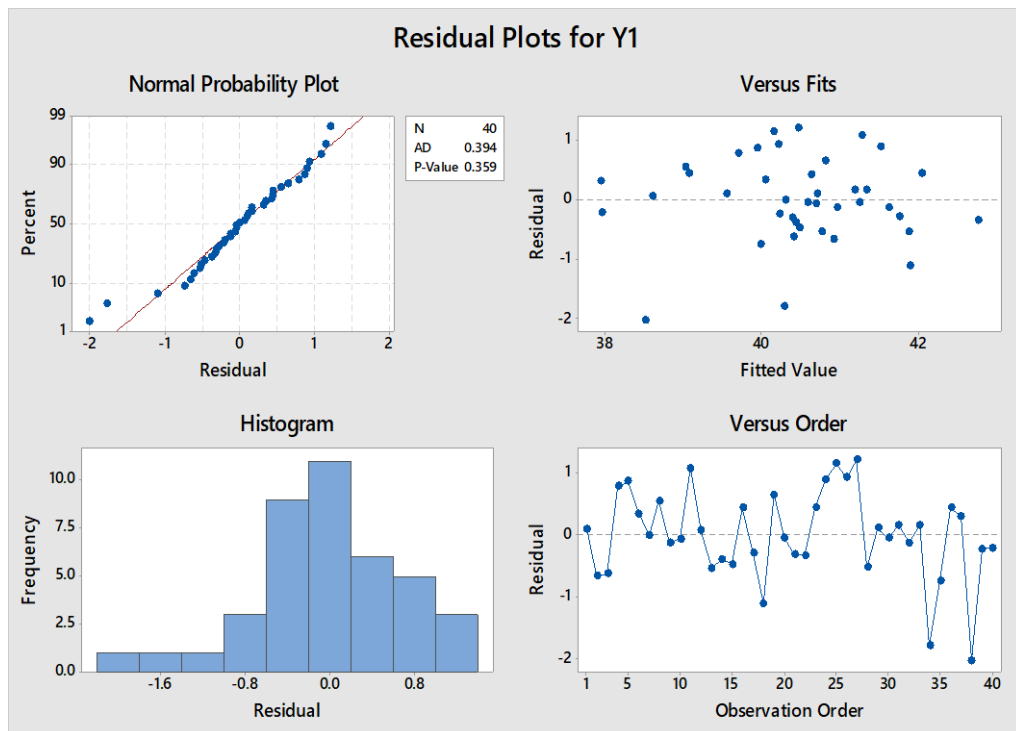
ตารางที่ ค202 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง C

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	8	45.63	5.70	8.99	0.00	69.89%	62.12%
Linear	4	38.17	9.54	15.05	0.00		
X1	1	3.08	3.08	4.86	0.04		
X8	1	0.10	0.10	0.15	0.70		
X4	1	5.36	5.36	8.44	0.01		
X5	1	9.91	9.91	15.62	0.00		
Square	2	5.44	2.72	4.29	0.02		
X8*X8	1	4.01	4.01	6.33	0.02		
X5*X5	1	2.06	2.06	3.25	0.08		
2-Way Interaction	2	9.89	4.94	7.79	0.00		
X1*X8	1	8.20	8.20	12.93	0.00		
X1*X4	1	4.74	4.74	7.48	0.01		
Error	31	19.66	0.63				
Total	39	65.29					

ตารางที่ ค203 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทน  
ตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15  
สูตรเชิงพีชคณิต C

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	39.90	0.26	154.00	0.00
X1	-0.86	0.39	-2.20	0.04
X8	0.18	0.47	0.39	0.70
X4	1.24	0.43	2.91	0.01
X5	1.39	0.35	3.95	0.00
X8*X8	1.93	0.77	2.52	0.02
X5*X5	-0.99	0.55	-1.80	0.08
X1*X8	-4.06	1.13	-3.60	0.00
X1*X4	-2.52	0.92	-2.73	0.01





รูปที่ ค104 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชิงพหุคูณ C

ตัวแปรตอบสนอง Y2

$$Y2 = -105.1 + 2.580 X4 + 0.288 X5 + 1.057 X4^2 - 0.000185 X5^2 \quad (ค46)$$

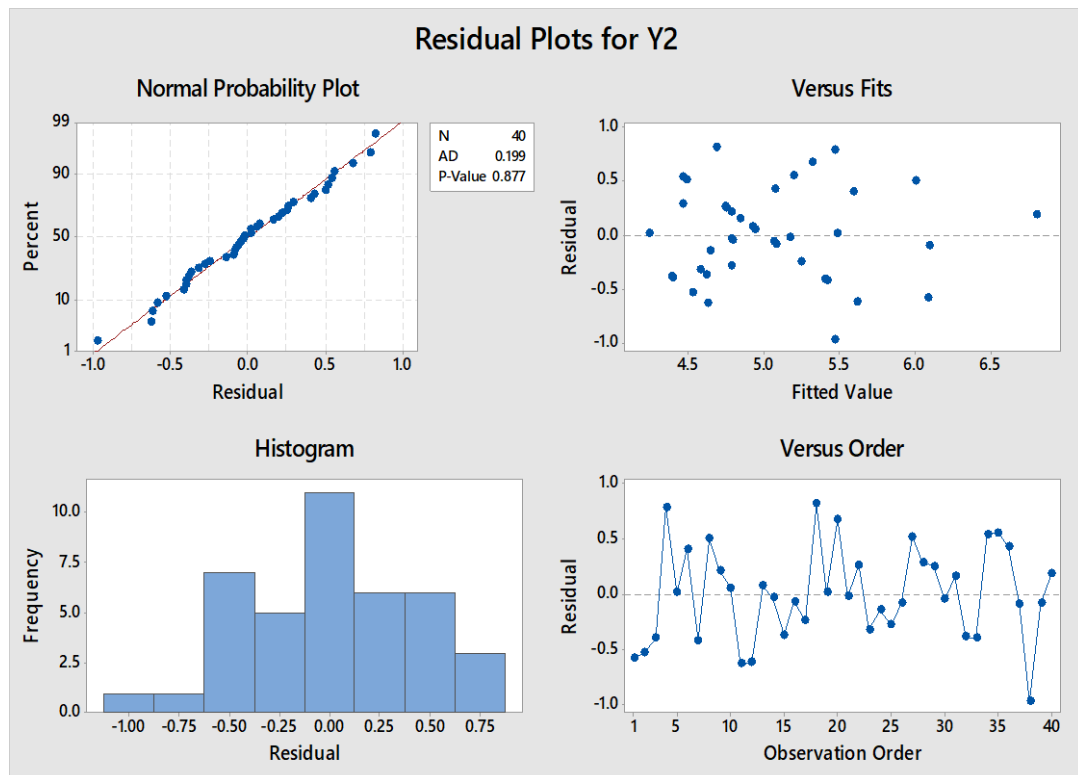
ตารางที่ ค204 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชิงพหุคูณ C

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	4	11.96	2.99	15.08	0.00	63.27%	59.08%
Linear	2	6.91	3.46	17.42	0.00		
X4	1	1.53	1.53	7.73	0.01		
X5	1	3.10	3.10	15.63	0.00		
Square	2	1.93	0.96	4.85	0.01		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X4*X4	1	1.92	1.92	9.68	0.00		
X5*X5	1	0.52	0.52	2.60	0.12		
Error	35	6.94	0.20				
Total	39	18.91					

ตารางที่ ค205 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทน  
ตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15  
สูตรเชื่อเพลิง C

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.42	0.13	43.40	0.00
X4	-0.48	0.17	-2.78	0.01
X5	-0.67	0.17	-3.95	0.00
X4*X4	0.93	0.30	3.11	0.00
X5*X5	-0.46	0.28	-1.61	0.12



รูปที่ ค105 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชิงพีลิ่ง C

## 2.2 พิจารณาแอลฟา 0.25

ตัวแปรตอบสนอง Y1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

$$Y1 = -33.6 + 4.56 X1 + 6.0 X8 + 35.9 X4 + 0.01573 X5 + 6.19 X8^2 - 1.707 X4^2 - 1.633 X1 \cdot X8 - 0.429 X1 X4 - 7.59 X8 X4 \quad (\text{ค47})$$

ตารางที่ ค206 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชิงพีลิ่ง C

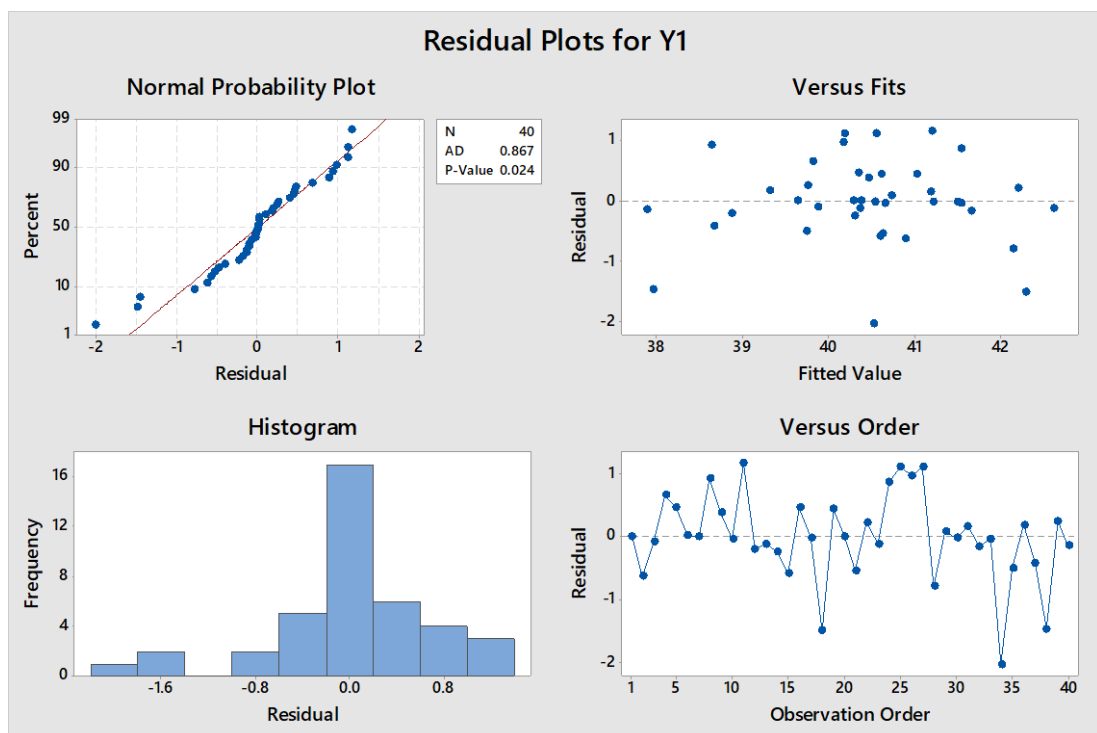
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	9	46.83	5.20	8.45	0.00	71.72%	63.24%
Linear	4	24.04	6.01	9.76	0.00		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X1	1	3.26	3.26	5.29	0.03		
X8	1	0.52	0.52	0.84	0.37		
X4	1	3.84	3.84	6.25	0.02		
X5	1	3.39	3.39	5.51	0.03		
Square	2	4.55	2.28	3.70	0.04		
X8*X8	1	1.50	1.50	2.44	0.13		
X4*X4	1	2.12	2.12	3.45	0.07		
2-Way Interaction	3	11.10	3.70	6.01	0.00		
X1*X8	1	9.39	9.39	15.26	0.00		
X1*X4	1	4.28	4.28	6.95	0.01		
X8*X4	1	3.22	3.22	5.23	0.03		
Error	30	18.46	0.62				
Total	39	65.29					

ตารางที่ ค207 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทน  
ตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25  
สูตรเชิงพีชคณิต C

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	39.95	0.26	154.08	0.00
X1	-0.92	0.40	-2.30	0.03
X8	0.43	0.46	0.92	0.37
X4	1.09	0.44	2.50	0.02
X5	0.78	0.33	2.35	0.03
X8*X8	1.23	0.79	1.56	0.13
X4*X4	-1.50	0.81	-1.86	0.07

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
X1*X8	-4.46	1.14	-3.91	0.00
X1*X4	-2.47	0.94	-2.64	0.01
X8*X4	-3.17	1.39	-2.29	0.03



รูปที่ ค106 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชื่อมเพลิง C

ตัวแปรตอบสนอง Y2

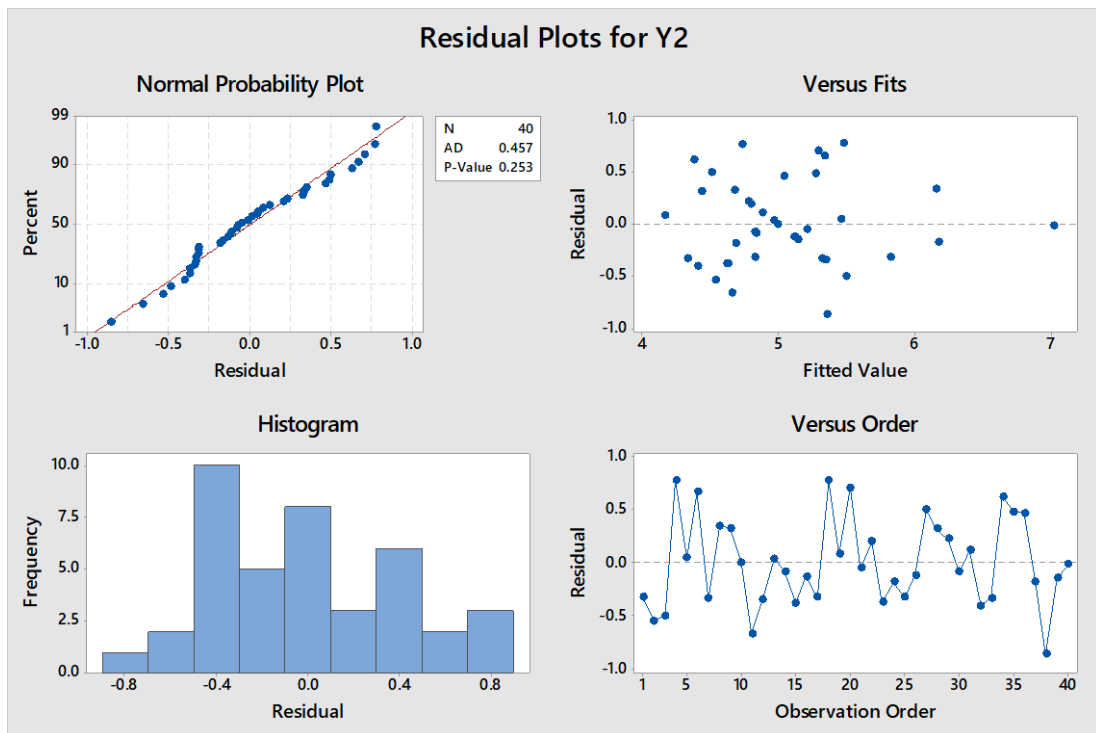
$$Y1 = -203 - 6.99 X4 + 0.508 X5 + 0.932 X4^2 - 0.000308 X5^2 + 0.01099 X4X5 \quad (\text{ค48})$$

ตารางที่ ค208 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปร  
อิทธิพลหลักในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตร  
เชื้อเพลิง C

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	5	12.35	2.47	12.81	0.00	65.33%	60.23%
Linear	2	7.30	3.65	18.93	0.00		
X4	1	1.77	1.77	9.15	0.01		
X5	1	1.59	1.59	8.27	0.01		
Square	2	1.92	0.96	4.97	0.01		
X4*X4	1	1.40	1.40	7.24	0.01		
X5*X5	1	0.90	0.90	4.67	0.04		
2-Way Interaction	1	0.39	0.39	2.01	0.17		
X4*X5	1	0.39	0.39	2.01	0.17		
Error	34	6.56	0.19				
Total	39	18.91					

ตารางที่ ค209 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทน  
ตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25  
สูตรเชื้อเพลิง C

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.48	0.13	41.93	0.00
X4	-0.71	0.23	-3.03	0.01
X5	-0.55	0.19	-2.88	0.01
X4*X4	0.82	0.30	2.69	0.01
X5*X5	-0.76	0.35	-2.16	0.04
X4*X5	0.51	0.36	1.42	0.17



รูปที่ ค107 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชื่อมเพลิง C

### 3. การเลือกตัวแปรแบบเดินหน้า (Forward selection)

#### 3.1 พิจารณาแอลฟา 0.10

ตัวแปรตอบสนอง Y1

$$Y1 = 18.84 + 0.962 X4 + 0.02737 X5$$

(ค49)

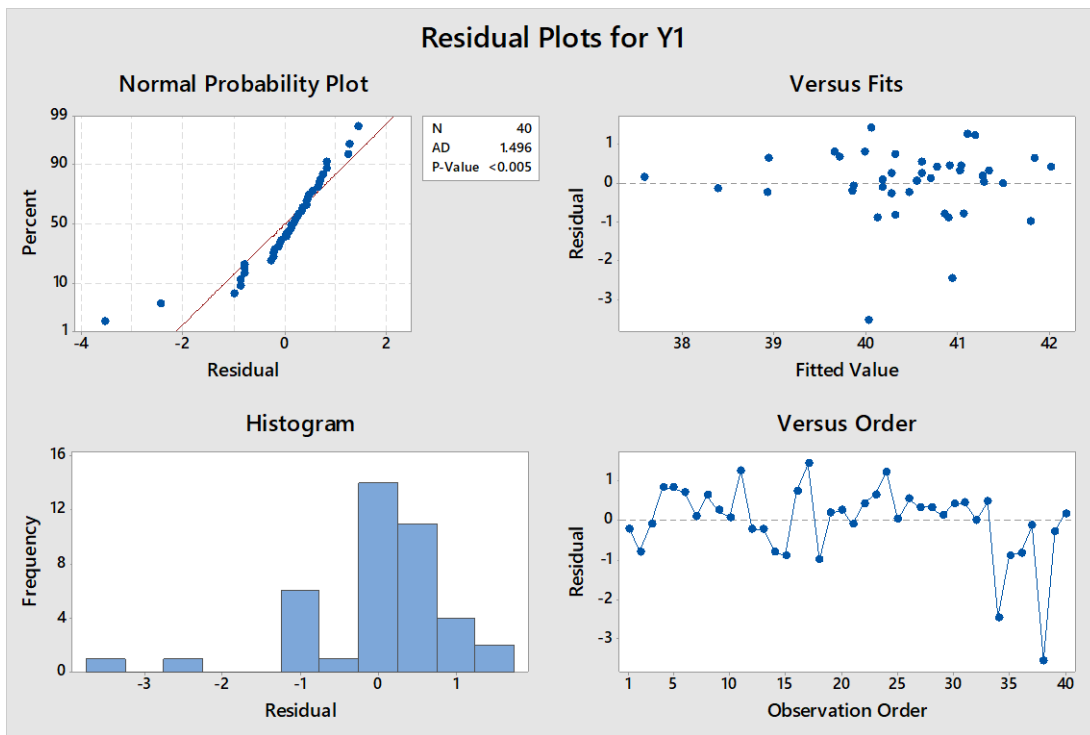
ตารางที่ ค210 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง C

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	2	32.29	16.15	18.10	0.00	49.46%	46.73%
Linear	2	32.29	16.15	18.10	0.00		
X4	1	5.46	5.46	6.12	0.02		
X5	1	16.23	16.23	18.19	0.00		
Error	37	33.00	0.89				
Total	39	65.29					

ตารางที่ ค211 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง C

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	39.75	0.20	199.55	0.00
X4	0.90	0.37	2.47	0.02
X5	1.36	0.32	4.27	0.00





รูปที่ ค108 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชิง C

ตัวแปรตอบสนอง Y2

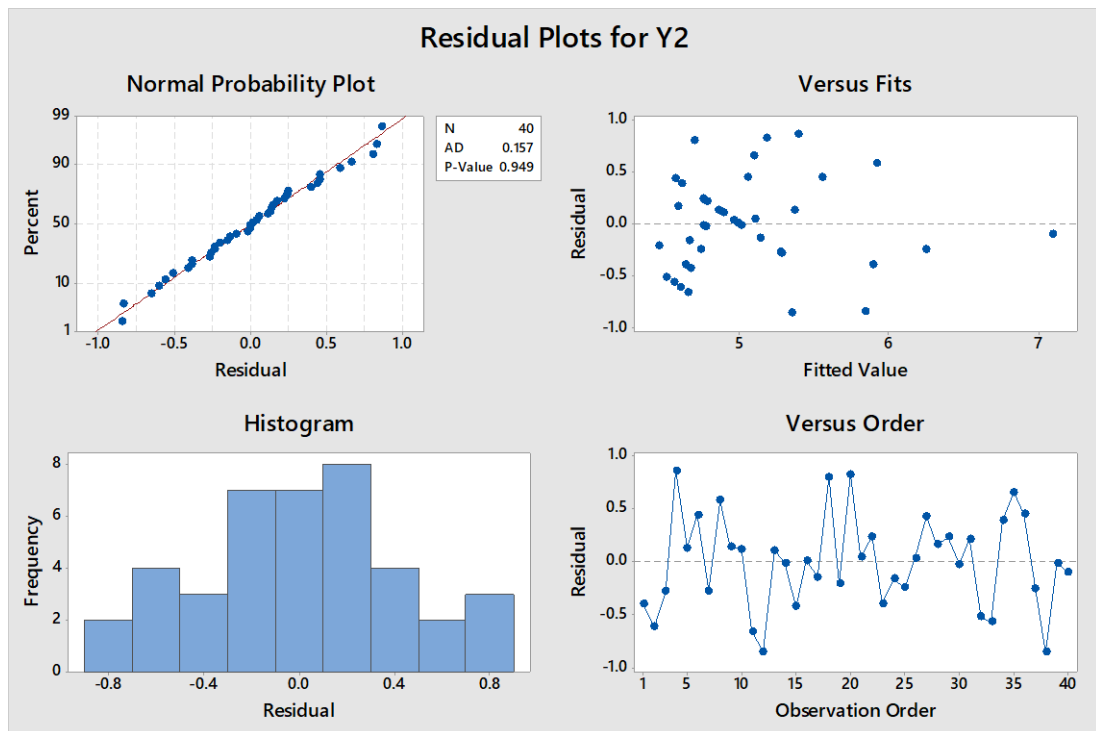
$$Y2 = 19.51 + 1.847 X4 - 0.01619 X5 + 0.800 X4^2 \tag{ค50}$$

ตารางที่ ค212 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง C

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	3	11.45	3.82	18.41	0.00	60.54%	57.26%
Linear	2	10.37	5.19	25.02	0.00		
X4	1	1.43	1.42	6.88	0.01		
X5	1	5.68	5.68	27.39	0.00		
Square	1	1.41	1.41	6.80	0.01		
X4*X4	1	1.41	1.41	6.80	0.01		
Error	36	7.46	0.21				
Total	39	18.91					

ตารางที่ ค213 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง C

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.32	0.11	48.28	0.00
X4	-0.46	0.18	-2.62	0.01
X5	-0.80	0.15	-5.23	0.00
X4*X4	0.70	0.27	2.61	0.01



รูปที่ ค109 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชิงพีลิ่ง C

## 2.2 พิจารณาแอลฟา 0.15

ตัวแปรตอบสนอง Y1

$$Y1 = -287 + 4.08 X1 - 11.6 X8 + 16.54 X4 + 0.683 X5 + 9.74 X8^2 - 0.000401 X5^2 - 1.488 X1X8 - 0.439 X1X4 \quad (\text{ค51})$$

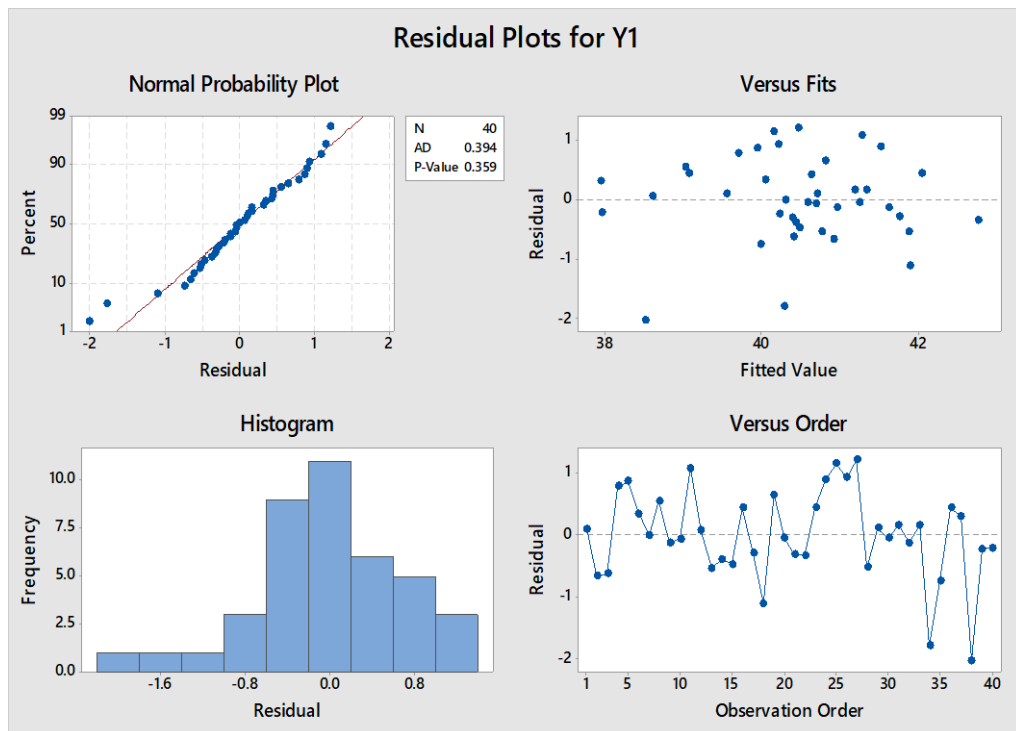
ตารางที่ ค214 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชิงพีลิ่ง C

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	8	45.63	5.70	8.99	0.00	69.89%	62.12%
Linear	4	38.17	9.54	15.05	0.00		
X1	1	3.08	3.08	4.86	0.04		
X8	1	0.10	0.10	0.15	0.70		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X4	1	5.36	5.36	8.44	0.01		
X5	1	9.91	9.91	15.62	0.00		
Square	2	5.44	2.72	4.29	0.02		
X8*X8	1	4.01	4.01	6.33	0.02		
X5*X5	1	2.06	2.06	3.25	0.08		
2-Way Interaction	2	9.89	4.94	7.79	0.00		
X1*X8	1	8.20	8.20	12.93	0.00		
X1*X4	1	4.74	4.74	7.48	0.01		
Error	31	19.66	0.63				
Total	39	65.29					

ตารางที่ ค215 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง C

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	39.90	0.26	154.00	0.00
X1	-0.86	0.39	-2.20	0.04
X8	0.18	0.47	0.39	0.70
X4	1.24	0.43	2.91	0.01
X5	1.39	0.35	3.95	0.00
X8*X8	1.93	0.77	2.52	0.02
X5*X5	-0.99	0.55	-1.80	0.08
X1*X8	-4.06	1.13	-3.60	0.00
X1*X4	-2.52	0.92	-2.73	0.01



รูปที่ ค110 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชิงพีลิ่ง C

ตัวแปรตอบสนอง Y2

$$Y2 = -105.1 + 2.580 X4 + 0.288 X5 + 1.057 X4^2 - 0.000185 X5^2 \quad (ค46)$$

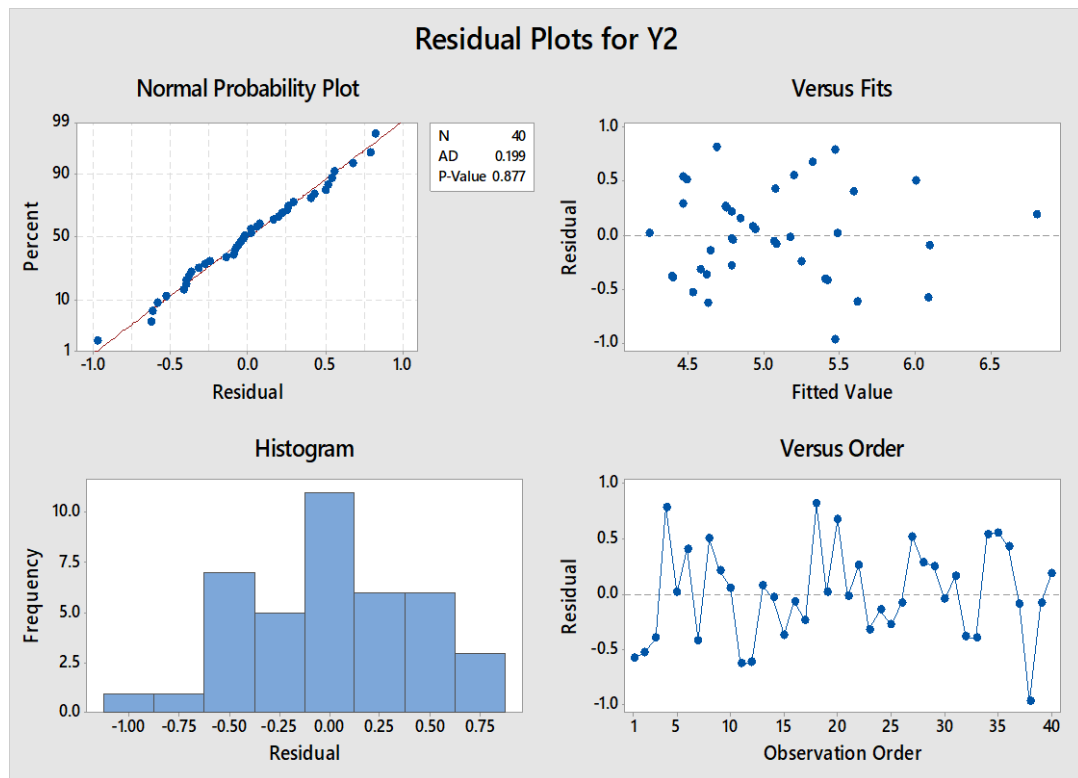
ตารางที่ ค216 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชิงพีลิ่ง C

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	4	11.96	2.99	15.08	0.00	63.27%	59.08%
Linear	2	6.91	3.46	17.42	0.00		
X4	1	1.53	1.53	7.73	0.01		
X5	1	3.10	3.10	15.63	0.00		
Square	2	1.93	0.96	4.85	0.01		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X4*X4	1	1.92	1.92	9.68	0.00		
X5*X5	1	0.52	0.52	2.60	0.12		
Error	35	6.94	0.20				
Total	39	18.91					

ตารางที่ ค217 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินทางของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง C

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.42	0.13	43.40	0.00
X4	-0.48	0.17	-2.78	0.01
X5	-0.67	0.17	-3.95	0.00
X4*X4	0.93	0.30	3.11	0.00
X5*X5	-0.46	0.28	-1.61	0.12



รูปที่ ค111 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชิงพีลิ่ง C

2.2 พิจารณาแอลฟา 0.25

ตัวแปรตอบสนอง Y1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

$$Y1 = -216 + 4.56 X1 + 1.8 X8 + 35.2 X4 + 0.474 X5 + 7.24 X8^2 - 1.22 X4^2 - 0.000278 X5^2 - 1.661 X1X8 - 0.491 X1X4 - 6.28 X8X4 \quad (\text{ค53})$$

ตารางที่ ค218 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดิหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง C

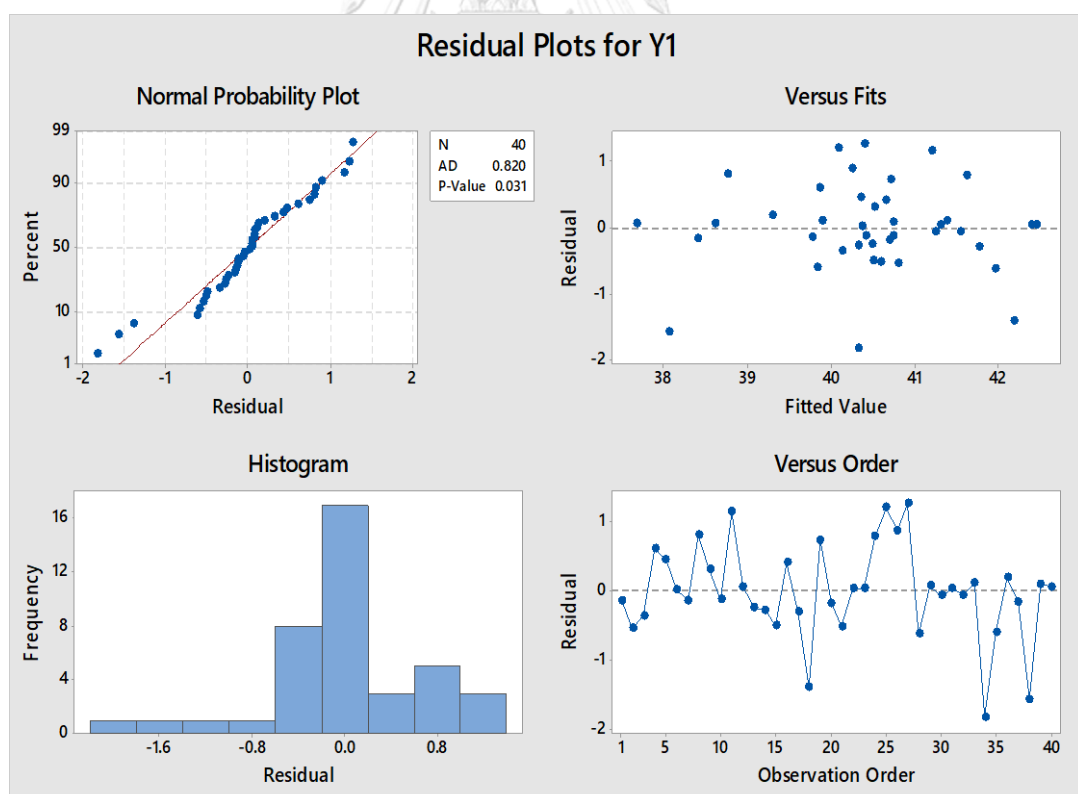
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	10	47.65	4.76	7.83	0.00	72.97%	63.65%
Linear	4	21.64	5.41	8.89	0.00		
X1	1	2.99	2.99	4.92	0.04		
X8	1	0.32	0.32	0.53	0.47		
X4	1	4.26	4.26	7.01	0.01		
X5	1	4.13	4.13	6.79	0.01		
Square	3	5.37	1.79	2.94	0.05		
X8*X8	1	1.95	1.95	3.21	0.08		
X4*X4	1	0.90	0.90	1.47	0.23		
X5*X5	1	0.82	0.82	1.34	0.26		
2-Way Interaction	3	11.51	3.84	6.30	0.00		
X1*X8	1	9.68	9.68	15.90	0.00		
X1*X4	1	5.05	5.05	8.30	0.01		
X8*X4	1	1.97	1.97	3.24	0.08		
Error	29	17.65	0.61				
Total	39	65.29					

ตารางที่ ค219 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดิหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง C

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	40.02	0.27	150.26	0.00



Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
X1	-0.89	0.40	-2.22	0.04
X8	0.34	0.47	0.73	0.47
X4	1.16	0.44	2.65	0.01
X5	1.04	0.40	2.60	0.01
X8*X8	1.44	0.80	1.79	0.08
X4*X4	-1.07	0.88	-1.21	0.23
X5*X5	-0.68	0.59	-1.16	0.26
X1*X8	-4.53	1.14	-3.99	0.00
X1*X4	-2.82	0.98	-2.88	0.01
X8*X4	-2.63	1.46	-1.80	0.08



รูปที่ ค112 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินทางของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง C

ตัวแปรตอบสนอง Y2

$$Y2 = -203 - 6.99 X4 + 0.508 X5 + 0.932 X4^2 - 0.000308 X5^2 + 0.01099 X4X5 \quad (ค54)$$

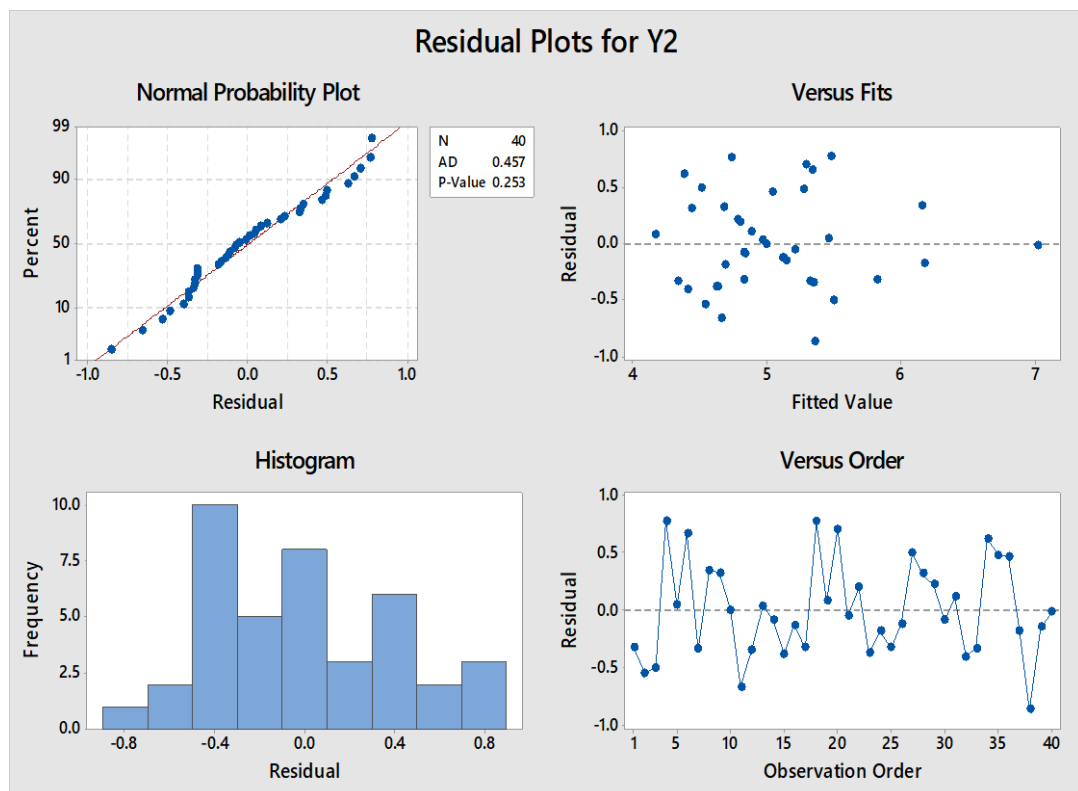
ตารางที่ ค220 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชื่อเพลิง C

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	5	12.35	2.47	12.81	0.00	65.33%	60.23%
Linear	2	7.30	3.65	18.93	0.00		
X4	1	1.77	1.77	9.15	0.01		
X5	1	1.59	1.59	8.27	0.01		
Square	2	1.92	0.96	4.97	0.01		
X4*X4	1	1.40	1.40	7.24	0.01		
X5*X5	1	0.90	0.90	4.67	0.04		
2-Way Interaction	1	0.39	0.39	2.01	0.17		
X4*X5	1	0.39	0.39	2.01	0.17		
Error	34	6.56	0.19				
Total	39	18.91					

ตารางที่ ค221 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชื่อเพลิง C

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.48	0.13	41.93	0.00
X4	-0.71	0.23	-3.03	0.01

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
X5	-0.55	0.19	-2.88	0.01
X4*X4	0.82	0.30	2.69	0.01
X5*X5	-0.76	0.35	-2.16	0.04
X4*X5	0.51	0.36	1.42	0.17



รูปที่ ค113 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชื่อมลิง C

## 4. การกำจัดตัวแปรแบบถอยหลัง (Backward elimination)

## 4.1 พิจารณาแอลฟา 0.10

ตัวแปรตอบสนอง Y1

$$\begin{aligned}
 Y1 &= -302 - 0.82 X1 + 44.5 X8 + 19.1 X4 + 0.721 X5 && (ค55) \\
 &- 1.81 X4^2 - 0.000529 X5^2 - 1.581 X1X8 - 0.648 X1X4 \\
 &+ 0.00589 X1X5 - 8.15 X8X4 + 0.0313 X4X5
 \end{aligned}$$

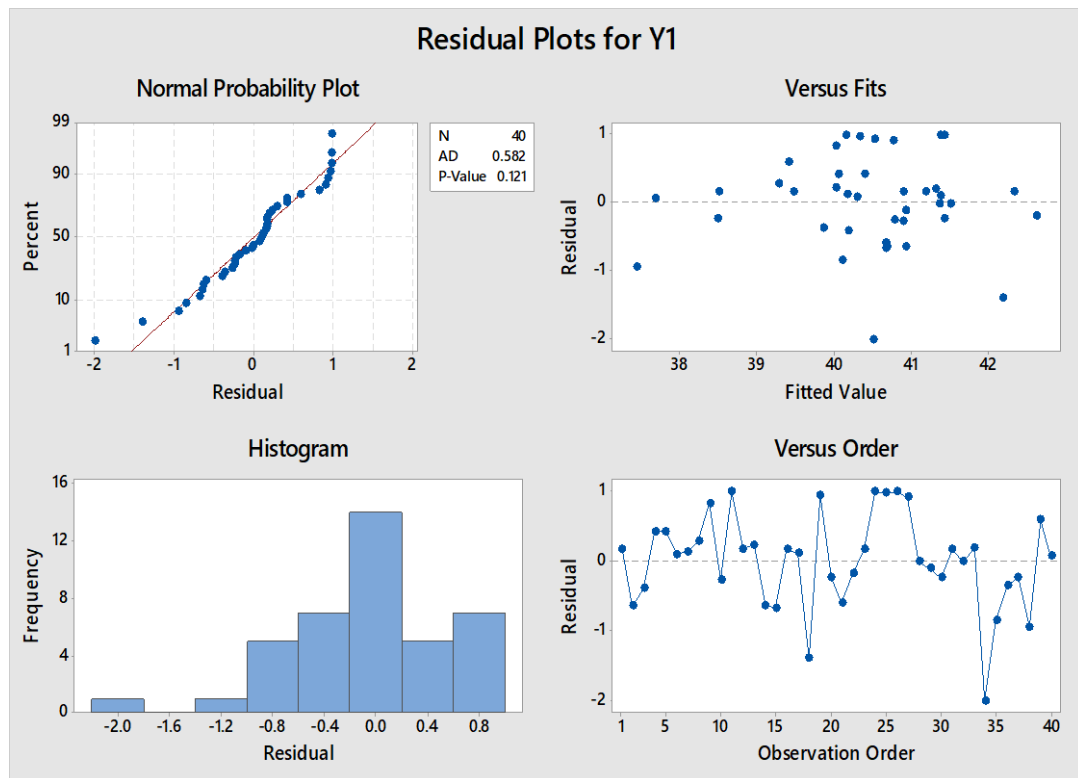
ตารางที่ ค222 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง C

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	11	48.32	4.39	7.25	0.00	74.00%	63.79%
Linear	4	17.63	4.41	7.27	0.00		
X1	1	3.78	3.78	6.24	0.02		
X8	1	0.96	0.96	1.58	0.22		
X4	1	1.21	1.21	1.99	0.17		
X5	1	1.76	1.76	2.90	0.10		
Square	2	4.85	2.42	4.00	0.03		
X4*X4	1	1.94	1.94	3.20	0.08		
X5*X5	1	1.96	1.96	3.24	0.08		
2-Way Interaction	5	12.19	2.44	4.02	0.01		
X1*X8	1	8.42	8.42	13.89	0.00		
X1*X4	1	5.71	5.71	9.41	0.01		
X1*X5	1	2.01	2.01	3.32	0.08		
X8*X4	1	3.51	3.51	5.78	0.02		
X4*X5	1	1.91	1.91	3.15	0.09		
Error	28	16.98	0.61				

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Total	39	65.29					

ตารางที่ ค223 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง C

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	40.61	0.34	118.12	0.00
X1	-1.49	0.60	-2.50	0.02
X8	0.71	0.57	1.26	0.22
X4	0.83	0.59	1.41	0.17
X5	0.79	0.46	1.70	0.10
X4*X4	-1.60	0.89	-1.79	0.08
X5*X5	-1.30	0.72	-1.80	0.08
X1*X8	-4.32	1.16	-3.73	0.00
X1*X4	-3.72	1.21	-3.07	0.01
X1*X5	1.79	0.98	1.82	0.08
X8*X4	-3.41	1.42	-2.40	0.02
X4*X5	1.46	0.82	1.78	0.09



รูปที่ ค114 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง C

ตัวแปรตอบสนอง Y2

$$Y2 = -178 - 4.30 X8 - 6.33 X4 + 0.467 X5 - 0.000278 X5^2 - 2.87 X8X4 + 0.01802 X4X5 \quad (\text{ค56})$$

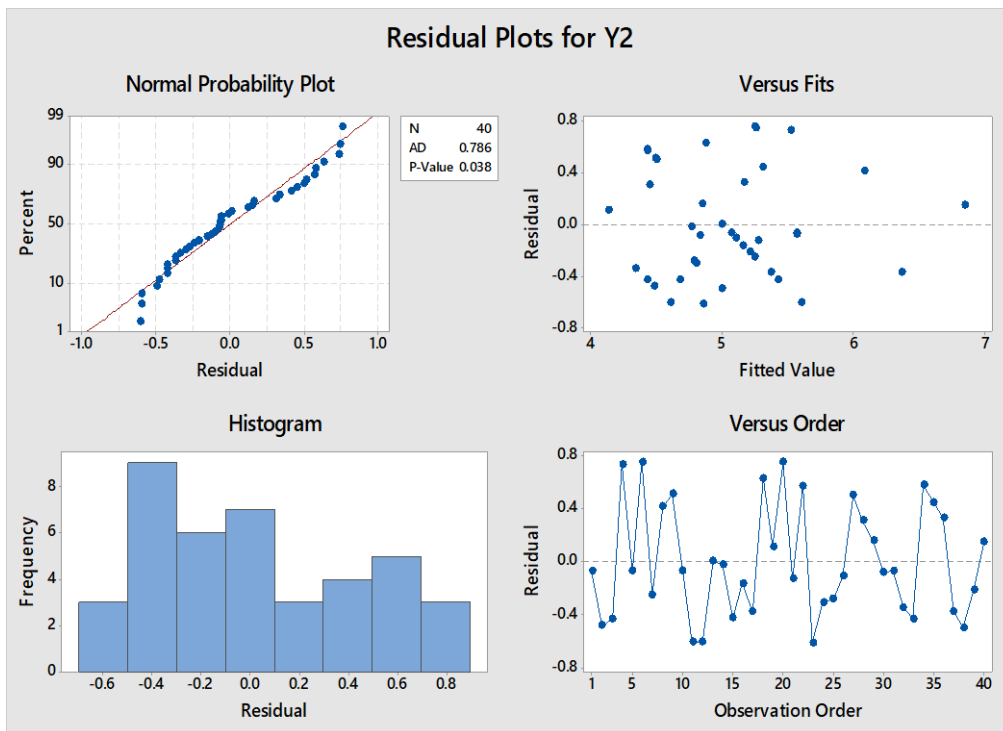
ตารางที่ ค224 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง C

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	6	12.21	2.03	10.03	0.00	64.58%	58.14%
Linear	3	10.14	3.38	16.66	0.00		
X8	1	0.01	0.01	0.04	0.84		
X4	1	2.62	2.62	12.91	0.00		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X5	1	1.76	1.76	8.67	0.01		
Square	1	0.74	0.74	3.64	0.07		
X5*X5	1	0.74	0.74	3.64	0.07		
2-Way Interaction	2	2.16	1.08	5.32	0.01		
X8*X4	1	1.24	1.24	6.12	0.02		
X4*X5	1	1.11	1.11	5.45	0.03		
Error	33	6.70	0.20				
Total	39	18.91					

ตารางที่ ค225 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรชื่อเพลิง C

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.53	0.14	40.90	0.00
X8	-0.05	0.22	-0.20	0.84
X4	-0.96	0.27	-3.59	0.00
X5	-0.61	0.21	-2.94	0.01
X5*X5	-0.68	0.36	-1.91	0.07
X8*X4	-1.20	0.49	-2.47	0.02
X4*X5	0.84	0.36	2.34	0.03



รูปที่ ค115 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิงC

#### 4.1 พิจารณาแอลฟา 0.15

##### ตัวแปรตอบสนอง Y1

$$\begin{aligned}
 Y1 = & -302 - 0.82 X1 + 44.5 X8 + 19.1 X4 + 0.721 X5 - 1.81 X4^2 & (ค57) \\
 & - 0.000529 X5^2 - 1.581 X1X8 - 0.648 X1X4 + 0.00589 X1X5 \\
 & - 8.15 X8X4 + 0.0313 X4X5
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ค226 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง C

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	11	48.32	4.39	7.25	0.00	74.00%	63.79%
Linear	4	17.63	4.41	7.27	0.00		
X1	1	3.78	3.78	6.24	0.02		

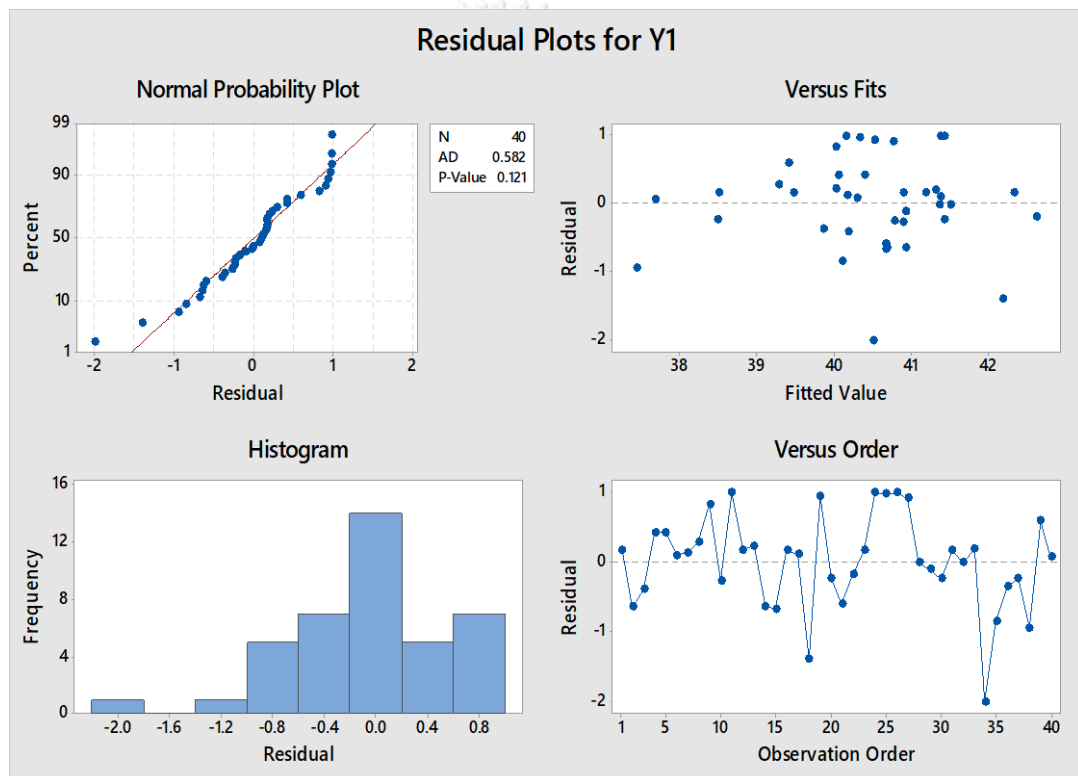


Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X8	1	0.96	0.96	1.58	0.22		
X4	1	1.21	1.21	1.99	0.17		
X5	1	1.76	1.76	2.90	0.10		
Square	2	4.85	2.42	4.00	0.03		
X4*X4	1	1.94	1.94	3.20	0.08		
X5*X5	1	1.96	1.96	3.24	0.08		
2-Way Interaction	5	12.19	2.44	4.02	0.01		
X1*X8	1	8.42	8.42	13.89	0.00		
X1*X4	1	5.71	5.71	9.41	0.01		
X1*X5	1	2.01	2.01	3.32	0.08		
X8*X4	1	3.51	3.51	5.78	0.02		
X4*X5	1	1.91	1.91	3.15	0.09		
Error	28	16.98	0.61				
Total	39	65.29					

ตารางที่ ค227 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบกำลังตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง C

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	40.61	0.34	118.12	0.00
X1	-1.49	0.60	-2.50	0.02
X8	0.71	0.57	1.26	0.22
X4	0.83	0.59	1.41	0.17
X5	0.79	0.46	1.70	0.10
X4*X4	-1.60	0.89	-1.79	0.08
X5*X5	-1.30	0.72	-1.80	0.08

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
X1*X8	-4.32	1.16	-3.73	0.00
X1*X4	-3.72	1.21	-3.07	0.01
X1*X5	1.79	0.98	1.82	0.08
X8*X4	-3.41	1.42	-2.40	0.02
X4*X5	1.46	0.82	1.78	0.09



รูปที่ ค116 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง C

ตัวแปรตอบสนอง Y2

$$Y2 = -178 - 4.30 X8 - 6.33 X4 + 0.467 X5 - 0.000278 X5^2 - 2.87 X8X4 + 0.01802 X4X5 \quad (\text{ค58})$$

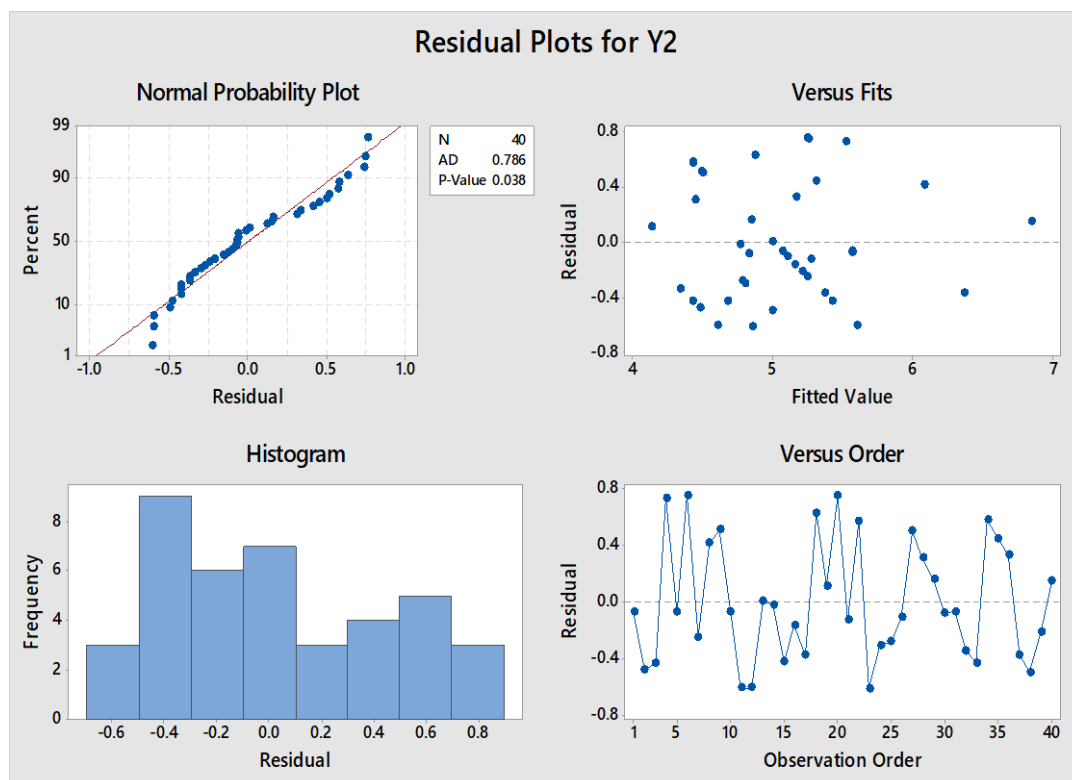
ตารางที่ ค228 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปร  
อิทธิพลหลักในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตร  
เชื้อเพลิง C

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	6	12.21	2.03	10.03	0.00	64.58%	58.14%
Linear	3	10.14	3.38	16.66	0.00		
X8	1	0.01	0.01	0.04	0.84		
X4	1	2.62	2.62	12.91	0.00		
X5	1	1.76	1.76	8.67	0.01		
Square	1	0.74	0.74	3.64	0.07		
X5*X5	1	0.74	0.74	3.64	0.07		
2-Way Interaction	2	2.16	1.08	5.32	0.01		
X8*X4	1	1.24	1.24	6.12	0.02		
X4*X5	1	1.11	1.11	5.45	0.03		
Error	33	6.70	0.20				
Total	39	18.91					

ตารางที่ ค229 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทน  
ตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15  
สูตรเชื้อเพลิง C

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.53	0.14	40.90	0.00
X8	-0.05	0.22	-0.20	0.84
X4	-0.96	0.27	-3.59	0.00
X5	-0.61	0.21	-2.94	0.01
X5*X5	-0.68	0.36	-1.91	0.07
X8*X4	-1.20	0.49	-2.47	0.02

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
X4*X5	0.84	0.36	2.34	0.03



รูปที่ ค117 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิงC

CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.3 พิจารณาแอลฟา 0.25

ตัวแปรตอบสนอง Y1

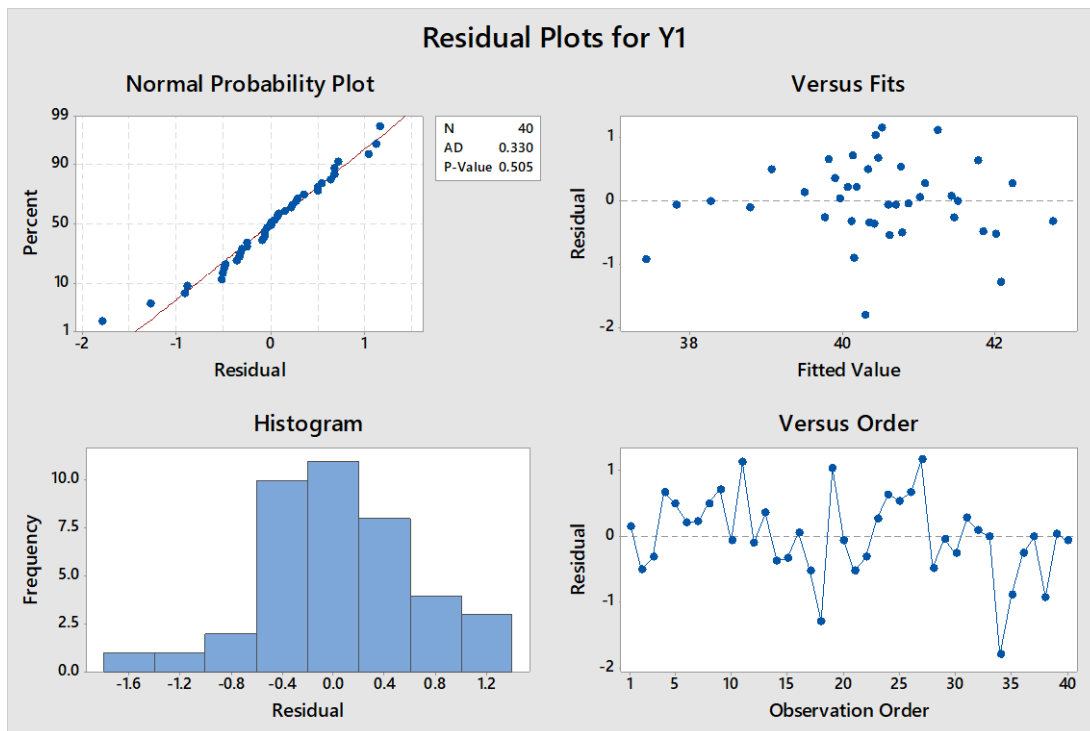
$$\begin{aligned}
 Y1 = & -281 - 1.22 X1 + 27.5 X8 + 20.7 X4 + 0.757 X5 & (ค59) \\
 & + 0.0195 X1*X1 + 5.18 X8^2 - 1.38 X4^2 - 0.000562 X5^2 \\
 & - 1.985 X1X8 - 0.694 X1X4 + 0.00619 X1X5 - 6.67 X8X4 \\
 & + 0.0272 X4X5
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ค230 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปร  
อิทธิพลหลักในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตร  
เชื้อเพลิง C

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	13	50.50	3.88	6.83	0.00	77.34%	66.01%
Linear	4	19.77	4.94	8.69	0.00		
X1	1	4.82	4.82	8.46	0.01		
X8	1	1.75	1.75	3.08	0.09		
X4	1	1.75	1.75	3.07	0.09		
X5	1	1.56	1.56	2.75	0.11		
Square	4	7.03	1.76	3.09	0.03		
X1*X1	1	1.26	1.26	2.21	0.15		
X8*X8	1	0.91	0.91	1.59	0.22		
X4*X4	1	1.04	1.04	1.83	0.19		
X5*X5	1	2.21	2.21	3.88	0.06		
2-Way Interaction	5	14.18	2.84	4.98	0.00		
X1*X8	1	10.52	10.52	18.49	0.00		
X1*X4	1	6.24	6.24	10.96	0.00		
X1*X5	1	1.84	1.84	3.23	0.08		
X8*X4	1	2.11	2.11	3.70	0.07		
X4*X5	1	1.37	1.37	2.41	0.13		
Error	26	14.80	0.57				
Total	39	65.29					

ตารางที่ ค231 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทน  
ตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25  
สูตรเชิงพีชคณิต C

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	40.36	0.37	110.50	0.00
X1	-1.80	0.62	-2.91	0.01
X8	1.02	0.58	1.75	0.09
X4	1.01	0.58	1.75	0.09
X5	0.77	0.46	1.66	0.11
X1*X1	0.73	0.49	1.49	0.15
X8*X8	1.03	0.82	1.26	0.22
X4*X4	-1.21	0.90	-1.35	0.19
X5*X5	-1.38	0.70	-1.97	0.06
X1*X8	-5.42	1.26	-4.30	0.00
X1*X4	-3.98	1.20	-3.31	0.00
X1*X5	1.88	1.05	1.80	0.08
X8*X4	-2.79	1.45	-1.92	0.07
X4*X5	1.27	0.82	1.55	0.13



รูปที่ ค118 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบก้ำจัดตัวแปรแบบถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชื่อมเพลิง C

ตัวแปรตอบสนอง Y2

$$\begin{aligned}
 Y2 = & -196 - 2.25 X1 + 22.7 X8 - 4.22 X4 + 0.506 X5 & (ค60) \\
 & - 4.17 X8^2 - 0.000353 X5^2 - 0.127 X1X4 + 0.00249 X1X5 \\
 & - 3.24 X8X4 + 0.0225 X4X5
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ค232 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบก้ำจัดตัวแปรแบบถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชื่อมเพลิง C

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	10	13.08	1.31	6.51	0.00	69.19%	58.57%
Linear	4	6.51	1.63	8.10	0.00		
X1	1	0.13	0.13	0.63	0.43		
X8	1	0.03	0.03	0.14	0.71		

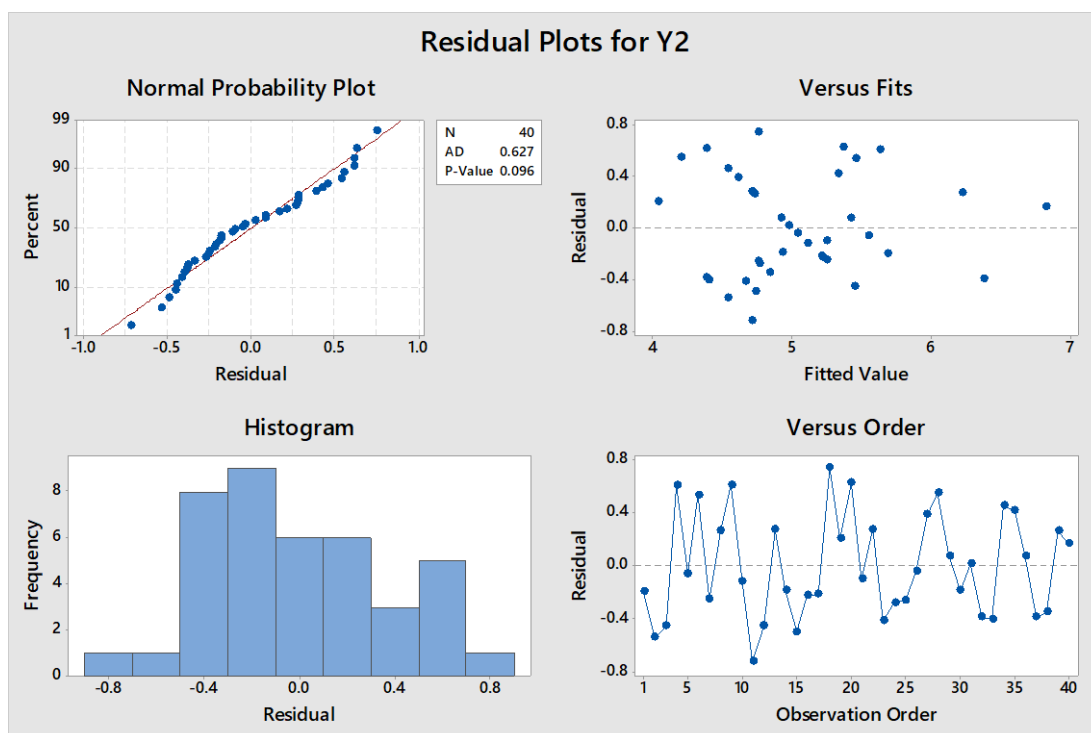
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X4	1	1.34	1.34	6.66	0.02		
X5	1	2.21	2.21	11.00	0.00		
Square	2	1.57	0.78	3.91	0.03		
X8*X8	1	0.76	0.76	3.77	0.06		
X5*X5	1	0.91	0.91	4.53	0.04		
2-Way Interaction	4	2.86	0.71	3.56	0.02		
X1*X4	1	0.30	0.30	1.51	0.23		
X1*X5	1	0.37	0.37	1.86	0.18		
X8*X4	1	1.29	1.29	6.43	0.02		
X4*X5	1	1.00	1.00	4.96	0.03		
Error	29	5.83	0.20				
Total	39	18.91					

ตารางที่ ค233 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง C

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.77	0.20	29.16	0.00
X1	-0.22	0.27	-0.80	0.43
X8	0.10	0.26	0.38	0.71
X4	-0.82	0.32	-2.58	0.02
X5	-0.77	0.23	-3.32	0.00
X8*X8	-0.83	0.43	-1.94	0.06
X5*X5	-0.87	0.41	-2.13	0.04
X1*X4	-0.73	0.60	-1.23	0.23



Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
X1*X5	0.76	0.55	1.36	0.18
X8*X4	-1.35	0.53	-2.54	0.02
X4*X5	1.05	0.47	2.23	0.03



รูปที่ ค119 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชื่อมเพลิงC

## ภาคผนวก ง

## การวิเคราะห์สมการถดถอยของสูตรเชื้อเพลิง A

พิจารณาตัวแปรนำเข้าแบบปกติ

1. การเลือกตัวแปรโดยการเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอน (Stepwise regression)

1.1 พิจารณาแอลฟา 0.10

ตัวแปรตอบสนอง Y1

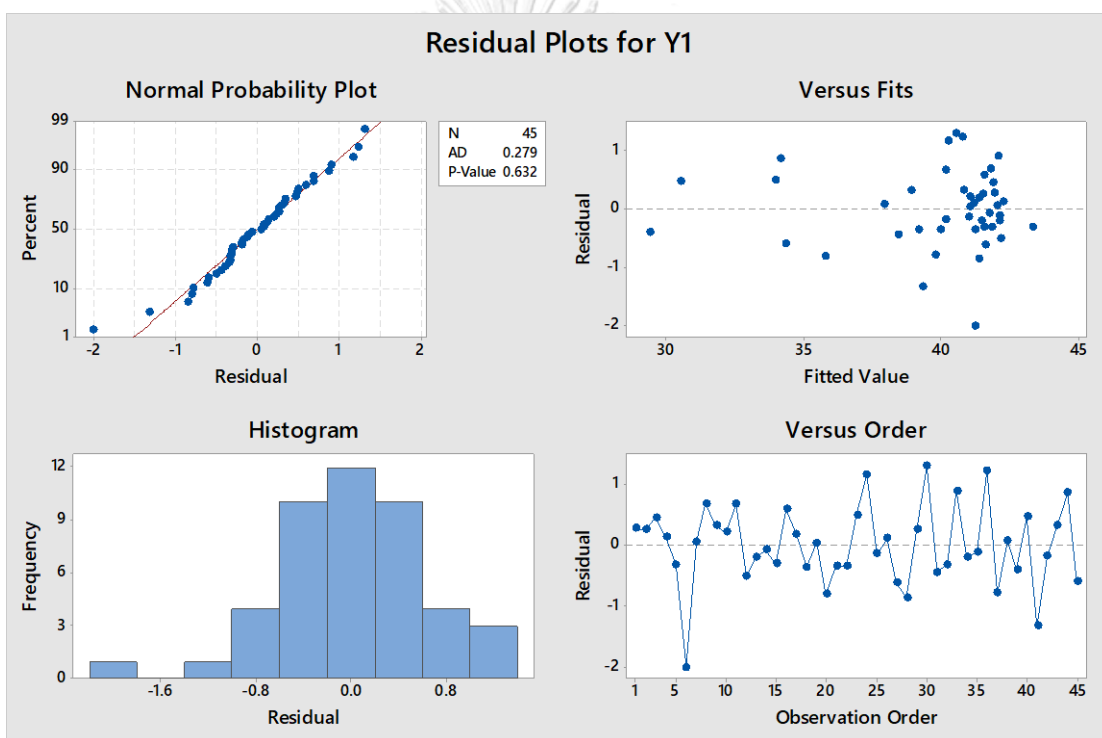
$$Y1 = -7.5 - 0.1809 X1 + 0.1113 X2 - 0.0977 X5 - 0.000054 X2^2 + 0.000075 X2X5 \quad (ง1)$$

ตารางที่ ง1 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง A

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	5	413.56	82.71	174.45	0.00	95.72%	95.17%
Linear	3	401.69	133.90	282.41	0.00		
X1	1	10.28	10.28	21.68	0.00		
X2	1	168.86	168.86	356.15	0.00		
X5	1	0.01	0.01	0.02	0.89		
Square	1	8.88	8.88	18.73	0.00		
X2*X2	1	8.88	8.88	18.73	0.00		
2-Way Interaction	1	2.63	2.63	5.55	0.02		
X2*X5	1	2.63	2.63	5.55	0.02		
Error	39	18.49	0.47				
Total	44	432.05					

ตารางที่ ง2 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง A

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	38.11	0.20	190.49	0.00
X1	-1.16	0.25	-4.66	0.00
X2	6.49	0.34	18.87	0.00
X5	-0.05	0.33	-0.15	0.89
X2*X2	-2.66	0.61	-4.33	0.00
X2*X5	1.29	0.55	2.36	0.02



รูปที่ ง1 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการการถดถอยแบบตัวแปรนำเข้าปกติเพิ่มตัวแปรแบบ  
ขั้นตอน Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชิงพีลิ่ง A

ตัวแปรตอบสนอง Y2

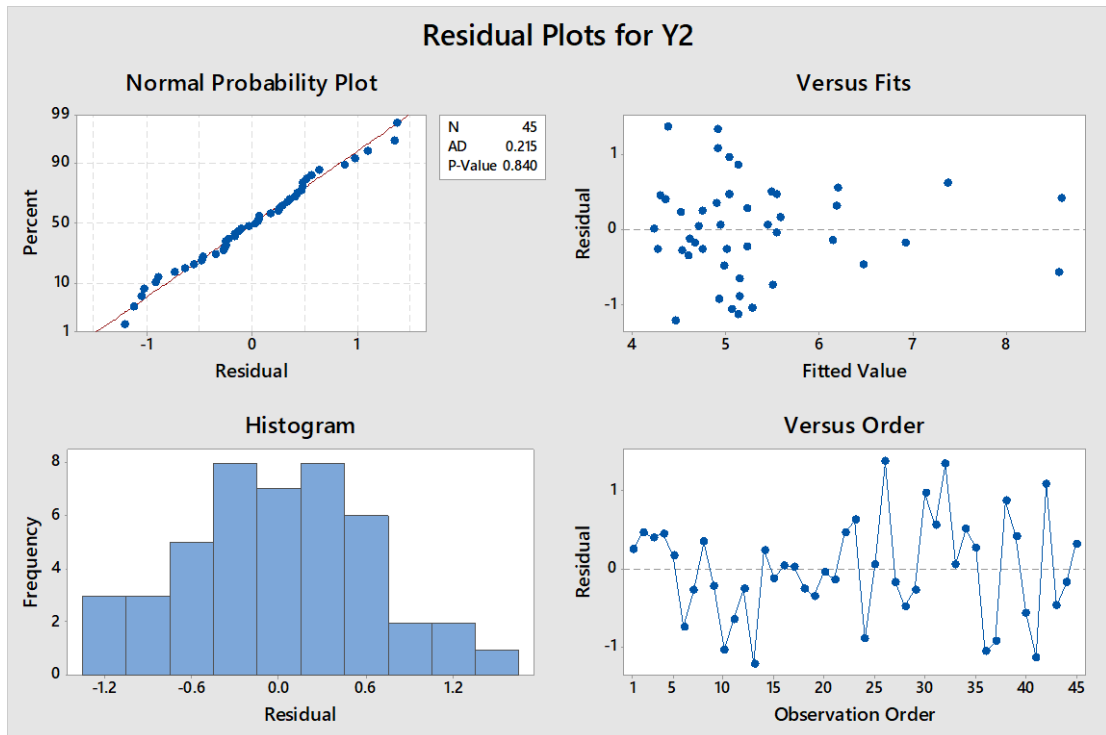
$$Y2 = 171.7 - 0.00537 X2 - 2.585 X3 + 14.99 X4 - 0.1851 X5 + 0.00299 X3X5 - 0.0184 X4X5 \quad (ง2)$$

ตารางที่ 3 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปร  
ตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง A

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	6	42.74	7.12	15.18	0.00	70.56%	65.91%
Linear	4	40.32	10.08	21.48	0.00		
X2	1	6.92	6.92	14.74	0.00		
X3	1	5.42	5.42	11.56	0.00		
X4	1	0.09	0.09	0.19	0.67		
X5	1	0.26	0.26	0.55	0.46		
2-Way Interaction	2	3.93	1.96	4.18	0.02		
X3*X5	1	3.92	3.92	8.35	0.01		
X4*X5	1	1.26	1.26	2.69	0.11		
Error	38	17.84	0.47				
Total	44	60.58					

ตารางที่ 4 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของ  
ตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง A

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.99	0.15	39.96	0.00
X2	-1.19	0.31	-3.84	0.00
X3	-0.92	0.27	-3.40	0.00
X4	0.19	0.43	0.43	0.67
X5	-0.21	0.28	-0.74	0.46
X3*X5	1.19	0.41	2.89	0.01
X4*X5	-1.07	0.65	-1.64	0.11



รูปที่ ง2 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยแบบตัวแปรนำเข้าปกติเพิ่มตัวแปรแบบ  
ขั้นตอน Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชิงพีลิ่ง A

1.2 พิจารณาแอลฟา 0.25

ตัวแปรตอบสนอง Y1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

$$\begin{aligned}
 Y1 = & -150.9 + 1.476 X1 + 0.0266 X2 + 4.93 X3 + 6.37 X4 & (ง3) \\
 & + 0.0029 X5 - 0.0250 X1^2 - 0.000080 X2^2 - 0.0381 X3^2 \\
 & - 0.167 X1X4 + 0.001678 X2X3 + 0.000151 X2X5 \\
 & - 0.00377 X3X5
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ง5 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปร  
ตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชิงพีลิ่ง A

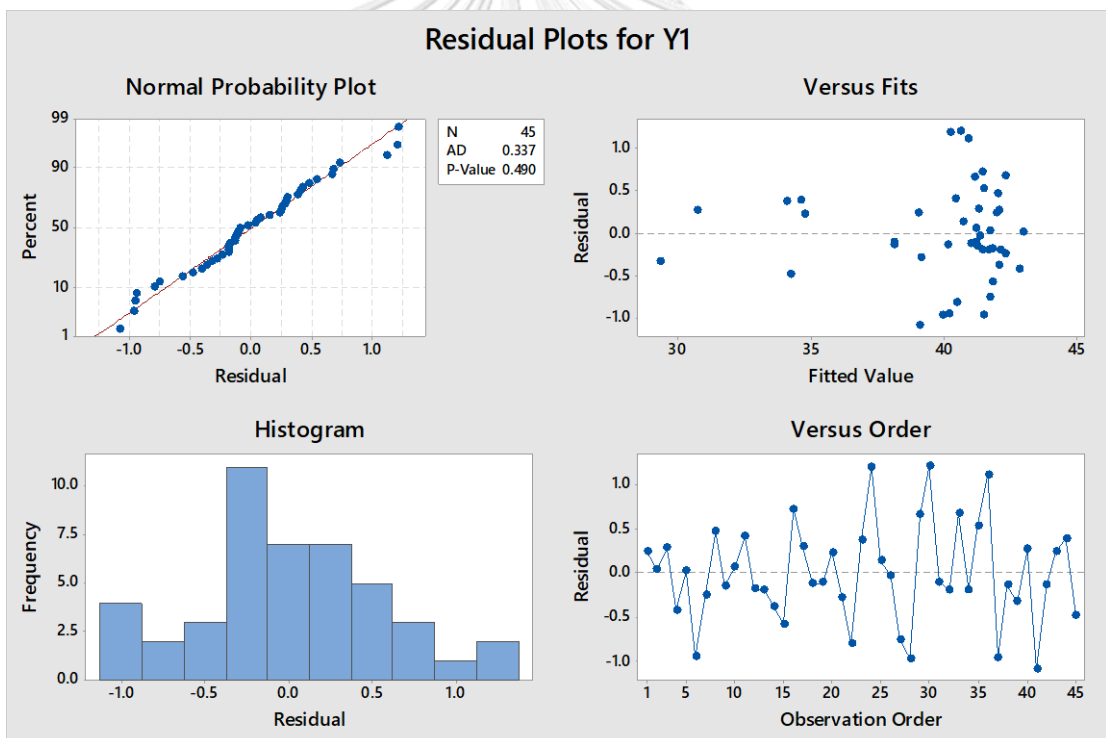
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	12	418.64	34.89	83.20	0.00	96.89%	95.73%
Linear	5	266.94	53.39	127.33	0.00		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X1	1	1.29	1.29	3.08	0.09		
X2	1	45.73	45.73	109.07	0.00		
X3	1	0.00	0.00	0.01	0.93		
X4	1	0.69	0.69	1.64	0.21		
X5	1	0.15	0.15	0.36	0.55		
Square	3	11.47	3.82	9.12	0.00		
X1*X1	1	1.86	1.86	4.43	0.04		
X2*X2	1	7.86	7.86	18.75	0.00		
X3*X3	1	1.22	1.22	2.90	0.10		
2-Way Interaction	4	5.52	1.38	3.29	0.02		
X1*X4	1	0.85	0.85	2.03	0.16		
X2*X3	1	3.08	3.08	7.34	0.01		
X2*X5	1	3.52	3.52	8.40	0.01		
X3*X5	1	1.56	1.56	3.72	0.06		
Error	32	13.42	0.42				
Total	44	432.05					

ตารางที่ ๖ ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง A

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	38.49	0.32	121.36	0.00
X1	-0.60	0.34	-1.75	0.09
X2	6.61	0.63	10.44	0.00
X3	0.03	0.38	0.09	0.93
X4	0.35	0.27	1.28	0.21

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
X5	-0.23	0.38	-0.60	0.55
X1*X1	-1.03	0.49	-2.11	0.04
X2*X2	-3.89	0.90	-4.33	0.00
X3*X3	-0.99	0.58	-1.70	0.10
X1*X4	-0.80	0.56	-1.43	0.16
X2*X3	1.89	0.70	2.71	0.01
X2*X5	2.60	0.90	2.90	0.01
X3*X5	-1.50	0.78	-1.93	0.06



รูปที่ ๓ การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการการถดถอยแบบตัวแปรนำเข้าปกติเพิ่มตัวแปรแบบ  
ขั้นตอน Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชิงพีลิ่ง A

$$\begin{aligned}
 Y2 = & 156 - 0.0506 X2 - 5.85 X3 + 13.74 X4 + 0.140 X5 \\
 & + 0.0332 X3^2 - 0.000228 X5^2 + 0.000055 X2X5 \\
 & + 0.00257 X3X5 - 0.0171 X4X5
 \end{aligned}
 \tag{๓4}$$

ตารางที่ 7 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปร  
ตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง A

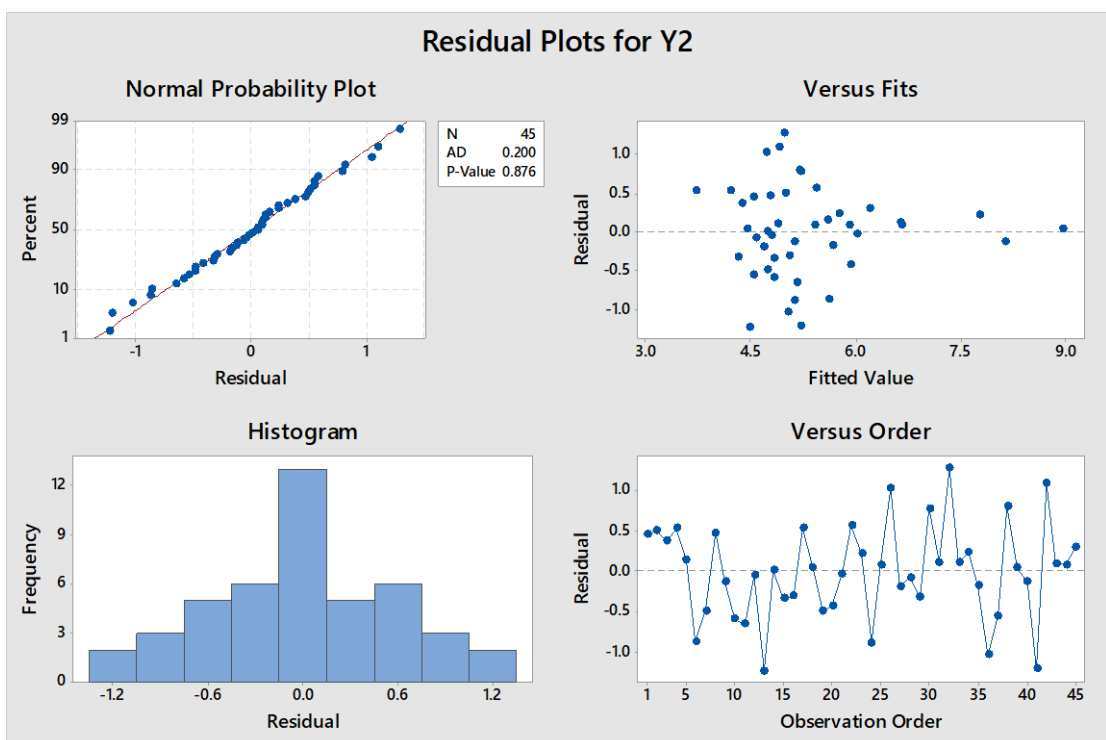
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	9	45.71	5.08	11.96	0.00	75.47%	69.16%
Linear	4	36.70	9.17	21.61	0.00		
X2	1	3.69	3.69	8.70	0.01		
X3	1	4.21	4.21	9.92	0.00		
X4	1	0.00	0.00	0.00	0.99		
X5	1	0.31	0.31	0.72	0.40		
Square	2	2.94	1.47	3.47	0.04		
X3*X3	1	1.08	1.08	2.55	0.12		
X5*X5	1	1.74	1.74	4.11	0.05		
2-Way Interaction	3	5.50	1.83	4.32	0.01		
X2*X5	1	0.59	0.59	1.39	0.25		
X3*X5	1	1.12	1.12	2.64	0.11		
X4*X5	1	1.03	1.03	2.42	0.13		
Error	35	14.86	0.42				
Total	44	60.58					

ตารางที่ 8 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของ  
ตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง A

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.839	0.325	17.99	0.00
X2	-1.36	0.46	-2.95	0.01
X3	-1.12	0.36	-3.15	0.00
X4	0.01	0.44	0.01	0.99



X5	0.31	0.37	0.85	0.40
X3*X3	0.86	0.54	1.60	0.12
X5*X5	-1.39	0.69	-2.03	0.05
X2*X5	0.95	0.81	1.18	0.25
X3*X5	1.02	0.63	1.62	0.11
X4*X5	-1.00	0.64	-1.55	0.13



รูปที่ 4 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการการถดถอยแบบตัวแปรนำเข้าปกติเพิ่มตัวแปรแบบ

ขั้นตอน Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชิงพหุคูณ A

2. การเลือกตัวแปรแบบเดินหน้า (Forward selection)

2.1 พิจารณาแอลฟา 0.10

ตัวแปรตอบสนอง Y1

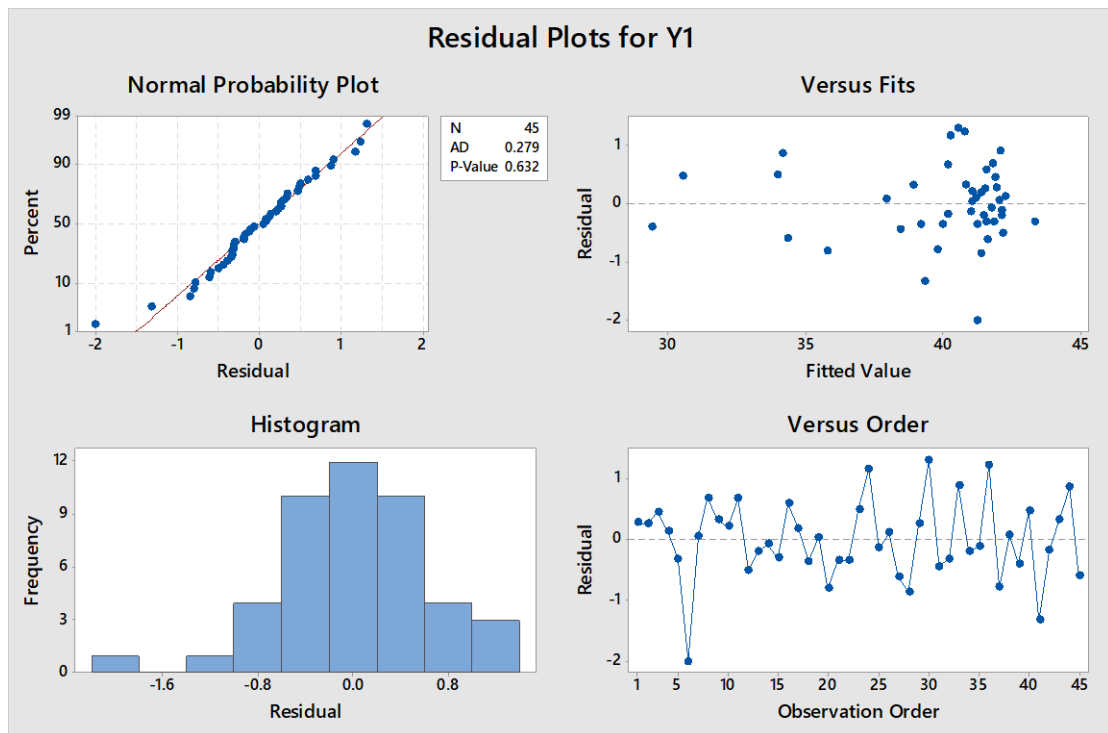
$$Y1 = -7.5 - 0.1809 X1 + 0.1113 X2 - 0.0977 X5 - 0.000054 X2^2 + 0.000075 X2X5 \quad (ง5)$$

ตารางที่ ๙ ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยแบบเลือกตัวแปรแบบเดินทางของตัวแปร  
ตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง A

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	5	413.56	82.71	174.45	0.00	95.72%	95.17%
Linear	3	401.69	133.90	282.41	0.00		
X1	1	10.28	10.28	21.68	0.00		
X2	1	168.86	168.86	356.15	0.00		
X5	1	0.01	0.01	0.02	0.89		
Square	1	8.88	8.88	18.73	0.00		
X2*X2	1	8.88	8.88	18.73	0.00		
2-Way Interaction	1	2.63	2.63	5.55	0.02		
X2*X5	1	2.63	2.63	5.55	0.02		
Error	39	18.49	0.47				
Total	44	432.05					

ตารางที่ ๑๐ ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยแบบเลือกตัวแปรแบบเดินทาง  
ของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง A

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	38.11	0.20	190.49	0.00
X1	-1.16	0.25	-4.66	0.00
X2	6.49	0.34	18.87	0.00
X5	-0.05	0.33	-0.15	0.89
X2*X2	-2.66	0.61	-4.33	0.00
X2*X5	1.29	0.55	2.36	0.02



รูปที่ 5 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการการถดถอยเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชิงพีลิ่ง A

ตัวแปรตอบสนอง Y2

$$Y2 = 171.7 - 0.00537 X2 - 2.585 X3 + 14.99 X4 - 0.1851 X5 + 0.00299 X3X5 - 0.0184 X4X5 \quad (ง6)$$

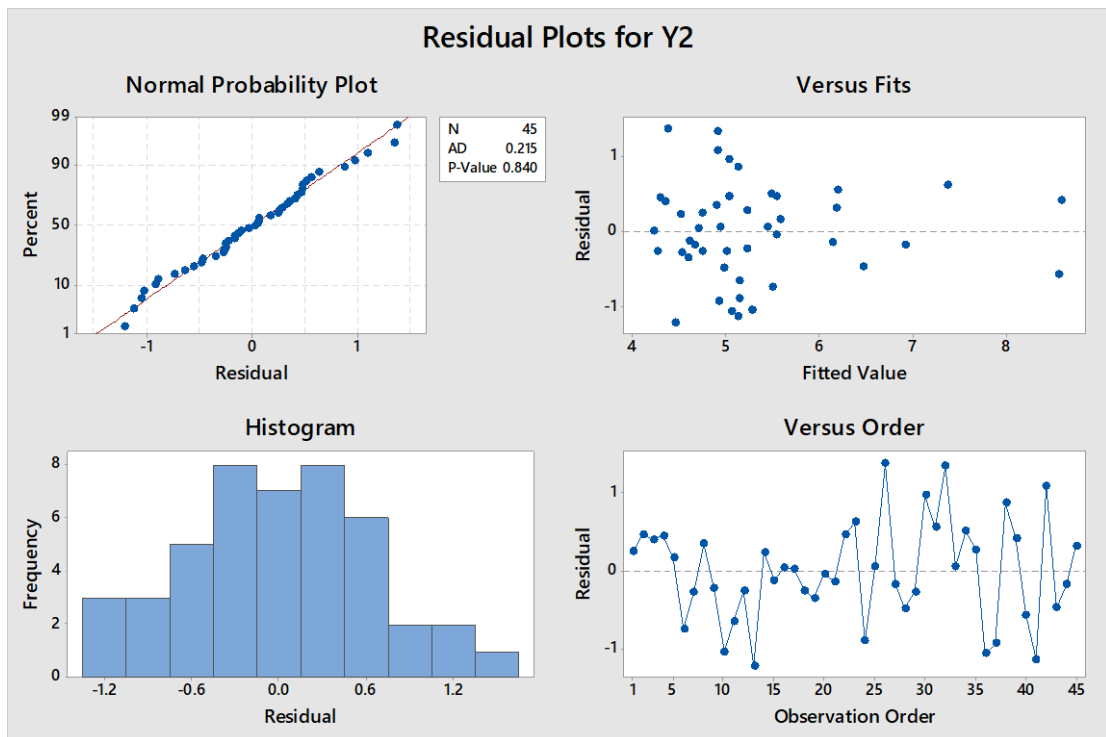
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ง11 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยแบบเลือกตัวแปรแบบเดินทางของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง A

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	6	42.74	7.12	15.18	0.00	70.56%	65.91%
Linear	4	40.32	10.08	21.48	0.00		
X2	1	6.92	6.92	14.74	0.00		
X3	1	5.42	5.42	11.56	0.00		
X4	1	0.09	0.09	0.19	0.67		
X5	1	0.26	0.26	0.55	0.46		
2-Way Interaction	2	3.93	1.96	4.18	0.02		
X3*X5	1	3.92	3.92	8.35	0.01		
X4*X5	1	1.26	1.26	2.69	0.11		
Error	38	17.84	0.47				
Total	44	60.58					

ตารางที่ ง12 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยแบบเลือกตัวแปรแบบเดินทางของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง A

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.99	0.15	39.96	0.00
X2	-1.19	0.31	-3.84	0.00
X3	-0.92	0.27	-3.40	0.00
X4	0.19	0.43	0.43	0.67
X5	-0.21	0.28	-0.74	0.46
X3*X5	1.19	0.41	2.89	0.01
X4*X5	-1.07	0.65	-1.64	0.11



รูปที่ ๖ การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการการถดถอย Y2 แอลฟา 0.10 แบบตัวแปรนำเข้าปกติ  
เพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนสูตรเชิงพีชคณิต A

## 2.2 พิจารณาแอลฟา 0.15

ตัวแปรตอบสนอง Y1

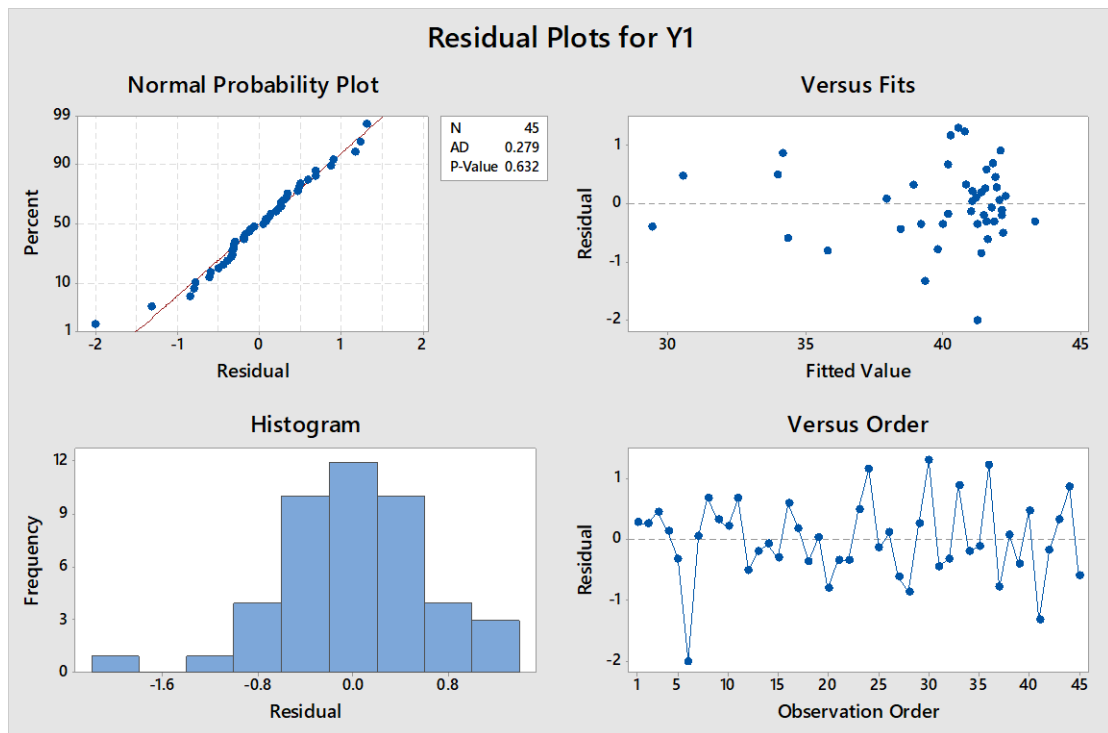
$$Y1 = -7.5 - 0.1809 X1 + 0.1113 X2 - 0.0977 X5 - 0.000054 X2^2 + 0.000075 X2X5 \quad (๗7)$$

ตารางที่ ง13 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยแบบเลือกตัวแปรแบบเดินทางของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง A

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	5	413.56	82.71	174.45	0.00	95.72%	95.17%
Linear	3	401.69	133.90	282.41	0.00		
X1	1	10.28	10.28	21.68	0.00		
X2	1	168.86	168.86	356.15	0.00		
X5	1	0.01	0.01	0.02	0.89		
Square	1	8.88	8.88	18.73	0.00		
X2*X2	1	8.88	8.88	18.73	0.00		
2-Way Interaction	1	2.63	2.63	5.55	0.02		
X2*X5	1	2.63	2.63	5.55	0.02		
Error	39	18.49	0.47				
Total	44	432.05					

ตารางที่ ง14 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยแบบเลือกตัวแปรแบบเดินทางของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง A

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	38.11	0.20	190.49	0.00
X1	-1.16	0.25	-4.66	0.00
X2	6.49	0.34	18.87	0.00
X5	-0.05	0.33	-0.15	0.89
X2*X2	-2.66	0.61	-4.33	0.00
X2*X5	1.29	0.55	2.36	0.02



รูปที่ ๗ การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการการถดถอยเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปร

ตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชิงพหุคูณ A

ตัวแปรตอบสนอง Y2

$$Y2 = 217.9 - 0.00479 X2 - 7.33 X3 + 15.24 X4 + 0.014 X5 + 0.0370 X3^2 - 0.000150 X5^2 \quad (๗8)$$

ตารางที่ ๑๕ ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชิงพหุคูณ A

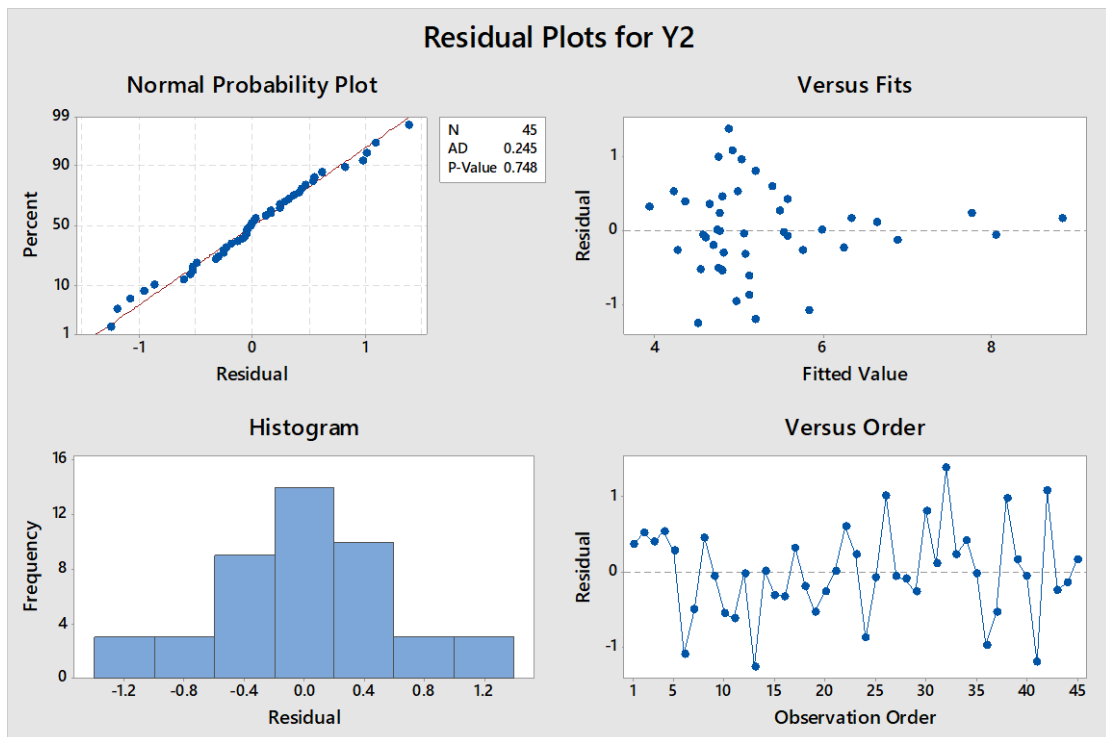
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	8	45.1227	5.64033	13.14	0	74.49%	68.82%
Linear	4	36.1793	9.04483	21.07	0		
X2	1	3.2283	3.22829	7.52	0.009		
X3	1	7.3645	7.36454	17.16	0		
X4	1	0.0245	0.02452	0.06	0.812		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X5	1	0.1402	0.14019	0.33	0.571		
Square	2	2.383	1.19148	2.78	0.076		
X3*X3	1	1.3747	1.37472	3.2	0.082		
X5*X5	1	1.1527	1.15273	2.69	0.11		
2-Way Interaction	2	4.9063	2.45314	5.72	0.007		
X3*X5	1	4.8671	4.86708	11.34	0.002		
X4*X5	1	1.2617	1.26171	2.94	0.095		
Error	36	15.4523	0.42923				
Total	44	60.575					

ตารางที่ ง16 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง A

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.99	0.15	39.96	0.00
X2	-1.19	0.31	-3.84	0.00
X3	-0.92	0.27	-3.40	0.00
X4	0.19	0.43	0.43	0.67
X5	-0.21	0.28	-0.74	0.46
X3*X5	1.19	0.41	2.89	0.01
X4*X5	-1.07	0.65	-1.64	0.11





รูปที่ ๘ การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการการถดถอย Y2 แอลฟา 0.15 แบบตัวแปรนำเข้าปกติ  
เพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนสูตรเชิงพีชคณิต A

### 3. การกำจัดตัวแปรแบบถอยหลัง (Backward elimination)

#### 3.1 พิจารณาแอลฟา 0.15

ตัวแปรตอบสนอง Y1

$$\begin{aligned}
 Y1 = & -64.6 + 2.00 X1 + 0.1341 X2 - 0.17 X3 + 17.0 X4 - 0.0624 X5 & (๙) \\
 & - 0.0223 X1^2 - 0.000098 X2^2 - 0.001635 X1X2 + 0.0320 X1X3 \\
 & + 0.001450 X2X3 + 0.01305 X2X4 + 0.000188 X2X5 \\
 & - 0.305 X3X4 - 0.00402 X3X5 - 0.0216 X4X5
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ๑๗ ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยแบบกำจัดตัวแปรแบบถอยหลังของตัว  
แปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชิงพีชคณิต A

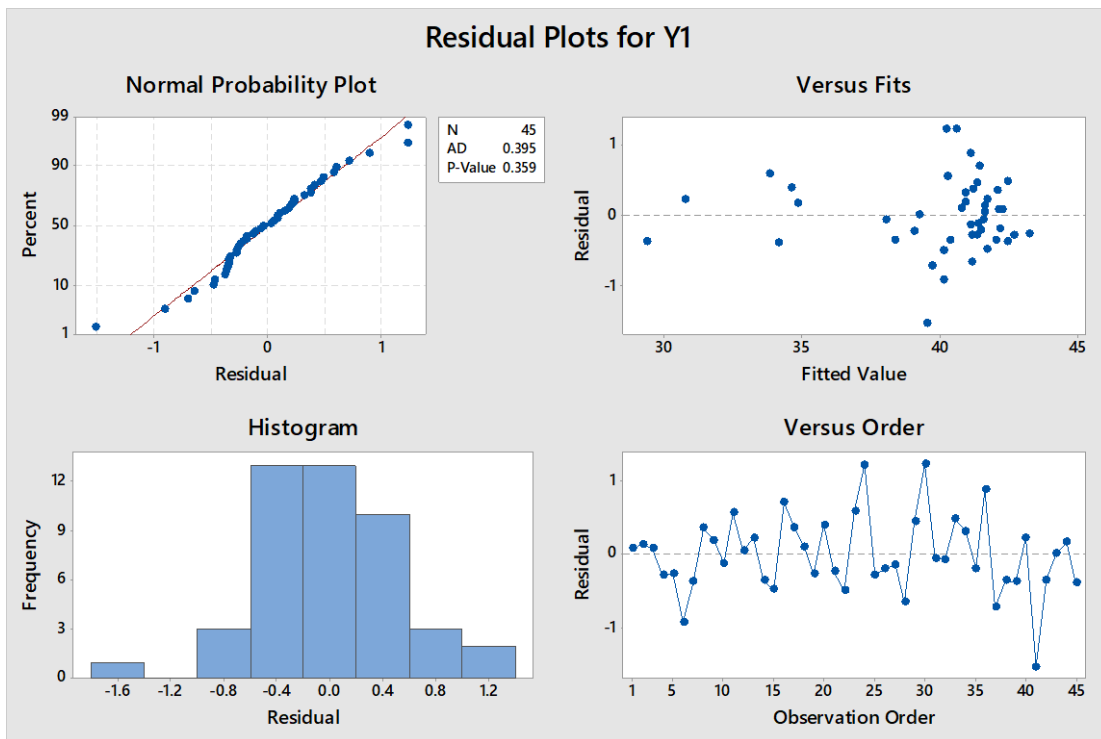
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	15	420.12	28.01	68.06	0.00	97.24%	95.81%
Linear	5	176.09	35.22	85.58	0.00		
X1	1	0.01	0.01	0.01	0.90		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X2	1	23.00	23.00	55.89	0.00		
X3	1	0.00	0.00	0.01	0.94		
X4	1	0.07	0.07	0.16	0.69		
X5	1	0.59	0.59	1.44	0.24		
Square	2	8.37	4.19	10.17	0.00		
X1*X1	1	1.39	1.39	3.37	0.08		
X2*X2	1	6.75	6.75	16.41	0.00		
2-Way Interaction	8	8.49	1.06	2.58	0.03		
X1*X2	1	1.73	1.73	4.20	0.05		
X1*X3	1	0.96	0.96	2.32	0.14		
X2*X3	1	1.47	1.47	3.58	0.07		
X2*X4	1	3.02	3.02	7.35	0.01		
X2*X5	1	4.43	4.42	10.75	0.00		
X3*X4	1	0.98	0.98	2.39	0.13		
X3*X5	1	1.77	1.77	4.30	0.05		
X4*X5	1	1.08	1.08	2.62	0.12		
Error	29	11.93	0.41				
Total	44	432.05					

ตารางที่ 18 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยแบบกำจัดตัวแปรแบบถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง A

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	37.92	0.29	131.82	0.00
X1	0.07	0.58	0.12	0.90
X2	7.72	1.03	7.48	0.00

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
X3	-0.04	0.52	-0.08	0.94
X4	0.21	0.52	0.40	0.69
X5	-0.59	0.49	-1.20	0.24
X1*X1	-0.92	0.50	-1.84	0.08
X2*X2	-4.76	1.18	-4.05	0.00
X1*X2	-2.32	1.13	-2.05	0.05
X1*X3	1.04	0.69	1.52	0.14
X2*X3	1.63	0.86	1.89	0.07
X2*X4	2.16	0.80	2.71	0.01
X2*X5	3.23	0.99	3.28	0.00
X3*X4	-1.17	0.75	-1.55	0.13
X3*X5	-1.60	0.77	-2.07	0.05
X4*X5	-1.27	0.78	-1.62	0.12



รูปที่ ๑๙ การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยแบบกำลังตัวแปรแบบถอยหลังของตัวแปร  
ตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชิงพีลิ่ง A

ตัวแปรตอบสนอง Y2

$$\begin{aligned}
 Y2 = & 19.0 + 1.179 X1 - 0.1354 X2 - 1.439 X3 + 15.6 X4 + 0.275 X5 & (๑10) \\
 & - 0.0163 X1^2 - 0.000258 X5^2 + 0.000961 X2X3 + 0.000094 X2X5 \\
 & - 0.0190 X4X5
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ๑๙ ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยแบบกำลังตัวแปรแบบถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชิงพีลิ่ง A

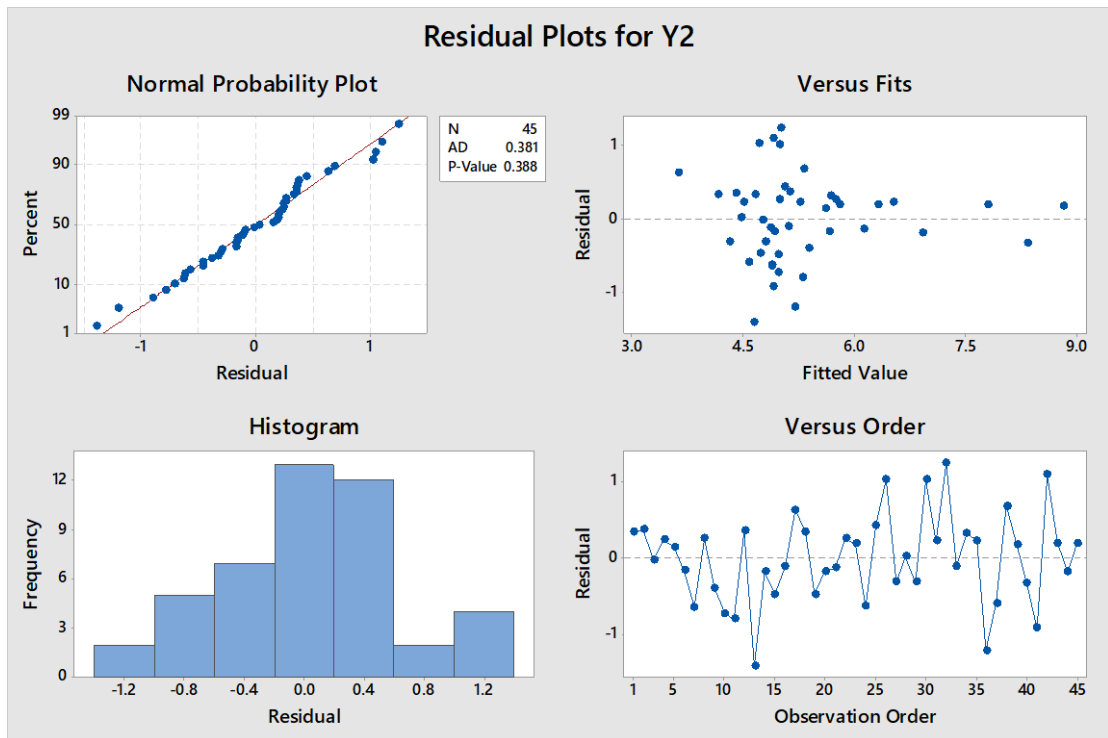
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	10	46.08	4.61	10.80	0.00	76.06%	69.02%
Linear	5	41.05	8.21	19.25	0.00		
X1	1	0.21	0.21	0.49	0.49		
X2	1	9.41	9.41	22.07	0.00		
X3	1	4.16	4.16	9.76	0.00		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X4	1	0.15	0.15	0.36	0.55		
X5	1	0.61	0.61	1.42	0.24		
Square	2	3.20	1.60	3.75	0.03		
X1*X1	1	0.93	0.93	2.19	0.15		
X5*X5	1	2.18	2.18	5.10	0.03		
2-Way Interaction	3	5.57	1.86	4.35	0.01		
X2*X3	1	1.74	1.74	4.07	0.05		
X2*X5	1	3.03	3.03	7.10	0.01		
X4*X5	1	1.06	1.06	2.49	0.12		
Error	34	14.50	0.43				
Total	44	60.58					

ตารางที่ 20 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยแบบกำลังตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง A

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	6.16	0.24	25.57	0.00
X1	0.18	0.26	0.70	0.49
X2	-1.89	0.40	-4.70	0.00
X3	-0.96	0.31	-3.12	0.00
X4	0.30	0.50	0.60	0.55
X5	0.47	0.39	1.19	0.24
X1*X1	-0.67	0.45	-1.48	0.15
X5*X5	-1.57	0.69	-2.26	0.03
X2*X3	1.08	0.54	2.02	0.05
X2*X5	1.62	0.61	2.67	0.01

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
X4*X5	-1.11	0.70	-1.58	0.12



รูปที่ 10 การวิเคราะห์หาค่าคงที่ของสมการการถดถอยแบบกำลังตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปร

ตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชิงพีลา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 พิจารณาแอลฟา 0.25

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตัวแปรตอบสนอง Y1

$$\begin{aligned}
 Y1 = & -64.6 + 2.00 X1 + 0.1341 X2 - 0.17 X3 + 17.0 X4 - 0.0624 X5 & (ง11) \\
 & - 0.0223 X1^2 - 0.000098 X2^2 - 0.001635 X1X2 + 0.0320 X1X3 \\
 & + 0.001450 X2X3 + 0.01305 X2X4 + 0.000188 X2X5 \\
 & - 0.305 X3X4 - 0.00402 X3X5 - 0.0216 X4X5
 \end{aligned}$$

ตารางที่ 21 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการการถดถอยแบบกำลังตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชิงพีลา

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	15	420.12	28.01	68.06	0.00	97.24%	95.81%

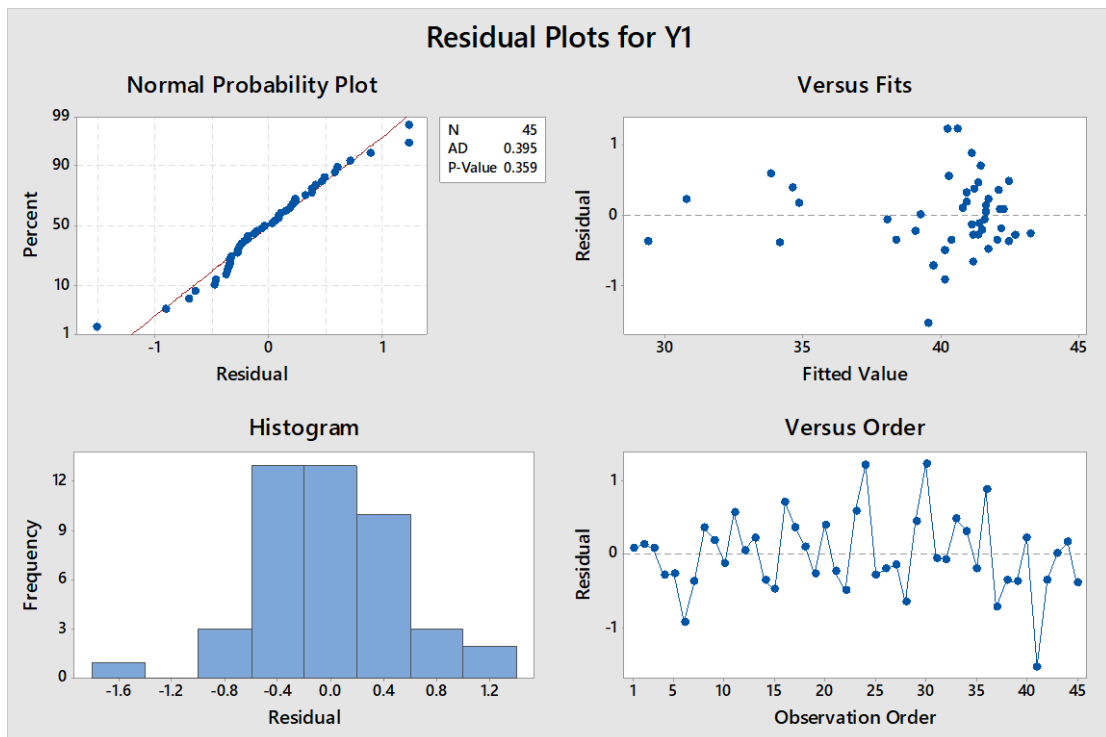
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Linear	5	176.09	35.22	85.58	0.00		
X1	1	0.01	0.01	0.01	0.90		
X2	1	23.00	23.00	55.89	0.00		
X3	1	0.00	0.00	0.01	0.94		
X4	1	0.07	0.07	0.16	0.69		
X5	1	0.59	0.59	1.44	0.24		
Square	2	8.37	4.19	10.17	0.00		
X1*X1	1	1.39	1.39	3.37	0.08		
X2*X2	1	6.75	6.75	16.41	0.00		
2-Way Interaction	8	8.49	1.06	2.58	0.03		
X1*X2	1	1.73	1.73	4.20	0.05		
X1*X3	1	0.96	0.96	2.32	0.14		
X2*X3	1	1.47	1.47	3.58	0.07		
X2*X4	1	3.02	3.02	7.35	0.01		
X2*X5	1	4.43	4.42	10.75	0.00		
X3*X4	1	0.98	0.98	2.39	0.13		
X3*X5	1	1.77	1.77	4.30	0.05		
X4*X5	1	1.08	1.08	2.62	0.12		
Error	29	11.93	0.41				
Total	44	432.05					

ตารางที่ 22 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยแบบก้ำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง A

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	37.92	0.29	131.82	0.00

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
X1	0.07	0.58	0.12	0.90
X2	7.72	1.03	7.48	0.00
X3	-0.04	0.52	-0.08	0.94
X4	0.21	0.52	0.40	0.69
X5	-0.59	0.49	-1.20	0.24
X1*X1	-0.92	0.50	-1.84	0.08
X2*X2	-4.76	1.18	-4.05	0.00
X1*X2	-2.32	1.13	-2.05	0.05
X1*X3	1.04	0.69	1.52	0.14
X2*X3	1.63	0.86	1.89	0.07
X2*X4	2.16	0.80	2.71	0.01
X2*X5	3.23	0.99	3.28	0.00
X3*X4	-1.17	0.75	-1.55	0.13
X3*X5	-1.60	0.77	-2.07	0.05
X4*X5	-1.27	0.78	-1.62	0.12





รูปที่ ง11 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการการถดถอยแบบกำลังตัวแปรแบบถอยหลังของตัวแปร  
ตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชิงพหุคูณ A

ตัวแปรตอบสนอง Y2

$$\begin{aligned}
 Y2 = & 19.0 + 1.179 X1 - 0.1354 X2 - 1.439 X3 + 15.6 X4 + 0.275 X5 & (ง12) \\
 & - 0.0163 X1^2 - 0.000258 X5^2 + 0.000961 X2X3 + 0.000094 X2X5 \\
 & - 0.0190 X4X5
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ง23 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการการถดถอยแบบกำลังตัวแปรแบบถอยหลังของ  
ตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชิงพหุคูณ A

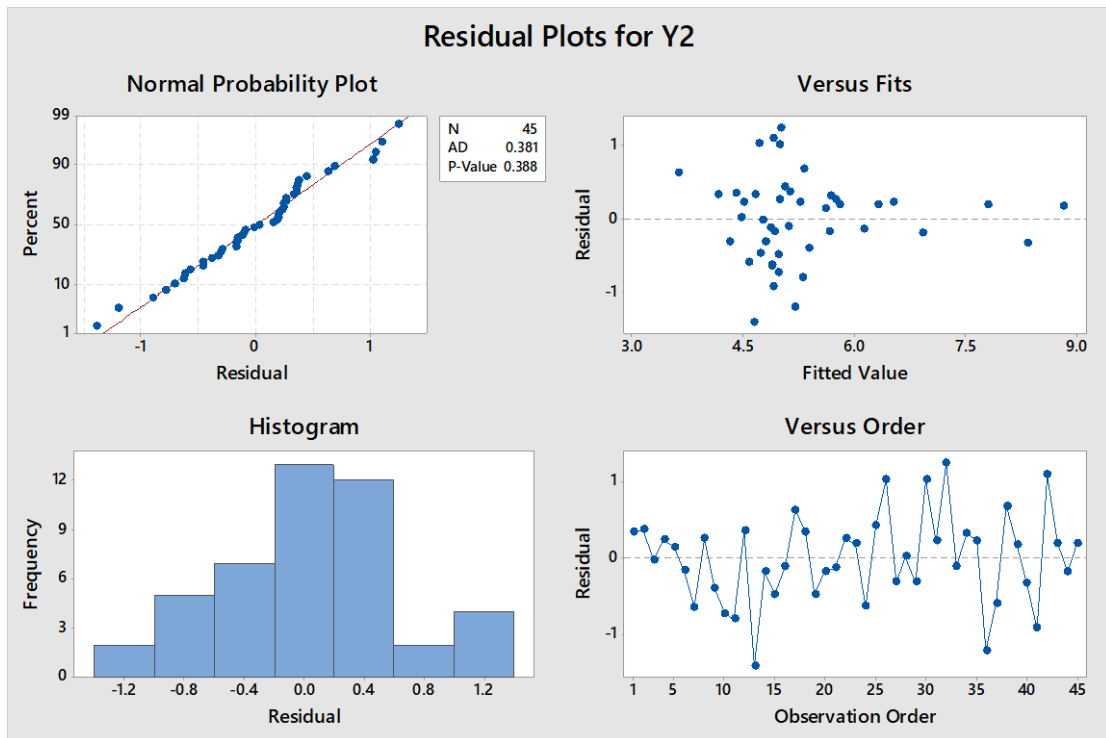
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	10	46.08	4.61	10.80	0.00	76.06%	69.02%
Linear	5	41.05	8.21	19.25	0.00		
X1	1	0.21	0.21	0.49	0.49		
X2	1	9.41	9.41	22.07	0.00		
X3	1	4.16	4.16	9.76	0.00		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X4	1	0.15	0.15	0.36	0.55		
X5	1	0.61	0.61	1.42	0.24		
Square	2	3.20	1.60	3.75	0.03		
X1*X1	1	0.93	0.93	2.19	0.15		
X5*X5	1	2.18	2.18	5.10	0.03		
2-Way Interaction	3	5.57	1.86	4.35	0.01		
X2*X3	1	1.74	1.74	4.07	0.05		
X2*X5	1	3.03	3.03	7.10	0.01		
X4*X5	1	1.06	1.06	2.49	0.12		
Error	34	14.50	0.43				
Total	44	60.58					

ตารางที่ ง24 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการการถดถอยแบบกำจัดตัวแปรแบบถอย  
หลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชิงพีลิ่ง A

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	6.16	0.24	25.57	0.00
X1	0.18	0.26	0.70	0.49
X2	-1.89	0.40	-4.70	0.00
X3	-0.96	0.31	-3.12	0.00
X4	0.30	0.50	0.60	0.55
X5	0.47	0.39	1.19	0.24
X1*X1	-0.67	0.45	-1.48	0.15
X5*X5	-1.57	0.69	-2.26	0.03
X2*X3	1.08	0.54	2.02	0.05
X2*X5	1.62	0.61	2.67	0.01

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
X4*X5	-1.11	0.70	-1.58	0.12



รูปที่ ง12 ผลการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการการถดถอยแบบกำจัดตัวแปรแบบถอยหลังของตัว

แปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชิงพีลิ่ง A

พิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการ

1. การเลือกตัวแปรโดยการเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอน (Stepwise regression)

1.1 พิจารณาแอลฟา 0.10

ตัวแปรตอบสนอง Y1

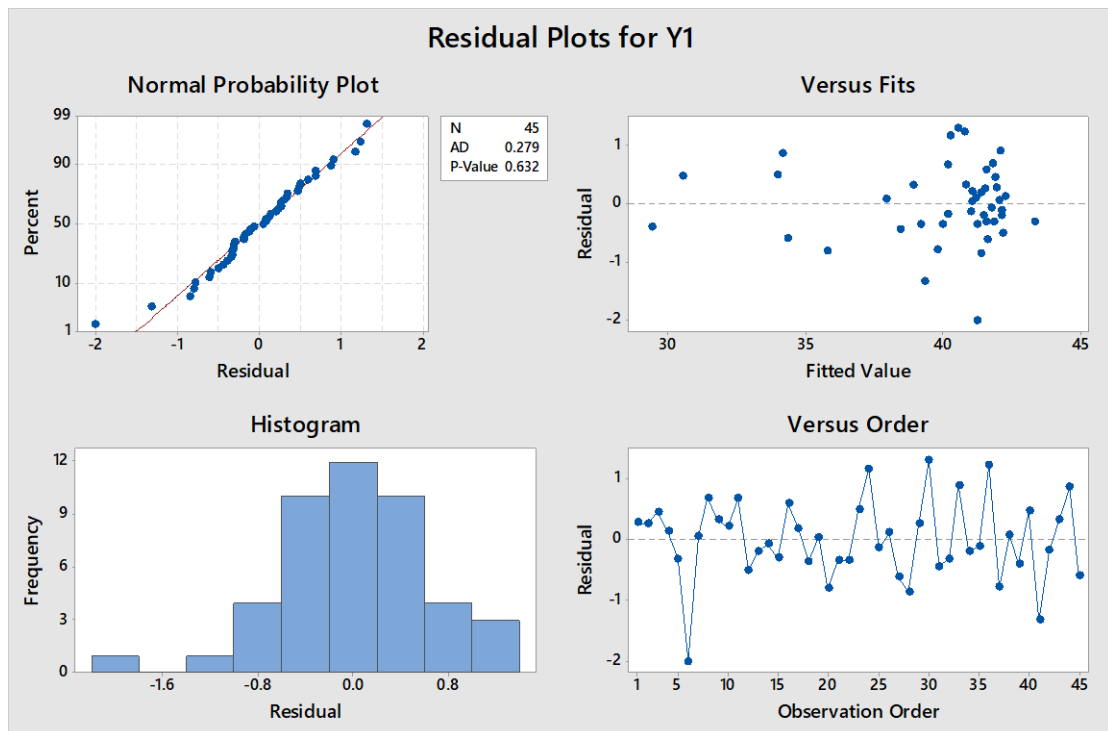
$$Y1 = -7.5 - 0.1809 X1 + 0.1113 X2 - 0.0977 X5 - 0.000054 X2^2 + 0.000075 X2X5 \quad (ง13)$$

ตารางที่ ง25 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปร  
อิทธิพลร่วมในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 0.10 สูตรเชื้อเพลิง A

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	5	413.56	82.71	174.45	0.00	95.72%	95.17%
Linear	3	401.69	133.90	282.41	0.00		
X1	1	10.28	10.28	21.68	0.00		
X2	1	168.86	168.86	356.15	0.00		
X5	1	0.01	0.01	0.02	0.89		
Square	1	8.88	8.88	18.73	0.00		
X2*X2	1	8.88	8.88	18.73	0.00		
2-Way Interaction	1	2.63	2.63	5.55	0.02		
X2*X5	1	2.63	2.63	5.55	0.02		
Error	39	18.49	0.47				
Total	44	432.05					

ตารางที่ ง26 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทน  
ตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10  
สูตรเชื้อเพลิง A

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	38.11	0.20	190.49	0.00
X1	-1.16	0.25	-4.66	0.00
X2	6.49	0.34	18.87	0.00
X5	-0.05	0.33	-0.15	0.89
X2*X2	-2.66	0.61	-4.33	0.00
X2*X5	1.29	0.55	2.36	0.02



รูปที่ 13 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพล  
ร่วมในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง A

ตัวแปรตอบสนอง Y2

$$Y2 = 171.7 - 0.00537 X2 - 2.585 X3 + 14.99 X4 - 0.1851 X5 + 0.00299 X3X5 - 0.0184 X4X5 \quad (ง14)$$

CHULALONGKORN UNIVERSITY

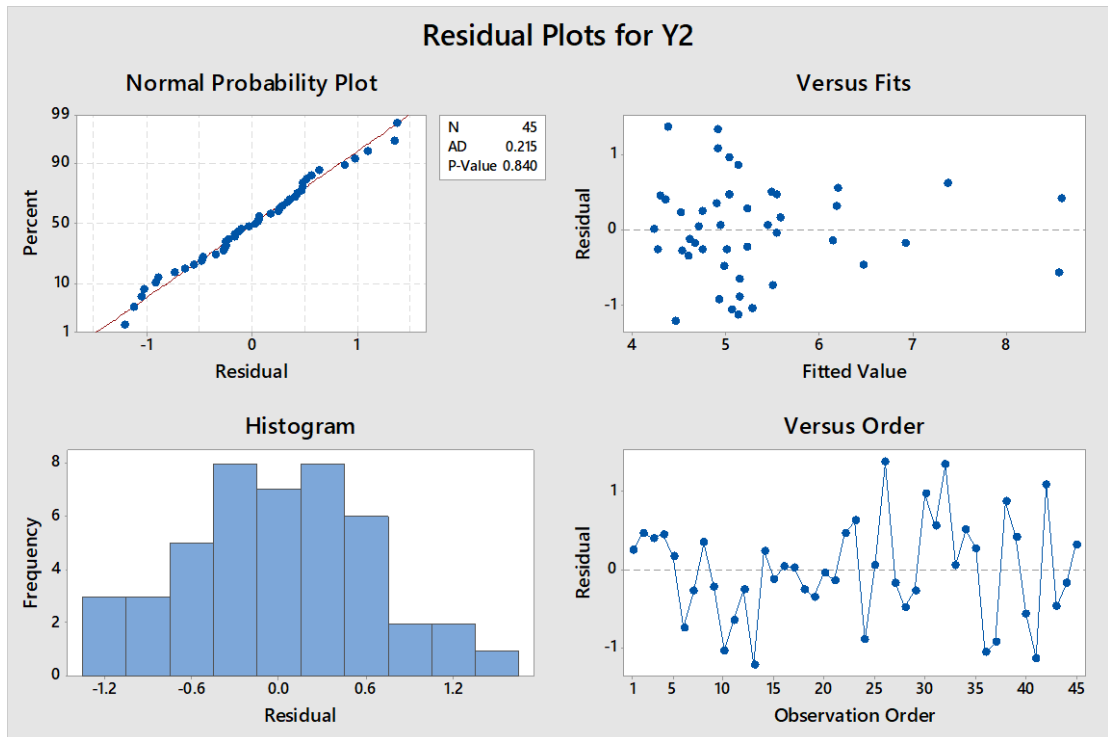
ตารางที่ ง27 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปร  
อิทธิพลร่วมในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตร  
เชื้อเพลิง A

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	6	42.74	7.12	15.18	0.00	70.56%	65.91%
Linear	4	40.32	10.08	21.48	0.00		
X2	1	6.92	6.92	14.74	0.00		
X3	1	5.42	5.42	11.56	0.00		
X4	1	0.09	0.09	0.19	0.67		
X5	1	0.26	0.26	0.55	0.46		
2-Way Interaction	2	3.93	1.96	4.18	0.02		
X3*X5	1	3.92	3.92	8.35	0.01		
X4*X5	1	1.26	1.26	2.69	0.11		
Error	38	17.84	0.47				
Total	44	60.58					

ตารางที่ ง28 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทน  
ตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10  
สูตรเชื้อเพลิง A

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.99	0.15	39.96	0.00
X2	-1.19	0.31	-3.84	0.00
X3	-0.92	0.27	-3.40	0.00
X4	0.19	0.43	0.43	0.67
X5	-0.21	0.28	-0.74	0.46
X3*X5	1.19	0.41	2.89	0.01

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
X4*X5	-1.07	0.65	-1.64	0.11



รูปที่ 14 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพล  
ร่วมในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชอเฟลิง A

1.2 พิจารณาแอลฟา 0.25

ตัวแปรตอบสนอง Y1

$$Y1 = -7.5 - 0.1809 X1 + 0.1113 X2 - 0.0977 X5 - 0.000054 X2^2 + 0.000075 X2X5 \quad (ง15)$$

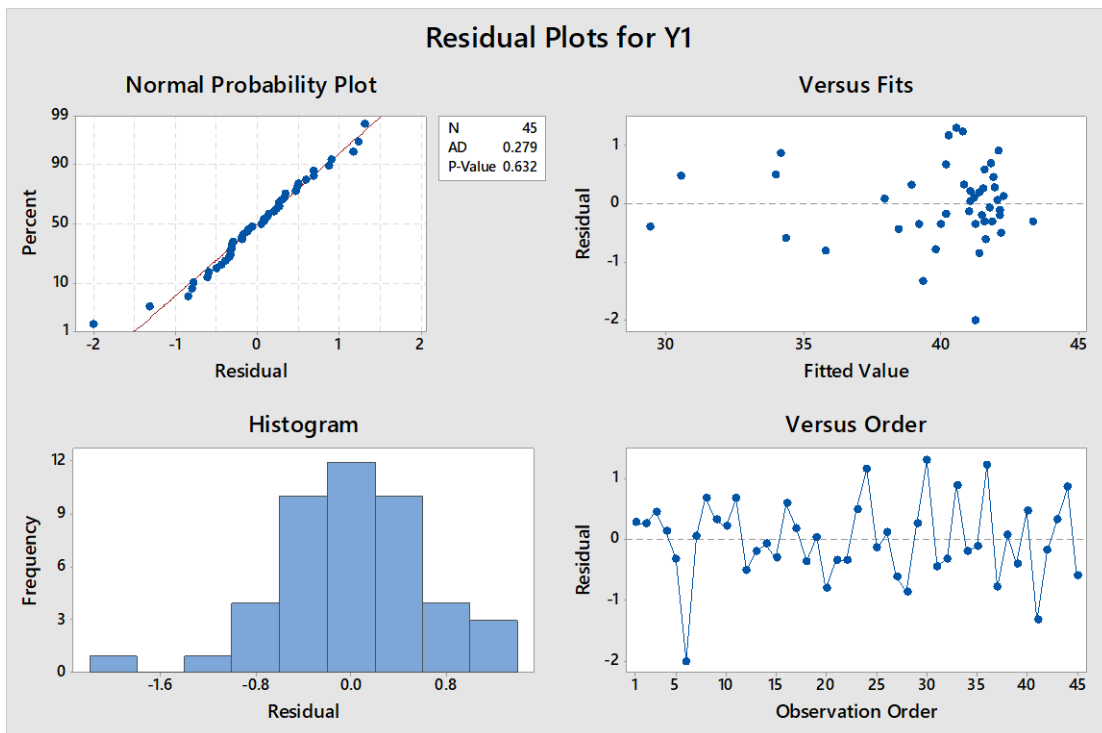
ตารางที่ ง29 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปร  
อิทธิพลร่วมในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตร  
เชื้อเพลิง A

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	5	413.56	82.71	174.45	0.00	95.72%	95.17%
Linear	3	401.69	133.90	282.41	0.00		
X1	1	10.28	10.28	21.68	0.00		
X2	1	168.86	168.86	356.15	0.00		
X5	1	0.01	0.01	0.02	0.89		
Square	1	8.88	8.88	18.73	0.00		
X2*X2	1	8.88	8.88	18.73	0.00		
2-Way Interaction	1	2.63	2.63	5.55	0.02		
X2*X5	1	2.63	2.63	5.55	0.02		
Error	39	18.49	0.47				
Total	44	432.05					

ตารางที่ ง30 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทน  
ตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25  
สูตรเชื้อเพลิง A

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	38.11	0.20	190.49	0.00
X1	-1.16	0.25	-4.66	0.00
X2	6.49	0.34	18.87	0.00
X5	-0.05	0.33	-0.15	0.89
X2*X2	-2.66	0.61	-4.33	0.00
X2*X5	1.29	0.55	2.36	0.02





รูปที่ 15 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชื่อเพลิง A

ตัวแปรตอบสนอง Y2

$$\begin{aligned}
 Y2 = & 156 - 0.0506 X2 - 5.85 X3 + 13.74 X4 + 0.140 X5 & (ง16) \\
 & + 0.0332 X3^2 - 0.000228 X5^2 + 0.000055 X2X5 \\
 & + 0.00257 X3X5 - 0.0171 X4X5
 \end{aligned}$$

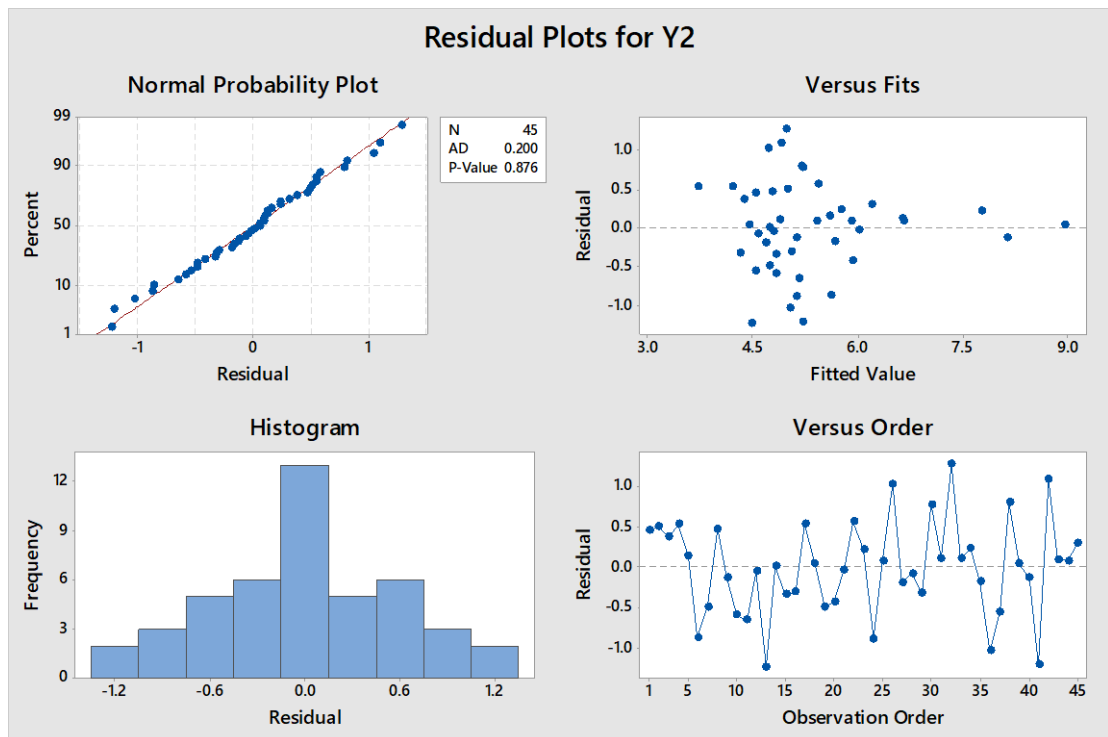
ตารางที่ 31 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชื่อเพลิง A

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	9	45.71	5.08	11.96	0.00	75.47%	69.16%
Linear	4	36.70	9.17	21.61	0.00		
X2	1	3.69	3.69	8.70	0.01		
X3	1	4.21	4.21	9.92	0.00		
X4	1	0.00	0.00	0.00	0.99		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X5	1	0.31	0.31	0.72	0.40		
Square	2	2.94	1.47	3.47	0.04		
X3*X3	1	1.08	1.08	2.55	0.12		
X5*X5	1	1.74	1.74	4.11	0.05		
2-Way Interaction	3	5.50	1.83	4.32	0.01		
X2*X5	1	0.59	0.59	1.39	0.25		
X3*X5	1	1.12	1.12	2.64	0.11		
X4*X5	1	1.03	1.03	2.42	0.13		
Error	35	14.86	0.42				
Total	44	60.58					

ตารางที่ 32 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง A

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.839	0.325	17.99	0.00
X2	-1.36	0.46	-2.95	0.01
X3	-1.12	0.36	-3.15	0.00
X4	0.01	0.44	0.01	0.99
X5	0.31	0.37	0.85	0.40
X3*X3	0.86	0.54	1.60	0.12
X5*X5	-1.39	0.69	-2.03	0.05
X2*X5	0.95	0.81	1.18	0.25
X3*X5	1.02	0.63	1.62	0.11
X4*X5	-1.00	0.64	-1.55	0.13



รูปที่ ง16 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง A

## 2. การเลือกตัวแปรแบบเดินหน้า (Forward selection)

### 2.1 พิจารณาแอลฟา 0.10

#### ตัวแปรตอบสนอง Y1

$$Y1 = -7.5 - 0.1809 X1 + 0.1113 X2 - 0.0977 X5 - 0.000054 X2^2 + 0.000075 X2X5 \quad (\text{ง17})$$

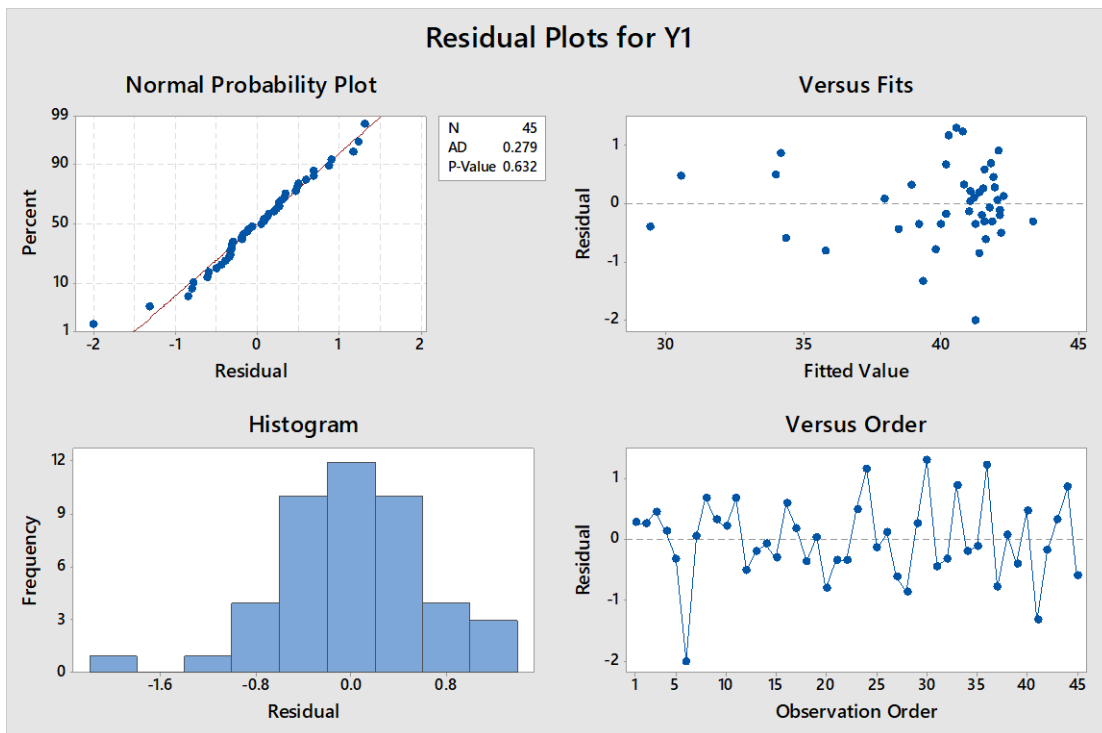
ตารางที่ ง33 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง A

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	5	413.56	82.71	174.45	0.00	95.72%	95.17%
Linear	3	401.69	133.90	282.41	0.00		
X1	1	10.28	10.28	21.68	0.00		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X2	1	168.86	168.86	356.15	0.00		
X5	1	0.01	0.01	0.02	0.89		
Square	1	8.88	8.88	18.73	0.00		
X2*X2	1	8.88	8.88	18.73	0.00		
2-Way Interaction	1	2.63	2.63	5.55	0.02		
X2*X5	1	2.63	2.63	5.55	0.02		
Error	39	18.49	0.47				
Total	44	432.05					

ตารางที่ 34 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง A

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	38.11	0.20	190.49	0.00
X1	-1.16	0.25	-4.66	0.00
X2	6.49	0.34	18.87	0.00
X5	-0.05	0.33	-0.15	0.89
X2*X2	-2.66	0.61	-4.33	0.00
X2*X5	1.29	0.55	2.36	0.02



รูปที่ 17 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพล  
 ร่วมในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชิงพีลิ่ง A  
ตัวแปรตอบสนอง Y2

$$Y2 = 171.7 - 0.00537 X2 - 2.585 X3 + 14.99 X4 - 0.1851 X5 + 0.00299 X3X5 - 0.0184 X4X5 \quad (ง18)$$

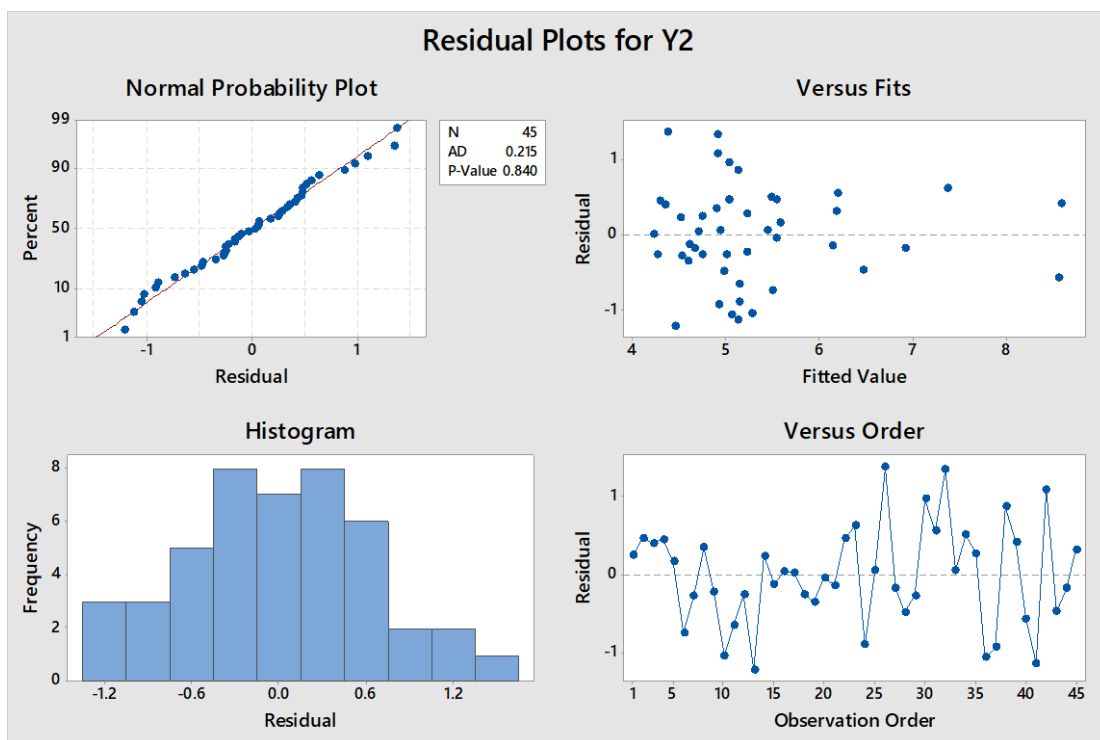
ตารางที่ 35 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปร  
อิทธิพลร่วมในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินทางของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตร  
เชื้อเพลิง A

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	6	42.74	7.12	15.18	0.00	70.56%	65.91%
Linear	4	40.32	10.08	21.48	0.00		
X2	1	6.92	6.92	14.74	0.00		
X3	1	5.42	5.42	11.56	0.00		
X4	1	0.09	0.09	0.19	0.67		
X5	1	0.26	0.26	0.55	0.46		
2-Way Interaction	2	3.93	1.96	4.18	0.02		
X3*X5	1	3.92	3.92	8.35	0.01		
X4*X5	1	1.26	1.26	2.69	0.11		
Error	38	17.84	0.47				
Total	44	60.58					

ตารางที่ 36 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทน  
ตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินทางของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10  
สูตรเชื้อเพลิง A

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.99	0.15	39.96	0.00
X2	-1.19	0.31	-3.84	0.00
X3	-0.92	0.27	-3.40	0.00
X4	0.19	0.43	0.43	0.67
X5	-0.21	0.28	-0.74	0.46
X3*X5	1.19	0.41	2.89	0.01

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
X4*X5	-1.07	0.65	-1.64	0.11



รูปที่ 18 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดิหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชื่อมเพลิง A

2.1 พิจารณาแอลฟา 0.15

ตัวแปรตอบสนอง Y1

$$Y1 = -7.5 - 0.1809 X1 + 0.1113 X2 - 0.0977 X5 - 0.000054 X2^2 + 0.000075 X2X5 \quad (ง19)$$

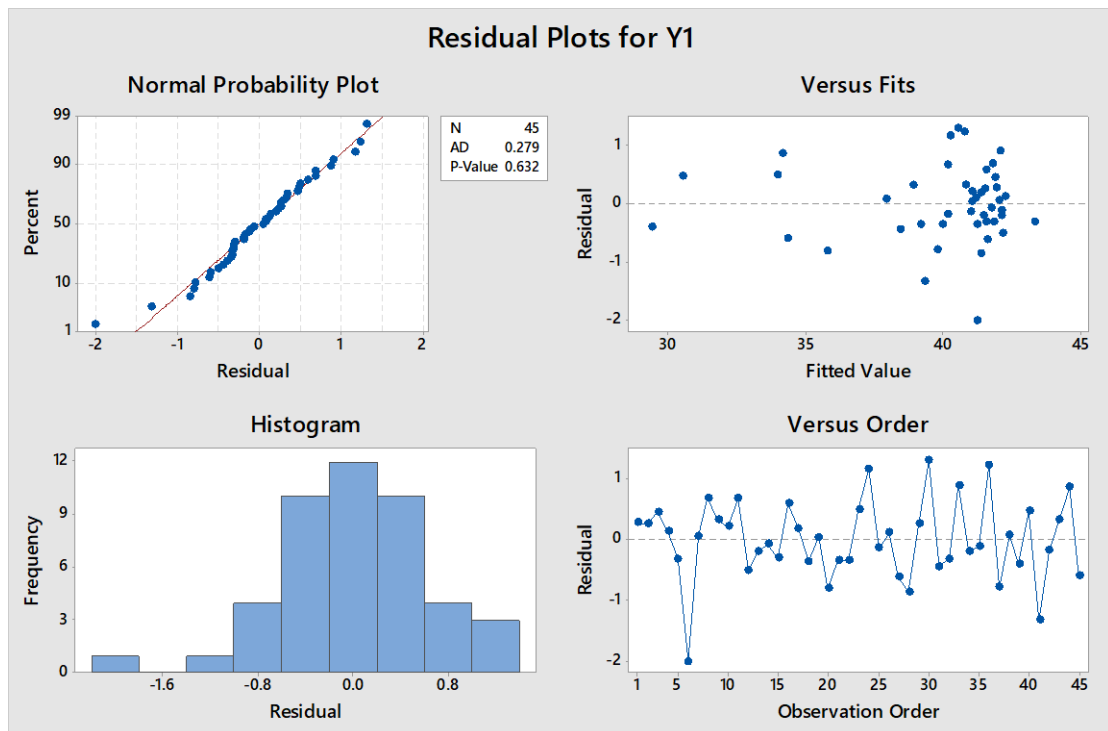
ตารางที่ ง37 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปร  
อิทธิพลร่วมในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินทางหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตร  
เชื้อเพลิง A

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	5	413.56	82.71	174.45	0.00	95.72%	95.17%
Linear	3	401.69	133.90	282.41	0.00		
X1	1	10.28	10.28	21.68	0.00		
X2	1	168.86	168.86	356.15	0.00		
X5	1	0.01	0.01	0.02	0.89		
Square	1	8.88	8.88	18.73	0.00		
X2*X2	1	8.88	8.88	18.73	0.00		
2-Way Interaction	1	2.63	2.63	5.55	0.02		
X2*X5	1	2.63	2.63	5.55	0.02		
Error	39	18.49	0.47				
Total	44	432.05					

ตารางที่ ง38 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปร  
อิทธิพลร่วมในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินทางหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตร  
เชื้อเพลิง A

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	38.11	0.20	190.49	0.00
X1	-1.16	0.25	-4.66	0.00
X2	6.49	0.34	18.87	0.00
X5	-0.05	0.33	-0.15	0.89
X2*X2	-2.66	0.61	-4.33	0.00
X2*X5	1.29	0.55	2.36	0.02





รูปที่ 19 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง A

ตัวแปรตอบสนอง Y2

$$Y2 = 217.9 - 0.00479 X2 - 7.33 X3 + 15.24 X4 + 0.014 X5 + 0.0370 X3^2 - 0.000150 X5^2 \quad (\text{ง20})$$

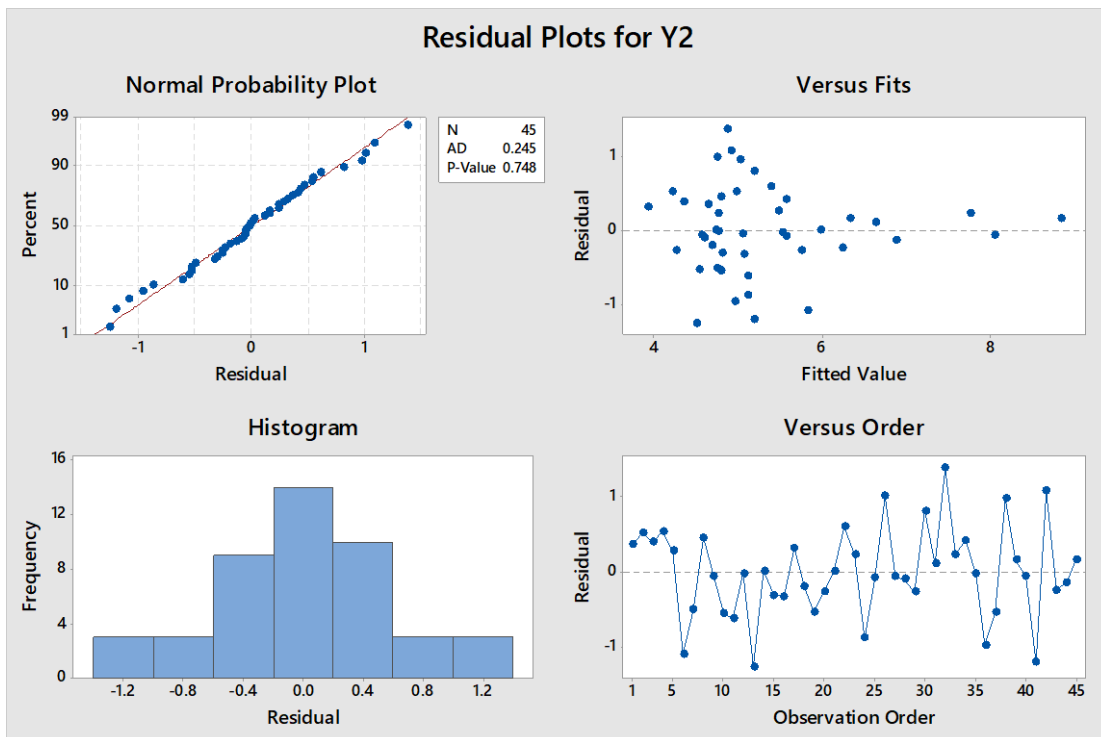
ตารางที่ 39 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง A

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	8	45.1227	5.64033	13.14	0	74.49%	68.82%
Linear	4	36.1793	9.04483	21.07	0		
X2	1	3.2283	3.22829	7.52	0.009		
X3	1	7.3645	7.36454	17.16	0		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X4	1	0.0245	0.02452	0.06	0.812		
X5	1	0.1402	0.14019	0.33	0.571		
Square	2	2.383	1.19148	2.78	0.076		
X3*X3	1	1.3747	1.37472	3.2	0.082		
X5*X5	1	1.1527	1.15273	2.69	0.11		
2-Way Interaction	2	4.9063	2.45314	5.72	0.007		
X3*X5	1	4.8671	4.86708	11.34	0.002		
X4*X5	1	1.2617	1.26171	2.94	0.095		
Error	36	15.4523	0.42923				
Total	44	60.575					

ตารางที่ 40 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินทางหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง A

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.99	0.15	39.96	0.00
X2	-1.19	0.31	-3.84	0.00
X3	-0.92	0.27	-3.40	0.00
X4	0.19	0.43	0.43	0.67
X5	-0.21	0.28	-0.74	0.46
X3*X5	1.19	0.41	2.89	0.01
X4*X5	-1.07	0.65	-1.64	0.11



รูปที่ ง20 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการการถดถอย Y2 แอลฟา 0.15 แบบตัวแปรนำเข้าปกติ  
 เพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนสูตรเชิงพหุคูณ A

3. การกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลัง (Backward elimination)

3.1 พิจารณาแอลฟา 0.15

$$\begin{aligned}
 Y1 = & 39 + 1.99 X1 - 0.014 X2 + 3.53 X3 + 15.4 X4 - 0.0723 X5 & (ง21) \\
 & - 28.9 X8 - 0.0219 X1^2 - 0.000042 X2^2 - 0.001697 X1X2 \\
 & + 0.0332 X1X3 + 0.01349 X2X4 + 0.000193 X2X5 \\
 & - 0.314 X3X4 - 0.00393 X3X5 - 0.0199 X4X5
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ง41 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปร  
 อิทธิพลร่วมในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตร  
 เชิงพหุคูณ A

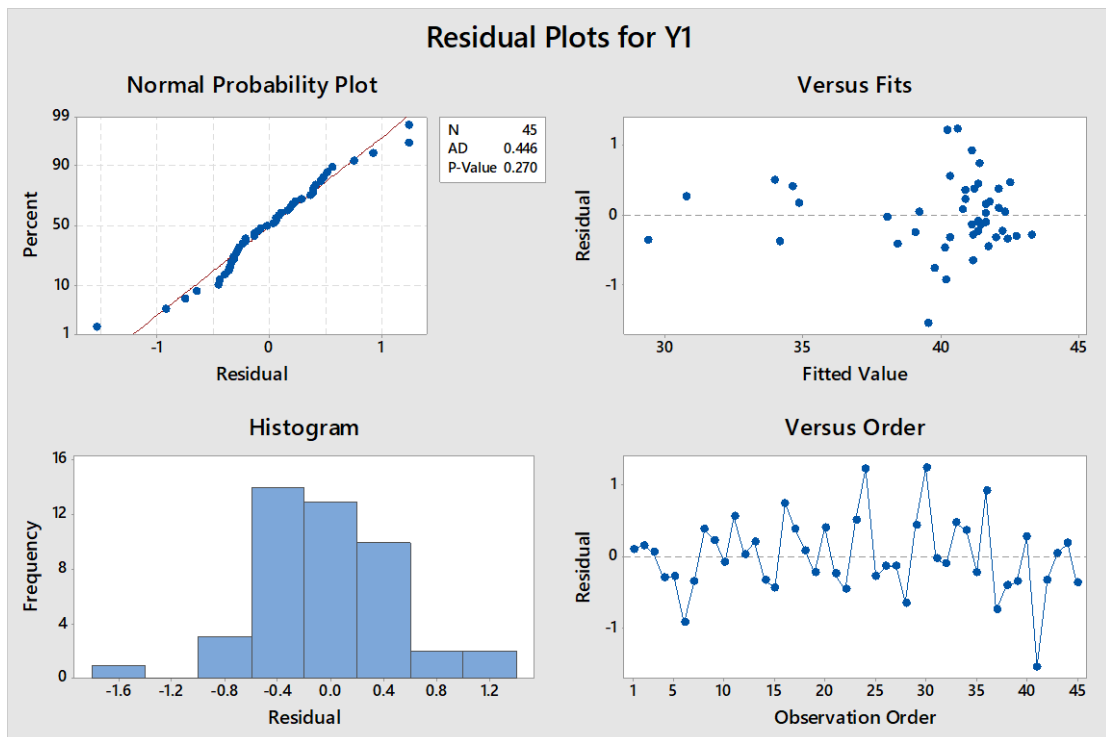
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	15	419.96	28.00	67.15	0.00	97.20%	95.75%
Linear	6	177.14	29.52	70.80	0.00		
X1	1	0.01	0.01	0.02	0.89		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X2	1	0.46	0.46	1.11	0.30		
X3	1	1.51	1.51	3.62	0.07		
X4	1	0.02	0.02	0.05	0.82		
X5	1	0.64	0.64	1.53	0.23		
X8	1	1.32	1.32	3.16	0.09		
Square	2	3.64	1.82	4.36	0.02		
X1*X1	1	1.34	1.34	3.20	0.08		
X2*X2	1	1.34	1.34	3.21	0.08		
2-Way Interaction	7	7.38	1.05	2.53	0.04		
X1*X2	1	1.82	1.82	4.36	0.05		
X1*X3	1	1.02	1.02	2.44	0.13		
X2*X4	1	3.30	3.29	7.90	0.01		
X2*X5	1	4.37	4.37	10.47	0.00		
X3*X4	1	1.04	1.04	2.50	0.13		
X3*X5	1	1.70	1.70	4.08	0.05		
X4*X5	1	0.94	0.94	2.26	0.14		
Error	29	12.09	0.42				
Total	44	432.05					

ตารางที่ 42 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบจำกัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง A

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	38.634	0.427	90.53	0
X1	0.08	0.59	0.14	0.89
X2	-9.85	9.33	-1.06	0.30

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
X3	9.78	5.14	1.90	0.07
X4	0.11	0.50	0.22	0.82
X5	-0.63	0.51	-1.24	0.23
X8	-15.47	8.71	-1.78	0.09
X1*X1	-0.90	0.50	-1.79	0.08
X2*X2	-2.04	1.14	-1.79	0.08
X1*X2	-2.40	1.15	-2.09	0.05
X1*X3	1.08	0.69	1.56	0.13
X2*X4	2.24	0.80	2.81	0.01
X2*X5	3.32	1.03	3.24	0.00
X3*X4	-1.20	0.76	-1.58	0.13
X3*X5	-1.56	0.77	-2.02	0.05
X4*X5	-1.16	0.77	-1.50	0.14



รูปที่ ง21 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง A

ตัวแปรตอบสนอง Y2

$$Y2 = -34.3 - 0.1021 X2 - 0.749 X4 + 0.293 X5 - 1.506 X8 - 0.000270 X5^2 + 0.000111 X2X5 \quad (\text{ง22})$$

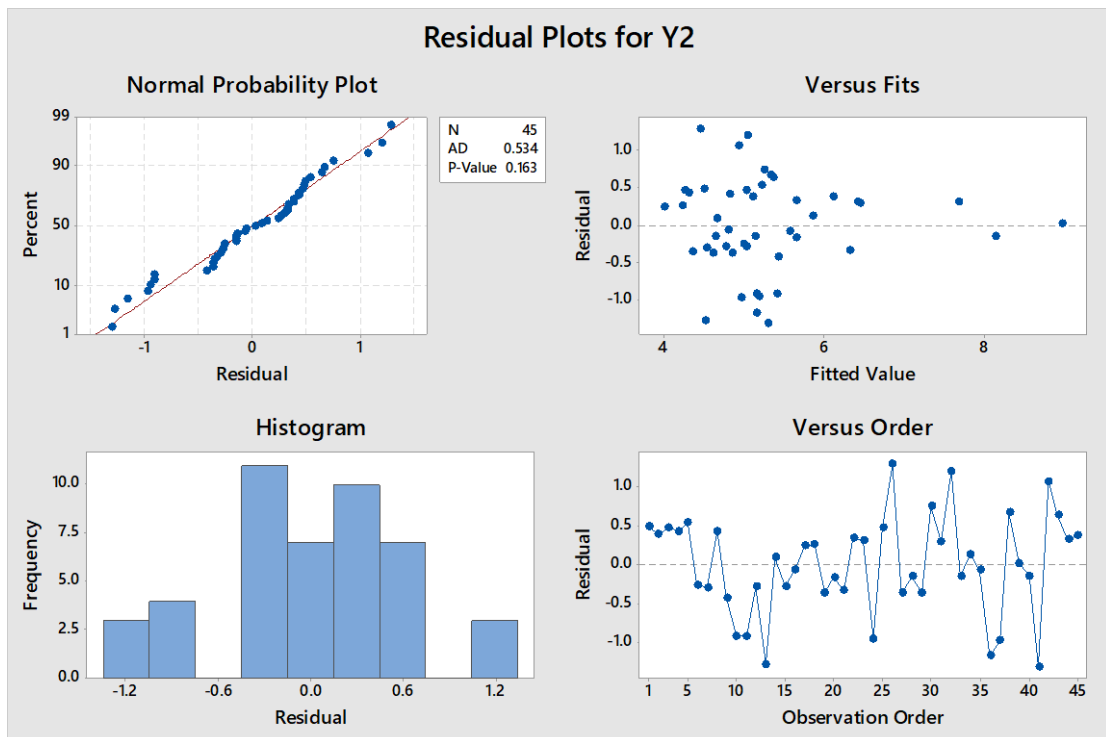
ตารางที่ ง43 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง A

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	6	43.43	7.24	16.04	0.00	71.69%	67.22%
Linear	4	39.47	9.87	21.87	0.00		
X2	1	18.64	18.64	41.31	0.00		
X4	1	2.32	2.32	5.13	0.03		
X5	1	0.46	0.46	1.02	0.32		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X8	1	2.04	2.04	4.51	0.04		
Square	1	2.55	2.55	5.66	0.02		
X5*X5	1	2.55	2.55	5.66	0.02		
2-Way Interaction	1	4.99	4.99	11.07	0.00		
X2*X5	1	4.99	4.99	11.07	0.00		
Error	38	17.15	0.45				
Total	44	60.58					

ตารางที่ 44 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบกำลังตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง A

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	6.27	0.21	29.78	0.00
X2	-2.78	0.43	-6.43	0.00
X4	-0.56	0.25	-2.27	0.03
X5	0.36	0.36	1.01	0.32
X8	-0.81	0.38	-2.12	0.04
X5*X5	-1.64	0.69	-2.38	0.02
X2*X5	1.92	0.58	3.33	0.00



รูปที่ ง22 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบจำกัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชื่อเพลิง A

### 3.2 พิจารณาแอลฟา 0.25

#### ตัวแปรตอบสนอง Y1

$$\begin{aligned}
 Y1 = & 39 + 1.99 X1 - 0.014 X2 + 3.53 X3 + 15.4 X4 - 0.0723 X5 & (ง23) \\
 & - 28.9 X8 - 0.0219 X1^2 - 0.000042 X2^2 - 0.001697 X1X2 \\
 & + 0.0332 X1X3 + 0.01349 X2X4 + 0.000193 X2X5 \\
 & - 0.314 X3X4 - 0.00393 X3X5 - 0.0199 X4X5
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ง45 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบจำกัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื่อเพลิง A

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	15	419.96	28.00	67.15	0.00	97.20%	95.75%
Linear	6	177.14	29.52	70.80	0.00		
X1	1	0.01	0.01	0.02	0.89		

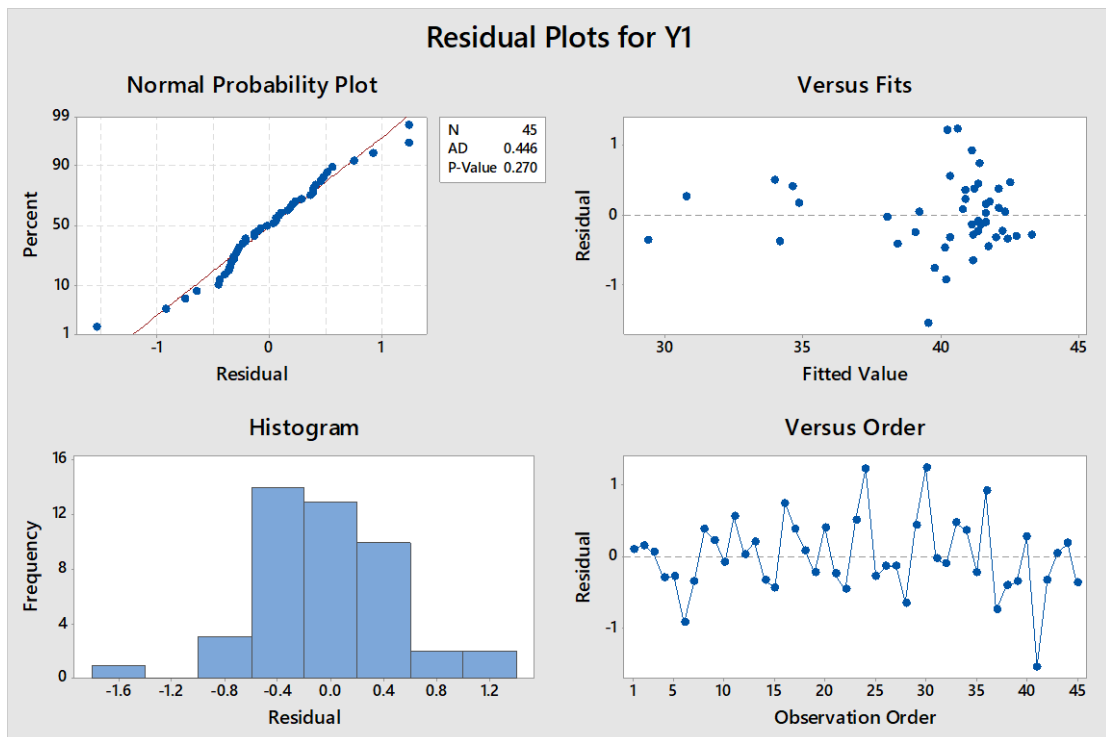


Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X2	1	0.46	0.46	1.11	0.30		
X3	1	1.51	1.51	3.62	0.07		
X4	1	0.02	0.02	0.05	0.82		
X5	1	0.64	0.64	1.53	0.23		
X8	1	1.32	1.32	3.16	0.09		
Square	2	3.64	1.82	4.36	0.02		
X1*X1	1	1.34	1.34	3.20	0.08		
X2*X2	1	1.34	1.34	3.21	0.08		
2-Way Interaction	7	7.38	1.05	2.53	0.04		
X1*X2	1	1.82	1.82	4.36	0.05		
X1*X3	1	1.02	1.02	2.44	0.13		
X2*X4	1	3.30	3.29	7.90	0.01		
X2*X5	1	4.37	4.37	10.47	0.00		
X3*X4	1	1.04	1.04	2.50	0.13		
X3*X5	1	1.70	1.70	4.08	0.05		
X4*X5	1	0.94	0.94	2.26	0.14		
Error	29	12.09	0.42				
Total	44	432.05					

ตารางที่ 46 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง A

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	38.634	0.427	90.53	0
X1	0.08	0.59	0.14	0.89

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
X2	-9.85	9.33	-1.06	0.30
X3	9.78	5.14	1.90	0.07
X4	0.11	0.50	0.22	0.82
X5	-0.63	0.51	-1.24	0.23
X8	-15.47	8.71	-1.78	0.09
X1*X1	-0.90	0.50	-1.79	0.08
X2*X2	-2.04	1.14	-1.79	0.08
X1*X2	-2.40	1.15	-2.09	0.05
X1*X3	1.08	0.69	1.56	0.13
X2*X4	2.24	0.80	2.81	0.01
X2*X5	3.32	1.03	3.24	0.00
X3*X4	-1.20	0.76	-1.58	0.13
X3*X5	-1.56	0.77	-2.02	0.05
X4*X5	-1.16	0.77	-1.50	0.14



รูปที่ ๓23 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบก้ำกัจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง A

ตัวแปรตอบสนอง Y2

$$Y2 = -34.3 - 0.1021 X2 - 0.749 X4 + 0.293 X5 - 1.506 X8 - 0.000270 X5^2 + 0.000111 X2X5 \quad (๓24)$$

ตารางที่ ๓47 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบก้ำกัจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง A

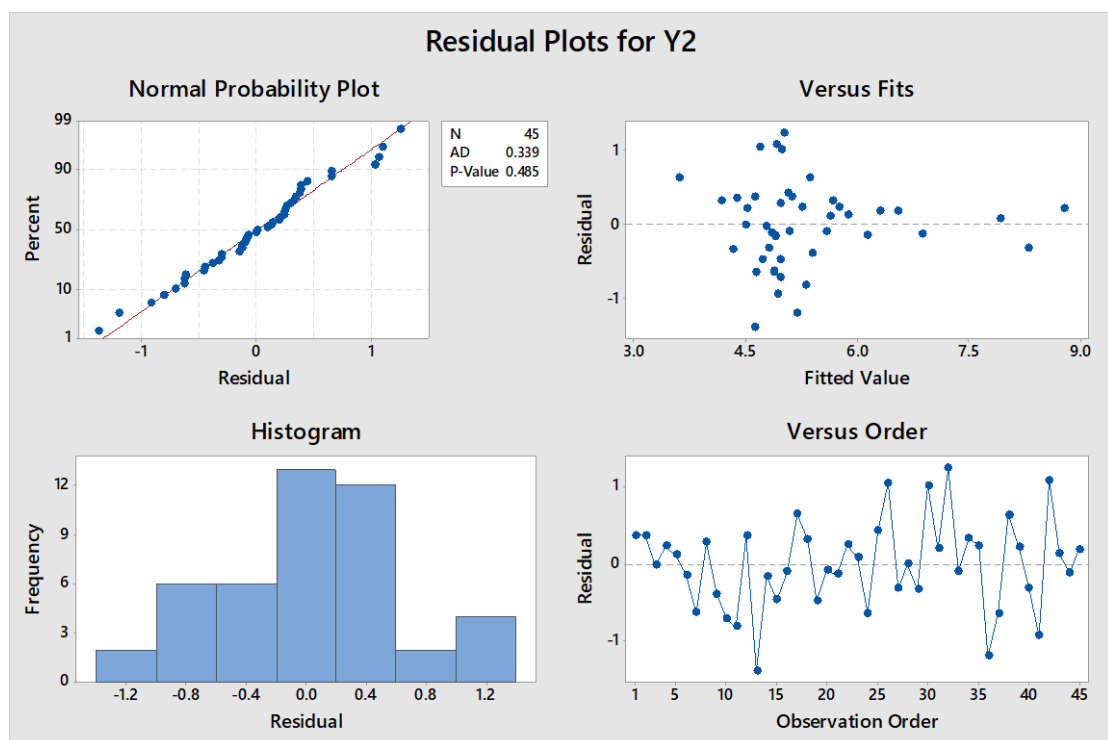
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	11	46.12	4.19	9.57	0.00	76.14%	68.18%
Linear	6	41.05	6.84	15.62	0.00		
X1	1	0.21	0.21	0.48	0.49		
X2	1	1.73	1.73	3.95	0.06		
X3	1	1.09	1.09	2.50	0.12		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X4	1	0.14	0.14	0.32	0.57		
X5	1	0.28	0.28	0.63	0.43		
X8	1	1.26	1.26	2.88	0.10		
Square	3	4.21	1.40	3.21	0.04		
X1*X1	1	0.93	0.93	2.12	0.16		
X2*X2	1	1.71	1.71	3.90	0.06		
X5*X5	1	2.13	2.13	4.86	0.04		
2-Way Interaction	2	2.89	1.45	3.30	0.05		
X2*X5	1	2.52	2.52	5.74	0.02		
X4*X5	1	1.00	1.00	2.29	0.14		
Error	33	14.46	0.44				
Total	44	60.58					

ตารางที่ 48 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลร่วมในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง A

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	6.72	0.42	15.96	0.00
X1	0.19	0.27	0.69	0.49
X2	-15.30	7.69	-1.99	0.06
X3	6.51	4.12	1.58	0.12
X4	0.29	0.51	0.57	0.57
X5	0.37	0.47	0.79	0.43
X8	-11.90	7.01	-1.70	0.10
X1*X1	-0.67	0.46	-1.46	0.16

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
X2*X2	1.87	0.95	1.97	0.06
X5*X5	-1.55	0.70	-2.20	0.04
X2*X5	1.78	0.74	2.40	0.02
X4*X5	-1.08	0.72	-1.51	0.14



รูปที่ ง24 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพล  
ร่วมในสมการแบบจำกัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง A

พิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการ

1. การเลือกตัวแปรโดยการเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอน (Stepwise regression)

1.1 พิจารณาแอลฟา 0.10

ตัวแปรตอบสนอง Y1

$$Y1 = -255.3 + 4.12 X1 + 127.8 X8 - 33.43 X4 - 11.19 X8^2 - 1.272 X1X8 + 10.30 X8X4 \quad (\text{ง25})$$

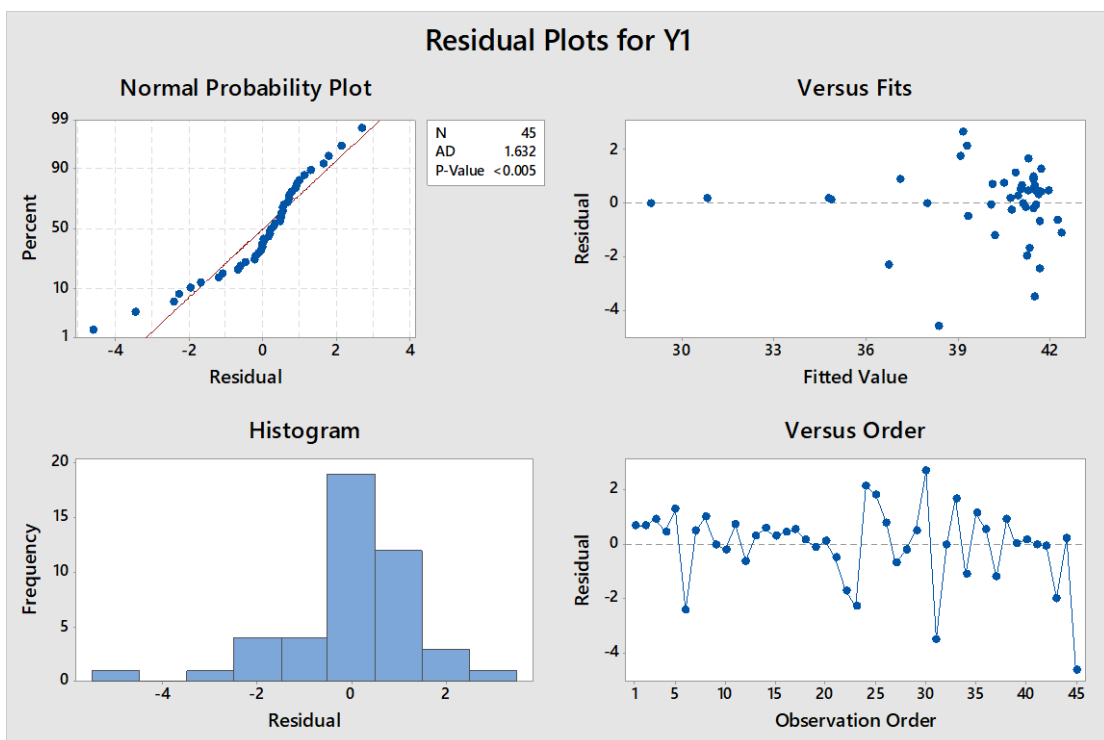
ตารางที่ 49 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง A

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	6	349.44	58.24	26.79	0.00	80.88%	77.86%
Linear	3	265.72	88.57	40.74	0.00		
X1	1	24.46	24.46	11.25	0.00		
X8	1	62.00	62.00	28.52	0.00		
X4	1	37.20	37.20	17.11	0.00		
Square	1	24.37	24.37	11.21	0.00		
X8*X8	1	24.37	24.37	11.21	0.00		
2-Way Interaction	2	51.13	25.56	11.76	0.00		
X1*X8	1	12.61	12.61	5.80	0.02		
X8*X4	1	32.68	32.68	15.03	0.00		
Error	38	82.62	2.17				
Total	44	432.05					

ตารางที่ 50 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง A

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	39.93	0.36	110.25	0.00
X1	-2.42	0.72	-3.35	0.00
X8	-4.58	0.86	-5.34	0.00
X4	2.22	0.54	4.14	0.00
X8*X8	-3.21	0.96	-3.35	0.00

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
X1*X8	-4.37	1.81	-2.41	0.02
X8*X4	4.14	1.07	3.88	0.00



รูปที่ ๓25 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชิงพีลิ่ง A

ตัวแปรตอบสนอง Y2

$$Y2 = -102.4 + 31.6 X8 - 1.204 X4 + 0.1249 X5 - 0.0372 X8X5 \quad (๓26)$$

ตารางที่ ๓51 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชิงพีลิ่ง A

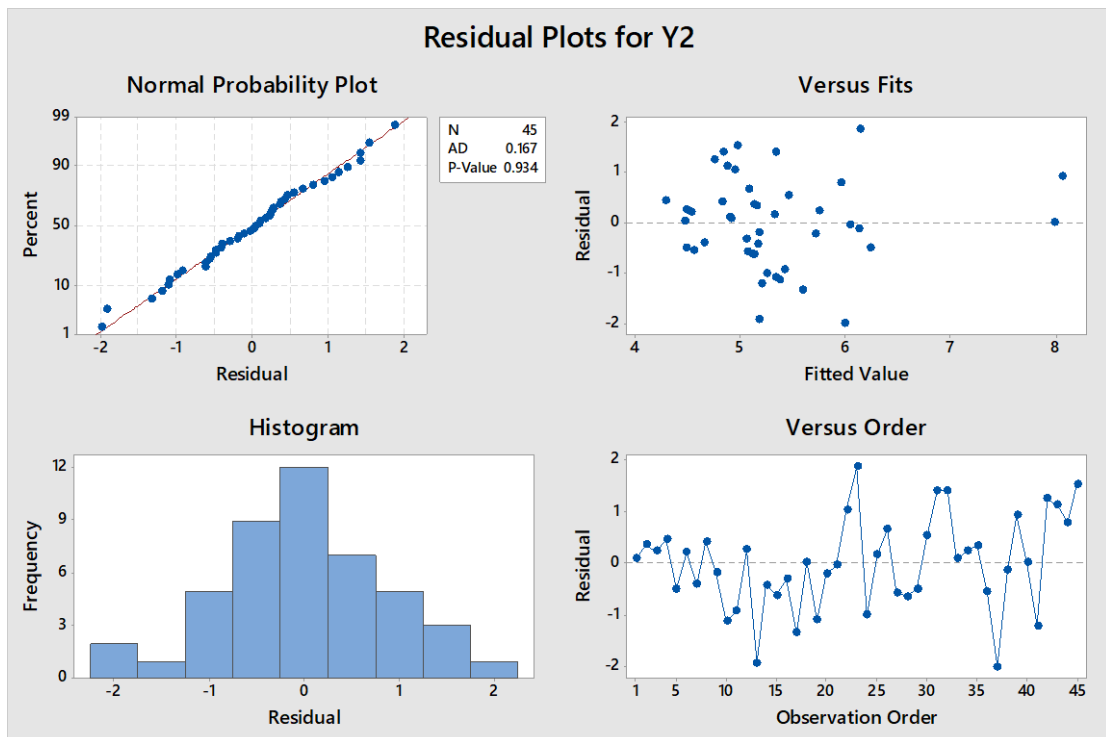
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	4	26.07	6.52	7.56	0.00	43.04%	37.34%

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Linear	3	22.88	7.63	8.84	0.00		
X8	1	4.98	4.98	5.78	0.02		
X4	1	7.52	7.52	8.71	0.01		
X5	1	1.85	1.85	2.14	0.15		
2-Way Interaction	1	3.97	3.97	4.60	0.04		
X8*X5	1	3.97	3.97	4.60	0.04		
Error	40	34.50	0.86				
Total	44	60.58					

ตารางที่ 52 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง A

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.50	0.21	25.66	0.00
X8	0.93	0.39	2.40	0.02
X4	-0.90	0.31	-2.95	0.01
X5	-0.52	0.36	-1.46	0.15
X8*X5	-1.56	0.73	-2.15	0.04





รูปที่ ง26 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง A

1.2 พิจารณาแอลฟา 0.25

ตัวแปรตอบสนอง Y1

$$Y1 = -282.5 + 6.47 X1 + 115.7 X8 - 25.4 X4 + 0.01117 X5 - 0.0402 X1^2 - 10.49 X8^2 - 1.115 X1X8 + 8.02 X8X4 \quad (\text{ง27})$$

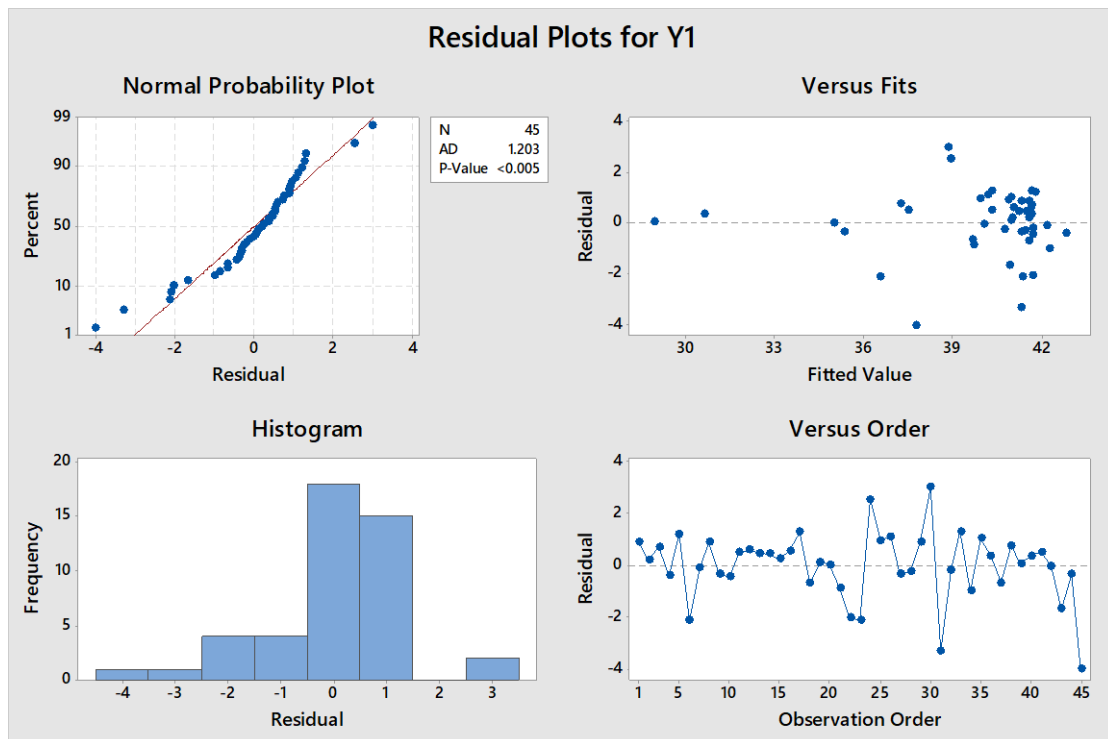
ตารางที่ ง53 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง A

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	8	357.26	44.66	21.49	0.00	82.69%	78.84%
Linear	4	228.36	57.09	27.48	0.00		
X1	1	11.61	11.61	5.59	0.02		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X8	1	27.09	27.09	13.04	0.00		
X4	1	32.03	32.03	15.42	0.00		
X5	1	3.25	3.25	1.57	0.22		
Square	2	17.29	8.65	4.16	0.02		
X1*X1	1	5.60	5.60	2.70	0.11		
X8*X8	1	14.80	14.80	7.12	0.01		
2-Way Interaction	2	27.12	13.56	6.53	0.00		
X1*X8	1	8.31	8.31	4.00	0.05		
X8*X4	1	14.66	14.66	7.06	0.01		
Error	36	74.79	2.08				
Total	44	432.05					

ตารางที่ 54 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง A

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	40.05	0.41	96.74	0.00
X1	-2.03	0.86	-2.36	0.02
X8	-4.00	1.11	-3.61	0.00
X4	2.20	0.56	3.93	0.00
X5	0.87	0.70	1.25	0.22
X1*X1	-1.65	1.01	-1.64	0.11
X8*X8	-3.01	1.13	-2.67	0.01
X1*X8	-3.83	1.91	-2.00	0.05
X8*X4	3.22	1.21	2.66	0.01



รูปที่ ๓27 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง A

ตัวแปรตอบสนอง Y2

$$Y2 = -58.4 + 1.78 X1 - 14.9 X8 - 1.024 X4 + 0.1323 X5 + 0.427 X1X8 - 0.00378 X1X5 \quad (๓28)$$

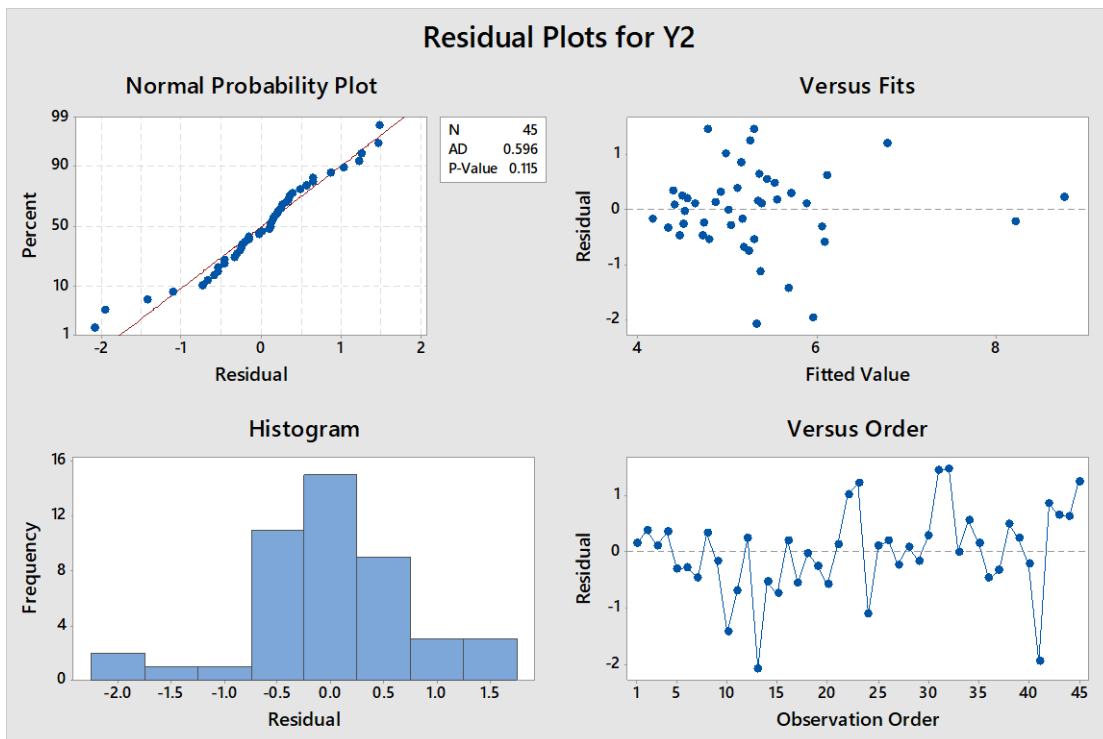
ตารางที่ ๓55 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง A

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	6	35.00	5.83	8.67	0.00	57.78%	51.12%
Linear	4	24.21	6.05	9.00	0.00		
X1	1	10.77	10.77	16.01	0.00		
X8	1	0.04	0.04	0.06	0.81		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X4	1	5.26	5.26	7.82	0.01		
X5	1	0.07	0.07	0.10	0.76		
2-Way Interaction	2	11.30	5.65	8.40	0.00		
X1*X8	1	1.09	1.09	1.63	0.21		
X1*X5	1	3.60	3.60	5.35	0.03		
Error	38	25.57	0.67				
Total	44	60.58					

ตารางที่ 56 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง A

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.27	0.20	25.99	0.00
X1	1.60	0.40	4.00	0.00
X8	0.12	0.47	0.25	0.81
X4	-0.77	0.28	-2.80	0.01
X5	-0.12	0.38	-0.31	0.76
X1*X8	1.47	1.15	1.27	0.21
X1*X5	-1.89	0.82	-2.31	0.03



รูปที่ ง28 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชิงพหุคูณ A

2. การเลือกตัวแปรแบบเดินหน้า (Forward selection)

2.1 พิจารณาแอลฟา 0.10

ตัวแปรตอบสนอง Y1

$$Y1 = -7.5 - 0.1809 X1 + 0.1113 X2 - 0.0977 X5 - 0.000054 X2^2 + 0.000075 X2X5 \quad (ง29)$$

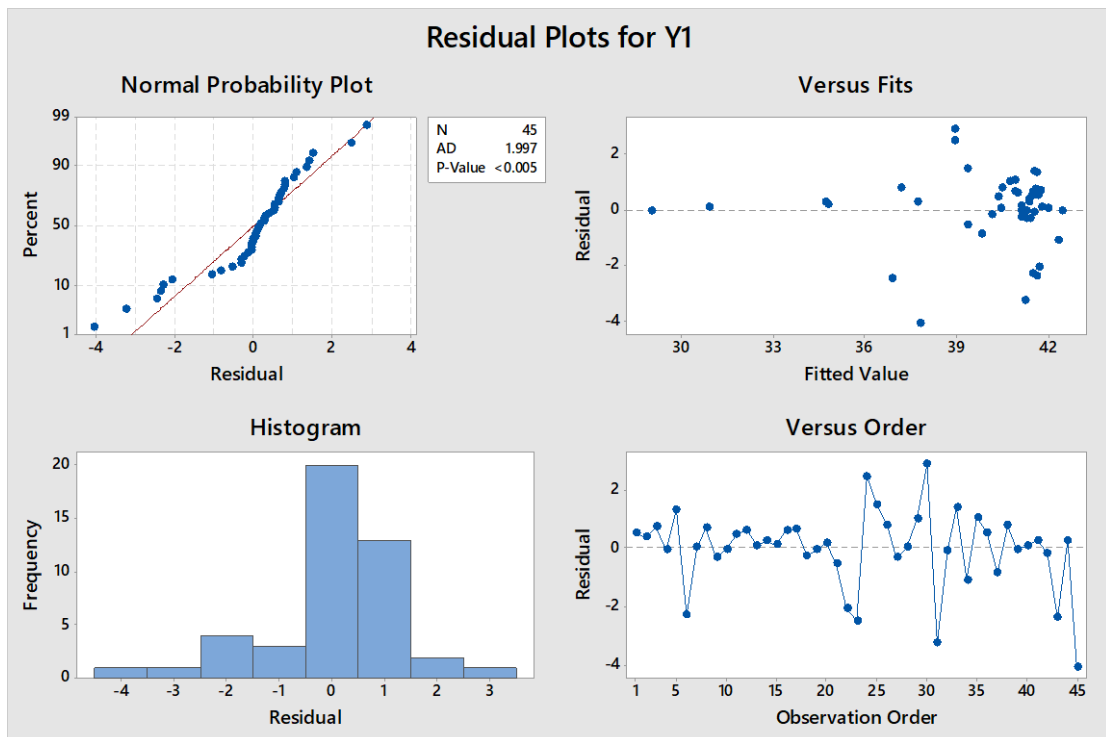
ตารางที่ ง57 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชิงพหุคูณ A

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	7	354.01	50.57	23.98	0.00	81.94%	78.52%
Linear	3	225.11	75.04	35.57	0.00		
X1	1	9.32	9.32	4.42	0.04		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X8	1	66.47	66.47	31.51	0.00		
X4	1	41.23	41.23	19.55	0.00		
Square	2	28.94	14.47	6.86	0.00		
X1*X1	1	4.57	4.57	2.17	0.15		
X8*X8	1	28.75	28.75	13.63	0.00		
2-Way Interaction	2	39.40	19.70	9.34	0.00		
X1*X8	1	6.81	6.81	3.23	0.08		
X8*X4	1	29.98	29.98	14.21	0.00		
Error	37	78.05	2.11				
Total	44	432.05					

ตารางที่ 58 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดิมนำหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง A

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	40.19	0.40	100.54	0.00
X1	-1.76	0.84	-2.10	0.04
X8	-4.87	0.87	-5.61	0.00
X4	2.40	0.54	4.42	0.00
X1*X1	-1.48	1.00	-1.47	0.15
X8*X8	-3.68	1.00	-3.69	0.00
X1*X8	-3.41	1.90	-1.80	0.08
X8*X4	3.98	1.06	3.77	0.00



รูปที่ ๓29 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินทางของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.10 สูตรเชิงพีลิ่ง A

ตัวแปรตอบสนอง Y2

$$Y2 = -102.4 + 31.6 X8 - 1.204 X4 + 0.1249 X5 - 0.0372 X8X5 \quad (๓30)$$

ตารางที่ ๓59 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินทางของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชิงพีลิ่ง A

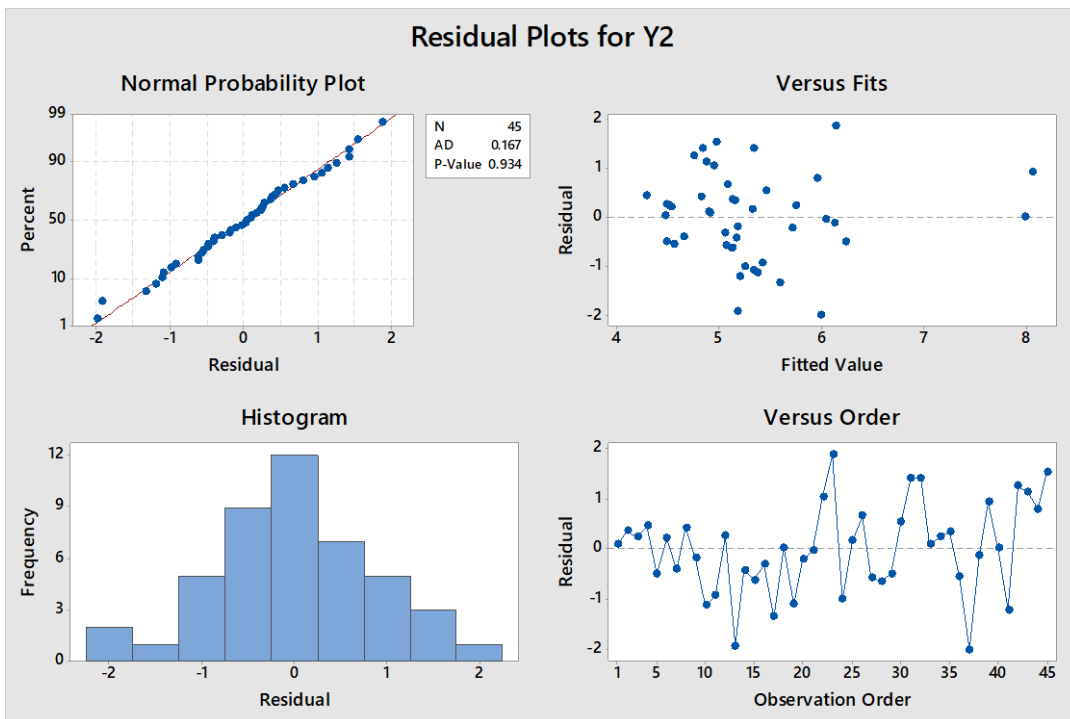
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	4	26.07	6.52	7.56	0.00	43.04%	37.34%
Linear	3	22.88	7.63	8.84	0.00		
X8	1	4.98	4.98	5.78	0.02		
X4	1	7.52	7.52	8.71	0.01		
X5	1	1.85	1.85	2.14	0.15		
2-Way Interaction	1	3.97	3.97	4.60	0.04		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X8*X5	1	3.97	3.97	4.60	0.04		
Error	40	34.50	0.86				
Total	44	60.58					

ตารางที่ ง60 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชื่อเพลิง A

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.50	0.21	25.66	0.00
X8	0.93	0.39	2.40	0.02
X4	-0.90	0.31	-2.95	0.01
X5	-0.52	0.36	-1.46	0.15
X8*X5	-1.56	0.73	-2.15	0.04





รูปที่ 30 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.10 สูตรเชื้อเพลิง A

2.2 พิจารณาแอลฟา 0.15

ตัวแปรตอบสนอง Y1

$$Y1 = -7.5 - 0.1809 X1 + 0.1113 X2 - 0.0977 X5 - 0.000054 X2^2 + 0.000075 X2X5 \tag{3.52}$$

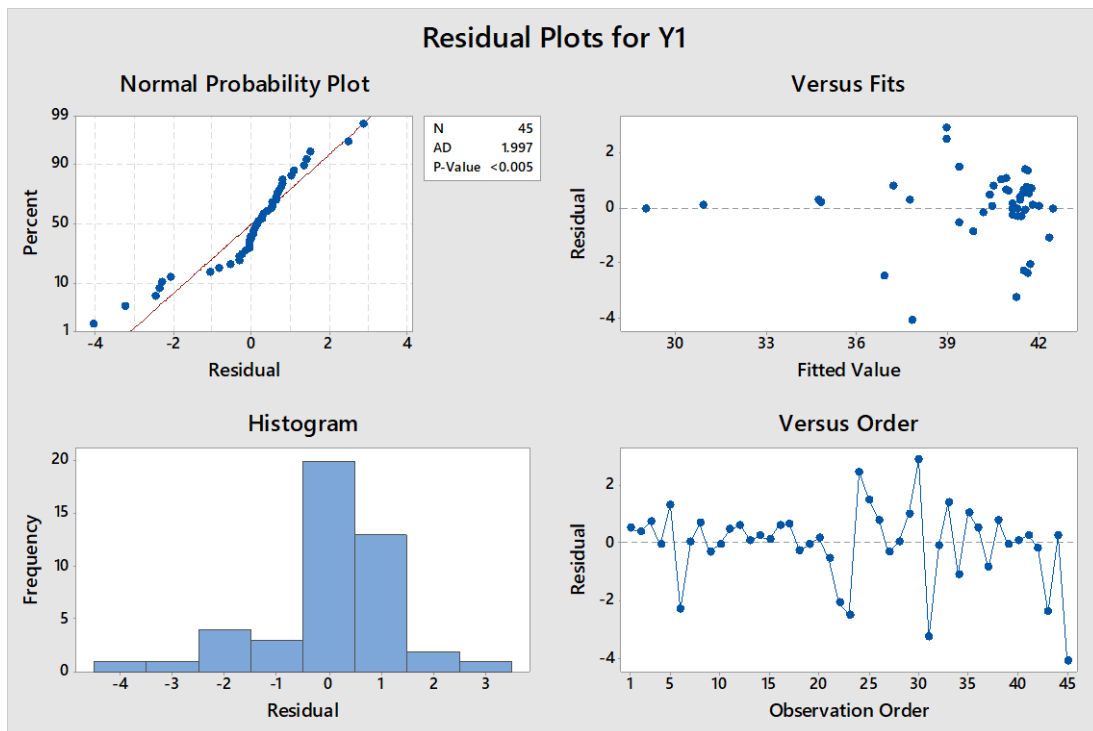
ตารางที่ 61 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง A

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	7	354.01	50.57	23.98	0.00	81.94%	78.52%
Linear	3	225.11	75.04	35.57	0.00		
X1	1	9.32	9.32	4.42	0.04		
X8	1	66.47	66.47	31.51	0.00		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X4	1	41.23	41.23	19.55	0.00		
Square	2	28.94	14.47	6.86	0.00		
X1*X1	1	4.57	4.57	2.17	0.15		
X8*X8	1	28.75	28.75	13.63	0.00		
2-Way Interaction	2	39.40	19.70	9.34	0.00		
X1*X8	1	6.81	6.81	3.23	0.08		
X8*X4	1	29.98	29.98	14.21	0.00		
Error	37	78.05	2.11				
Total	44	432.05					

ตารางที่ 62 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง A

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	40.19	0.40	100.54	0.00
X1	-1.76	0.84	-2.10	0.04
X8	-4.87	0.87	-5.61	0.00
X4	2.40	0.54	4.42	0.00
X1*X1	-1.48	1.00	-1.47	0.15
X8*X8	-3.68	1.00	-3.69	0.00
X1*X8	-3.41	1.90	-1.80	0.08
X8*X4	3.98	1.06	3.77	0.00



รูปที่ ๓31 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง A

ตัวแปรตอบสนอง Y2

$$Y2 = -102.4 + 31.6 X8 - 1.204 X4 + 0.1249 X5 - 0.0372 X8X5 \quad (๓32)$$

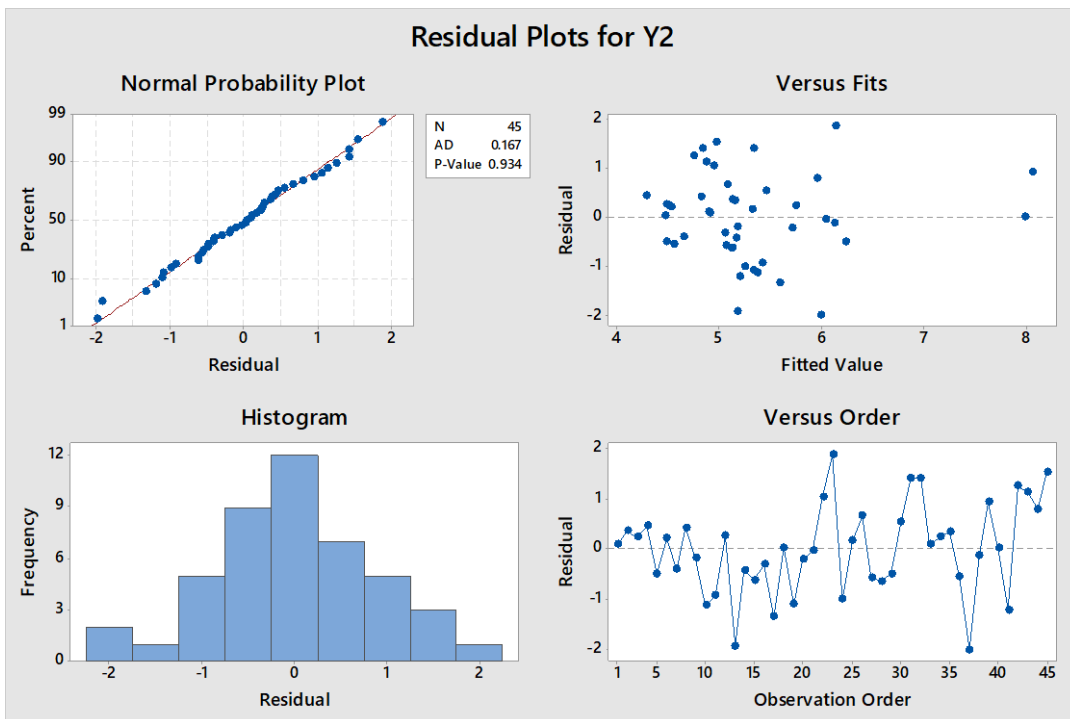
ตารางที่ ๓63 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง A

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	4	26.07	6.52	7.56	0.00	43.04%	37.34%
Linear	3	22.88	7.63	8.84	0.00		
X8	1	4.98	4.98	5.78	0.02		
X4	1	7.52	7.52	8.71	0.01		
X5	1	1.85	1.85	2.14	0.15		
2-Way Interaction	1	3.97	3.97	4.60	0.04		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X8*X5	1	3.97	3.97	4.60	0.04		
Error	40	34.50	0.86				
Total	44	60.58					

ตารางที่ ง64 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินทางของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง A

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.50	0.21	25.66	0.00
X8	0.93	0.39	2.40	0.02
X4	-0.90	0.31	-2.95	0.01
X5	-0.52	0.36	-1.46	0.15
X8*X5	-1.56	0.73	-2.15	0.04



รูปที่ 32 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอนของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชิงพีลิ่ง A

3. การกำจัดตัวแปรแบบถอยหลัง (Backward elimination)

3.1 พิจารณาแอลฟา 0.15

ตัวแปรตอบสนอง Y1

$$\begin{aligned}
 Y1 = & 39 + 1.99 X1 - 0.014 X2 + 3.53 X3 + 15.4 X4 - 0.0723 X5 & (ง33) \\
 & - 28.9 X8 - 0.0219 X1^2 - 0.000042 X2^2 - 0.001697 X1X2 \\
 & + 0.0332 X1X3 + 0.01349 X2X4 + 0.000193 X2X5 \\
 & - 0.314 X3X4 - 0.00393 X3X5 - 0.0199 X4X5
 \end{aligned}$$

ตารางที่ 65 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชิงพีลิ่ง A

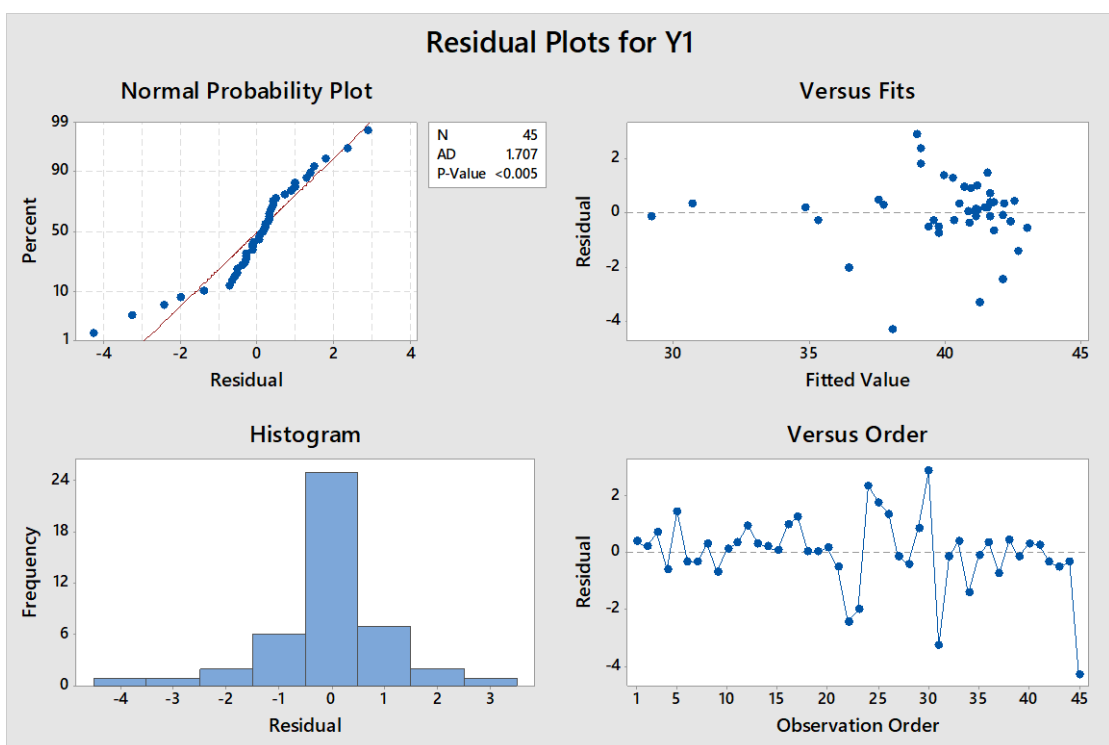
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	10	361.70	36.17	17.48	0.00	83.72%	78.93%
Linear	4	220.83	55.21	26.68	0.00		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X1	1	9.74	9.74	4.71	0.04		
X8	1	31.34	31.34	15.14	0.00		
X4	1	24.86	24.86	12.01	0.00		
X5	1	1.86	1.86	0.90	0.35		
Square	3	38.80	12.93	6.25	0.00		
X1*X1	1	15.49	15.49	7.48	0.01		
X8*X8	1	24.18	24.18	11.68	0.00		
X5*X5	1	5.54	5.54	2.68	0.11		
2-Way Interaction	3	21.99	7.33	3.54	0.03		
X1*X5	1	7.47	7.47	3.61	0.07		
X8*X4	1	6.98	6.98	3.37	0.08		
X8*X5	1	8.51	8.51	4.11	0.05		
Error	34	70.36	2.07				
Total	44	432.05					

ตารางที่ 66 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง A

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	40.29	0.46	87.09	0.00
X1	-1.86	0.86	-2.17	0.04
X8	-4.11	1.06	-3.89	0.00
X4	2.17	0.63	3.47	0.00
X5	0.88	0.93	0.95	0.35
X1*X1	-2.66	0.97	-2.74	0.01

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
X8*X8	-4.39	1.29	-3.42	0.00
X5*X5	-2.28	1.39	-1.64	0.11
X1*X5	2.86	1.50	1.90	0.07
X8*X4	2.58	1.41	1.84	0.08
X8*X5	-4.40	2.17	-2.03	0.05



รูปที่ ๓33 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15

สูตรเชื่อเพลิง A

ตัวแปรตอบสนอง Y2

$$Y2 = -150.4 + 4.42 X1 - 1.101 X4 + 0.1814 X5 - 0.00520 X1X5 \quad (๓34)$$

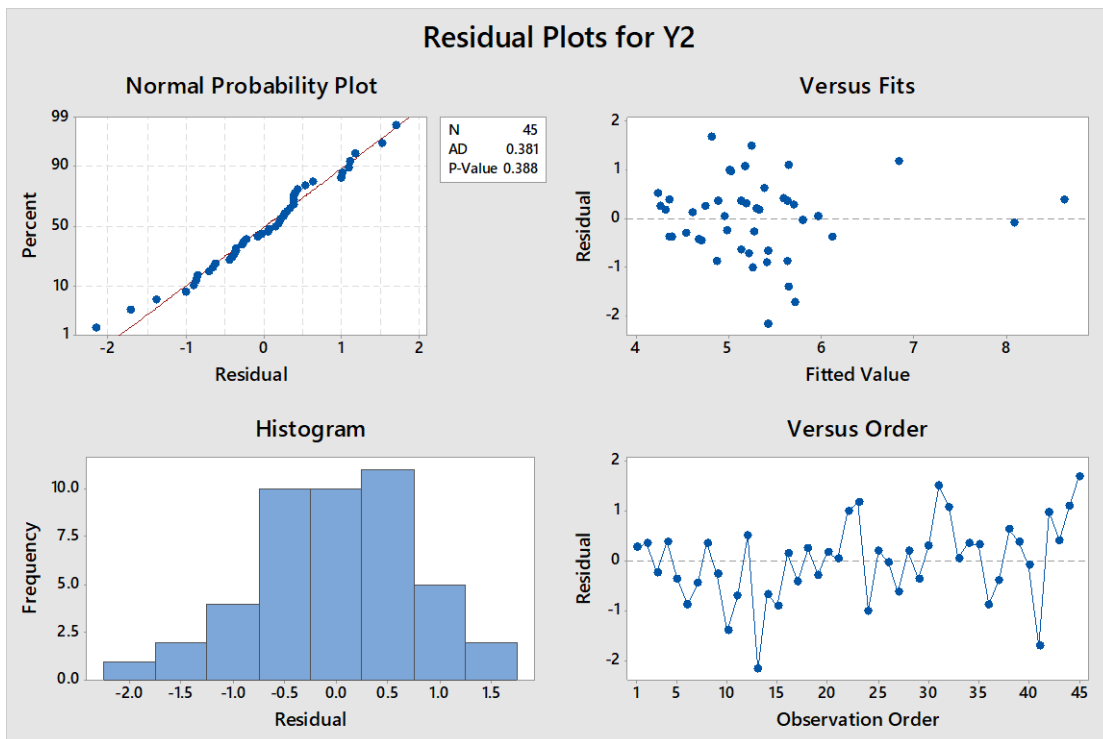
ตารางที่ ๖7 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง A

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	4	32.44	8.11	11.53	0.00	53.55%	48.91%
Linear	3	24.84	8.28	11.77	0.00		
X1	1	12.32	12.32	17.51	0.00		
X4	1	6.27	6.27	8.91	0.01		
X5	1	0.23	0.23	0.33	0.57		
2-Way Interaction	1	10.86	10.86	15.44	0.00		
X1*X5	1	10.86	10.86	15.44	0.00		
Error	40	28.14	0.70				
Total	44	60.58					

ตารางที่ ๖8 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบเลือกตัวแปรแบบเดินหน้าของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15 สูตรเชื้อเพลิง A

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.31	0.18	29.73	0.00
X1	1.59	0.38	4.18	0.00
X4	-0.83	0.28	-2.99	0.01
X5	-0.19	0.33	-0.58	0.57
X1*X5	-2.60	0.66	-3.93	0.00





รูปที่ ๓34 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.15

สูตรเชื่อเพลิง A

3.2 พิจารณาแอลฟา 0.25

ตัวแปรตอบสนอง Y1

$$\begin{aligned}
 Y1 = & 39 + 1.99 X1 - 0.014 X2 + 3.53 X3 + 15.4 X4 - 0.0723 X5 & (๓35) \\
 & - 28.9 X8 - 0.0219 X1^2 - 0.000042 X2^2 - 0.001697 X1X2 \\
 & + 0.0332 X1X3 + 0.01349 X2X4 + 0.000193 X2X5 \\
 & - 0.314 X3X4 - 0.00393 X3X5 - 0.0199 X4X5
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ๓69 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชื่อเพลิง A

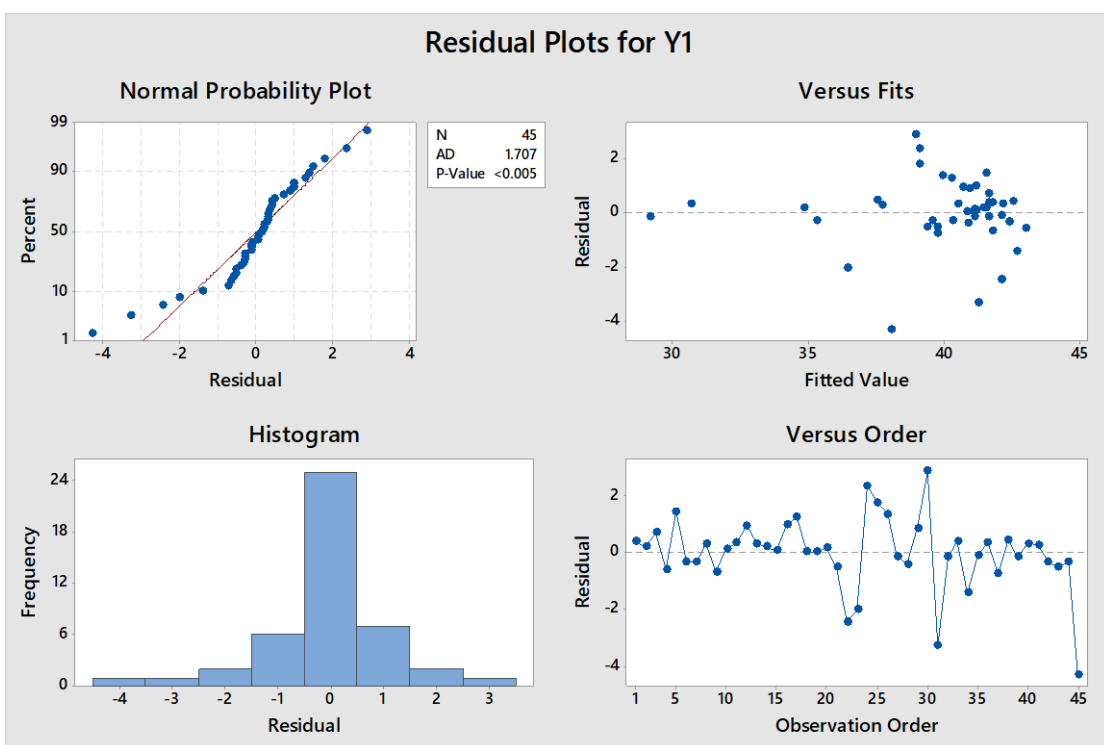
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	10	361.70	36.17	17.48	0.00	83.72%	78.93%
Linear	4	220.83	55.21	26.68	0.00		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
X1	1	9.74	9.74	4.71	0.04		
X8	1	31.34	31.34	15.14	0.00		
X4	1	24.86	24.86	12.01	0.00		
X5	1	1.86	1.86	0.90	0.35		
Square	3	38.80	12.93	6.25	0.00		
X1*X1	1	15.49	15.49	7.48	0.01		
X8*X8	1	24.18	24.18	11.68	0.00		
X5*X5	1	5.54	5.54	2.68	0.11		
2-Way Interaction	3	21.99	7.33	3.54	0.03		
X1*X5	1	7.47	7.47	3.61	0.07		
X8*X4	1	6.98	6.98	3.37	0.08		
X8*X5	1	8.51	8.51	4.11	0.05		
Error	34	70.36	2.07				
Total	44	432.05					

ตารางที่ 70 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง A

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	40.29	0.46	87.09	0.00
X1	-1.86	0.86	-2.17	0.04
X8	-4.11	1.06	-3.89	0.00
X4	2.17	0.63	3.47	0.00
X5	0.88	0.93	0.95	0.35
X1*X1	-2.66	0.97	-2.74	0.01

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
X8*X8	-4.39	1.29	-3.42	0.00
X5*X5	-2.28	1.39	-1.64	0.11
X1*X5	2.86	1.50	1.90	0.07
X8*X4	2.58	1.41	1.84	0.08
X8*X5	-4.40	2.17	-2.03	0.05



รูปที่ 35 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y1 แอลฟา 0.25  
สูตรเชื่อเพลิง A

ตัวแปรตอบสนอง Y2

$$Y2 = -58.4 + 1.78 X1 - 14.9 X8 - 1.024 X4 + 0.1323 X5 + 0.427 X1X8 - 0.00378 X1X5 \tag{36}$$

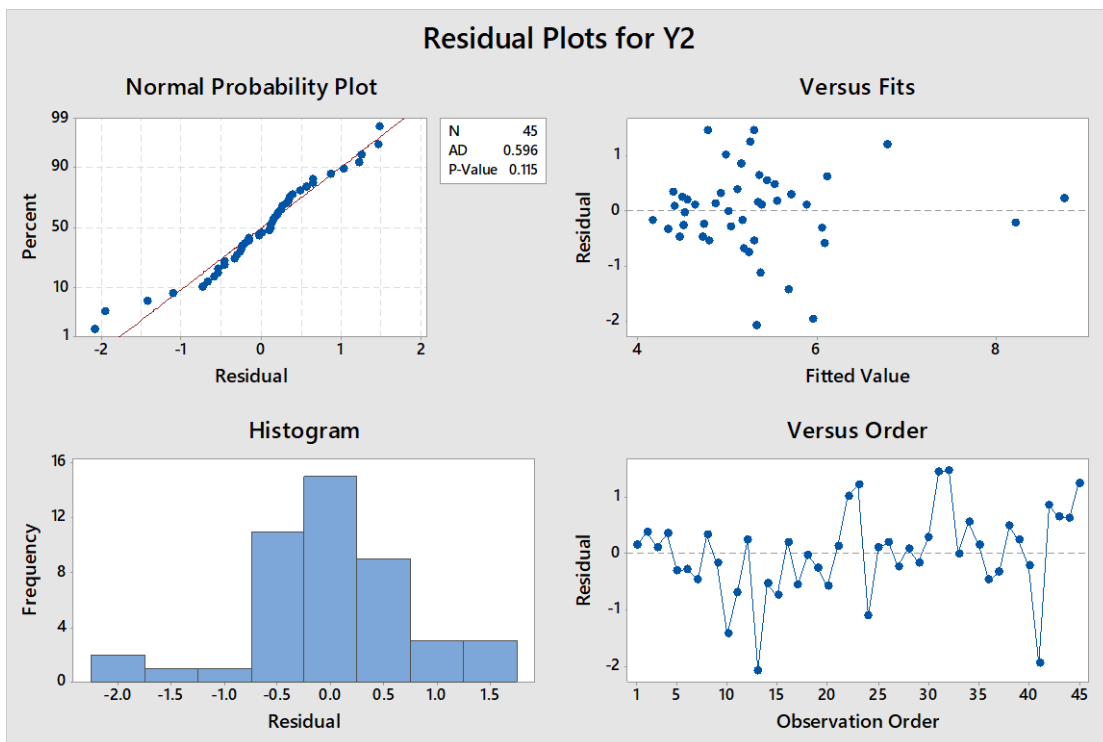
ตารางที่ ง71 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง A

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq	R-sq(adj)
Model	6	35.00	5.83	8.67	0.00	57.78%	51.12%
Linear	4	24.21	6.05	9.00	0.00		
X1	1	10.77	10.77	16.01	0.00		
X8	1	0.04	0.04	0.06	0.81		
X4	1	5.26	5.26	7.82	0.01		
X5	1	0.07	0.07	0.10	0.76		
2-Way Interaction	2	11.30	5.65	8.40	0.00		
X1*X8	1	1.09	1.09	1.63	0.21		
X1*X5	1	3.60	3.60	5.35	0.03		
Error	38	25.57	0.67				
Total	44	60.58					

ตารางที่ ง72 ผลวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพลหลักในสมการแบบกำจัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25 สูตรเชื้อเพลิง A

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.27	0.20	25.99	0.00
X1	1.60	0.40	4.00	0.00
X8	0.12	0.47	0.25	0.81
X4	-0.77	0.28	-2.80	0.01
X5	-0.12	0.38	-0.31	0.76
X1*X8	1.47	1.15	1.27	0.21

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
X1*X5	-1.89	0.82	-2.31	0.03



รูปที่ ง36 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของสมการถดถอยพิจารณาตัวแปรเชิงทฤษฎีแทนตัวแปรอิทธิพล

หลักในสมการแบบจำกัดตัวแปรแบบถดถอยหลังของตัวแปรตอบสนอง Y2 แอลฟา 0.25

สูตรเชื่อเพลิง A

CHULALONGKORN UNIVERSITY

## ภาคผนวก จ

## คู่มืออ้างอิงในการทดลอง

## 1. การวิเคราะห์ความชื้นเชื้อเพลิง

ความรู้ทั่วไป

ค่าความชื้นในเชื้อเพลิงเป็นค่าที่บอกถึงปริมาณน้ำที่มีอยู่ในเชื้อเพลิง ซึ่งถ้าค่าความชื้นของเชื้อเพลิงมาก เชื้อเพลิงนั้นก็就会ให้ค่าความร้อนได้น้อย หรือถ้าเชื้อเพลิงแห้งมากเกินไปจะเกิดการย่อยสลายของเชื้อเพลิงเองเช่นกัน ซึ่งเชื้อเพลิงที่นำมาวัดค่าความชื้นเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้ในโรงไฟฟ้า โดยเชื้อเพลิงแต่ละชนิดก็จะให้ค่าความชื้นแตกต่างกันออกไป

## 2. หลักการ

การวัดค่าความชื้นในเชื้อเพลิงเป็นการวัดปริมาณน้ำที่มีในเชื้อเพลิง ด้วยการระเหยน้ำออกจากเชื้อเพลิง ที่อุณหภูมิ 103 - 105 องศาเซลเซียส น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังจากทำการอบสามารถนำมาคิดเปอร์เซ็นต์ความชื้นได้

## 3. อุปกรณ์ความปลอดภัยและข้อควรระวัง

- ผ้าปิดจมูก
- ถุงมือ

## 4. อุปกรณ์

- ตู้อบ (รูปที่ 1-3)
- ภาชนะอะลูมิเนียม
- เครื่องชั่งที่มีความละเอียด 0.001 กรัม

## 5. วิธีทดลอง

- อบภาชนะในเตาอบ (oven) ประมาณ 1 – 2 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักภาชนะทันทีที่นำออกจาก oven ในขณะร้อนได้น้ำหนักเป็น A g ปรับเครื่องชั่ง (tare) ให้เป็น 0
- นำตัวอย่างคลุกเคล้าผสมกันดีใส่ในภาชนะประมาณ 250 – 280 g ให้น้ำหนักเป็น B g
- นำภาชนะที่ใส่ตัวอย่างอบใน oven จนกระทั่งน้ำหนักคงที่หรืออย่างน้อย 16-24 ชั่วโมง

- หลังจากแห้งซึ่งน้ำหนักทันที น้ำหนักเป็น C g

#### 6. การคำนวณ

$$\% \text{ ความชื้น} = \frac{[(A+B)-C] \times 100}{B}$$

เมื่อ A คือน้ำหนักภาชนะ (กรัม)

B คือน้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

C คือน้ำหนักที่เหลือหลังอบ (กรัม)

#### 7. การรายงานผล

รายงานผลการทดสอบลงในรายงานประจำวันของฝ่ายผลิตและจัดเก็บเป็นข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ไฟล์ในคอมพิวเตอร์

#### 8. การทิ้งตัวอย่าง

ตัวอย่างเชื้อเพลิงที่วิเคราะห์แล้ว ให้นำไปไว้ที่กองเชื้อเพลิงที่ลานเชื้อเพลิงเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงต่อไป

#### 9. เอกสารอ้างอิง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
การวัดค่าความชื้นเชื้อเพลิงของโรงไฟฟ้า (Document No. : WL-420)



รูปที่ จ1 ตัวอย่างเชื้อเพลิงผสมที่เก็บวัดความชื้นก่อนนำเข้าผลิต



รูปที่ จ2 การวัดน้ำหนักเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อวิเคราะห์ความชื้น



รูปที่ จ3 ตู้อบเชื้อเพลิงชีวมวล



## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ชนกร พุ่มชุมพล
วัน เดือน ปี เกิด	3 ตุลาคม 2527
สถานที่เกิด	จังหวัด สุรินทร์
วุฒิการศึกษา	มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนสุรวิทยาคาร (2543-2545) มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนโยธินบูรณะ (2545-2547) ปริญญาตรี วิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยมหิดล (2547-2550)
ที่อยู่ปัจจุบัน	195/119 หมู่บ้านสวนน้ำใส 3 ตำบลท่าตม อำเภอศรีมหาโพธิ จังหวัด ปราจีนบุรี 25140
ผลงานตีพิมพ์	การวิเคราะห์ปัจจัยในการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลของหม้อกำเนิดไอน้ำฟลูอิด ไดซ์เบดแบบฟองแก๊ส (FACTOR ANALYSIS FOR BIOMASS COMBUSTION IN BUBBLING FLUIDIZED BED BOILER)
รางวัลที่ได้รับ	-