

การปรับปรุงค่าความขึ้นเชื่อเพลิงชีวมวลในกระบวนการอบแห้ง



นางสาวสรารัตน์ ชาลีกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

IMPROVING THE BIOMASS MOISTURE IN THE DRYING PROCESS

Miss Sararath Chaleekan



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

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2015

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงค่าความชื้นเชื้อเพลิงชีวมวลในกระบวนการ อบแห้ง
โดย	นางสาวสรารัตน์ ชาลีกัน
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ จีรพัฒน์ เกาประเสริฐวงศ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร)
.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ จีรพัฒน์ เกาประเสริฐวงศ์)

.....กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชูติมา)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ริจิรวนิช)

สรารัตน์ ชาลีกัน : การปรับปรุงค่าความชื้นเชื้อเพลิงชีวมวลในกระบวนการอบแห้ง (IMPROVING THE BIOMASS MOISTURE IN THE DRYING PROCESS) อ.ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์หลัก: รศ. จิรพัฒน์ เงามประเสริฐวงศ์, 107 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงกระบวนการอบแห้งเชื้อเพลิงซึ่งเป็นกระบวนการที่ช่วยเพิ่มพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิง โดยการนำไอน้ำ เหลือใช้ (Low pressure steam) จากโรงไฟฟ้า (37.15 MW) มาใช้ในกระบวนการอบ (Cap.400 T/D) โดย เชื้อเพลิงที่ใช้อบคือ ไฟเบอร์ผสม (ทะลายปาล์ม เปลือกมะพร้าว เปลือกไม้) และไม้ซิป ซึ่งมีค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นก่อนอบประมาณ 40-60% เพื่อช่วยปรับปรุงค่าความชื้นเชื้อเพลิงชีวมวลและต้นทุนในกระบวนการอบแห้ง

งานวิจัยนี้จะนำทฤษฎีซิกม่า ซิกม่า (Six Sigma) ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอน Define, Measure, Analyze, Improve และ Control (DMAIC) มาใช้ และใช้ Cause and Effect Diagram , Cause and Effect Matrix และ FMEA ในการคัดเลือกปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น และใช้ 3^k Factorial Design ในการหาปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญกับค่าความชื้นเชื้อเพลิง

จากการปรับปรุงได้ทำการทดสอบกระบวนการเพื่อเปรียบเทียบก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเฉลี่ยลดลงจาก 10% เป็น 23.74% ทำให้ค่าความร้อนเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น 4,028 เมกกะจูลต่อตันต่อเดือน ต้นทุนในกระบวนการอบแห้งเฉลี่ยลดลงจาก 0.147 บาทต่อเมกกะจูล เป็น 0.122 บาทต่อเมกกะจูล คิดเป็นมูลค่าต้นทุนที่ประหยัดได้ 4,583,028 บาทต่อปี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2558

5770975421 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS:

SARARATH CHALEEKAN: IMPROVING THE BIOMASS MOISTURE IN THE DRYING PROCESS. ADVISOR: ASSOC. PROF. JEIRAPAT NGAOPRASERTWONG, 107 pp.

This research aims to improve the drying process fuel, a process that improves the thermal energy of the fuel by using low pressure steam from a power plant (37.15 MW) for dehydration (Cap.400 T/D) to reduce the percentage of moisture and the cost of dehydration. The fuel included fiber (mixed with palm bunch, coconut shell, bark) and wood chips having the percentage of moisture before dehydration of about 40-60%.

In this paper using the Six Sigma systemic process improvement methodology; Define, Measure, Analyze, Improve and Control (DMAIC). used Cause and Effect Diagram, Cause and Effect Matrix and FMEA for selecting factors which affect to the percentage of moisture. The 3^k Factorial Design method was used to determine the factors that affect significantly the fuel moisture content.

The result showed decrease in average moisture content from 10% to 23.74%, thereby increasing the heating value to be 4,028 MJ/ton/month, decreasing the average cost of biomass drying process from 0.147 baht/MJ to 0.122 baht/MJ. The total cost of reduction valued 4,583,028 baht/year.

Department: Industrial Engineering Student's Signature

Field of Study: Industrial Engineering Advisor's Signature

Academic Year: 2015

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีจากความอนุเคราะห์ของบุคคลหลายท่าน ผู้วิจัยขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ เงาประเสริฐกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งเป็นผู้ให้ความรู้ คำแนะนำ และชี้แนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ และขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร ประธานกรรมการ ศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชูติมา และรองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ริจิรวนิช กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำ ความเห็น และตรวจสอบข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณผู้จัดการโรงงานกรณีศึกษาที่ให้โอกาสผู้วิจัยทำการศึกษาวิจัยและพนักงานทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการทดลองและเก็บข้อมูลโดยตลอดการทำวิทยานิพนธ์ สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณคุณบิดา มารดา และครอบครัวผู้เห็นประโยชน์ของการศึกษาที่ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจตลอดการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ข้อมูลทั่วไปและขั้นตอนการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา	1
1.2 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	8
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	14
1.4 ขอบเขตการดำเนินงานวิจัย	14
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	15
1.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	15
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัย.....	16
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	16
2.2 ทฤษฎีซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma)	29
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	33
บทที่ 3 ระยะนิยามปัญหา (Define Phase)	37
3.1 บทนำ.....	37
3.2 การศึกษากระบวนการผลิต.....	37
3.3 การกำหนดปัญหา.....	42
3.4 การจัดตั้งคณะทำงาน.....	45

3.5 บทสรุป	46
บทที่ 4 ระยะตรวจวัดปัญหา (Measure Phase).....	47
4.1 บทนำ.....	47
4.2 การวิเคราะห์ความแม่นยำและความเที่ยงของระบบการวัด (Gage R&R).....	47
4.3 แผนที่กระบวนการผลิต (Process Map)	53
4.4 การระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้า	53
4.5 บทสรุป	68
บทที่ 5 ระยะวิเคราะห์สาเหตุปัญหา (Analysis Phase).....	69
5.1 บทนำ.....	69
5.2 แนวทางการวิเคราะห์.....	69
5.3 การออกแบบการทดลองแบบ 3^k Factorial design.....	71
5.4 ผลการทดลอง	72
5.5 บทสรุป	80
บทที่ 6 ระยะปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase).....	81
6.1 บทนำ.....	81
6.2 ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ.....	81
6.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง	81
6.4 การวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์ความขึ้นเชื่อเพลิงโดยเพิ่มระดับปัจจัย	88
6.5 บทสรุป	89
บทที่ 7 ระยะควบคุมกระบวนการ (Control Phase).....	91
7.1 บทนำ.....	91
7.2 การดำเนินการควบคุมตัวแปร	91
7.3 ข้อมูลหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต.....	98

7.4	สรุปผลการดำเนินงานตามวิธีซิกซ์ ซิกม่า.....	98
7.5	บทสรุป	99
บทที่ 8	มูลค่าความสูญเสียหลังการปรับปรุง	100
8.1	บทนำ.....	100
8.2	มูลค่าความสูญเสียที่ลดลง.....	100
8.3	บทสรุป	100
บทที่ 9	บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	102
9.1	บทนำ.....	102
9.2	ระยะนิยามปัญหา (Define Phase).....	102
9.3	ระยะตรวจวัดปัญหา (Measure Phase)	102
9.4	ระยะวิเคราะห์สาเหตุปัญหา (Analysis Phase).....	103
9.5	ระยะปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase)	103
9.6	ระยะควบคุมกระบวนการ (Control Phase).....	103
9.7	ปัญหาและอุปสรรคในงานวิจัย	104
9.8	ข้อเสนอแนะ	104
	รายการอ้างอิง	105
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	107

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 ราคาที่โรงงานรับซื้อตามเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิง.....	3
ตารางที่ 1.2 พารามิเตอร์ที่ปรับค่าได้ของเครื่องอบแห้งเชื้อเพลิง.....	6
ตารางที่ 1.3 ค่าความร้อนในแต่ละเปอร์เซ็นต์ความชื้น.....	9
ตารางที่ 1.4 ค่าใช้จ่ายในกระบวนการอบแห้งในแต่ละเดือน.....	10
ตารางที่ 2.1 กำหนดตัวแปรของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	20
ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวล.....	39
ตารางที่ 3.2 บุคลากรในทีมวิจัย.....	45
ตารางที่ 4.1 ผลการวัดค่าความชื้นเชื้อเพลิง (หน่วย %Moisture).....	50
ตารางที่ 4.2 มาตรฐานในการยอมรับระบบการวัด (AIAG).....	50
ตารางที่ 4.3 ความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลของปัจจัยที่มีผลต่อค่าความชื้นเชื้อเพลิง.....	57
ตารางที่ 4.4 ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความชื้นเชื้อเพลิงจากตารางความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล.....	59
ตารางที่ 4.5 เกณฑ์การให้คะแนนระดับความถี่ของการเกิดปัญหา.....	62
ตารางที่ 4.6 เกณฑ์การให้คะแนนระดับความรุนแรงของผลกระทบ.....	63
ตารางที่ 4.7 เกณฑ์การให้คะแนนระดับความสามารถในการตรวจจับปัญหา.....	64
ตารางที่ 4.8 การวิเคราะห์ผลกระทบจากความผิดพลาดในกระบวนการ.....	65
ตารางที่ 4.9 สาเหตุของปัญหาและค่า RPN.....	65
ตารางที่ 4.10 ปัจจัยที่คัดเลือกจากการวิเคราะห์ FMEA.....	67
ตารางที่ 5.1 ระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลองของเชื้อเพลิงไฟเบอร์.....	71
ตารางที่ 5.2 ระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลองของเชื้อเพลิงไม้ซิป.....	71
ตารางที่ 5.3 ผลการทดลอง 3^3 Factorial design ของเชื้อเพลิงไฟเบอร์.....	73
ตารางที่ 5.4 ผลการทดลอง 3^3 Factorial design ของเชื้อเพลิงไม้ซิป.....	77
ตารางที่ 6.1 ระดับของปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงไฟเบอร์.....	84

ตารางที่ 6.2 ระดับของปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงไม้ซุง	87
ตารางที่ 6.3 ผลการทดลองอบแห้งเชื้อเพลิงไฟเบอร์ที่ความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง 3 ระดับ	88
ตารางที่ 7.1 ผลการทดลองตามปัจจัยที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงไฟเบอร์.....	96
ตารางที่ 7.2 ผลการทดลองตามปัจจัยที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงไฟเบอร์ (ต่อ)	97



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 เชื้อเพลิงชีวมวล	1
รูปที่ 1.2 เครื่องจักรกังหันไอน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	2
รูปที่ 1.3 กระบวนการผลิตไฟฟ้า	2
รูปที่ 1.4 เครื่องอบแห้งเชื้อเพลิง	4
รูปที่ 1.5 ขั้นตอนการอบแห้งเชื้อเพลิง.....	5
รูปที่ 1.6 การตรวจรับคุณภาพเชื้อเพลิง	6
รูปที่ 1.7 แผนผังกระบวนการอบแห้งเชื้อเพลิง.....	7
รูปที่ 1.8 ท่อภายในเครื่องอบแห้งเชื้อเพลิง.....	7
รูปที่ 1.9 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบใช้อากาศของเครื่องอบแห้งเชื้อเพลิง.....	7
รูปที่ 1.10 ต้นทุนการเดินเครื่องอบแห้งและต้นทุนค่าเชื้อเพลิงต่อค่าความร้อนที่ทำได้ในแต่ละเดือน	9
รูปที่ 1.11 ปริมาณการอบเชื้อเพลิงในแต่ละเดือน	10
รูปที่ 1.12 สัดส่วนคุณภาพของความชื้นเชื้อเพลิงที่ผ่านเครื่องอบแห้ง	11
รูปที่ 1.13 ค่าความชื้นเชื้อเพลิงจากกระบวนการอบแห้ง.....	12
รูปที่ 1.14 เปอร์เซนต์ความชื้นเชื้อเพลิงผสมก่อนเข้ากระบวนการอบแห้ง	13
รูปที่ 1.15 แผนภาพสาเหตุและผลของปัญหาขนาดขึ้นไม้สับไม่ได้ขนาดตามมาตรฐาน	13
รูปที่ 2.1 ปริมาณความชื้นสมดุลของเมล็ดข้าวโพดที่อุณหภูมิต่างๆกัน.....	17
รูปที่ 2.2 เส้นความชื้นสมดุลของวัสดุต่างๆ ที่อุณหภูมิ 25 °C.....	17
รูปที่ 2.3 การเข้าสู่สมดุลย์สำหรับเมล็ดพืช	17
รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงของอัตราความชื้นกับอุณหภูมิของวัสดุดิบ.....	18
รูปที่ 2.5 ปริมาตรบั้งคับใดๆ.....	19
รูปที่ 2.6 ช่วงการระเหยที่ผิววัสดุ	20
รูปที่ 2.7 ช่วงการเพิ่มอุณหภูมิของวัสดุ	22

รูปที่ 2.8 สมดุลพลังงานและสมดุลมวลของระบบ	24
รูปที่ 2.9 สมดุลพลังงานและสมดุลมวลของระบบความร้อน	24
รูปที่ 2.10 สมดุลพลังงานและสมดุลมวลภายในถังอบแห้ง	25
รูปที่ 2.11 การวิเคราะห์แผนภูมิแก๊งปลาของขั้นตอนการแกะสลัก (Montgomery).....	31
รูปที่ 2.12 ระบบโพลีเจนเนอเรชั่นโดยรวมของโรงงาน	35
รูปที่ 2.13 ภาพรวมของกระบวนการอบแห้ง 2 ครั้ง.....	36
รูปที่ 3.1 ผังกระบวนการอบแห้งเชื้อเพลิง	38
รูปที่ 3.2 ไฟเบอร์ผสม	38
รูปที่ 3.3 ไมซ์พิท.....	39
รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการอบแห้งเชื้อเพลิง.....	40
รูปที่ 3.5 แสดงเซลล์ (Shell).....	41
รูปที่ 3.6 แสดงท่อ (Tube).....	41
รูปที่ 3.7 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบใช้อากาศ	42
รูปที่ 3.8 ปริมาณการอบแห้งเชื้อเพลิง.....	43
รูปที่ 3.9 ค่าความชื้นเชื้อเพลิงของกระบวนการอบแห้ง.....	43
รูปที่ 3.10 ต้นทุนการเดินเครื่องและต้นทุนเชื้อเพลิงต่อค่าความร้อนที่ทำได้	44
รูปที่ 3.11 ค่าใช้จ่ายที่สูญเสียในกระบวนการอบแห้ง	44
รูปที่ 4.1 เครื่องชั่งที่มีความละเอียด 0.001 กรัม	48
รูปที่ 4.2 ตู้อบเชื้อเพลิง	48
รูปที่ 4.3 การประเมินความผันแปรของระบบการวัดค่าความชื้นเชื้อเพลิง	51
รูปที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ความผันแปรของระบบการวัดค่าความชื้นเชื้อเพลิง	51
รูปที่ 4.5 แผนที่กระบวนการอบแห้งเชื้อเพลิง	54
รูปที่ 4.6 แผนภูมิแก๊งปลาแสดงปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความชื้นเชื้อเพลิง.....	55
รูปที่ 4.7 แผนภูมิพารेटโตเรียงตามคะแนนความสัมพันธ์ Cause & Effect Matrix.....	58

รูปที่ 4.8 ตำแหน่งของปัจจัยที่ผ่านการคัดเลือกจากการวิเคราะห์ด้วย Cause & Effect Matrix.....	58
รูปที่ 4.9 ขนาดและลักษณะเชื้อเพลิงที่ใช้ในการอบแห้ง.....	60
รูปที่ 4.10 ไซโคลนของเครื่องอบแห้ง.....	61
รูปที่ 4.11 แผนภาพพาเรโตเรียงตามลำดับปัจจัยตามค่า RPN.....	66
รูปที่ 4.12 ตำแหน่งของปัจจัยที่ผ่านการคัดเลือกจากการวิเคราะห์ด้วย FMEA.....	66
รูปที่ 5.1 ผลการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของเชื้อเพลิงไฟเบอร์.....	72
รูปที่ 5.2 ผลการทดสอบความเป็นอิสระของเชื้อเพลิงไฟเบอร์.....	74
รูปที่ 5.3 ผลการทดสอบเสถียรภาพของความแปรปรวนข้อมูลของเชื้อเพลิงไฟเบอร์.....	74
รูปที่ 5.4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปัจจัยที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไฟเบอร์.....	75
รูปที่ 5.5 ผลการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของเชื้อเพลิงไม้ซิป.....	76
รูปที่ 5.6 ผลการทดสอบความเป็นอิสระของเชื้อเพลิงไม้ซิป.....	78
รูปที่ 5.7 ผลการทดสอบเสถียรภาพของความแปรปรวนข้อมูลของเชื้อเพลิงไม้ซิป.....	78
รูปที่ 5.8 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปัจจัยที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไม้ซิป.....	79
รูปที่ 6.1 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปัจจัยที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไฟเบอร์.....	82
รูปที่ 6.2 ผลกระทบของปัจจัยหลักที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไฟเบอร์.....	83
รูปที่ 6.3 ผลกระทบของปัจจัยร่วมที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไฟเบอร์.....	83
รูปที่ 6.4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปัจจัยที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไม้ซิป.....	85
รูปที่ 6.5 ผลกระทบของปัจจัยหลักที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไม้ซิป.....	86
รูปที่ 6.6 ผลกระทบของปัจจัยร่วมที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไม้ซิป.....	87
รูปที่ 6.7 เปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไฟเบอร์ที่ความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง 3 ระดับ.....	89
รูปที่ 7.1 คู่มือการควบคุมกระบวนการอบแห้งเชื้อเพลิง.....	92
รูปที่ 7.2 คู่มือการควบคุมกระบวนการอบแห้งเชื้อเพลิง (ต่อ).....	93
รูปที่ 7.3 คู่มือการควบคุมกระบวนการอบแห้งเชื้อเพลิง (ต่อ).....	94

รูปที่ 7.4 คู่มือการควบคุมกระบวนการอบแห้งเชื้อเพลิง (ต่อ)..... 95

รูปที่ 7.5 ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไฟเบอร์หลังปรับปรุงกระบวนการผลิต..... 98

รูปที่ 7.6 เปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไฟเบอร์ก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ
ผลิต..... 99

รูปที่ 8.1 เปรียบเทียบต้นทุนต่อค่าความร้อนก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการผลิต..... 101



บทที่ 1

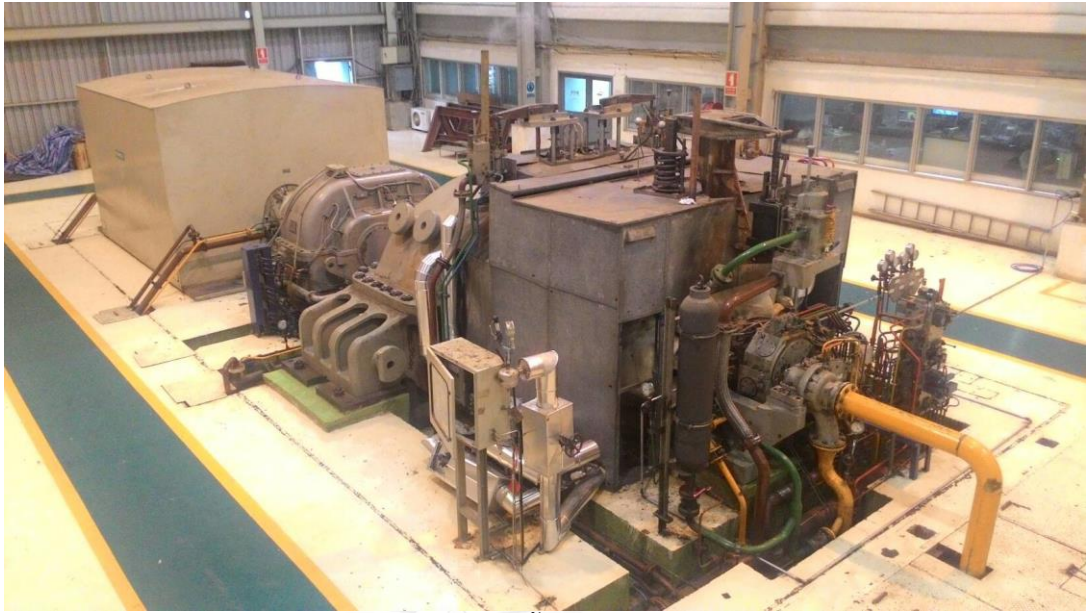
บทนำ

1.1 ข้อมูลทั่วไปและขั้นตอนการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา

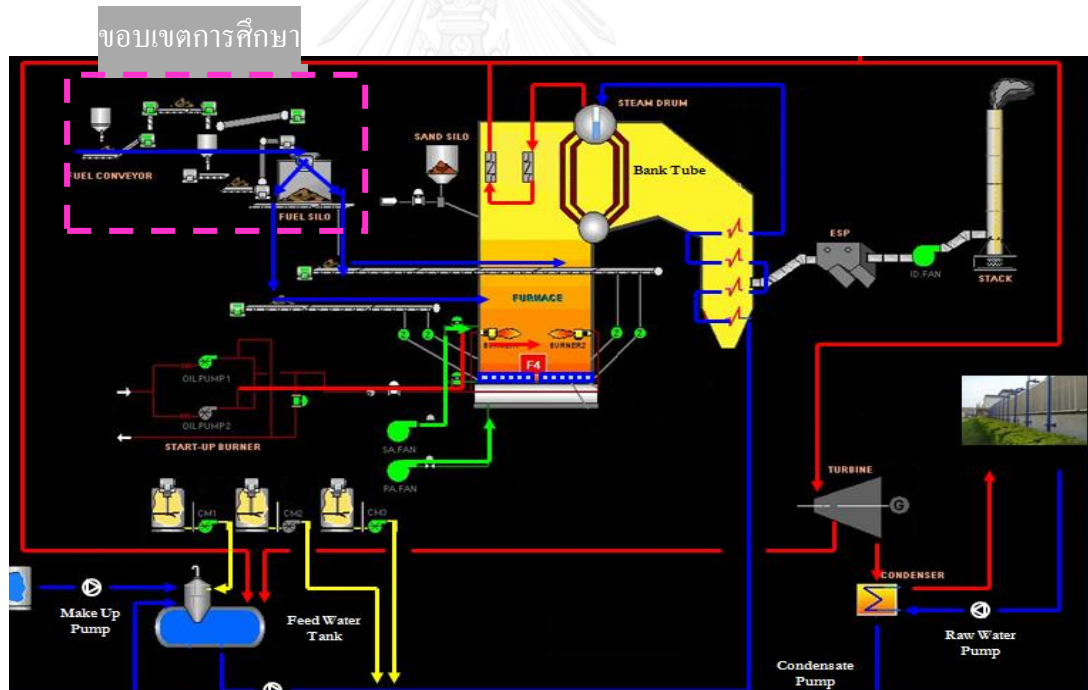
โรงงานกรณีศึกษาดำเนินธุรกิจผลิตกระแสไฟฟ้ามีกำลังการผลิตไฟฟ้า 37.15 เมกกะวัตต์ต่อชั่วโมง โดยใช้เชื้อเพลิงชีวมวลเป็นหลักในกระบวนการผลิตไฟฟ้า ซึ่งเชื้อเพลิงชีวมวล (Biomass) หมายถึง วัสดุหรือสารอินทรีย์ที่สามารถเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานได้ รวมถึงวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร มูลสัตว์ เศษไม้จากอุตสาหกรรมแปรรูปไม้ ได้แก่ แกลบ ไม้ซิป ชีบกบ ชี้อ้อย กะลา ปาล์ม กากปาล์ม ปาล์มรวม เปลือกไม้ เปลือกมะพร้าว ทะลายปาล์ม ชานอ้อย ชังข้าวโพด และเหง้ามันสำปะหลัง เป็นต้น ดังรูปที่ 1.1 ซึ่งจะต้องผสมเชื้อเพลิงให้ได้สัดส่วนเพื่อให้ได้ค่าความร้อนที่เหมาะสมในการผลิตไอน้ำและนำไปสู่การผลิตไฟฟ้า โดยใช้เชื้อเพลิงชีวมวลเฉลี่ย 1,500 ตันต่อวัน ซึ่งสิ่งที่ต้องควบคุม คือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่นำเข้า ต้นทุนเชื้อเพลิง ปริมาณเชื้อเพลิง และค่าความชื้นเชื้อเพลิง (ความชื้นเชื้อเพลิงผสมที่ป้อนเข้าต้องไม่เกิน 35%) หลังจากนั้นจะลำเลียงเข้าสู่หม้อต้มไอน้ำ (Boiler) ที่มีกำลังการผลิตไอน้ำ 180 ตันต่อชั่วโมง เป็นเครื่องจักรต้นกำลังที่ทำหน้าที่ผลิตไอน้ำจากนั้นจึงนำไอน้ำที่ได้ไปใช้งาน ซึ่งไอน้ำสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง เช่น ใช้ป้อนเข้ากังหันไอน้ำ (Steam Turbine) สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า และป้อนเข้าเครื่องจักรไอน้ำ (Steam Engine) เป็นต้น เครื่องจักรกังหันไอน้ำ (Turbine) ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์ไปเป็นพลังงานกล เพื่อให้หมุนแกน Rotor ที่ต่ออยู่กับแกนขดลวดเพื่อแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าอีกครั้ง และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยการหมุนขดลวด Rotor สร้างสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำให้เกิดพลังงานไฟฟ้าที่ขดลวด Stator ที่อยู่กับที่ ดังรูปที่ 1.2 ซึ่งไอน้ำที่ผ่านเข้าไปในกังหันไอน้ำจะมีความร้อนและแรงดันที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อีก โดยกระบวนการผลิตไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.1 เชื้อเพลิงชีวมวล



รูปที่ 1.2 เครื่องจักรกังหันไอน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



รูปที่ 1.3 กระบวนการผลิตไฟฟ้า

ปัจจุบันเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีความชื้นน้อย เช่น แกลบ ซึ่งเคยเป็นเชื้อเพลิงหลักให้กับโรงงานกรณีศึกษามีราคาเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยราคาเชื้อเพลิงแกลบเมื่อ 10 ปีที่ผ่านมา มีราคา 800 บาทต่อตัน ปัจจุบันราคาเชื้อเพลิงแกลบอยู่ที่ 1,860 บาทต่อตัน (ณ วันที่ 1 กันยายน 2558) ส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตกระแสไฟฟ้าสูงขึ้นด้วย ทำให้โรงงานกรณีศึกษาจำเป็นต้องหาเชื้อเพลิงชนิดอื่นที่มี

ราคาต่ำกว่ามาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงแกลบ ได้แก่ เปลือกไม้ยูคาลิปตัส เปลือกมะพร้าว และทะลายปาล์ม แต่เชื้อเพลิงเหล่านี้มีค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นสูงไม่เหมาะในการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง ดังจะเห็นได้จากตารางการรับซื้อเชื้อเพลิงแต่ละชนิด ตารางที่ 1.1 ในการรับซื้อหากเชื้อเพลิงมีค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดจะรับซื้อในราคาที่ถูกลงกว่า

ตารางที่ 1.1 ราคาที่โรงงานรับซื้อตามเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิง

เชื้อเพลิง	ราคาซื้อ (บาท/ตัน) ณ วันที่ 1 กันยายน 2558	% Moisture
แกลบ	1,860	< 14%
เปลือกมะพร้าว	420	< 60%
เปลือกไม้	250	< 60%
ทะลายปาล์ม	450	< 50%
ชานอ้อย	560	< 60%
ซังข้าวโพด	700	< 50%
เหง้ำมันสำปะหลัง	600	< 50%
ไม้ซีก	1,180	< 45%
จี้เลื่อย	900	< 32%
จี้กบ	800	< 20%
กะลาปาล์ม	2,150	< 20%
กากปาล์ม	840	< 20%
ปาล์มรวม	2,150	< 20%

โรงงานกรณีศึกษาจึงเพิ่มกระบวนการอบแห้งเชื้อเพลิงก่อนนำไปใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า ดังรูปที่ 1.4 เพื่อช่วยทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเชื้อเพลิงลดลง โดยมีขั้นตอนการอบเชื้อเพลิงชีวมวล ดังรูปที่ 1.5 โดยเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้ในกระบวนการอบเชื้อเพลิงจะมาจาก 2 แหล่ง คือ จากภายนอกโรงงานโดยเป็นเชื้อเพลิงละเอียด ได้แก่ ไม้ซีก ชานอ้อย เศษไม้ และเหง้ำมันสำปะหลัง และจากภายในโรงงานที่ผ่านการย่อยเชื้อเพลิงจากเชื้อเพลิงหยาบให้เป็นเชื้อเพลิงละเอียดโดยเครื่องสับเชื้อเพลิง ได้แก่ ทะลายปาล์ม เปลือกมะพร้าว และเปลือกไม้ยูคาลิปตัส โดยทั้ง 2 แหล่งเชื้อเพลิงจะผ่านการตรวจรับคุณภาพ



รูปที่ 1.4 เครื่องอบแห้งเชื้อเพลิง

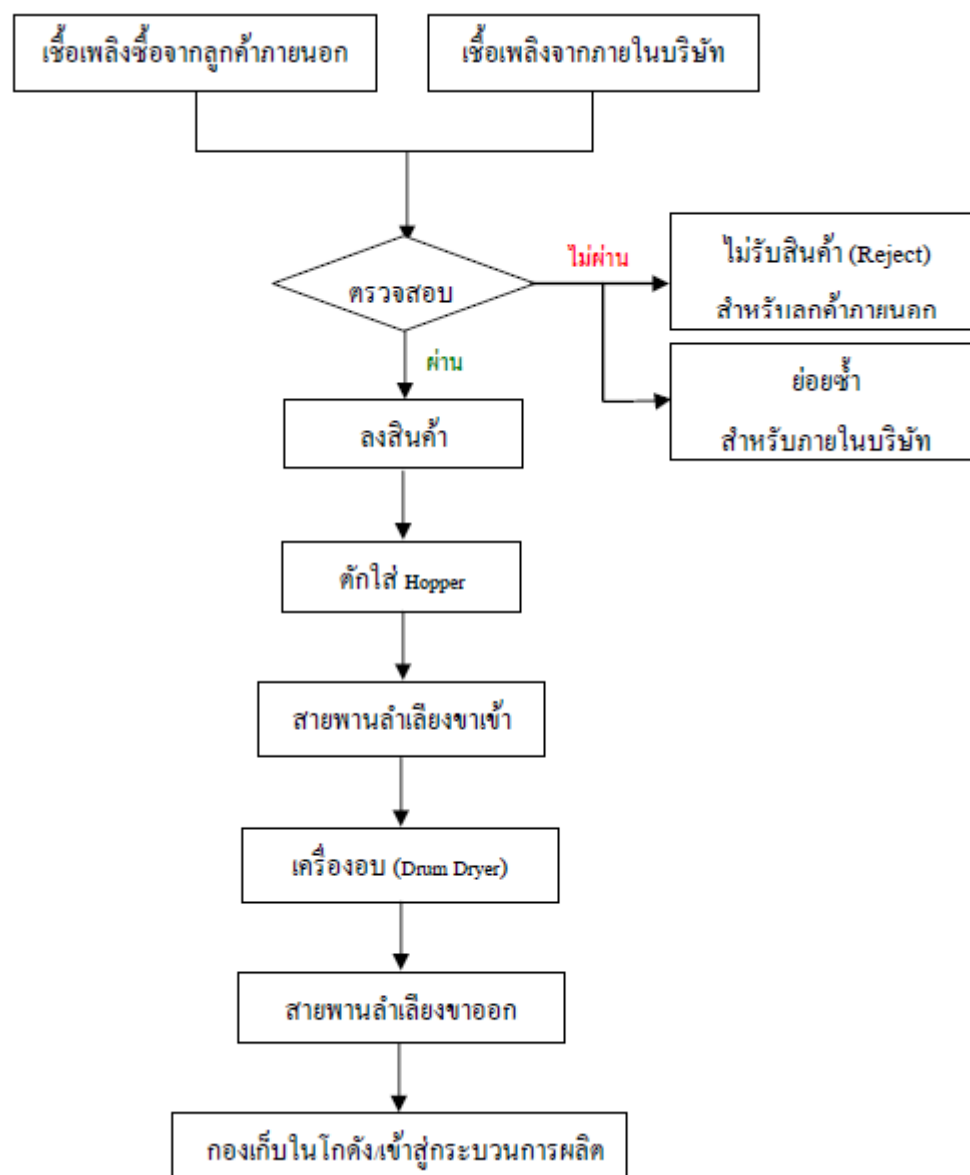
เชื้อเพลิงเพื่อให้ได้ขนาดตามมาตรฐาน ดังรูปที่ 1.6 จึงจะทำการรับสินค้าและลงสินค้า หลังจากนั้นจะใช้รถแบ็คโฮ (Backhoe) ตักเชื้อเพลิงใส่ฮอปเปอร์ (Hopper) โดยเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้าสายพานจะเป็นเชื้อเพลิงผสมระหว่างทะเลทรายปาล์ม เปลือกมะพร้าว และเปลือกไม้ยูคาลิปตัส โดยเรียกว่า ไฟเบอร์ (Fiber) และมีสกรูป้อนเชื้อเพลิงเข้าในสายพานลำเลียงเข้าเครื่องอบแห้งเชื้อเพลิงแบบหมุน (Drum dryer)

เครื่องอบแห้งแบบหมุนจะหมุนตามความเร็วรอบ ซึ่งสามารถปรับตั้งได้จนครบรอบ โดยมีพารามิเตอร์ที่สามารถปรับค่าได้ ดังตารางที่ 1.2 โดยเชื้อเพลิงจะไหลออกที่ด้านท้ายเครื่องอบไปที่สายพานลำเลียงขาออก กองเก็บไว้ในโกดังหรือเข้าสู่กระบวนการผลิต ส่วนไอน้ำ (Steam) หลังจากมีการคายความร้อนออกมาและอุณหภูมิลดลงจะเกิดการควบแน่นเป็นน้ำซึ่งจะเก็บที่ถังเก็บน้ำ (Condensate tank) โดยกระบวนการอบแห้งจะใช้พลังงานความร้อนจากไอน้ำ (Steam) เหลือใช้จากกระบวนการผลิตไฟฟ้า ซึ่งมีแผนผังกระบวนการอบแห้งเชื้อเพลิงแสดงดังรูปที่ 1.7 โดยใช้หลักการแลกเปลี่ยนความร้อน 2 แบบ ดังนี้







1. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเซลล์และท่อ
2. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบใช้อากาศ

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเซลล์และท่อนี้ ประกอบด้วยท่อจำนวน 108 อัน อยู่ในกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.4 เมตร ความยาว 30 เมตร มีกำลังการอบแห้ง 400 ตันต่อวัน (ตันขาเข้า) ซึ่งท่อนี้จะมีไอน้ำ (Steam) ที่มีอุณหภูมิประมาณ 140 องศาเซลเซียส แรงดัน 3.5 บาร์ ไหลผ่านเข้าไปในท่อเกิดการนำความร้อนทำให้ท่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น เมื่อมีเชื้อเพลิงไหลผ่านเข้ามา

สัมผัสนี้จะเกิดการถ่ายเทความร้อนทำให้ไอน้ำระเหยออกจากเชื้อเพลิงส่งผลให้ความชื้นเชื้อเพลิงลดลง
ดังรูปที่ 1.8



รูปที่ 1.5 ขั้นตอนการอบแห้งเชื้อเพลิง

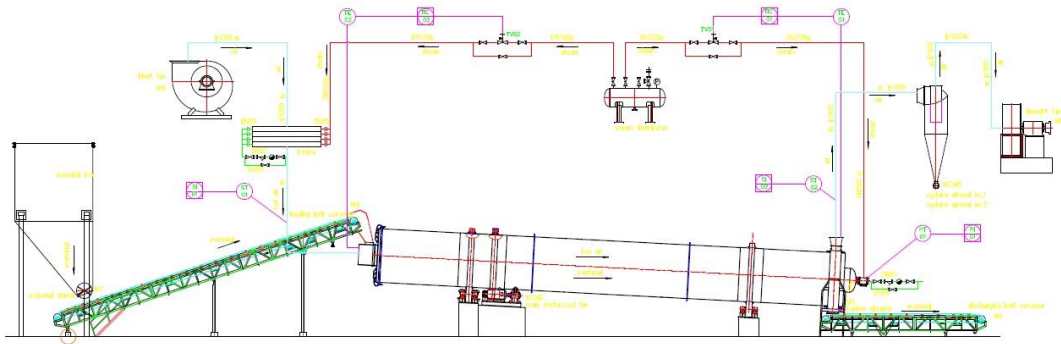
	ขี้เถ้าเพลิง	แห้งมันสำบ	ทะลายปาล์ม
ชนิดเชื้อเพลิง			
ขนาด			
ความยาว	ไม่เกิน 1 เซนติเมตร	ไม่เกิน 1 เซนติเมตร	ไม่เกิน 3 เซนติเมตร
ความกว้าง	ไม่เกิน 1 เซนติเมตร	ไม่เกิน 1 เซนติเมตร	ไม่เกิน 0.5 เซนติเมตร
ความหนา	ไม่เกิน 0.5 เซนติเมตร	ไม่เกิน 0.5 เซนติเมตร	ไม่เกิน 0.5 เซนติเมตร
	เปลือกไม้ยูคา	เปลือกมะพร้าว	ขาน้อย
ชนิดเชื้อเพลิง			
ขนาด			
ความยาว	ไม่เกิน 5 เซนติเมตร	ไม่เกิน 3 เซนติเมตร	ไม่เกิน 5 เซนติเมตร
ความกว้าง	ไม่เกิน 0.5 เซนติเมตร	ไม่เกิน 0.5 เซนติเมตร	ไม่เกิน 0.5 เซนติเมตร
ความหนา	ไม่เกิน 0.5 เซนติเมตร	ไม่เกิน 0.5 เซนติเมตร	ไม่เกิน 0.5 เซนติเมตร

รูปที่ 1.6 การตรวจรับคุณภาพเชื้อเพลิง

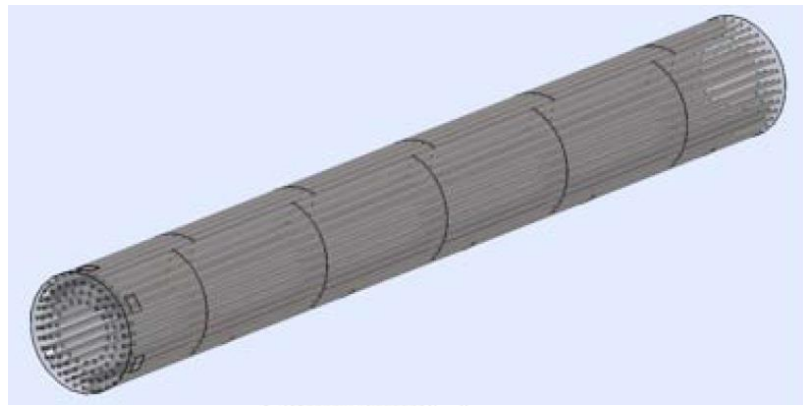
เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบใช้อากาศ เป็นอุปกรณ์สำหรับลดอุณหภูมิของของไหลด้วยอากาศ ประกอบด้วยกลุ่มท่อ (Tube bundle) ที่มีเกลียวครีป (Spiral wound fin) ติดอยู่บนท่อ โดยท่อนั้นจะมีไอน้ำที่มีอุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียสไหลผ่านทำให้ท่อที่มีอุณหภูมิสูง เมื่อพัดลมเป่าอากาศผ่านไปรอบท่อทำให้ลมกลายเป็นลมร้อน ซึ่งลมร้อนนี้จะถูกส่งเข้าไปในหัวกระบอกลเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับเชื้อเพลิงที่หมุนวนในกระบอกล หลังจากนั้นลมจะออกด้านท้ายกระบอกลผ่านไซโคลนดักฝุ่นและมีพัดลมดูดลมร้อนออกสู่ภายนอก ดังรูปที่ 1.9

ตารางที่ 1.2 พารามิเตอร์ที่ปรับค่าได้ของเครื่องอบแห้งเชื้อเพลิง

Parameter	Unit	Capacity
Feed fuel rate	Ton/hr	20
Drum dryer speed	r/min	5.61
Inlet air fan	m ³ /h	50,150
Outlet air fan	m ³ /h	50,150



รูปที่ 1.7 แผนผังกระบวนการอบแห้งเชื้อเพลิง



รูปที่ 1.8 ท่อภายในเครื่องอบแห้งเชื้อเพลิง



รูปที่ 1.9 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบใช้อากาศของเครื่องอบแห้งเชื้อเพลิง

1.2 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

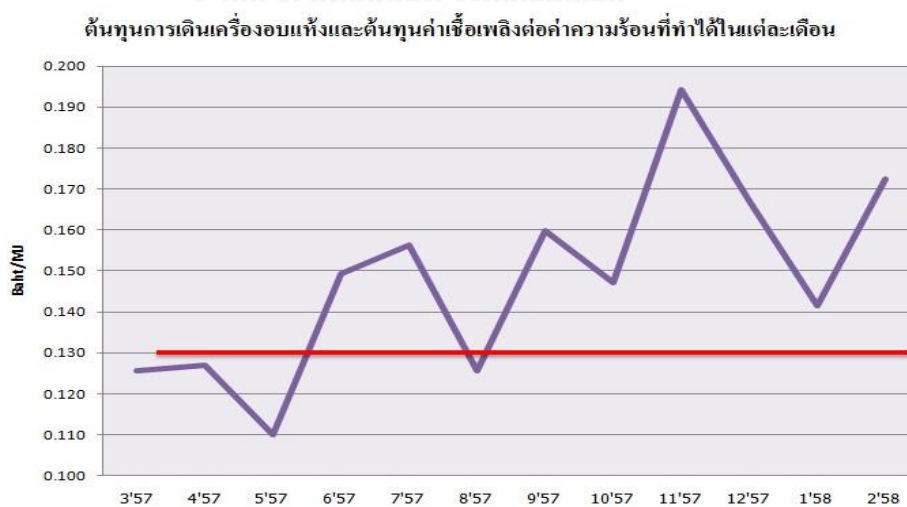
โรงงานกรณีศึกษาใช้เชื้อเพลิงชีวมวลหลากหลายชนิดแต่ละชนิดมีค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นและคุณสมบัติที่แตกต่างกัน เพื่อให้ค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงสูงขึ้น จึงจำเป็นต้องลดค่าความชื้นเชื้อเพลิงลงก่อนนำไปใช้ในกระบวนการผลิตโดยผ่านกระบวนการอบแห้งเชื้อเพลิง ซึ่งมีกำลังการผลิต 400 ตันต่อวันต่อเครื่อง(ตันขาเข้า)

เชื้อเพลิงก่อนอบค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงจะอยู่ในช่วง 40% -60% (มาตรฐานเปียก) ซึ่งแต่ละเปอร์เซ็นต์ความชื้นจะให้ค่าความร้อนที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 1.3 ซึ่งในปัจจุบันกระบวนการอบแห้งมีค่าใช้จ่ายในการอบแห้งเชื้อเพลิงทั้งค่าไฟฟ้า ค่าแรงพนักงานปฏิบัติงาน ค่ารถจักรกลหนัก ค่าซ่อมบำรุง และอื่นๆ ในแต่ละเดือน ดังตารางที่ 1.4 โดยต้นเงินการเดินเครื่องอบแห้งรวมกับต้นทุนค่าเชื้อเพลิงต่อค่าความร้อนเชื้อเพลิงที่ทำได้ในแต่ละเดือน ดังรูปที่ 1.10 พบว่าต้นทุนทั้งหมดต่อค่าความร้อนเชื้อเพลิงที่ทำได้หลังอบแห้งมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 0.15 บาทต่อเมกกะจูล ซึ่งสูงกว่าต้นทุนที่ยอมรับได้ของโรงงานกรณีศึกษา (0.13 บาทต่อเมกกะจูล) โดยเป็นต้นทุนค่าเชื้อเพลิง 0.11 บาทต่อเมกกะจูล เมื่อรวมกับค่าอบเชื้อเพลิงต้องไม่เกิน 0.13 บาทต่อเมกกะจูล เพื่อให้การผลิตไฟฟ้าและไอน้ำมีกำไรที่ยอมรับได้ โดยมีปริมาณการอบ 137,619 ตันต่อปี (เฉลี่ย 11,468 ตันต่อเดือน) ดังรูปที่ 1.11 ซึ่งมีสัดส่วนความชื้นเชื้อเพลิงที่ผ่านกระบวนการอบแห้งที่ได้คุณภาพ 33% (คิดจากต้นทุนทั้งหมดต่อค่าความร้อนที่ได้ที่น้อยกว่า 0.13 บาทต่อเมกกะจูล) และไม่ได้คุณภาพ 67% (คิดจากต้นทุนทั้งหมดต่อค่าความร้อนที่ได้ที่มากกว่า 0.13 บาทต่อเมกกะจูล) ดังรูปที่ 1.12 ซึ่งคิดเป็นมูลค่าการสูญเสีย เท่ากับ 1,212,727 บาทต่อปี

จึงต้องการปรับปรุงค่าความชื้นเชื้อเพลิงชีวมวลในกระบวนการอบแห้งเพื่อให้ต้นทุนในกระบวนการอบแห้งต่อค่าความร้อนทำได้หลังกระบวนการอบแห้งเพิ่มขึ้นถึงจุดที่ยอมรับได้ของโรงงานกรณีศึกษา

ตารางที่ 1.3 ค่าความร้อนในแต่ละเปอร์เซ็นต์ความชื้น

%Moisture	Heating Value (MJ/Ton)	%Moisture	Heating Value (MJ/Ton)
60	4,563	44	7,365
59	4,738	43	7,540
58	4,913	42	7,715
57	5,089	41	7,890
56	5,264	40	8,066
55	5,439	39	8,241
54	5,614	38	8,416
53	5,789	37	8,591
52	5,964	36	8,766
51	6,139	35	8,941
50	6,490	34	9,116
49	6,490	33	9,291
48	6,665	32	9,467
47	6,840	31	9,642
46	7,015	30	9,817
45	7,190	29	9,992

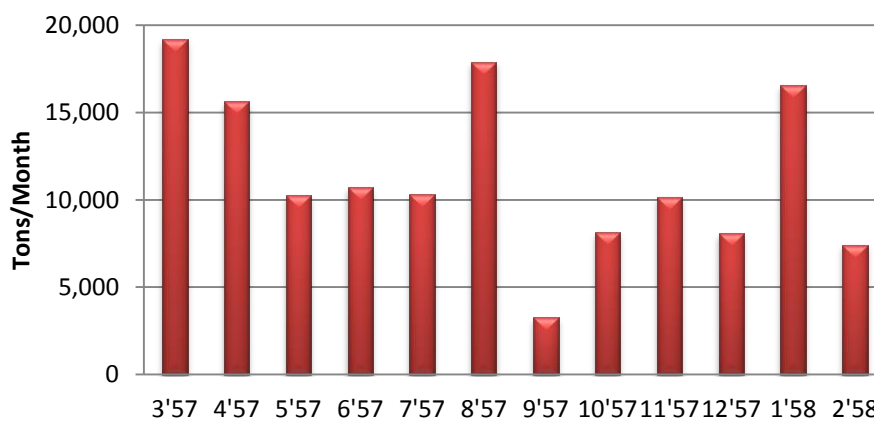


รูปที่ 1.10 ต้นทุนการเดินเครื่องอบแห้งและต้นทุนค่าเชื้อเพลิงต่อค่าความร้อนที่ทำได้ในแต่ละเดือน

ตารางที่ 1.4 ค่าใช้จ่ายในกระบวนการอบแห้งในแต่ละเดือน

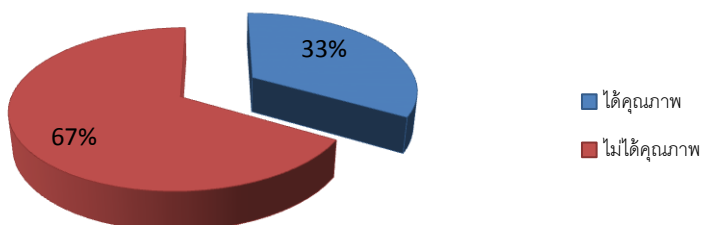
No.	%Moisture		Heating Value increased (MJ/Ton)	Quantity (Ton/Month)	Cost operating (Baht/Month)	Total cost/Heat value increased (Baht/MJ)
	input	output				
3'57	56	46	1,751	19,174	528,560	0.126
4'57	56	47	1,576	16,632	421,000	0.127
5'57	55	45	1,751	10,280	416,505	0.110
6'57	52	46	1,051	10,710	442,334	0.149
7'57	48	43	875	10,333	418,260	0.156
8'57	57	49	1,401	17,897	390,184	0.126
9'57	59	49	1,752	3,254	283,313	0.160
10'57	60	52	1,401	8,130	421,838	0.147
11'57	52	49	526	10,169	450,338	0.194
12'57	53	48	876	8,079	404,672	0.167
1'58	46	40	1,051	16,553	547,055	0.141
2'58	60	55	876	7,410	404,880	0.172

ปริมาณการอบเชื้อเพลิงในแต่ละเดือน



รูปที่ 1.11 ปริมาณการอบเชื้อเพลิงในแต่ละเดือน

สัดส่วนคุณภาพของความชื้นเชื้อเพลิงที่ผ่านเครื่องอบแห้ง



รูปที่ 1.12 สัดส่วนคุณภาพของความชื้นเชื้อเพลิงที่ผ่านเครื่องอบแห้ง

แสดงวิธีคำนวณมูลค่าการสูญเสีย

ข้อมูลของโรงงานกรณีศึกษา

1. ค่าใช้จ่ายในกระบวนการอบแห้งต่อเดือน (บาท/เดือน) (C_{ai})
2. ค่าเชื้อเพลิงชีวมวล (บาท/ตัน) (C_{fi})
3. ค่าความร้อนที่เพิ่มขึ้นหลังผ่านกระบวนการอบแห้ง (MJ/ตัน) (ΔH_{ai})
4. ค่าความร้อนเชื้อเพลิงตั้งต้นก่อนเข้ากระบวนการอบแห้ง (MJ/ตัน) (H_{fi})
5. ปริมาณเชื้อเพลิงเข้าเครื่องอบแห้ง (ตัน/เดือน) (V_i)
6. ต้นทุนการเดินเครื่องอบและต้นทุนค่าเชื้อเพลิงต่อค่าความร้อนในแต่ละเดือน ($MinCost_i$)

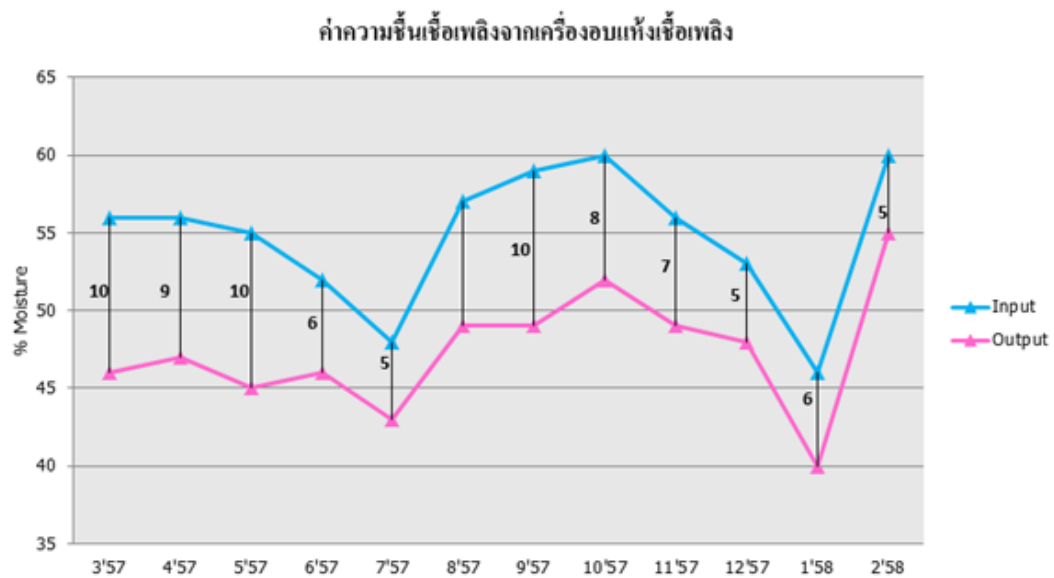
$$MinCost_i = \frac{C_{ai}}{\Delta H_{ai} \times V_i} + \frac{C_{fi}}{H_{fi}}$$

$$\text{มูลค่าการสูญเสีย} = \sum_{i=0}^{12} \left[\left(\left(\frac{C_{ai}}{\Delta H_{ai} \times V_i} \right) + \frac{C_{fi}}{H_{fi}} \right) - MinCost_i \right] (\Delta H_{di} \times V_i)$$

$$\text{มูลค่าการสูญเสีย} = 1,212,727 \text{ บาทต่อปี}$$

ในกระบวนการอบแห้ง เชื้อเพลิงที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งจะเป็นเชื้อเพลิงที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นสูง ได้แก่ ชานอ้อย ไฟเบอร์ผสม(ทะเลายปาล์ม เศษไม้ ไม้ซิปเปลือกมะพร้าว เปลือกไม้ยูคา)

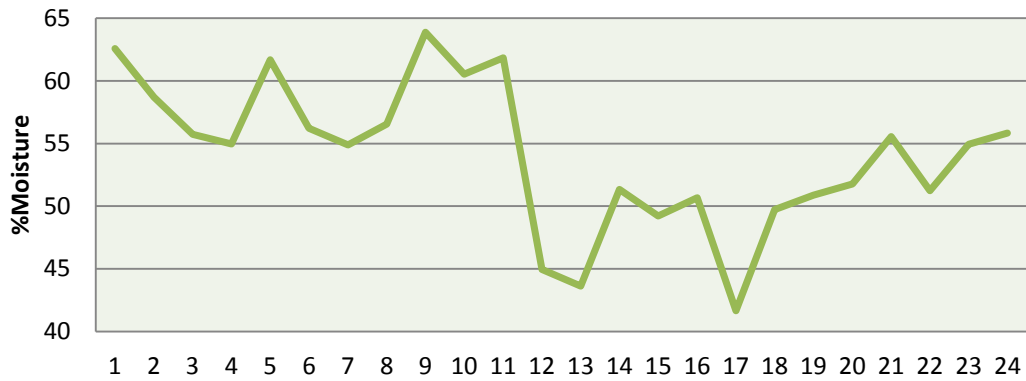
และไม่ซีฟ โดยมีการควบคุมขนาดของเชื้อเพลิง ดังรูปที่ 1.7 ปัจจุบันกระบวนการอบแห้งเชื้อเพลิงไม่มีมาตรฐานในการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ใช้การควบคุมการเดินเครื่องที่ค่าเดิมตลอดและไม่มีขั้นตอนการทำงานมาตรฐาน โดยปัญหาที่พบ คือ ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นหลังผ่านกระบวนการอบแห้งเชื้อเพลิงมีค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นลดลงไม่ได้ตามเป้าหมายเมื่อเทียบกับค่าความร้อนที่ทำได้ จากข้อมูลการอบเชื้อเพลิงย้อนหลังระหว่างเดือนมีนาคม 2557 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2558 แต่ละ ดังรูปที่ 1.17



รูปที่ 1.13 ค่าความชื้นเชื้อเพลิงจากกระบวนการอบแห้ง

โดยจากรูปที่ 1.13 ค่าความชื้นก่อนเข้ากระบวนการอบแห้งมีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความชื้นในแต่ละเดือนที่แตกต่างกัน จึงได้ทำการเก็บตัวอย่างเชื้อเพลิงที่สตรอกหรือเข้าสู่กระบวนการอบแห้งนำไปทดสอบค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นอีกครั้ง โดยได้ผลตามรูปที่ 1.14 ซึ่งมีช่วงเปอร์เซ็นต์ความชื้น 40-65% ไม่แตกต่างจากเดิม

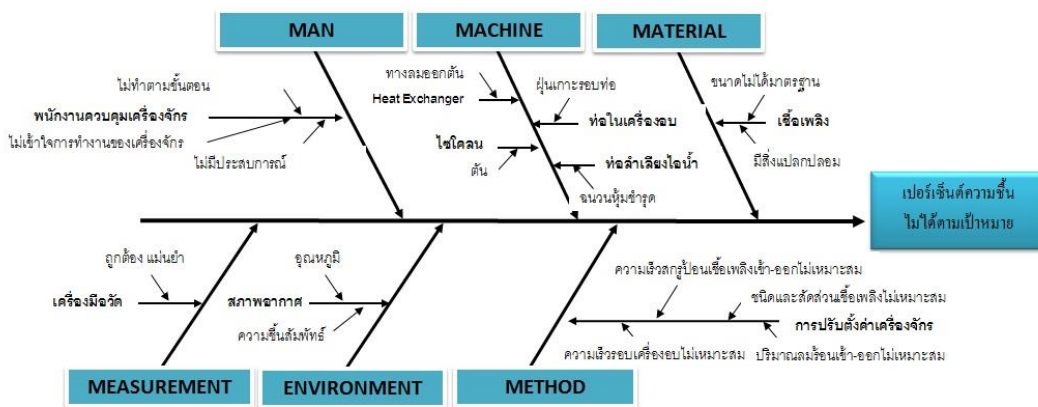
เปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงผสมก่อนเข้ากระบวนการอบแห้ง



รูปที่ 1.14 เปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงผสมก่อนเข้ากระบวนการอบแห้ง

การค้นหาคำปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้จะศึกษากระบวนการอบเชื้อเพลิงชีวมวลจะพิจารณาถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อการลดลงของเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงโดยใช้ผังแสดงเหตุและผล เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า แผนภูมิก้างปลา (Fish Bone Diagram) จากผู้เชี่ยวชาญและผู้มีประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องของโรงงานกรณีศึกษาโดยอ้างอิงตามหลักการทางวิศวกรรม ข้อมูลจากการทดลองในอดีตที่ผ่านมา เพื่อระบุปัจจัยที่เป็นไปได้ที่มีผลกระทบต่ออัตราการลดลงของเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ไม่เป็นไปตามเป้าหมาย



รูปที่ 1.15 แผนภาพสาเหตุและผลของปัญหาขนาดชื้นไม้สับไม่ได้ขนาดตามมาตรฐาน

จากแผนภาพสาเหตุและผลของปัญหา วิเคราะห์โดยใช้หลักการ 5M1E ได้แก่ ปัจจัยจากพนักงาน (Man) ปัจจัยนำเข้าในกระบวนการผลิต (Material) เครื่องจักร (Machine) กระบวนการทำงาน (Method) การวัด (Measurement) และสภาพแวดล้อม (Environment) จากการวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆพบว่า

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องมีทั้งหมด 9 ปัจจัยได้แก่ ชนิดเชื้อเพลิง ขนาดเชื้อเพลิง ท่อลำเลียงไอน้ำ ท่อในเครื่องอบ ไซโคลน Heat exchanger พนักงานควบคุมเครื่องจักร เครื่องมือวัด และการปรับตั้งค่าเครื่องจักร ดังรูปที่ 1.15 ซึ่งแบ่งเป็น

1. ปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ 5 ปัจจัย ได้แก่ ท่อลำเลียงไอน้ำ ท่อในเครื่องอบ ไซโคลน Heat exchanger และเครื่องมือวัด

2. ปัจจัยที่สามารถปรับตั้งพารามิเตอร์ได้ ได้แก่ การปรับตั้งค่าเครื่องจักร (ความเร็วรอบเครื่องอบ ปริมาณการป้อนเชื้อเพลิงเข้า-ออกและปริมาณลมร้อนเข้า-ออก)

สาเหตุที่เป็นปัจจัยสำคัญ คือ การปรับตั้งค่าเครื่องจักรไม่เหมาะสมกับขนาดของเชื้อเพลิงในแต่ละช่วงของค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงก่อนป้อนสู่กระบวนการอบแห้งและจากทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเครื่องอบทำให้สามารถวิเคราะห์ได้ว่าปัจจัยที่น่าจะเกี่ยวข้องกับการลดลงของเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงได้แก่

1. ขนาดของเชื้อเพลิง
2. ความเร็วรอบเครื่องอบ
3. ปริมาณการป้อนเชื้อเพลิงเข้า
4. ปริมาณลมร้อนเข้า
5. ปริมาณลมร้อนออก

โดยในการบวนการปรับตั้งเครื่องจักรจะมีเครื่องมือในการวัดอุณหภูมิเชื้อเพลิงก่อนอบและหลังอบได้ตลอดเวลาที่พื้นที่ปฏิบัติงาน

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ปรับปรุงค่าความชื้นเชื้อเพลิงชีวมวลในกระบวนการอบแห้งของโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าและไอน้ำให้ได้ตามเป้าหมาย

1.4 ขอบเขตการดำเนินงานวิจัย

- 1.งานวิจัยนี้ศึกษาที่เครื่องอบแห้งเชื้อเพลิงโดยใช้การแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเซลล์และท่อ และการแลกเปลี่ยนความร้อนแบบใช้อากาศของโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าและไอน้ำ
- 2.ไม่พิจารณาในกรณีเครื่องจักรเสียหรือเหตุฉุกเฉินอื่นๆ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.ทราบถึงปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อค่าความชื้นเชื้อเพลิงที่ผ่านเครื่องอบ
- 2.เชื้อเพลิงที่ผ่านเครื่องอบมีคุณภาพตามเป้าหมาย
- 3.มีคู่มือในการควบคุมการทำงานของเครื่องอบเชื้อเพลิง
- 4.ลดความสูญเสียต้นทุนค่าเชื้อเพลิงเทียบกับค่าพลังงานความร้อนที่ได้

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

- 1.การศึกษาสภาพการผลิตและปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน โดยการสำรวจและการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องอบเชื้อเพลิง และข้อมูลการเดินเครื่องจักรย้อนหลัง
- 2.การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 3.การนิยามปัญหาที่เกิดขึ้น (Define Phase) โดยระบุปัญหาที่จะทำการแก้ไขที่ส่งผลกระทบต่อโรงงานเพื่อนำไปวิเคราะห์และดำเนินการแก้ไขเพื่อลดความสูญเสียที่เกิดขึ้น
- 4.การวัดสภาพของปัญหา (Measure Phase) เพื่อให้เข้าใจสภาพของระบบที่มีหรือที่ใช้ในปัจจุบัน เป็นการกำหนดแนวทางในการวัดประสิทธิภาพของกระบวนการและหาทางปรับปรุง
- 5.การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase) จะทำการวิเคราะห์ผ่านกรรมวิธีทางสถิติเพื่อหาสาเหตุและเพื่อดูปัจจัยต่างๆที่มีผลกระทบต่อกระบวนการอย่างมีนัยสำคัญ
- 6.การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase) เป็นการพัฒนาปรับปรุงสมรรถนะและประสิทธิภาพของกระบวนการ และปัจจัยสำหรับการดำเนินการควบคุมรวมทั้งการสร้างระเบียบและวิธีการในการจัดการเพื่อลดปัญหา
- 7.การควบคุมตัวแปรต่างๆ (Control Phase) เพื่อควบคุมปัจจัยต่างๆให้อยู่ภายใต้ขอบเขตการควบคุม และป้องกันข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น และประเมินผลการดำเนินงาน
- 8.เปรียบเทียบมูลค่าสูญเสียทางเศรษฐศาสตร์ก่อนและหลังปรับปรุง
- 9.สรุปผลการทดลองที่ได้และข้อเสนอแนะ
- 10.จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการปรับปรุงค่าความชื้นเชื้อเพลิงชีวมวลในกระบวนการอบแห้งโดยนำวิธีซิกม่า ซิกม่า (Six Sigma) มาประยุกต์ใช้เนื่องจากเป็นแนวทางการประกันคุณภาพที่สามารถช่วยลดความสูญเสีย สามารถปรับปรุงผลิตภาพและการผลิตสินค้าที่มีคุณภาพที่สามารถตอบสนองให้ธุรกิจสามารถแข่งขันได้ อีกทั้งยังมีแนวคิด และทฤษฎีที่เกี่ยวกับการปรับปรุงค่าความชื้นที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเครื่องอบแห้ง

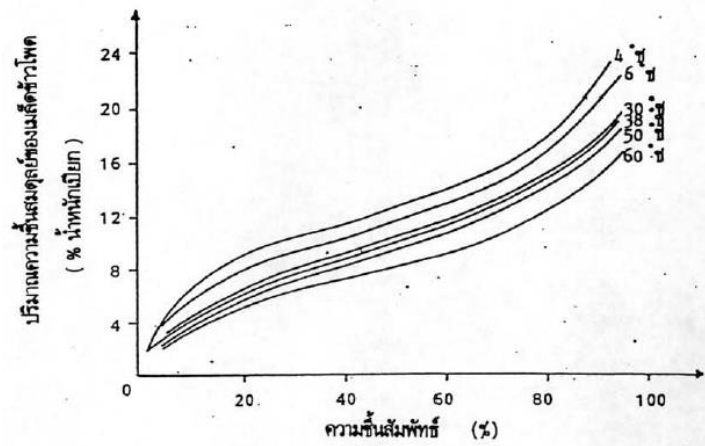
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเครื่องอบแห้ง ซึ่ง (มรรคไพบุลย์, 2537) ได้ศึกษาไว้ดังนี้

1. ความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture content)

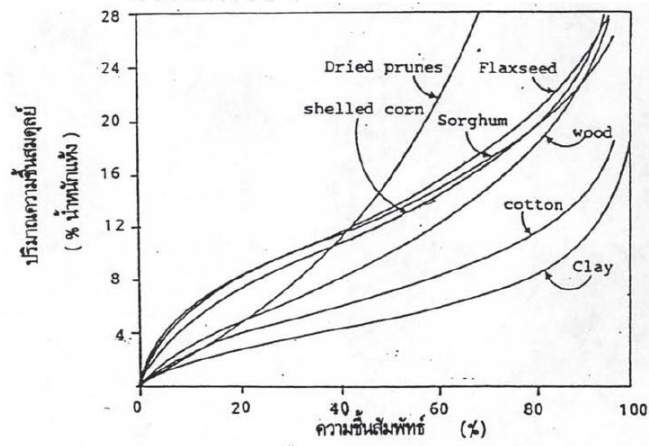
โดยทั่วไปการแบ่งประเภทของวัสดุตามคุณสมบัติของการอบแห้งได้ 2 ประเภท คือ ประเภทที่ 1 วัสดุที่ผ่านการอบแห้งสามารถอบแห้งจนกระทั่งไม่มีความชื้นหลงเหลืออยู่ในวัสดุเลย (Non-hygroscopic) เช่น ทราบาย ส่วนประเภทที่ 2 วัสดุสามารถแลกเปลี่ยนความชื้นกับสภาวะแวดล้อมได้ ทำให้ไม่สามารถอบแห้งจนมีความชื้นเป็นศูนย์ได้ (Hygroscopic) เช่น พวกเมล็ดธัญพืชต่างๆ แต่วัสดุเหล่านี้จะมีค่าความชื้นสมดุลซึ่งเกิดขึ้นเมื่อความชื้นภายในวัสดุมีความดันเท่ากับความดันไอของอากาศที่อยู่รอบๆ ค่านี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ อุณหภูมิ และความชื้น เป็นต้น

เมล็ดพืชและวัสดุอาหารส่วนใหญ่จะมีค่าความชื้นสมดุลไอโซเทอม (Equilibrium moisture isotherm) ดังรูปที่ 2.1 และ 2.2 จะพบว่าที่ความชื้นสัมพัทธ์เดียวกัน ค่าความชื้นสมดุลในเมล็ดข้าวโพดลดลง เมื่ออุณหภูมิของอากาศเพิ่มขึ้น

การเข้าสู่ความสมดุลเป็นไปได้ 2 ทาง คือ วัสดุจะคายความชื้นให้แก่อากาศที่อยู่รอบๆจนเข้าสู่ความชื้นสมดุล เรียกว่า การคายความชื้น หรือวัสดุดูดความชื้นจากอากาศจนเข้าสู่ความชื้นสมดุล เรียกว่า การดูดความชื้น ในวัสดุชนิดเดียวกันที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์คงที่ที่ค่าหนึ่ง จะมีการเข้าสู่สมดุล 2 ทาง ไม่เท่ากัน ทำให้เกิดความแตกต่างของค่าความชื้นสมดุลที่เรียกว่า Hysteresis ดังรูปที่ 2.3 และปกติแล้วค่าความชื้นสมดุลจะเกิดการคายความชื้น และค่านี้จะมีความสูงกว่การดูดความชื้นเสมอ

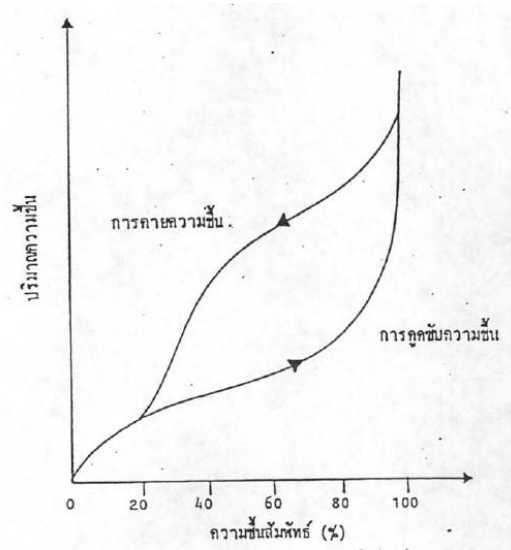


รูปที่ 2.1 ปริมาณความชื้นสมดุลของเมล็ดข้าวโพดที่อุณหภูมิต่างๆกัน



รูปที่ 2.2 เส้นความชื้นสมดุลของวัสดุต่างๆ ที่อุณหภูมิ 25 °C

CHULALONGKORN UNIVERSITY

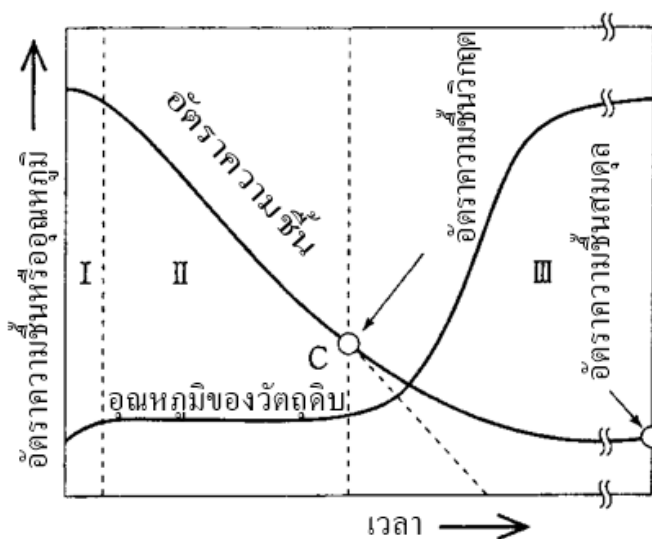


รูปที่ 2.3 การเข้าสู่สมดุลสำหรับเมล็ดพืช

การอบแห้งแบ่งออกได้ 3 ช่วงใหญ่ๆ ดังนี้

1. ช่วงการให้ความร้อนเบื้องต้นแก่วัสดุ
2. ช่วงการอบแห้งที่ความเร็วคงที่
3. ช่วงการอบแห้งที่ความเร็วลดลง

ที่ผิวของวัสดุเปียกชื้น ความชื้นที่ผิวจะอยู่ในรูปของน้ำ ถ้าเอาวัสดุนี้มาอบแห้งภายใต้เงื่อนไขที่คงที่ อุณหภูมิของวัสดุจะมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียก (T_w) ของกระแสลมร้อน ช่วงเวลาที่วัสดุใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิจนถึงค่านี้ คือ ช่วง 1 ในรูปที่ 2.4 โดยในช่วงเวลา 2 ที่ถัดไป อุณหภูมิของวัสดุจะมีค่าคงที่ประมาณ อุณหภูมิกระเปาะเปียก (T_w) ตรวจดูไต่ที่ยังมีความชื้นเหลืออยู่ในรูปน้ำที่ผิววัสดุ ความร้อนทั้งหมดที่วัสดุได้รับในช่วงนี้จะถูกใช้ในการระเหยความชื้นเท่านั้น ดังเห็นได้จากรูป อัตราส่วนความชื้นเฉลี่ย w ของวัสดุจะลดลงเป็นสัดส่วนกับเวลาในช่วง 2 นี้ ดังนั้น ความเร็วของการระเหยจะมีค่าคงที่ (Constant drying rate) ในช่วง 3 โดยทั่วไปพวกธัญพืช (Agricultural product) จะมีแต่ช่วงนี้เท่านั้น เนื่องจากความชื้นที่บริเวณผิวหน้าจะระเหยไปเกือบหมดแล้ว ตั้งแต่ยังเป็นฝักแก่มาก่อนเก็บเกี่ยวจากต้น เช่น ข้าวโพด ช่วงนี้เริ่มที่จุดปริมาณความชื้นวิกฤติ (Critical moisture content) ความชื้นในรูปของน้ำที่ผิวของวัสดุจะระเหยหมดไปเพราะการถ่ายเทความชื้นในรูปของน้ำจากส่วนในของวัสดุเกิดขึ้นไม่ทันกับการระเหยของน้ำจากผิวของวัสดุ ดังนั้น ผิวของวัสดุจะอยู่ในสภาพที่แห้ง และอุณหภูมิของวัสดุจะเริ่มสูงขึ้น สรุปแล้วความเร็วของการอบแห้งจะค่อยๆ ลดลง เพราะปริมาณความร้อนที่วัสดุจะได้รับนอกจากจะลดลงแล้ว ความร้อนนี้ยังต้องใช้ในการระเหยความชื้นและเพิ่มอุณหภูมิของวัสดุด้วย การอบแห้งจะสิ้นสุดลงเมื่ออัตราส่วนความชื้นลดลงถึงค่าอัตราส่วนความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture content) ค่าของอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยที่จุดต่อระหว่างช่วง 2 และ 3 เรียกว่า อัตราส่วนความชื้นวิกฤติ (Critical moisture content)



รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงของอัตราความชื้นกับอุณหภูมิของวัสดุ

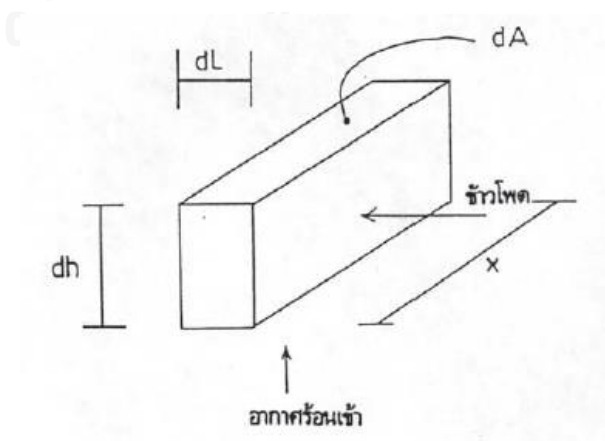
2. แบบจำลองคณิตศาสตร์ในการอบแห้งเมล็ดพืช

ในการสร้างแบบจำลองสามารถทำได้โดยการทำสมดุลย์ความร้อนและมวลสาร บนปริมาตร บังคับ ณ ตำแหน่งใดๆ ในชั้นการอบแห้ง โดยมีข้อสมมุติฐาน ดังนี้

1. ไม่คิดว่าปริมาตรของเมล็ดมีค่าลดลงในขณะที่ทำการอบแห้ง
2. ไม่มีการนำความร้อนระหว่างเมล็ดพืช
3. ไม่มี เกรเดียนต์ของอุณหภูมิในแต่ละเมล็ด
4. ไม่มีการถ่ายเทความร้อนระหว่างเครื่องอบแห้งกับสิ่งแวดล้อม
5. คุณสมบัติทางความร้อนของเมล็ดพืชและของความร้อนมีค่าคงที่ในช่วงเวลาที่กำลังพิจารณา
6. ไม่เกิดการกลั่นตัวของไอน้ำในอากาศ
7. อนุภาคมีการผสมในทิศทางตามความสูงของเบตอย่างสมบูรณ์และการไหลเป็นแบบ ลูกสูบ โดยการไหลของอากาศร้อนที่ผ่านเบตและที่ว่างระหว่างชั้นนั้นเป็นการไหลแบบ ลูกสูบ
8. ค่า $\frac{\partial T}{\partial t}$ และ $\frac{\partial H}{\partial t}$ มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับค่า $\frac{\partial T}{\partial x}$ และ $\frac{\partial H}{\partial x}$

2.1 การอนุพันธ์สมการที่ใช้เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

พิจารณา รูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ปริมาตรบังคับใดๆ

ตารางที่ 2.1 กำหนดตัวแปรของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

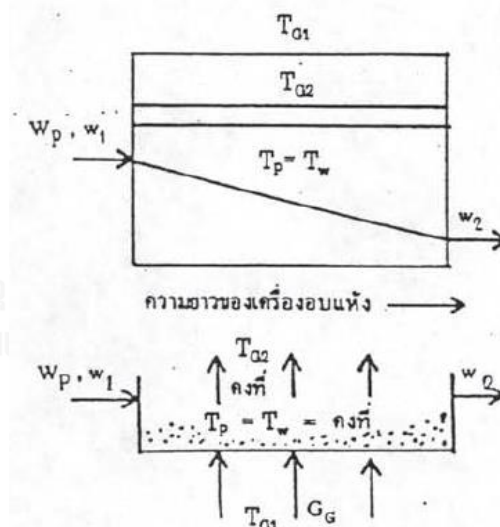
	หน่วย	เมล็ดข้าวโพด	อากาศร้อน
อัตราการไหลเชิงมวล	kg/s	G_p	G_G
ความเร็ว	m/s	U_p	U_G
อุณหภูมิ	$^{\circ}\text{C}$	T_p	T_G
ปริมาณความชื้น	kg/m^3	w	H_G
พื้นที่ผิวจำเพาะ	m^2	S_p	

โดย x เป็นความกว้างขาข้าวของเครื่องอบแห้ง

จากเส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้งนั้น เราอาจกำหนดได้ว่าการอบแห้งสามารถแบ่งออกได้ 2 ช่วงใหญ่ๆ ดังนี้

2.1.1 ช่วงการอบแห้งที่ความเร็วคงที่ หรือ ช่วงการระเหยจากผิววัสดุ

โดยกำหนดให้เป็นช่วงที่มีเพียงการลดความชื้นของวัสดุเพียงอย่างเดียว ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ช่วงการระเหยที่ผิววัสดุ

โดยอุณหภูมิของอากาศขาออก (T_{G2}) จะมีค่าคงที่ในขณะที่อัตราส่วนความชื้นของวัสดุลดลงแบบเส้นตรง ตามความยาวของการอบแห้งในช่วงนี้ ซึ่งอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศร้อน คือ

$$G_G = U_G \cdot \rho_G / (1 + H)$$

จะได้อัตราการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนของอากาศร้อน คือ

$$\frac{(\rho_G \cdot U_G \cdot C_G + \rho_G \cdot U_G \cdot C_W \cdot H) \cdot \partial T_G \cdot dA_C \cdot dh}{\partial h}$$

และจากอัตราการป้อนวัสดุ W_p (kg/hr) ที่กำหนดให้เราต้องการทราบพื้นที่ที่ต้องการใช้ในการลดความชื้นของวัสดุจาก w_1 เป็น w_2

โดย พื้นที่ $dA_C = x \cdot dL_C$

x คือ ความกว้างของเครื่องอบแห้ง, เมตร

dL_C คือ ระยะตามความยาวของเครื่องอบแห้ง, เมตร

จะได้อัตราการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนของวัสดุในช่วงการระเหยที่ผิววัสดุนี้ คือ

$$\frac{hfg \cdot W_p \cdot (\partial w) \cdot dL_C}{\partial L_C}$$

แต่จากสมดุลย์เชิงความร้อนของปริมาตรบังคับใดๆ ดังรูปที่ 2.5 จะได้ว่า

$$dQ = h_p \cdot S_p \cdot \Delta T \cdot dA_C \cdot dh$$

$$\Delta T = T_G - T_p$$

โดยที่ $T_p = T_w =$ อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศร้อน

ซึ่งในที่นี้ $\Delta T_G = T_{G1} - T_{G2}$

เมื่อนำสมการมาเทียบเท่ากับอีกสมการ และแทนค่าในสมการที่ต้องการ จะได้สมการ ดังนี้

$$\begin{aligned} hfg \cdot W_p (w_2 - w_1) \\ = (\rho_G \cdot U_G \cdot C_G + \rho_G \cdot U_G \cdot C_W \cdot H) \cdot (T_{G1} - T_w) \cdot (e^{-M} - 1) \cdot x \cdot \Delta L_C \end{aligned}$$

2.1.2 ช่วงการอบแห้งที่ความเร็วลดลง หรือ ช่วงการเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ วัสดุ

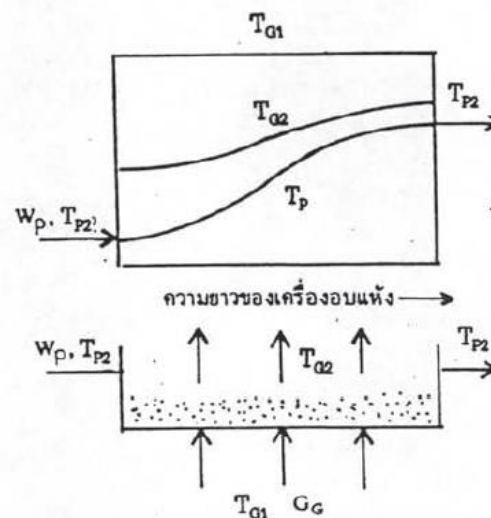
กำหนดเป็นช่วงที่มีเพียงการเพิ่มอุณหภูมิของวัสดุเพียงอย่างเดียว ดังรูปที่ 2.7 โดยจะเห็นว่า อุณหภูมิขาออกของอากาศร้อน และอุณหภูมิของวัสดุจะแปรผันตามทิศทางการไหลของวัสดุ ซึ่งจะได้ว่า การเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนของอากาศคือ

$$\frac{(\rho_G \cdot U_G \cdot C_G + \rho_G \cdot U_G \cdot C_W \cdot H) \partial T_G \cdot dA_D \cdot dh}{\partial h}$$

เมื่อนำสมการมาเทียบเท่ากับอีกสมการ และแทนค่าในสมการที่ต้องการ จะได้สมการ ดังนี้

$$W_p \cdot C_{PM} \ln\left(\frac{T_{G1} - T_{P1}}{T_{G1} - T_{P2}}\right) = (\rho_G \cdot U_G \cdot C_G + \rho_G \cdot U_G \cdot C_W \cdot H) \cdot (1 - e^{-M}) \cdot \Delta L_D$$

ค่า C_{PM} คือ ค่าความร้อนจำเพาะของวัสดุที่มีความชื้น



รูปที่ 2.7 ช่วงการเพิ่มอุณหภูมิของวัสดุ

3. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการอบแห้ง

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการอบแห้งของเครื่องอบแห้งชนิดฮีตปั๊มร่วมกับท่อแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่ง (กาญจนากรพันธุ์, 2545) ได้สรุปไว้ดังนี้

3.1 อัตราการอบแห้ง (Drying Rate)

การหาอัตราการอบแห้งของเครื่องอบแห้ง เป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่ง que แสดงถึงค่าประสิทธิภาพในการอบแห้งลดความชื้นของผลไม้ ซึ่งสามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\text{อัตราการอบแห้ง} = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่ระเหยจากผลไม้}}{\text{เวลาในการอบแห้ง}} \quad (\text{kg water evaporated/hr})$$

3.2 อัตราการไหลจำเพาะของอากาศ (Specific Air Flow Rate)

$$\text{อัตราการไหลจำเพาะของอากาศ} = \frac{\text{อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ} \times 3600}{\text{มวลเชื้อเพลิงแห้ง}} \\ (\text{kg dry air / hr-kg dry fruits})$$

3.3 ความสิ้นเปลืองพลังงาน

สำหรับการวิเคราะห์ความสิ้นเปลืองพลังงาน สามารถเสนอได้ 2 รูปแบบ คือ

3.3.1 ความสิ้นเปลืองพลังงาน (Energy Consumption) จะแสดงในรูปของพลังงานไฟฟ้าทั้งสิ้น ซึ่งการแสดงค่าแบบนี้เป็นที่นิยมใช้กันในการออกแบบห้อง สามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\text{ความสิ้นเปลืองพลังงาน} = \frac{\text{ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้}}{\text{ปริมาณน้ำที่ระเหยจากผลไม้}} \\ (\text{MJ/kg water evaporated})$$

3.3.2 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Moisture Extraction Rate , SMER) เป็นการแสดงปริมาณความสิ้นเปลืองพลังงาน ที่นิยมแสดงใช้ในด้านระบบฮีตปั๊ม มีรูปแบบของสมการแสดงความสัมพันธ์ดังนี้

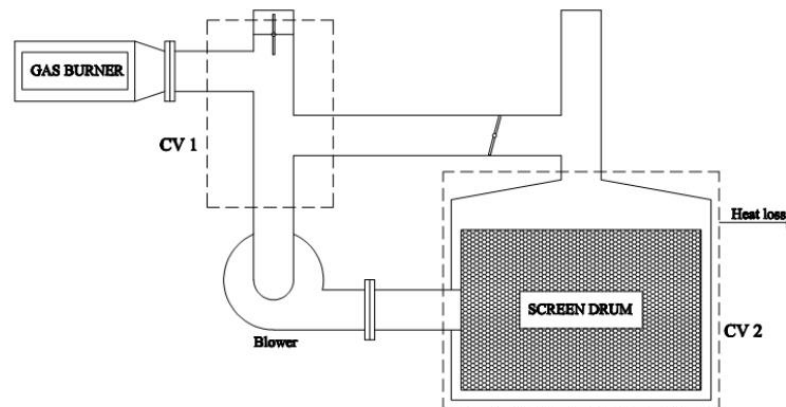
$$\text{ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ} = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่ระเหยจากผลไม้}}{\text{ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้}} \\ (\text{kg water evaporated/kW-hr})$$

4. สมดุลพลังงานและสมดุลมวล

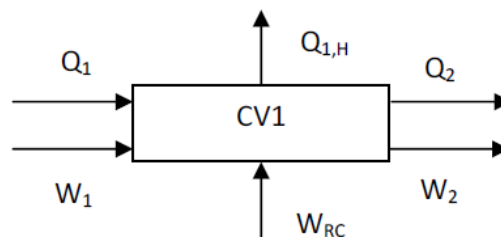
สมดุลพลังงานและสมดุลมวล ซึ่ง (ดวงสีเสน, 2555) ได้สรุปไว้ดังนี้

ในการวิเคราะห์สมดุลพลังงานและสมดุลมวลจะแบ่งเป็น 2 ปริมาตรควบคุม คือ ปริมาตรควบคุม 1 (CV1) และปริมาตรควบคุม 2 (CV2) ดังแสดงในรูปที่ 2.8 โดยปริมาตรควบคุม 1 (CV1) จะเป็นปริมาตรควบคุมของระบบแหล่งความร้อน และปริมาตรควบคุม 2 (CV2) จะเป็นปริมาตรควบคุมของถังอบ โดยสามารถหาได้ดังนี้

- ปริมาตรควบคุม 1 (CV1) ปริมาตรควบคุมของแหล่งความร้อน สมดุลย์พลังงาน จากรูปที่ 2.9 ปริมาตรควบคุม 1 (CV1) การเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีของกระแอากาศเท่ากับการสูญเสียความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อมและปริมาณความร้อนที่ได้รับจากตัวอุ่นอากาศ



รูปที่ 2.8 สมดุลพลังงานและสมดุลมวลของระบบ



รูปที่ 2.9 สมดุลพลังงานและสมดุลมวลของระบบความร้อน

สามารถเขียนสมการสมดุลพลังงานได้ดังนี้

$$Q_{1,H} = Q_1 - Q_2$$

$$Q_{1,H} = Q_1 - m_a [C_a + (W_1 C_v)] (T_1 - T_2)$$

- | | | |
|-------|-----------|---|
| เมื่อ | Q_1 | คือ ความร้อนที่เข้าระบบ (kW) |
| | $Q_{1,H}$ | คือ ความร้อนที่สูญเสียให้กับสิ่งแวดล้อมของระบบความร้อน (kW) |
| | Q_2 | คือ ความร้อนที่ออกจากระบบ (kW) |
| | m_a | คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศแห้ง ($\text{kg}_{\text{dry air}}/\text{s}$) |
| | C_a | คือ ความร้อนจำเพาะของอากาศแห้ง ($\text{kJ}/\text{kg}_{\text{dry air}}\text{ }^{\circ}\text{C}$) |
| | C_v | คือ ความร้อนจำเพาะของไอน้ำ ($\text{kJ}/\text{kg}_{\text{water}}\text{ }^{\circ}\text{C}$) |

W_1 คือ อัตราส่วนความชื้นของอากาศใหม่ ($\text{kg}_{\text{water}} / \text{kg}_{\text{dry air}}$)

T_1 คือ อุณหภูมิเริ่มต้น ($^{\circ}\text{C}$)

T_2 คือ อุณหภูมิหลังผ่านห้องผสมอากาศ ($^{\circ}\text{C}$)

สมมูลย์มวล จากรูป 2.9 ปริมาตรควบคุม 1 (CV1) เมื่อพิจารณาที่ปริมาณควบคุมสามารถหาอัตราส่วนความชื้นของอากาศหลังผสมได้ดังนี้

$$W_2 = (1 - RC)W_1 + RCW_{RC}$$

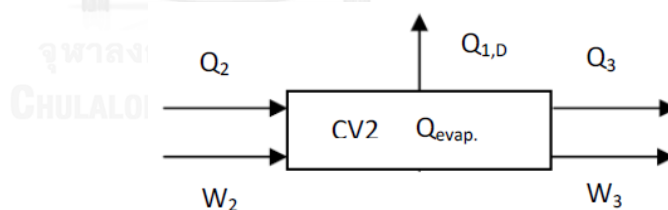
เมื่อ W_2 คือ อัตราส่วนความชื้นของอากาศหลังผสม ($\text{kg}_{\text{water}} / \text{kg}_{\text{dry air}}$)

W_1 คือ อัตราส่วนความชื้นของอากาศก่อนเข้าห้องผสมอากาศ ($\text{kg}_{\text{water}} / \text{kg}_{\text{dry air}}$)

W_{RC} คือ อัตราส่วนความชื้นของอากาศเวียนกลับ ($\text{kg}_{\text{water}} / \text{kg}_{\text{dry air}}$)

RC คือ อัตราการเวียนอากาศกลับ ($\text{kg}_{\text{water}} / \text{kg}_{\text{dry air}}$)

- ปริมาตรควบคุม 2 (CV2) ปริมาตรควบคุมของถังอบแห้ง



รูปที่ 2.10 สมดุลย์พลังงานและสมมูลย์มวลภายในถังอบแห้ง

สมดุลพลังงาน จากรูปที่ 2.10 ปริมาตรควบคุม 2 (CV2) การเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีของกระแสดูอากาศบวกกับการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในวัสดุอบแห้งเท่ากับผลรวมของความร้อนที่แลกเปลี่ยนระหว่างเครื่องอบแห้งและสิ่งแวดล้อมสามารถเขียนสมการสมดุลย์พลังงานได้ดังนี้

$$Q_2 - Q_3 = Q_{\text{evap.}} + Q_{1,D}$$

$$Q_{\text{evap.}} + Q_{1,D} = [m_a(W_2 h_{fg} + T_3 (C_a + W_2 C_v))] - [m_a(W_3 h_{fg} + T_4 (C_a + W_3 C_v))]$$

เมื่อ	Q_2	คือ ความร้อนที่เข้าระบบ (kW)
	Q_3	คือ ความร้อนที่ออกจากระบบอบแห้ง (kW)
	Q_{evap}	คือ ความร้อนที่เปลี่ยนแปลงภายในวัสดุอบแห้ง (kW)
	$Q_{1,D}$	คือ ความร้อนที่สูญเสียให้กับสิ่งแวดล้อม (kW)
	m_a	คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศแห้งก่อนอบแห้ง ($\text{kg}_{\text{dry air}}/\text{s}$)
	C_a	คือ ความร้อนจำเพาะของอากาศแห้ง ($\text{kJ}/\text{kg}_{\text{dry air}}\text{ }^{\circ}\text{C}$)
	C_v	คือ ความร้อนจำเพาะของไอน้ำ ($\text{kJ}/\text{kg}_{\text{water}}\text{ }^{\circ}\text{C}$)
	h_{fg}	คือ ความร้อนแฝงในการระเหยน้ำ ($\text{kJ}/\text{kg}_{\text{water}}$)
	W_3	คือ อัตราส่วนความชื้นของอากาศหลังการอบแห้ง ($\text{kg}_{\text{water}}/\text{kg}_{\text{dry air}}$)
	W_2	คือ อัตราส่วนความชื้นของอากาศก่อนการอบแห้ง ($\text{kg}_{\text{water}}/\text{kg}_{\text{dry air}}$)
	T_4	คือ อุณหภูมิหลังการอบแห้ง ($^{\circ}\text{C}$)
	T_3	คือ อุณหภูมิก่อนเข้าระบบอบแห้ง ($^{\circ}\text{C}$)

สมมูลมวล จากรูปที่ 2.10 ปริมาตรควบคุม 2 (CV2) ปริมาณอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นอากาศเท่ากับอัตราการระเหยน้ำจากกากมันสำปะหลังสามารถหาอัตราส่วนของอากาศหลังการอบแห้งได้ดังสมการนี้

$$m_{\text{in}}\Delta t(W_3 - W_2) = m_{\text{CP}}(M_{\text{in}} - M_{\text{out}})$$

$$W_3 = \left(\frac{m_{\text{CP}}}{m_{\text{in}}\Delta t}\right)(M_{\text{in}} - M_{\text{out}}) + W_2$$

เมื่อ	W_2	คือ อัตราส่วนความชื้นของอากาศก่อนการอบแห้ง ($\text{kg}_{\text{water}}/\text{kg}_{\text{dry air}}$)
	W_3	คือ อัตราส่วนความชื้นของอากาศหลังการอบแห้ง ($\text{kg}_{\text{water}}/\text{kg}_{\text{dry air}}$)
	M_{in}	คือ ความชื้นของกากมันสำปะหลังก่อนเข้าเครื่องอบ (%db)
	M_{out}	คือ ความชื้นของกากมันสำปะหลังหลังจากออกจากเครื่องอบ (%db)

m_{CP} คือ มวลกากมันสำปะหลังแห้ง ($kg_{dry\ solid}$)

m_{in} คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศแห้งก่อนอบแห้ง ($kg_{dry\ air}/s$)

Δt คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (s)

- การคำนวณหาเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง

$$\Delta t = [m_{CP}(M_{in} - M_{out})]/[m_{in}(W_3 - W_2)]$$

5. ความชื้นในวัสดุ (Moisture Content, M)

ความชื้นเป็นตัวบอกปริมาณน้ำที่มีอยู่ในวัสดุเมื่อเทียบกับมวลวัสดุขึ้นหรือมวลวัสดุแห้ง ความชื้นในวัสดุสามารถแสดงได้เป็น 2 แบบ คือ

ความชื้นมาตรฐานเปียก นิยมใช้ในเชิงพาณิชย์ทั่วไป จะอยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์

$$M_w = \frac{w - d}{w}$$

M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก

w คือ มวลของวัสดุ, kg

d คือ มวลของวัสดุแห้งที่ไม่มี ความชื้น, $kg_{dry\ product}$

ความชื้นมาตรฐานแห้ง นิยมใช้ในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งทางทฤษฎีเพราะมวลแห้ง จะมีค่าคงที่ตลอดการอบแห้ง

$$M_d = \frac{w - d}{d}$$

M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง

2.1.2 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน คือ เครื่องมือที่ใช้สำหรับถ่ายเทความร้อนจากของไหลชนิดหนึ่ง ไปยังของไหลอีกชนิดหนึ่ง โดยที่ของไหลไม่จำเป็นต้องผสมกัน หน้าที่หลักของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนคือ การนำเอาพลังงานความร้อนมาใช้อย่างถูกหลักการ

ชนิดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

1. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบใช้อากาศ (Air-Cooled Heat Exchanger)

กระบวนการหล่อเย็นด้วยอากาศ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบใช้อากาศ (ACHE) เป็น อุปกรณ์สำหรับลดอุณหภูมิของของไหลด้วยอากาศ ประกอบด้วยกลุ่มท่อ (Tube bundle) ที่มีเกลียวคريب (Spiralwound fin) ติดอยู่บนท่อ และใช้พัดลมเป่าอากาศผ่านไปรอบท่อ ภายในท่อมีการไหลที่

ต้องการลดอุณหภูมิไหลผ่าน การควบคุมอุณหภูมิของ ACHE ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศ การแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นแบบการไหลตัดกัน (Cross flow) ซึ่งมีประสิทธิภาพต่ำกว่าการไหลแบบสวนทางกัน (Countercurrent)

ACHE สามารถแยกได้เป็น 2 แบบ คือ Forced draft และ Induced draft โดยแบบ Induced draft มีรูปแบบการไหลของอากาศที่ดีและป้องกันการเกิดลูกเห็บได้ สำหรับแบบ Forced draft ใช้พลังงานน้อยและดูแลรักษาง่าย

2. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเพลท (Plate Heat Exchanger)

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบนี้สามารถเรียกได้ว่า Plate Heat Exchanger (PHE) หรือ Plate-and-Frame หรือ Gasketed Plate เนื่องจากประกอบด้วยชุดแผ่นโลหะหรือเพลท (Plate) มีลักษณะเป็นลอน (Corrugate) ซึ่งจะมีช่อง (Port) ให้ของเหลวไหลผ่านเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งกันและกัน ตัวเพลทจะมีปะเก็น (Gasket) หุ้มอยู่โดยรอบเพื่อป้องกันการรั่วและกำหนดทิศทางการไหล ชุดของแผ่นโลหะ มีเฟรม (Frame) ประกอบอยู่ทั้งสองด้าน โดยที่เฟรมอันหนึ่งจะอยู่กับที่และเฟรมอีกอันหนึ่งจะสามารถเลื่อนไปมาได้ (Movable frame) ชุดของเพลทถูกขันให้แน่นติดกับเฟรมโดยใช้โบลท์ (Bolt) เป็นตัวยึด

ลอนของเพลทมีลักษณะเป็นแบบก้างปลา (Herring bone หรือ Chevron) มุมของลอนจะสวนทิศทางการไหลของของไหล เพลทถัดไปจะมีมุมของลอนตรงกันข้ามกันการไหลจึงเป็นแบบสวนทางกัน (Countercurrent) เนื่องจากการไหลของของไหลผ่านลอนของเพลทที่มีลักษณะเหมือนลูกคลื่น ทำให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนได้ง่าย ค่า Reynold number ของการไหลแบบปั่นป่วนจึงมีค่าน้อย ทำให้มีอัตราการถ่ายโอนความร้อนสูง

3. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นขด (Spiral Heat Exchanger)

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นขด (SHE) สร้างจากโลหะเรียบ 2 แผ่น นำมาม้วนให้มีลักษณะคล้ายหอยโข่งและเชื่อมติดกัน ปิดส่วนหัวและท้ายด้วยการเชื่อม ของไหลร้อนไหลจากส่วนหัวท่อ (Nozzle) ตรงกลางด้านบนและไหลผ่านส่วนขด (Spiral) ออกทางส่วนหัวท่อด้านข้าง ส่วนของไหลเย็นไหลจากส่วนหัวท่อด้านข้าง ไหลแบบสวนกันกับของไหลร้อนสู่ส่วนหัวท่อตรงกลางด้านล่าง

SHE ให้ประสิทธิภาพการถ่ายโอนความร้อนที่ดีมาก สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนรวม (U) มีค่ามากกว่าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเซลล์และท่อประมาณ 120-150% ที่ความดันลดเดียวกัน

4. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น (Double-Pipe Heat Exchanger)

โครงสร้างประกอบด้วยท่อ 2 ขนาดซ้อนกันอยู่โดยมีแกนกลางร่วมกัน ของไหลชนิดหนึ่งจะไหลอยู่ในท่อใน และของไหลอีกชนิดหนึ่งจะไหลอยู่ในช่องว่างรูวงแหวนระหว่างท่อในและท่อใน

(Annulus) ปลายข้างหนึ่งมักเชื่อมด้วยท่อโค้งรูปตัวยู (U-Bend) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนนี้เหมาะกับสภาวะความดันและอุณหภูมิสูง และความต้องการพื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนน้อย หรือน้อยกว่า 28 ตร.ม.

5. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อ (Shell-and-Tube Heat Exchanger)

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อ (S&T) เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่นิยมมากที่สุด เนื่องจากสามารถใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิและความดันกว้างมากสามารถสร้างจากวัสดุได้หลายชนิด

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบนี้ ประกอบด้วยท่อจำนวนมากมัดรวมกันเป็นกลุ่ม (Tube bundle) ท่อเหล่านี้จะถูกเชื่อมกับแผ่นโลหะที่เจาะรู (Tube sheet) กลุ่มท่อนี้บรรจุอยู่ในทรงกระบอกเรียกว่า เชลล์ (Shell) บริเวณปลายทั้งสองข้างของเชลล์ถูกปิดด้วย ส่วนหัว (Front end head) และส่วนท้าย (Rear end head) แบบต่างๆขึ้นกับการใช้งาน ของไหลหนึ่งจะไหลในส่วนเชลล์ และของไหลอีกชนิดหนึ่งจะไหลในส่วนท่อ ส่วนด้านเชลล์มีแผ่นกั้นหรือแบฟเฟิล (Baffle) เพื่อเปลี่ยนทิศทางการไหลในเชลล์ให้ไหลขวางกลุ่มท่อ ทำให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วน ผลคือเพิ่มอัตราการถ่ายโอนความร้อน การจัดทางเดินหรือจำนวนเที่ยวการไหลในเชลล์ (Shell pass) ค่อนข้างยุ่งยากและทำให้เกิดความดันตกในเชลล์มาก จึงมักใช้ทางเดินของเชลล์แบบเที่ยวเดียว (One shell pass) และปรับจำนวนเที่ยวการไหลในท่อแทน

2.2 ทฤษฎีซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma)

ซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma) บุกเบิกโดยโมโตโรล่าในปี 1982 โดยทั่วไปถือว่าการพัฒนาคุณภาพและกลยุทธ์ทางธุรกิจได้เป็นอย่างดี มุ่งเน้นการลดต้นทุนและผลกำไรซึ่งทำให้เป็นที่นิยมมากกับผู้บริหารระดับสูง การดำเนินการที่เกี่ยวข้องกับการซิกซ์ ซิกม่า มีขั้นตอนสำคัญ ได้แก่ การจัดการ การเปลี่ยนแปลงนวัตกรรม การแก้ปัญหา และการจัดการปัญหา ซึ่งเป็นกลยุทธ์ในการบริหารจัดการแบบใหม่ที่จะสร้างนวัตกรรมที่มีคุณภาพและความพึงพอใจของลูกค้าทั้งหมด นอกจากนี้ยังเป็นวัฒนธรรมที่มีคุณภาพ

แบบจำลองการแก้ไขปัญหาตามแนวทางซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma) มี 5 ขั้นตอนได้แก่การกำหนดปัญหา การวัดเพื่อกำหนดหาสาเหตุของปัญหา การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา การปรับปรุงกระบวนการ และการควบคุมตัวแปรต่างๆ (DMAIC) (อุไรพงษ์, 2552)

1. การกำหนดปัญหาที่เกิดขึ้น (Define phase)

ขั้นตอนการกำหนดปัญหาเป็นขั้นตอนแรกในกระบวนการซิกม่า ซิกม่า ที่มีความสำคัญ เนื่องจากเป็นการกำหนดจุดเริ่มต้นและทิศทางของงานวิจัย นอกจากนี้ยังพิจารณาความสามารถของกระบวนการผลิตเทียบกับความต้องการของลูกค้าต่อผลิตภัณฑ์ของบริษัท ทำให้ทราบถึงปัญหาที่เกิดขึ้น ได้ข้อมูลสนับสนุนในการพิจารณาคัดเลือกถึงปัญหาที่จะทำการแก้ไขและขีดความสามารถในการปรับปรุงกระบวนการที่สามารถปฏิบัติได้จริง

2. การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา (Measure phase)

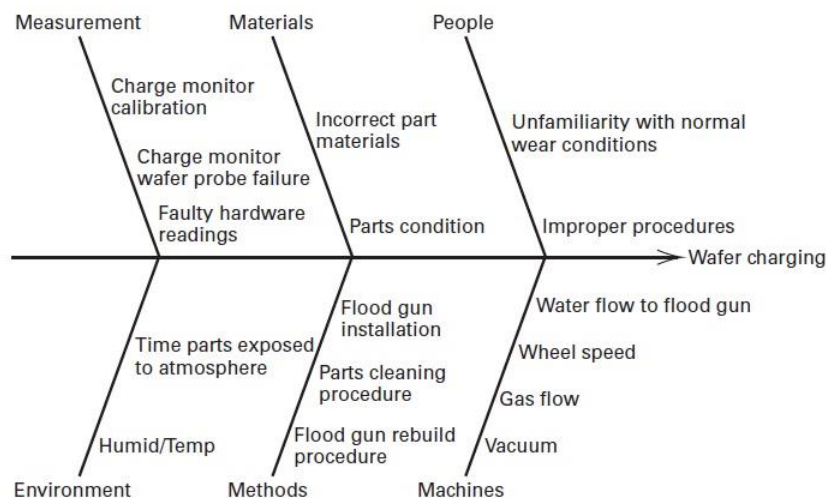
การวัดซึ่งเป็นสิ่งจะเป็นที่ทำให้เข้าใจสภาพของระบบที่มีหรือที่ใช้ในปัจจุบัน ขั้นตอนนี้ถือเป็นการกำหนดแนวทางในการวัดประสิทธิภาพของกระบวนการ โดยศึกษากระบวนการอย่างละเอียด กำหนดปัจจัยที่ได้รับจากกระบวนการหรือตัวแปรตอบสนองกระบวนการและปัจจัยนำเข้าต่างๆของกระบวนการ กำหนดแนวทางในการวัดปัจจัยต่างๆ ทำการวิเคราะห์ระบบการวัด เพื่อดำเนินการศึกษาและวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป โดยมีเครื่องมือในการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาดังนี้

ผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effective Diagram)

ผังแสดงเหตุและผล เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า แผนภูมิก้างปลา (Fish Bone Diagram) เป็นแผนภาพที่แสดงสาเหตุ (Cause) และผล (Effect) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะของคุณภาพกับสาเหตุ โดยการดึงเอาเหตุที่เป็นไปได้ทั้งหมดออกมาเรียงเรียงสาเหตุที่มีผลต่อคุณภาพ ทำให้เห็นปัญหาอย่างเป็นระบบและทราบสาเหตุของผลที่เกิดขึ้น ซึ่งสาเหตุที่ได้นั้นจะละเอียดลึกซึ้งและมีขั้นตอนตามเหตุและผล สะดวกที่จะนำสาเหตุนั้นๆไปพิจารณาแก้ไข อีกทั้งเป็นเครื่องมือที่สามารถนำไปประยุกต์ในการอธิบายให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพดังรูปที่ 2.11

การวิเคราะห์แผนภูมิก้างปลาโดยส่วนมากมักจะใช้หลักการ 5M 1E เป็นกลุ่มปัจจัยที่จะนำไปสู่การแยกแยะสาเหตุต่างๆ ซึ่ง 5M 1Enี้มาจาก

- | | |
|------------------|--|
| 1. M Man | คนงานหรือพนักงานปฏิบัติการ |
| 2. M Machine | เครื่องจักรหรืออุปกรณ์อำนวยความสะดวก |
| 3. M Material | วัตถุดิบหรืออะไหล่ อุปกรณ์อื่นๆที่ใช้ในการบวนการ |
| 4. M Method | กระบวนการทำงาน |
| 5. Measurement | การวัดเครื่องมือวัด |
| 6. E Environment | อากาศ สถานที่ ความสว่าง และบรรยากาศทำงาน |



รูปที่ 2.11 การวิเคราะห์แผนภูมิแก๊งปลาของขั้นตอนการแกะสลัก (Montgomery)

3. การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา(Analysis phase)

ขั้นตอนนี้จะนำเข้าปัจจัยที่สำคัญของกระบวนการมาทำการวิเคราะห์ผ่านกรรมวิธีทางสถิติ เพื่อหาสาเหตุในการเกิดความคลาดเคลื่อน และความสามารถที่แปรเปลี่ยนในกระบวนการและการทดสอบสมมติฐานเพื่อหาทางขจัดปัญหา เพื่อดูปัจจัยต่างๆที่มีผลกระทบต่อกระบวนการอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ หากปัจจัยใดที่ทดสอบแล้วมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญจะนำไปดำเนินการปรับปรุงในขั้นตอนต่อไป

โดยขั้นตอนนี้จะทำให้เข้าใจกระบวนการมากขึ้น และมาตรฐานการทำงานต่างๆจะมีการทบทวนและปรับปรุงใหม่

4. การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve phase)

ขั้นตอนนี้ถือเป็นการพัฒนาปรับปรุงสมรรถนะและประสิทธิภาพของกระบวนการ รวมทั้งการสร้างระเบียบและวิธีการในการจัดการเพื่อลดปัญหา โดยการออกแบบและทำการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ที่แท้จริง ซึ่งสิ่งสำคัญในขั้นตอนนี้คือ แนวทางการปรับปรุงกระบวนการที่ดีที่สุดของกระบวนการที่ได้รับการปรับปรุงจนเหมาะสม และปัจจัยสำหรับการดำเนินการควบคุมการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการจะอาศัยเครื่องมือการออกแบบการทดลองเชิงสถิติ (Statistical Design of Experiment)

การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ (Statistical Design of Experiment)

การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ (Statistical Design of Experiment) ซึ่งหมายถึงกระบวนการในการวางแผนการทดลองเพื่อให้ได้ข้อมูลที่เหมาะสมที่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์

โดยวิธีการทางสถิติ ซึ่งจะทำให้เราสามารถหาข้อสรุปที่สมเหตุสมผลได้ โดยสิ่งสำคัญ 2 ประการ สำหรับปัญหาที่เกี่ยวกับการทดลองคือ การออกแบบการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ เพราะวิธีการวิเคราะห์เชิงสถิติที่เหมาะสมนั้นจะขึ้นอยู่กับการออกแบบการทดลองที่นำมาใช้ โดยหลักการพื้นฐาน 3 ประการสำหรับการออกแบบการทดลองคือ เรพลีเคชัน (Replication), แรนดอมไมเซชัน (Randomization), และ บล็อกกิง (Blocking)

แนวทางในการออกแบบการทดลอง

1. ทำความเข้าใจถึงปัญหา ในขั้นตอนนี้ต้องพยายามพัฒนาแนวความคิดเกี่ยวกับวัตถุประสงค์ของการทดลอง และหาข้อมูลอินพุตจากบุคคลหรือหน่วยงานต่างๆที่เกี่ยวข้อง
2. เลือกปัจจัย ระดับ และขอบเขต ผู้ทดลองต้องเลือกปัจจัยที่จะนำมาเปลี่ยนแปลงในระหว่างทำการทดลอง กำหนดขอบเขตที่ปัจจัยเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลง และกำหนดระดับ (Level) ที่จะเกิดขึ้นในการทดลอง จะต้องพิจารณาด้วยว่าจะควบคุมปัจจัยเหล่านี้ ณ จุดที่กำหนดให้อย่างไร และจะวัดผลตอบโต้ได้อย่างไร
3. เลือกตัวแปรผลตอบ ในการเลือกตัวแปรผลตอบควรจะแน่ใจว่าตัวแปรนี้จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการที่กำลังศึกษาอยู่
4. เลือกการออกแบบการทดลอง เกี่ยวข้องกับการพิจารณาขนาดของตัวอย่าง(จำนวนเรพลีเคต) การเลือกลำดับที่เหมาะสมของการทดลองที่จะใช้ในการเก็บข้อมูล และการตัดสินใจว่า ควรจะใช้วิธีบล็อกหรือใช้การแรนดอมไมเซชันอย่างใดอย่างหนึ่งหรือไม่ โดยจำเป็นต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการทดลองอยู่ตลอดเวลา
5. ทำการทดลอง เมื่อทำการทดลองจะต้องติดตามดูกระบวนการทำงานอย่างระมัดระวัง เพื่อให้แน่ใจว่าการดำเนินการทุกอย่างเป็นไปตามแผน
6. วิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ ควรจะนำเอาวิธีการทางสถิติมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อว่าผลลัพธ์และข้อสรุปที่เกิดขึ้นจะเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการทดลอง
7. สรุปและข้อเสนอแนะ เมื่อเราได้วิเคราะห์ข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ผู้ทำการทดลองจะต้องหาข้อสรุปในทางปฏิบัติและแนะนำแนวทางของกิจกรรมที่จะเกิดขึ้น (ซุติมา, 2545)

5. การควบคุมตัวแปรต่างๆ (Control phase)

หลังจากการปรับปรุงกระบวนการจะต้องควบคุมปัจจัยต่างๆให้อยู่ภายใต้ขอบเขตการควบคุม และป้องกันข้อผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้น และต้องมีการประเมินผลการดำเนินงานและประเมินความสามารถในการลดต้นทุน หรือความพึงพอใจของลูกค้าที่เปลี่ยนไปหลังจากการปรับปรุงกระบวนการ สิ่งสำคัญในขั้นตอนนี้คือ แผนการควบคุมกระบวนการ หลักฐานการปรับปรุงกระบวนการ บทสรุปการดำเนินงาน และกระบวนการที่ดีขึ้น

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีดังนี้

(กาญจนางกูรพันธุ์, 2545) ทำการศึกษาสมรรถนะของเครื่องอบแห้งชนิดใช้ฮีตปั๊มร่วมกับท่อแลกเปลี่ยนความร้อน และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการอบแห้งแบบใช้ฮีตปั๊มร่วมกับท่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับการอบแห้งแบบใช้เครื่องทำความร้อน

โดยจากการทดลองเพื่อหาจุดทำงานที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งชนิดใช้ฮีตปั๊มร่วมกับท่อแลกเปลี่ยนความร้อน พบว่า อุณหภูมิแห้งที่เหมาะสมมีค่าอยู่ที่ประมาณ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลมของอากาศประมาณ 1.20 เมตรต่อวินาที ที่อุณหภูมิและความเร็วลมดังกล่าวเครื่องสามารถอบแห้งได้ภายในเวลาประมาณ 16 ชั่วโมง และสามารถทำให้น้ำระเหยออกมาประมาณ 0.55 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ใช้พลังงานไฟฟ้าประมาณ 111.9 เมกะจูลต่อกิโลกรัมน้ำระเหย และผลของการเปรียบเทียบประสิทธิภาพโดยรวมจากการใช้เครื่องอบแห้งทั้ง 2 ชนิด พบว่า เครื่องอบแห้งชนิดใช้ฮีตปั๊มร่วมกับท่อแลกเปลี่ยนความร้อนมีประสิทธิภาพสูงกว่า และสามารถลดค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานและประหยัดพลังงานไฟฟ้าลงได้ประมาณ 23 และ 35 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

(มรรคไพบุลย์, 2537) ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดเซชันหลายชั้นที่มีการสั่นสะเทือนและการสร้างโปรแกรมการทำนายผลการอบแห้งของเครื่องอบแห้งแบบชั้นเดียว โดยได้ทำการทดลองอบแห้งข้าวโพดในเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดเซชันชั้นเดียวที่มีการสั่นสะเทือนเพื่อเปรียบเทียบผลจากการคำนวณโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และยังคงศึกษาถึงอิทธิพลต่างๆที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง และการทดลองอบแห้งข้าวโพดในเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดเซชันหลายชั้นที่มีการสั่นสะเทือน

ในการทดลองอบแห้งข้าวโพดในเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดเซชันที่มีการสั่นสะเทือน เครื่องอบแห้งจะมีรูปทรงสี่เหลี่ยมทำด้วยโลหะ มีขนาดความยาวของเบด 50 เซนติเมตร ความกว้างของเบด 20 เซนติเมตรสูง 25 เซนติเมตร (สำหรับเครื่องอบแห้งแบบชั้นเดียว) และสูง 100 เซนติเมตร (สำหรับเครื่องอบแห้งแบบหลายชั้น) โดยภายในจะแบ่งเป็นชั้นๆไว้ชั้นละ 25 เซนติเมตร และมีระบบสั่นสะเทือนเป็นแบบเยื้องศูนย์ โดยใช้มอเตอร์ขับเคลื่อน เมล็ดข้าวโพดที่ใช้ในการทดลองมีความชื้นเริ่มต้นประมาณร้อยละ 25 โดยน้ำหนักเปียก มีอัตราการป้อนข้าวโพดในช่วง 10-60 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อุณหภูมิอากาศร้อนเข้าเครื่องอบแห้งในช่วง 2.50-3.25 เมตรต่อวินาที และอัตราการสั่นสะเทือนของเครื่องอบแห้งอยู่ในช่วง 200-400 รอบต่อนาที ส่วนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้นจะอาศัยหลักการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้น โดยมีเงื่อนไขในการแบ่งช่วงการอบแห้งออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงการอบแห้งที่อัตราการระเหยความชื้นคงที่และช่วงที่อัตราการระเหยความชื้นลดลง

ผลการคำนวณความชื้นข้าวโพดโดยใช้โปรแกรมคำนวณนั้นได้ผลทางการคำนวณออกมาใกล้เคียงกับการทดลองมาก สำหรับอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง คือ อุณหภูมิและความเร็วอากาศร้อน อัตราการสิ้นสเทือนของเครื่องอบแห้ง อัตราการป้อนข้าวโพด และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและมวลสาร ส่วนอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อน คือ ความเร็วอากาศร้อน อัตราการสิ้นสเทือนของเครื่องอบแห้ง อัตราการป้อนข้าวโพด และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและมวลสาร

(วัฒน์ไชย, 2545) จำลองแบบเครื่องอบแห้งกากอ้อยแบบพาหะลมและศึกษาการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต่างๆ ประกอบด้วย ความชื้นของกากอ้อย ความชื้นของลมร้อน อุณหภูมิของลมร้อน อุณหภูมิของกากอ้อย และความเร็วของกากอ้อย

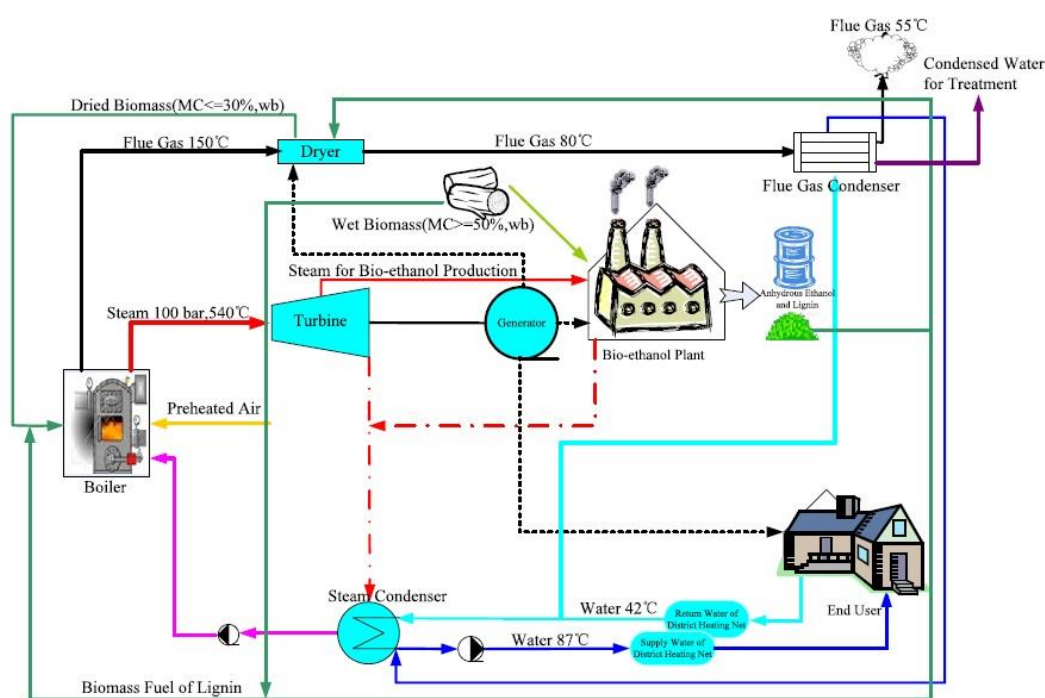
เครื่องทดลองมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 76.2 มิลลิเมตร สูง 6 เมตร มีสภาวะการทดลองต่างๆดังนี้ ความชื้นของกากอ้อย 50.9-52.8% มาตรฐานเปียก ความชื้นของลมร้อน 0.018-0.019 กิโลกรัมไอน้ำต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง อุณหภูมิของลมร้อน 170-200 องศาเซลเซียส อัตราการไหลลมร้อน 0.02-0.05 กิโลกรัมอากาศแห้งต่อวินาที และอัตราการป้อนกากอ้อยเท่ากับ 0.005 กิโลกรัมอากาศแห้งต่อวินาที ซึ่งพบว่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่าของกากอ้อยที่เหมาะสมใช้ในการจำลองแบบเครื่องอบแห้งกากอ้อยแบบพาหะลมมีค่าเท่ากับ 1.57 มิลลิเมตร

(อุไรพงษ์, 2552) ศึกษาการปรับปรุงค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ในกระบวนการผสมเม็ดพลาสติกกับสารเติมแต่งและการบรรจุภัณฑ์โดยใช้แนวทางซิกซ์ซิกม่า มาประยุกต์ใช้ปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อศึกษาหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความชื้น และหาเงื่อนไขที่เหมาะสม โดยหน่วยวัดผลระดับการปรับปรุง คือ ปริมาณค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ที่ลดลง ซึ่งก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิตค่าเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 440 PPM หรือ $440 \text{ mg}^3/\text{kg}$ หรือ 0.044% จากการดำเนินการตามแนวทางซิกซ์ซิกม่า ระดับที่เหมาะสมในการผลิต คือ อัตราการป้อนข้าววัตถุดิบอยู่ที่ 700 kg/hr ความเร็วของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติกอยู่ที่ 200 rpm ชนิด Carbon Black คือชนิด EP100 ชนิดและประเภทบรรจุภัณฑ์ คือ ชนิด Normal 25 kg ผลการปรับปรุง พบว่า ค่าเฉลี่ยของความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ลดลงเหลือ 334.15 PPM หรือ $334.15 \text{ mg}^3/\text{kg}$ หรือ 0.033%

(Han Song, 2012) ได้ศึกษาอิทธิพลของกระบวนการอบแห้งชีวมวลในระบบโพลีเจนเนอเรชันโดยใช้วิธีควบแน่นไอเสีย (Flue gas condenser:FGC) ในการผลิตแบบรวมความร้อนและพลังงาน (Combined heat and power:CHP) เป็นส่วนหนึ่งของระบบโพลีเจนเนอเรชันค่าความชื้นของเชื้อเพลิงชีวมวลที่ป้อนเข้าสู่ระบบโดยรวมของไม้ซิปและลิกนินแห้งสำหรับกระบวนการผลิตแบบรวมความร้อนและพลังงาน (Combined heat and power:CHP) ดังรูปที่ 2.12 สามารถแห้งได้จาก 0.55-0.30 kg/kg ประสิทธิภาพโดยรวมของพลังงานแบบรวมความร้อนและพลังงาน (CHP) ร่วมกับ

แบบควบแน่นไอเสีย (Flue gas condenser:FGC) ในระบบโพลีเจนเนอเรชันสามารถเพิ่มจาก 79.9% เป็น 84.8% และอัตราส่วนพลังงานความร้อนเพิ่มขึ้นจาก 0.41 เป็น 0.45

ผลการจำลองสถานการณ์แสดงประสิทธิภาพของพลังงานโดยรวมในโรงงานแบบ CHP สามารถเพิ่มขึ้น 3.1% ในกระบวนการอบแห้งที่ใช้เฉพาะไอเสียกับระบบโพลีเจนเนอเรชันเท่านั้น อย่างไรก็ตามกำลังไฟฟ้าของเจนเนอเรชันสามารถเพิ่มขึ้น 5.5% ได้ จากการเปรียบเทียบระบบโพลีเจนเนอเรชันที่ไม่มีกระบวนการอบแห้ง โดยกระบวนการอบแห้งเป็นวิธีทางในการเพิ่มประสิทธิภาพของไม้ซีกจากการผลิตไบโอเอทานอลเพื่อให้ความชื้นลดลงก่อนนำไปเผาไหม้ที่หม้อต้มไอน้ำ (Boiler) ซึ่งดีกว่ากว่าส่งเข้าเผาไหม้โดยตรง

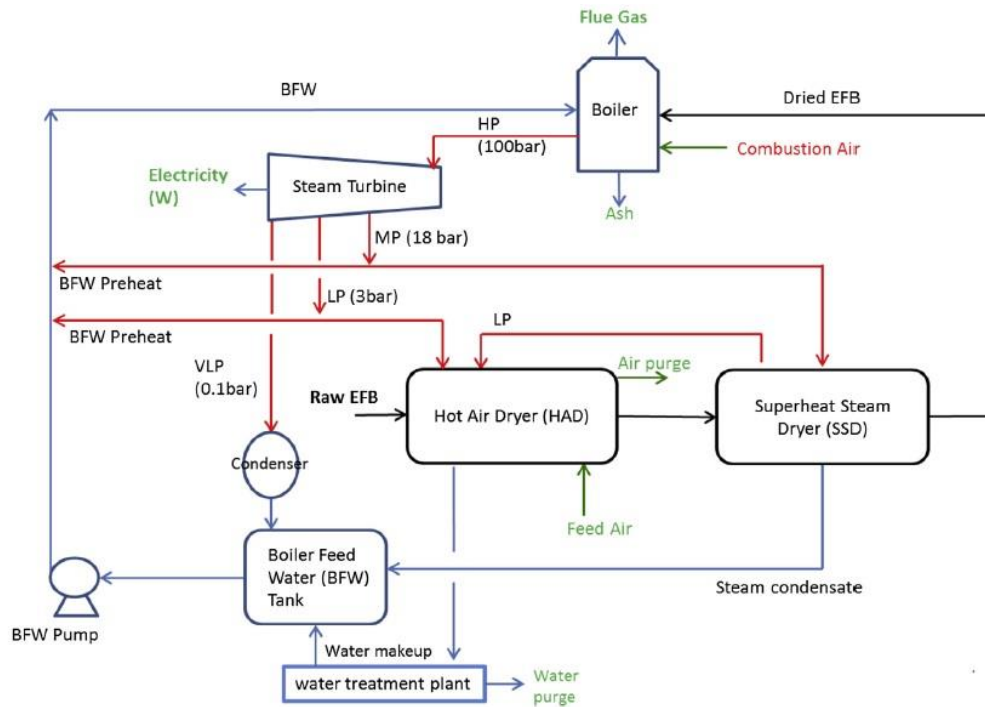


รูปที่ 2.12 ระบบโพลีเจนเนอเรชันโดยรวมของโรงงาน

(Ho Ting Luk, 2013) ได้ศึกษาการอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวลมีทั้งแบบขั้นตอนเดียวและหลายขั้นตอนเพื่อใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยการพิจารณาผ่านการใช้ประโยชน์ของเครื่องอบแบบลมร้อน (Hot air dryer: HAD) และเครื่องอบแบบไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (Superheat steam dryer: SSD) โดยมวลและความสมดุลของพลังงานและการจำลองถูกนำมาใช้ทั้งการวิเคราะห์ ประสิทธิภาพโดยรวมหลังจากการอบแห้งเพิ่มมากขึ้นเพราะความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอน้ำที่ถูกจัดไว้ให้โดยแหล่งความร้อนรองในระบบอบแห้งขอบเขตของการอบแห้งที่ผ่านการใช้ลดลง ดังรูปที่ 2.13

ความคิดนี้สามารถลดการสกัดของไอน้ำความดันต่ำสำหรับอุ่นอากาศร้อนและเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตไอน้ำที่สูญเสียความร้อนในระหว่างการอุ่นอากาศร้อน แต่การสกัดของไอน้ำ

แรงดันขนาดกลางลดทอนประสิทธิภาพการใช้วงจรร้อนน้ำอย่างเข้มข้นแสดงให้เห็นถึงการบูรณาการ HAD และ SSD ลงในการปรับปรุงการผลิตกระแสไฟฟ้าประสิทธิภาพโดยรวมมีค่าเปลี่ยนแปลงจาก 21.56% เป็น 26.90% ถ้าใช้ SSD และ HAD ในการอบแห้งเดี่ยวประสิทธิภาพโดยรวมมีค่าเปลี่ยนแปลง 23.18% และ 25.99% ตามลำดับ(Ho Ting Luk, 2013)



รูปที่ 2.13 ภาพรวมของกระบวนการอบแห้ง 2 ครั้ง

บทที่ 3

ระยษณียามปัญห (Define Phase)

3.1 บทนำ

ปัจจุบันบริษัทมีปัญหาลองการอบแห้งเชื้อเพลิงหลังออกจากกระบวนการอบไม่ได้คุณภาพตามต้องการ ผู้วิจัยจึงได้นำปัญหาดังกล่าวมาศึกษาเพื่อหาแนวทางในการแก้ไขปัญห

ในระยษณียามปัญห (Define Phase) จะเป็นขั้นตอนแรกในกระบวนการซิกส์ ซิกม่า ที่มีควมสำคัญเนื่องจากการกำหนดจุดเริ่มต้นและทิศทางของงานวิจัย โดยจะกำหนดทีมงานเพื่อระดมความคิดเพื่อวิเคราะห์สภาพของปัญห และการกำหนดปัญห โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.2 การศึกษากระบวนการผลิต

กระบวนการอบแห้งเชื้อเพลิง เป็นกระบวนการเพื่อต้องการลดค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิง โดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเซลล์และท่อ และเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบใช้อากาศ ดังนี้

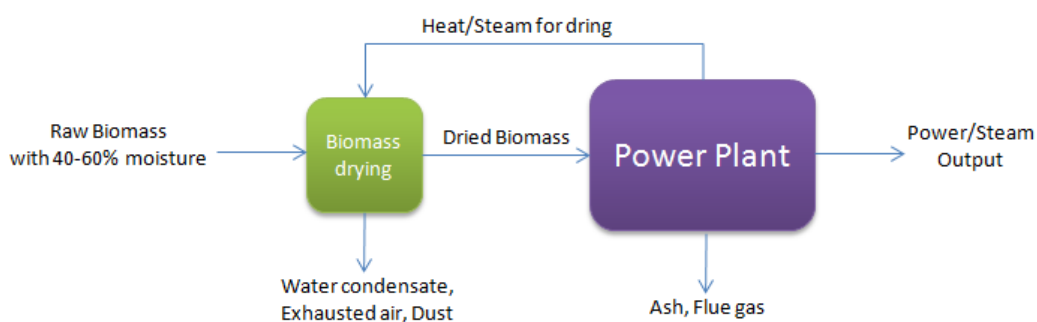
1. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเซลล์และท่อ ประกอบด้วยท่อจำนวน 108 อัน อยู่ในกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.4 เมตร ความยาว 30 เมตรและมีกำลังการอบแห้งประมาณ 400 ตันต่อวัน(ตันขาเข้า)ซึ่งท่อนี้จะมีไอน้ำ (Steam) ไหลผ่านเข้าไปในท่อเกิดการนำความร้อนทำให้ท่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น เมื่อมีเชื้อเพลิงไหลผ่านเข้ามาสัมผัสจะเกิดการถ่ายเทความร้อนทำให้อไอน้ำระเหยออกจากเชื้อเพลิงส่งผลให้ความชื้นเชื้อเพลิงลดลง

2. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบใช้อากาศ เป็นอุปกรณ์สำหรับลดอุณหภูมิของของไหลด้วยอากาศ ประกอบด้วยกลุ่มท่อ (Tube bundle) ที่มีเกลียวครีบ (Spiral wound fin) ติดอยู่บนท่อ โดยท่อนั้นจะมีไอน้ำที่มีอุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียสไหลผ่านทำให้ท่อมีอุณหภูมิสูง เมื่อพัดลมเป่าอากาศผ่านไปรอบท่อทำให้ลมกลายเป็นลมร้อน ซึ่งลมร้อนนี้จะถูกส่งเข้าไปในหัวกระบอกเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับเชื้อเพลิงที่หมุนวนในกระบอก หลังจากนั้นลมจะออกด้านท้ายกระบอกผ่านไซโคลนดักฝุ่นและมีพัดลมดูดลมร้อนออกสู่ภายนอก

โดยความร้อนได้มาจากไอน้ำ (Steam) ที่ใช้ประโยชน์ในการผลิตกระแสไฟฟ้าแล้ว แต่ยังมีแรงดันและความร้อน เท่ากับ แรงดัน 3.5 บาร์และอุณหภูมิประมาณ 140 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้ในกระบวนการอบเชื้อเพลิงก่อนเข้าสู่กระบวนการอบมีค่าความชื้นระหว่าง 40%-60% โดยมาจาก 2 แหล่ง คือ

1. จากภายนอกโรงงานโดยเป็นเชื้อเพลิงละเอียด คือ ไม้ซิป
2. จากภายในโรงงานที่ผ่านการย่อยเชื้อเพลิงจากเชื้อเพลิงหยาบให้เป็นเชื้อเพลิงละเอียด โดยเครื่องสับเชื้อเพลิง คือ ไฟเบอร์ผสม (ทะเลาะปาล์ม เปลือกมะพร้าว และเปลือกไม้ยูคาลิปตัส)

โดยมีผังกระบวนการอบแห้งเชื้อเพลิงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ผังกระบวนการอบแห้งเชื้อเพลิง

3.2.1 เชื้อเพลิงชีวมวล

โรงไฟฟ้านี้ใช้เชื้อเพลิงชีวมวลหลายชนิด โดยเชื้อเพลิงที่นำเข้าสู่กระบวนการอบแห้งแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

1. ไฟเบอร์ผสม ซึ่งเป็นการผสมระหว่าง ทะเลาะปาล์ม เปลือกมะพร้าว และเปลือกไม้ ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่มีลักษณะเป็นเส้นใย ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ไฟเบอร์ผสม

2. ไม้ซิป เป็นชิ้นไม้สับที่มีขนาดเล็ก ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ไม้ซิป

และมีคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวล ดังตารางที่ 3.1

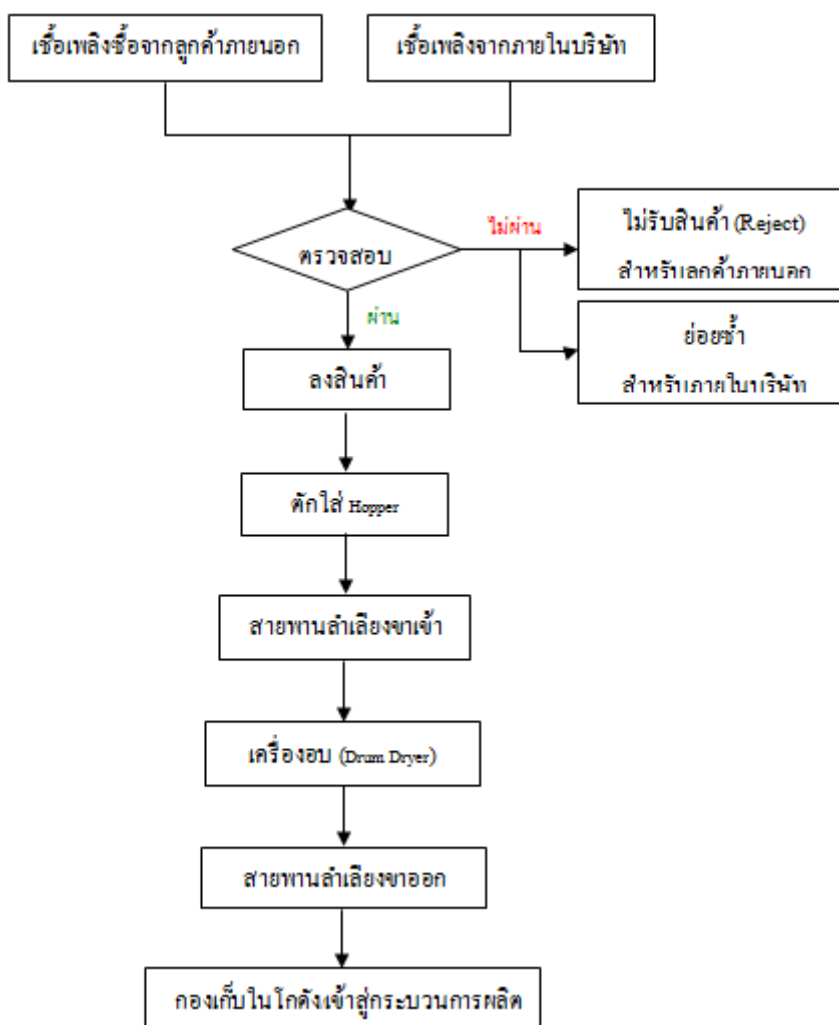
ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวล

Sample	%Moisture As Received Basis	Air Dry Basis (Cal/g)	Dry Basis (Cal/g)	%Ash (%)	%Volatile (%)
แกลบ	7.16-27.91	3,247 - 3,548	3,403 - 3,798	16.20 - 39.17	31.51 - 64.36
ปาล์มรวม	5.87-7.24	2,862 - 4,312	2,967 - 4,595	7.11 - 51.92	16.54 - 39.76
เศษไม้	35.53-55.59	3,762 - 3,857	4,124 - 4,104	7.16 - 11.04	24.07 - 63.6
กากปาล์ม	6.13-25.67	2,535 - 2,669	2,607 - 2,729	63.41 - 63.45	32.52 - 61.47
ไฟเบอร์ผสม	38.08-55.54	2,729 - 3,635	2,899 - 3,837	18.83 - 37.14	30.06 - 46.09
ไม้ซิป	32.81-62.12	3,862 - 4,174	4,194 - 4,936	2.66 - 4.88	1.93 - 67.11
จี้เลื่อย	28.73-67.49	3,493 - 3,875	3,581 - 4,107	6.74 - 2.49	17.69 - 71.19
ขาน้อย	50.00-51.41	3,653 - 3,974	3,861 - 4,268	5.76 - 12.15	5.75 - 21.07

ที่มา: การวิเคราะห์ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงโรงไฟฟ้าของโรงงานกรณีศึกษา ปี 2558

3.2.2 กระบวนการอบแห้งเชื้อเพลิง

กระบวนการอบแห้งเชื้อเพลิงเป็นการผลิตแบบต่อเนื่อง โดยใช้เครื่องจักรและแรงงานคนในการควบคุมและปรับตั้งค่าเครื่องจักร ซึ่งมีขั้นตอนการอบแห้งเชื้อเพลิง ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการอบแห้งเชื้อเพลิง

CHULALONGKORN UNIVERSITY

1. รับเชื้อเพลิงละเอียดที่มีขนาดเล็กที่ผ่านการตรวจรับคุณภาพ จัดเก็บไว้หน้าระบบลำเลียงเพื่อเตรียมป้อนเข้าสู่กระบวนการอบ โดยเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้ในกระบวนการอบเชื้อเพลิงจะมาจาก 2 แหล่ง คือ

- จากภายนอกโรงงานโดยเป็นเชื้อเพลิงละเอียด ได้แก่ ไม้ซิป

- จากภายในโรงงาน โดยโรงงานรับซื้อเชื้อเพลิงแบบหยาบมาและนำมาย่อยให้ละเอียดเอง ได้แก่ ทะลายปาล์ม เปลือกมะพร้าว และเปลือกไม้ ซึ่งในการย่อยนี้จะย่อยเชื้อเพลิงผสมกัน เรียกว่า ไฟเบอร์

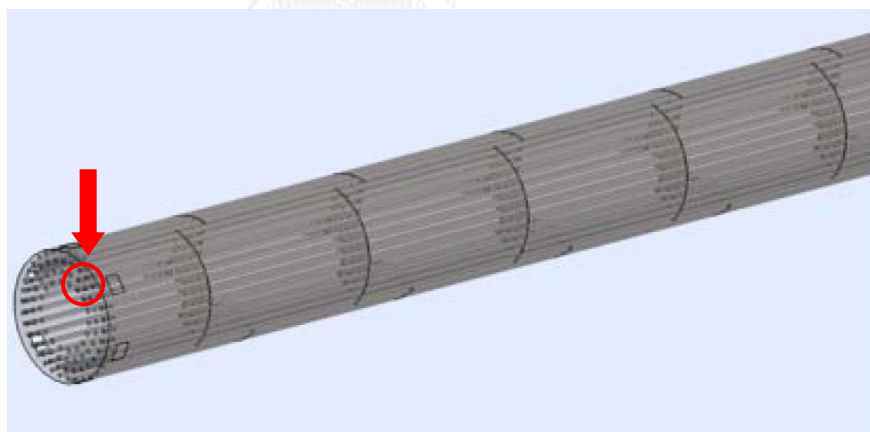
2. ป้อนเข้าสู่สายพานลำเลียง โดยผ่านสกรูที่ควบคุมปริมาณเชื้อเพลิงได้

3. เชื้อเพลิงเข้าสู่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อ (Shell and tube heat exchanger) ที่ประกอบด้วยท่อจำนวน 108 อัน อยู่ในเชลล์ (Shell) ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง

3.4 เมตร ยาว 30 เมตร มีกำลังการอบแห้งสูงสุด (Capacity Max) 400 ตันต่อวัน หรือ 12,000 ตันต่อเดือน เมื่อเข้าสู่กระบวนการอบแห้งจะมีของไหลอย่างหนึ่งอยู่ในเชลล์ (Shell) คือ เชื้อเพลิง และของไหลอีกอย่างหนึ่งจะอยู่ในท่อ (Tube) ซึ่งก็คือ ไอน้ำ (Steam) ที่มีแรงดัน 3.5 บาร์ และอุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส มีการส่งผ่านมายังเครื่องอบแห้งโดยท่อที่มีฉนวนหุ้มกันความร้อน โดยเชลล์ (Shell) แสดงดังรูปที่ 3.5 และท่อ (Tube) แสดงดังรูปที่ 3.6 ซึ่งจะอยู่ในลักษณะไหลสวนทางกัน ส่วนด้านเชลล์มีแผ่นกั้นหรือแบฟเฟิล (Baffle) เพื่อเปลี่ยนทิศทางการไหลในเชลล์ให้ไหลขวางกลุ่มท่อ ทำให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนช่วยเพิ่มอัตราการถ่ายโอน



รูปที่ 3.5 แสดงเชลล์ (Shell)



รูปที่ 3.6 แสดงท่อ (Tube)

ความร้อน และมีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบใช้อากาศ (Air cooled heat exchanger) ดังรูปที่ 3.7 ประกอบด้วยกลุ่มท่อขนาดเล็กที่จะมีไอน้ำ (Steam) ที่มีอุณหภูมิสูงไหลผ่าน โดยจะเป่าอากาศจากภายนอกผ่านไปรอบท่อ ทำให้อากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้นแล้วเป่าเข้าสู่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อ



รูปที่ 3.7 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบใช้อากาศ

โดยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อ จะหมุนด้วยความเร็วรอบ ซึ่งสามารถปรับตั้งได้จนกระทั่งเชื้อเพลิงไหลออกที่ด้านท้ายเครื่องออกไปที่สายพานลำเลียงขาออก

4. เชื้อเพลิงขาออกจะกองเก็บไว้ในโกดังเก็บเชื้อเพลิง

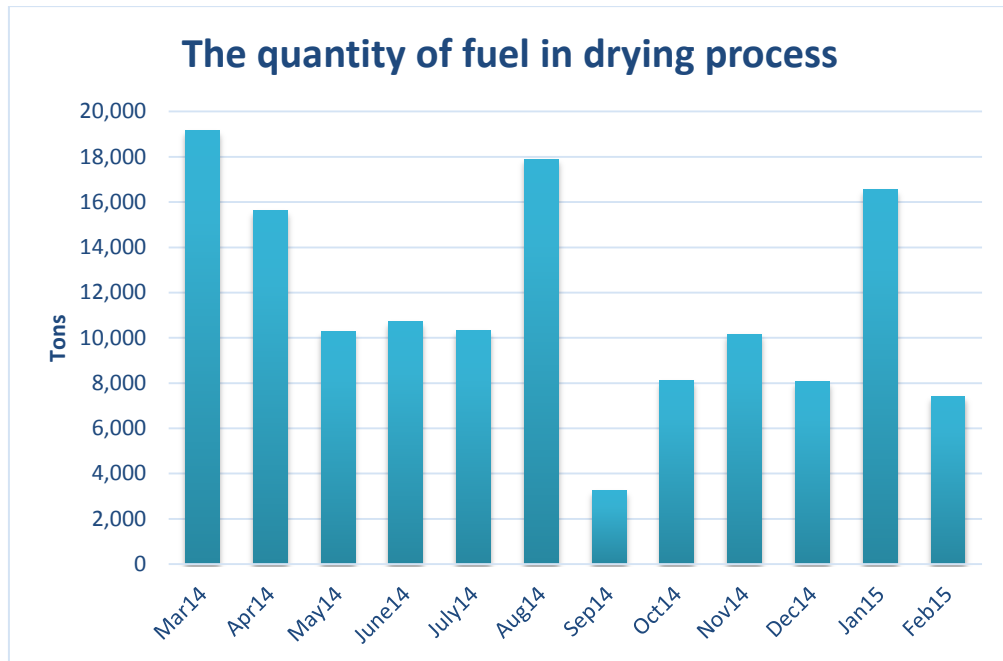
ส่วนไอน้ำ (Steam) หลังจากมีการคายความร้อนออกมาและอุณหภูมิลดลงจะเกิดการควบแน่นเป็นน้ำ โดยน้ำที่ได้นี้จะเก็บที่ถังเก็บน้ำ (Condensate tank)

CHULALONGKORN UNIVERSITY

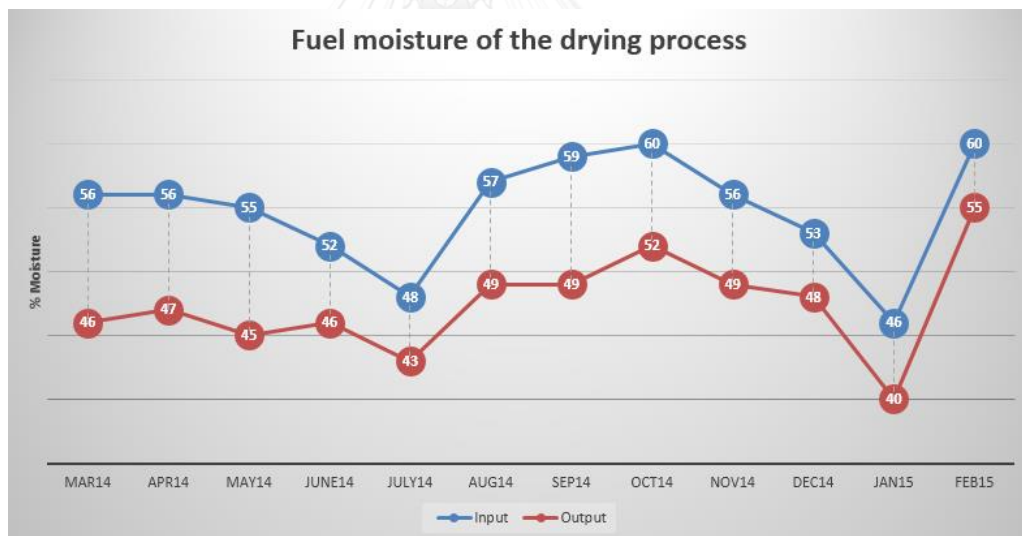
3.3 การกำหนดปัญหา

ค่าความชื้นเชื้อเพลิงถือเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อกระบวนการผลิตไฟฟ้า โดยในกระบวนการอบแห้งของโรงงาน ยอมรับได้ที่ค่าต้นทุนทั้งหมด(ต้นทุนการเดินเครื่องอบแห้งและต้นทุนค่าเชื้อเพลิง) ต่อค่าความร้อนที่ทำได้ไม่มากกว่า 0.13 บาทต่อเมกกะจูล เนื่องจากหากสามารถลดค่าความชื้นเชื้อเพลิงลงได้สูงจะทำให้ได้ค่าความร้อนเชื้อเพลิง(Heat rate) เพิ่มสูงขึ้นด้วย

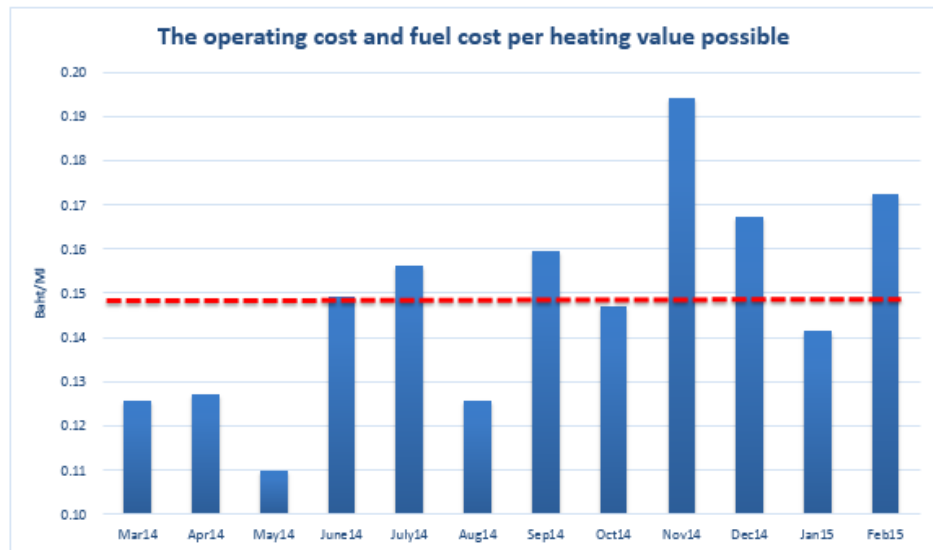
จากการตรวจสอบข้อมูลการอบแห้งเชื้อเพลิงที่ผ่านมา มีปริมาณการอบแห้งเชื้อเพลิงตั้งแต่เดือนมีนาคม 2557 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ 2558 จำนวน 137,619 ตันต่อปี (เฉลี่ย 11,468 ตันต่อเดือน) โดยเป็นปริมาณต้นของขาเข้า ดังรูปที่ 3.8 และมีค่าความชื้นก่อนอบและหลังอบ ดังรูปที่ 3.9 จะเห็นได้ว่าต้นทุนการเดินเครื่องและต้นทุนเชื้อเพลิงต่อค่าความร้อนที่ทำได้ในแต่ละเดือนขึ้นๆลงๆ และมีแนวโน้มเพิ่ม พบว่า มีค่าต้นทุนทั้งหมดต่อค่าความร้อนที่ทำได้โดยเฉลี่ยในแต่ละเดือนสูงเกินเกณฑ์ที่ยอมรับได้ แสดงดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.8 ปริมาณการอบแห้งเชื้อเพลิง

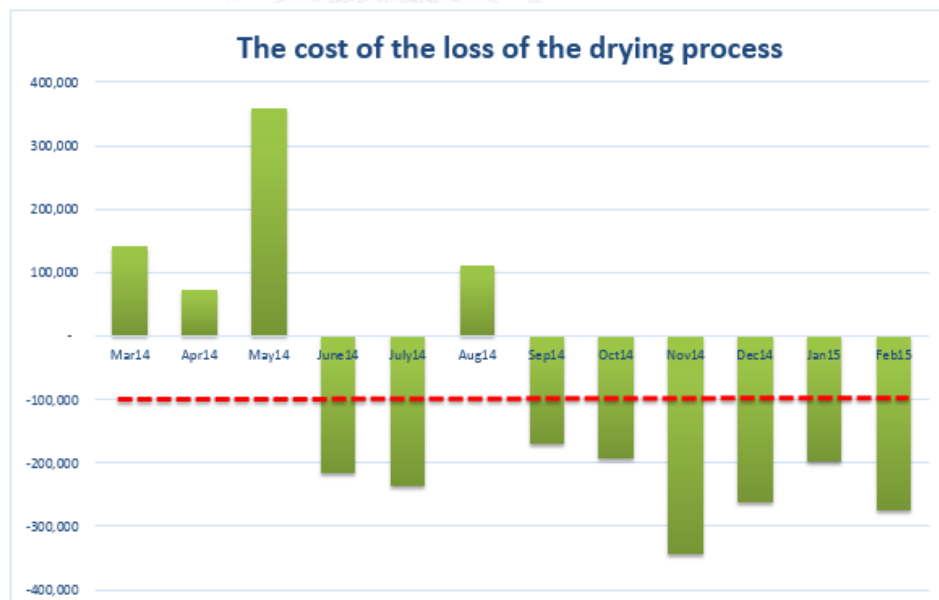


รูปที่ 3.9 ค่าความชื้นเชื้อเพลิงของกระบวนการอบแห้ง



รูปที่ 3.10 ต้นทุนการเดินเครื่องและต้นทุนเชื้อเพลิงต่อค่าความร้อนที่ทำได้

โดยปัจจุบันต้นทุนทั้งหมดในกระบวนการอบแห้ง เท่ากับ 0.15 บาทต่อเมกกะจูล ซึ่งมากกว่าต้นทุนที่ยอมรับได้ของโรงงานกรณีศึกษา (0.13 บาทต่อเมกกะจูล) โดยคิดเป็นมูลค่าสูญเสีย 1,212,727 บาทต่อปี (คำนวณจากต้นทุนทั้งหมดต่อค่าความร้อนที่สูงมากกว่าต้นทุนที่ยอมรับได้) ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ค่าใช้จ่ายที่สูญเสียในกระบวนการอบแห้ง

3.3 การกำหนดเป้าหมายและตัวชี้วัด

เป้าหมายที่จะดำเนินการ คือ การปรับปรุงค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงชีวมวลในกระบวนการอบแห้ง โดยตัวชี้วัด คือ ค่าต้นทุนเชื้อเพลิงทั้งหมดต่อค่าความร้อนที่ได้ในหน่วย บาทต่อเมกกะจูล

3.4 การจัดตั้งคณะกรรมการ

การจัดตั้งคณะกรรมการในการดำเนินงาน ได้คัดเลือกจากผู้ที่มีความรู้ ความเชี่ยวชาญ และประสบการณ์ในกระบวนการอบแห้งเชื้อเพลิง เพื่อช่วยในการระดมความคิด สนับสนุนการทดลองด้วยเครื่องมือและเทคนิคต่างๆที่จะนำไปใช้ในงานวิจัยบรรลุเป้าหมาย โดยทีมงานวิจัยประกอบด้วยบุคคลต่างๆ ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 บุคลากรในทีมวิจัย

ตำแหน่ง	การศึกษา	ประสบการณ์
ผู้จัดการฝ่ายเชื้อเพลิง	ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	ผู้จัดการฝ่ายเชื้อเพลิงโรงงานกรณีศึกษา 12 ปี
วิศวกรโครงการ	ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยขอนแก่น	วิศวกรควบคุมดูแลงานโครงการของโรงไฟฟ้า 6 ปี
หัวหน้าแผนกเชื้อเพลิง	ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) สาขา ช่างโลหะ วิทยาลัยเทคนิคยะลา	หัวหน้างานแผนกเชื้อเพลิง ประสบการณ์ 23 ปี
พนักงานแผนกเชื้อเพลิง	ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) สาขา ช่างไฟฟ้ากำลัง โรงเรียนเทคโนโลยีภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	พนักงานควบคุมระบบปฏิบัติการควบคุมอัตโนมัติ (Distributed Control System; DCS) ในกระบวนการอบแห้งประสบการณ์ 2 ปี
ผู้จัดการแผนกคุณภาพ	ปริญญาตรี วิทยาศาสตร์ สาขาเคมี	ผู้จัดการหน่วยงานควบคุมคุณภาพน้ำและเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตไฟฟ้า ประสบการณ์ 15 ปี
ผู้ดำเนินงานวิจัย	ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น	ผู้จัดการแผนกเชื้อเพลิง ประสบการณ์ 7 ปี

3.5 บทสรุป

จากที่ได้กล่าวมาทั้งหมดในระยะนิยามปัญหา พบค่าใช้จ่ายที่สูญเสีย 1,212,727 บาทต่อปี ซึ่งเกิดจากค่าความชื้นเชื้อเพลิงหลังเข้าสู่กระบวนการอบลดลงน้อย ส่งผลต่อค่าความร้อนที่ได้หลังอบเพิ่มขึ้นน้อย ทำให้ต้นทุนทั้งหมดต่อค่าความร้อนที่ทำได้มากกว่าค่าที่ยอมรับได้ของโรงงาน ซึ่งพบว่าระหว่างเดือนมีนาคม 2557 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ 2558 มีค่าต้นทุนทั้งหมดต่อค่าความร้อนที่ทำได้เฉลี่ยเท่ากับ 0.15 บาทต่อเมกกะจูล ซึ่งสูงกว่าค่าที่ยอมรับได้ (0.13 บาทต่อเมกกะจูล) ดังนั้นจุดประสงค์ในการทำวิจัยนี้จึงจะศึกษาปัญหาเกี่ยวกับค่าความชื้นเชื้อเพลิงที่กระบวนการอบแห้งเพื่อปรับปรุงค่าความชื้นเชื้อเพลิงชีวมวลในกระบวนการอบแห้งของโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าและไอน้ำ



บทที่ 4

ระยะตรวจวัดปัญหา (Measure Phase)

4.1 บทนำ

จากการนิยามปัญหาเพื่อวิเคราะห์สาเหตุและแนวทางต่างๆในการแก้ไขปัญหา การศึกษากระบวนการรอบข้างโดยจัดทำแผนที่กระบวนการ (Process Map) แผนภูมิแก๊งปลา (Cause and Effect Diagram) และตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) นี้ไม่สามารถระบุความสำคัญของแต่ละสาเหตุได้ ดังนั้นจึงต้องใช้การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effects Analysis: FMEA) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลกระทบ (Effects) จากลักษณะข้อบกพร่อง (Failure Mode) ที่อาจเกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ โดยวิเคราะห์หาสาเหตุรากเหง้า (Root Cause) เพื่อทำการป้องกันล่วงหน้า โดยจะทำให้ได้สาเหตุที่มีความสำคัญจากมากที่สุดไปจนถึงน้อยที่สุดตามลำดับ โดยเลือกสาเหตุจากการวิเคราะห์นี้ไปทำการแก้ไข

4.2 การวิเคราะห์ความแม่นยำและความเที่ยงของระบบการวัด (Gage R&R)

การวิเคราะห์ระบบการวัด เป็นวิธีการที่ใช้ในการบ่งชี้ความผันแปรที่เกิดขึ้นในการวัด ทำให้สามารถมั่นใจได้ว่าระบบที่ใช้ในการเก็บข้อมูลมีความแม่นยำ (Accurate) และมีความเที่ยงตรง (Precision) เพื่อจะทำให้มั่นใจได้ว่าความแปรปรวนในการวัดจะมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ซึ่งจะได้ใช้ข้อมูลที่วัดได้ใน การหาแนวทางแก้ไขปัญหาและการทำงานให้เกิดประสิทธิภาพต่อไป

4.2.1 การวิเคราะห์ความแม่นยำและความเที่ยงของระบบการวัดในการควบคุมกระบวนการรอบข้างเชื้อเพลิง

กระบวนการรอบข้างใช้อุปกรณ์ในการควบคุมอัตโนมัติ ได้แก่ ระบบการปรับความเร็วรอบของเครื่องอบแห้ง (Speed drum dryer) ระบบการปรับความเร็วสายพานป้อนเชื้อเพลิงเข้า (Speed conveyor input) อัตราการไหลของพัดลมดูดอากาศเข้า (Flow air inlet) และอัตราการไหลของพัดลมดูดอากาศออก (Flow air outlet) โดยระบบการวัดและเครื่องมือที่ใช้มีการสอบเทียบความถูกต้องแม่นยำของเครื่องมือและอุปกรณ์ทุกปี ดังนั้นอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้จึงอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

4.2.2 การวิเคราะห์ความแม่นยำและความเที่ยงของระบบการวัดในการวัดค่าความชื้นในห้องปฏิบัติการ

ค่าที่วัดได้จากห้องปฏิบัติการอาจมีความผันแปรจากพนักงาน เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวัด ดังนั้นจะใช้ความสามารถในการวัดซ้ำ (Repeatability) เป็นการวัดความผันแปรของเครื่องมือวัด เมื่อทำการวัดหลายครั้ง บนชิ้นงานชิ้นเดียวกัน พนักงานคนเดียวกัน และความสามารถในการให้ผลซ้ำ (Reproducibility) เป็นการวัดความผันแปรของพนักงานวัด เมื่อทำการวัดหลายครั้ง บนชิ้นงานเดียวกัน แต่พนักงานวัดต่างคนกัน เพื่อวิเคราะห์ความผันแปรของการวัด

4.2.2.1 การออกแบบการวิเคราะห์ความแม่นยำและความเที่ยงของระบบการวัดค่าความชื้นเชื้อเพลิง โดยระบบการวัดค่าความชื้นประกอบด้วย เครื่องชั่งที่มีความละเอียด 0.001 กรัม ดังรูปที่ 4.1 และตู้อบเชื้อเพลิง ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 เครื่องชั่งที่มีความละเอียด 0.001 กรัม



รูปที่ 4.2 ตู้อบเชื้อเพลิง

ซึ่งการหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นในเชื้อเพลิง มีขั้นตอนดังนี้

1. ชั่งน้ำหนักภาชนะได้น้ำหนักเป็น A กรัม โดยก่อนชั่งให้ปรับเครื่องชั่งที่ปุ่ม tare ให้เป็นค่า 0 ดังรูปที่ 4.1
2. นำตัวอย่างเชื้อเพลิงใส่ในภาชนะแล้วชั่งน้ำหนักได้น้ำหนักเป็น B กรัม
3. นำภาชนะที่ใส่ตัวอย่างเข้าอบในเครื่องอบเชื้อเพลิง อย่างน้อย 24 ชั่วโมง ดังรูปที่ 4.2
4. หลังจากนั้นนำภาชนะออกจากตู้อบและชั่งน้ำหนักทันที น้ำหนักเป็น C กรัม
5. คำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น จากสูตร

$$\% \text{ความชื้น} = \frac{(A + B) - C}{B} \times 100\%$$

เมื่อ A = น้ำหนักภาชนะ (กรัม)

B = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

C = น้ำหนักที่เหลือหลังอบ (กรัม)

ในขั้นตอนการวิเคราะห์ความแม่นยำและความเที่ยงของระบบการวัดนี้ จะใช้การปฏิบัติจริงของโรงงานในปัจจุบัน ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. คัดเลือกพนักงานที่มีทักษะ ความชำนาญ และได้รับการอบรมอย่างดี จำนวน 3 คน จากทั้งหมด 5 คน
2. คัดเลือกเชื้อเพลิงในกระบวนการอบแห้งแบบสุ่ม จำนวน 10 ตัวอย่าง
3. ให้พนักงานทำการวัดค่าความชื้นเชื้อเพลิง โดยทำการวัดจนครบทุกชิ้นและวัดซ้ำอีก 1 ครั้ง ด้วยวิธีการเดียวกัน ซึ่งอุปกรณ์ในการวัด คือ เครื่องวัดความชื้น (Oven) 1 เครื่อง
4. จัดลำดับการวัดค่าความชื้นเชื้อเพลิงแบบสุ่ม เพื่อไม่ให้เกิดความเอนเอียงในการประเมินระบบการวัด
5. นำข้อมูลที่ได้อ่านที่ค่าลงในแบบฟอร์ม เพื่อนำไปวิเคราะห์ความแม่นยำและความเที่ยงตรงของระบบการวัด

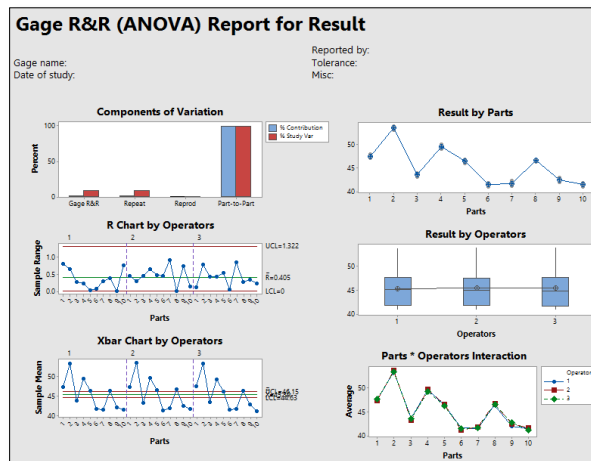
ผลการทดสอบวัดค่าความชื้นเชื้อเพลิงจากห้องปฏิบัติการเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ที่ได้ผลดัง
แสดงในตารางที่ 4.1 เมื่อบันทึกค่าที่ได้ลงในโปรแกรม Minitab และคำนวณค่า Gage R&R จะได้ผล
ดังรูปที่ 4.3 และ 4.4

ตารางที่ 4.1 ผลการวัดค่าความชื้นเชื้อเพลิง (หน่วย %Moisture)

ตัวอย่าง ที่	พนักงานคนที่ 1		พนักงานคนที่ 2		พนักงานคนที่ 3	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	47.03	47.83	47.12	47.58	47.66	47.55
2	53.08	53.72	53.56	53.86	53.00	53.79
3	43.64	43.91	43.49	43.03	43.27	43.70
4	49.37	49.59	49.00	49.35	49.06	49.50
5	46.44	46.47	46.32	46.79	46.56	46.02
6	41.68	41.75	41.48	41.02	41.49	41.44
7	41.32	41.61	42.29	41.37	42.11	41.26
8	46.26	46.65	46.73	46.73	46.38	46.65
9	42.03	42.04	42.03	42.77	42.97	42.63
10	41.82	41.05	41.59	41.73	41.07	41.30

ตารางที่ 4.2 มาตรฐานในการยอมรับระบบการวัด (AIAG)

Measurement System	% Study Var	% Contribution	% Distinct Categories
Acceptable	10% or Less	1% or Less	5 or Greater
Marginal	10% - 30%	1% - 9%	
Unacceptable	30% or Greater	9% or Greater	Less than 5



รูปที่ 4.3 การประเมินความผันแปรของระบบการวัดค่าความชื้นเชื้อเพลิง

Gage R&R Study - ANOVA Method

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	9	879.786	97.7540	943.451	0.000
Operators	2	0.074	0.0372	0.359	0.703
Parts * Operators	18	1.865	0.1036	0.881	0.603
Repeatability	30	3.530	0.1177		
Total	59	885.255			

α to remove interaction term = 0.05

Two-Way ANOVA Table Without Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	9	879.786	97.7540	869.691	0.000
Operators	2	0.074	0.0372	0.331	0.720
Repeatability	48	5.395	0.1124		
Total	59	885.255			

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.1124	0.69
Repeatability	0.1124	0.69
Reproducibility	0.0000	0.00
Operators	0.0000	0.00
Part-To-Part	16.2736	99.31
Total Variation	16.3860	100.00

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.33526	2.0116	8.28
Repeatability	0.33526	2.0116	8.28
Reproducibility	0.00000	0.0000	0.00
Operators	0.00000	0.0000	0.00
Part-To-Part	4.03405	24.2043	99.66
Total Variation	4.04796	24.2878	100.00

Number of Distinct Categories = 16

รูปที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ความผันแปรของระบบการวัดค่าความชื้นเชื้อเพลิง

วิเคราะห์และสรุปผล

1. จากกราฟ Components of Variation ดังรูปที่ 4.3 พบว่า ความแปรปรวนจากความแตกต่างของตัวอย่าง (Part-to-Part) เท่ากับ 99.31% ดังรูปที่ 4.4 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าความแปรปรวนของระบบการวัด (Total Gage R&R) เท่ากับ 0.69% ทำให้สามารถสรุปได้ว่า ความผันแปรมาจากความแตกต่างของตัวอย่างเชื่อถือ

2. จากแผนภูมิควบคุมพิสัย (R Chart by Operator) ดังรูปที่ 4.3 พบว่า พบว่าพนักงานทั้ง 3 คนมีค่าการวัดที่สม่ำเสมอ ไม่มีจุดออกไปนอกช่วง พนักงานทุกคนมีพิสัยอยู่ในการควบคุม แสดงว่ามีความสามารถในการวัดซ้ำได้

3. จากแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย (Xbar Chart by Operators) ดังรูปที่ 4.3 พบว่า ไม่มีจุดออกไปนอกช่วง ความผันแปรของระบบการวัดมีค่าไม่มากโดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในการควบคุม แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการวัดมีคุณภาพเพียงพอในการประมาณค่าความผันแปรของกระบวนการ

4. ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ โดยทดสอบสมมติฐาน

4.1 ชิ้นงาน (Parts)

H_0 : ชิ้นงานไม่มีอิทธิพลต่อความแปรปรวน

H_1 : ชิ้นงานมีอิทธิพลต่อความแปรปรวน

จากรูปที่ 4.4 ค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า α (0.05) ซึ่งทำให้ปฏิเสธ H_0 ทำให้สามารถสรุปได้ว่า ชิ้นงานมีอิทธิพลต่อความแปรปรวนของระบบการวัด ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

4.2 พนักงาน (Operators)

H_0 : พนักงานไม่มีอิทธิพลต่อความแปรปรวน

H_1 : พนักงานมีอิทธิพลต่อความแปรปรวน

จากตารางที่ 4.2 ค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.703 ซึ่งมากกว่า α (0.05) ซึ่งทำให้ไม่ปฏิเสธ H_0 ทำให้สามารถสรุปได้ว่า พนักงานไม่มีอิทธิพลต่อความแปรปรวนของระบบการวัด ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

4.3 อิทธิพลร่วมระหว่างชิ้นงานกับพนักงาน (Parts * Operators)

H_0 : อิทธิพลร่วมระหว่างชิ้นงานกับพนักงานไม่มีอิทธิพลต่อความแปรปรวน

H_1 : อิทธิพลร่วมระหว่างชิ้นงานกับพนักงานมีอิทธิพลต่อความแปรปรวน

จากรูปที่ 4.4 ค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.603 ซึ่งมากกว่า α (0.05) ซึ่งทำให้ไม่ปฏิเสธ H_0 ทำให้สามารถสรุปได้ว่า อิทธิพลร่วมระหว่างชิ้นงานกับพนักงานไม่มีอิทธิพลต่อความแปรปรวนของระบบการวัด ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

5. ความแปรปรวน

5.1 องค์ประกอบของความแปรปรวน ดังรูปที่ 4.4 มีค่าความแปรปรวนจากชิ้นงาน เท่ากับ 99.31% และความแปรปรวนจากระบบการวัด เท่ากับ 0.69% ซึ่งเป็นความผันแปรจากเครื่องมือวัด

5.2 ความสามารถในการแยกความแตกต่างของข้อมูลที่วัดได้ (Number of Distinct Categories) เท่ากับ 16 ดังรูปที่ 4.4 ซึ่งเกณฑ์ขั้นต่ำที่ยอมรับได้อยู่ที่ 5 ตามมาตรฐาน AIAG ดังตารางที่ 4.2 แสดงว่า ข้อมูลที่ได้จากระบบการวัดใช้ประมาณค่าความผันแปรของกระบวนการได้

5.3 ความผันแปรจากระบบการวัดเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ (%SV) มีค่าเท่ากับ 8.28% ดังรูปที่ 4.4 ซึ่งน้อยกว่า 10% อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ตามมาตรฐาน AIAG ดังตารางที่ 4.2 ทำให้สามารถสรุปได้ว่า ระบบการวัดมีความแม่นยำและความผันแปรอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

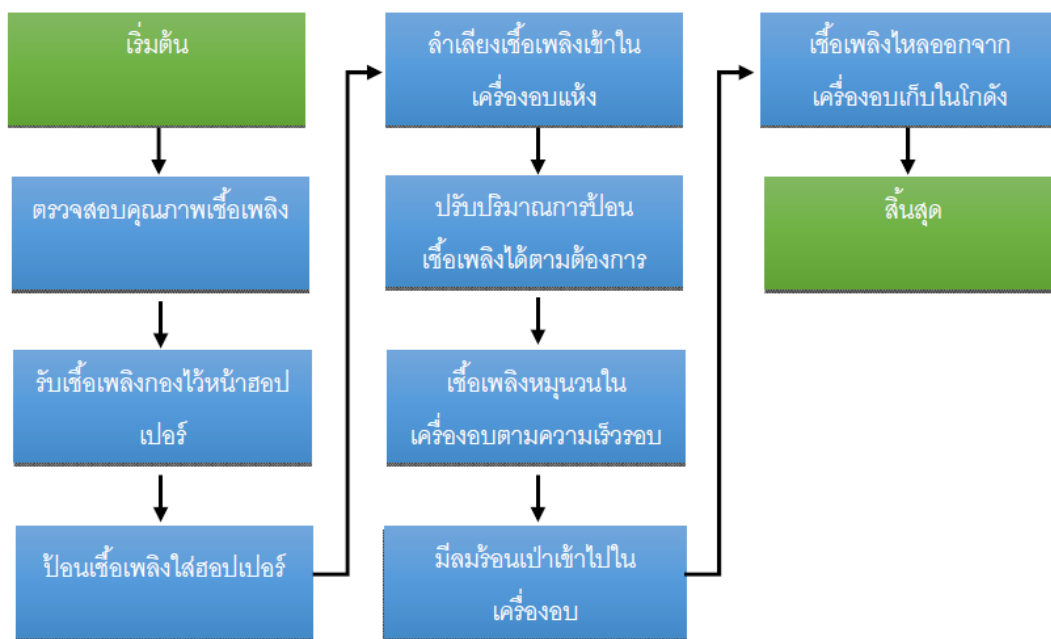
การวิเคราะห์ระบบการวัดจากที่กล่าวมาทั้งหมด สรุปได้ว่า ระบบการวัดค่าความขึ้นเชื้อเพลิง นี้มีความสามารถในการแยกความแตกต่างของค่าวัดได้ โดยสามารถยอมรับในความสามารถของระบบการวัดนี้ว่าความแปรปรวนในระบบการวัดมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ มีความแม่นยำและเที่ยงตรงเพียงพอที่จะใช้สำหรับดำเนินการในขั้นตอนต่อไป

4.3 แผนที่กระบวนการผลิต (Process Map)

การสร้างแผนที่กระบวนการผลิตจะทำให้ทราบถึงขั้นตอน ปัจจัย และความสัมพันธ์ของงานแต่ละงาน เพื่อให้นำไปวิเคราะห์เพื่อแก้ไขปัญหาได้สะดวกและง่ายมากขึ้น โดยแผนที่กระบวนการรอบแห่งเชื้อเพลิง แสดงดังรูปที่ 4.5

4.4 การระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้า

การระดมสมองเพื่อระบุปัจจัยที่เป็นไปได้ที่มีผลกระทบต่อค่าความขึ้นเชื้อเพลิง จะทำโดยทีมงานที่ได้คัดเลือกและกำหนดไว้ในระยะนิยามปัญหา โดยประกอบด้วย ผู้จัดการแผนกเชื้อเพลิง ผู้จัดการแผนกคุณภาพ วิศวกรแผนกผลิต วิศวกรโครงการเครื่องอบแห้ง หัวหน้าแผนกเชื้อเพลิง พนักงานแผนกเชื้อเพลิง และผู้ดำเนินงานวิจัย ซึ่งเป็นผู้ที่มีความรู้ ความเข้าใจในกระบวนการอบแห้งเชื้อเพลิงเป็นอย่างดี ซึ่งจะมีขั้นตอนการระดมสมองเพื่อหาปัจจัยดังนี้



รูปที่ 4.5 แผนที่กระบวนการอบแห้งเชื้อเพลิง

1. ใช้แผนภูมิแก๊งปลา (Cause and Effect Diagram) ในการเริ่มต้นระดมสมองเพื่อหาปัจจัยทั้งหมดที่ทำให้เกิดปัญหาค่าความชื้นเชื้อเพลิงไม่ลดลงตามเป้าหมาย
2. นำปัจจัยที่ได้จากแผนภูมิแก๊งปลา มาคัดกรองด้วยตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) เพื่อให้ได้ปัจจัยที่อาจจะมีผลต่อปัญหาค่าความชื้นเชื้อเพลิงไม่ลดลงตามเป้าหมาย โดยการเรียงลำดับคะแนน
3. นำปัจจัยที่ได้คัดกรองแล้ว มาวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA)

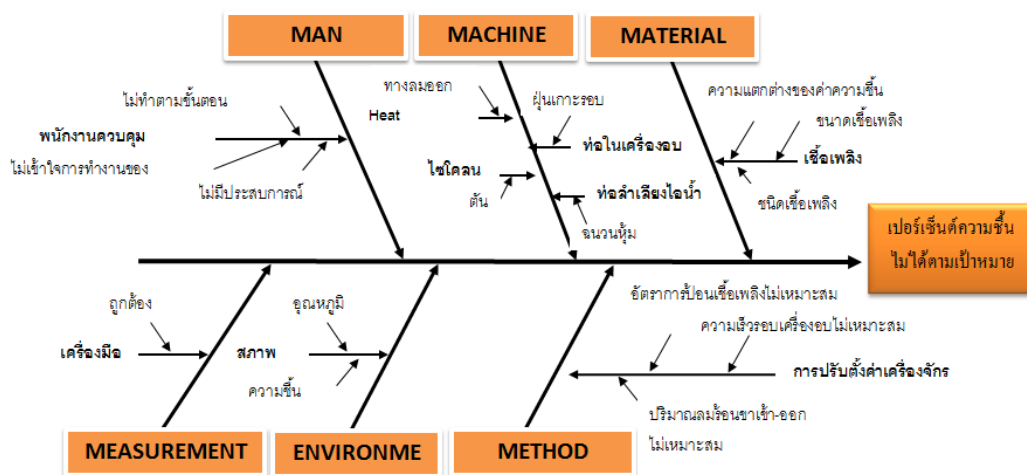
4.4.1 การหาปัจจัยโดยใช้แผนภูมิแก๊งปลา (Cause and Effect Diagram)

การหาปัจจัยโดยใช้แผนภูมิแก๊งปลา จะทำการระดมสมอง และรวบรวมความคิดจากทีมงานที่ได้คัดเลือกมา ซึ่งเป็นผู้ที่มีความรู้ ความเข้าใจในกระบวนการอบแห้งเชื้อเพลิงเป็นอย่างดี โดยมีขั้นตอนในการสร้างแผนภูมิ ดังนี้

1. กำหนดปัญหา
2. กำหนดปัจจัยที่จะทำให้เกิดปัญหา ในที่นี้จะใช้หลักการ 5M1E ได้แก่ ปัจจัยจากพนักงาน (Man) ปัจจัยจากเครื่องจักร (Machine) ปัจจัยจากวัตถุดิบ (Material) ปัจจัยจากวิธีการทำงาน (Method) ปัจจัยจากการวัด (Measurement) และปัจจัยจากสภาพแวดล้อม (Environment)

3. ระดมสมองเพื่อหาสาเหตุในแต่ละปัจจัย
4. หาสาเหตุหลักของปัญหา
5. จัดลำดับความสำคัญของสาเหตุ

ซึ่งผลของการระดมสมองเพื่อหาสาเหตุของปัญหาที่ส่งผลต่อค่าความชื้นเชื้อเพลิงไม่ลดลงตามเป้าหมาย โดยใช้แผนภูมิแก๊งปลาแสดงดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แผนภูมิแก๊งปลาแสดงปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความชื้นเชื้อเพลิง

4.4.2 ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix)

จากการระดมสมองสามารถรวบรวมปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความชื้นเชื้อเพลิงได้ทั้งหมด 16 ปัจจัย จากนั้นนำปัจจัยมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล โดยใช้ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) มาใช้ในการคัดกรองปัจจัยที่มีผลกระทบมาก โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ทำการศึกษารายละเอียดของปัจจัยทั้งหมดที่เกี่ยวข้องของกระบวนการอบแห้งอย่างละเอียดที่ได้จากการระดมสมองจากสมาชิกในทีม

2. นำข้อมูลของปัจจัยทั้งหมด 16 ปัจจัยใส่ในรูปแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล ดังรูปที่ 4.7 โดยให้สมาชิกทุกคนในทีมลงคะแนนให้กับทุกปัจจัยซึ่งคะแนนที่ให้นั้นเป็นอิสระต่อกัน โดยไม่มีการปรึกษากัน คะแนนที่ให้มีความอยู่ในช่วง 0 ถึง 10 คะแนน โดยมีเกณฑ์ในการให้คะแนน (รุจิรา อุไรพงษ์ 2552) ดังนี้

0 คือ ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนั้นกับตัวแปรตอบสนอง

1-3 คือ มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนั้นกับตัวแปรตอบสนองน้อยมาก

4-6 คือ มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนั้นกับตัวแปรตอบสนองปานกลาง

7-9 คือ มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนั้นกับตัวแปรตอบสนองมาก

10 คือ มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนั้นกับตัวแปรตอบสนองมากที่สุด

3. ผู้วิจัยทำการรวบรวมคะแนนทั้งหมดที่ได้จากสมาชิกทุกคนในทีม และพิจารณาทีละปัจจัยโดยมีเกณฑ์สรุปคะแนน ดังต่อไปนี้

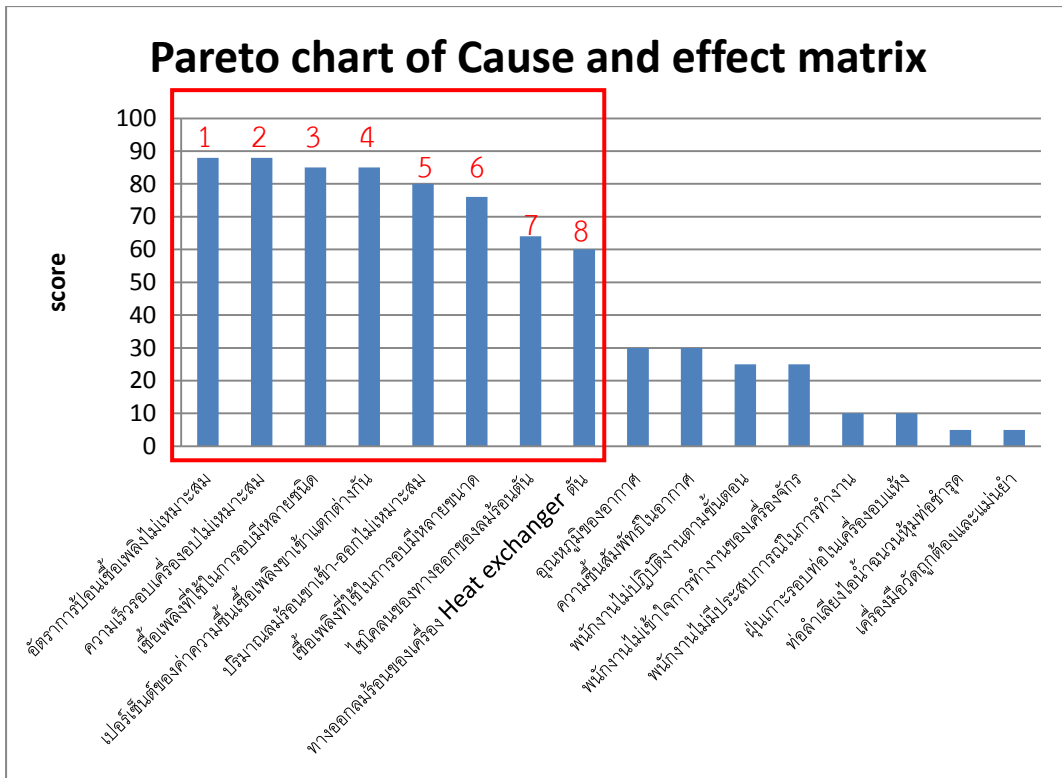
1. กรณีคะแนนอยู่ในช่วงใกล้เคียงกัน ได้แก่ 0-1, 1-3, 0-3 คะแนน ให้สรุปคะแนนโดยพิจารณาจากจำนวนคะแนนที่มีเสียงมากกว่าซึ่งจะให้คะแนนตามเสียงข้างมาก
2. กรณีคะแนนไม่เป็นไปในแนวโน้มเดียวกัน เช่น 0-9, 1-9, 3-9 คะแนน ให้สรุปคะแนนโดยพิจารณาจากอภิปรายร่วมกันของสมาชิกในทีมทีละปัจจัย และใช้คะแนนที่สรุปร่วมกันนี้
3. ผู้ทำการวิจัยสรุปคะแนนที่ได้ทั้งหมด ได้ผลดังรูปที่ 4.9 จากนั้นนำคะแนนที่ได้มา จัดลำดับความสำคัญของแต่ละปัจจัยโดยเรียงจากมากไปน้อย ดังรูปที่ 4.7

จากตารางที่ 4.3 สรุปผลคะแนนซึ่งเกิดจากการให้สมาชิกในคณะทำงานทั้ง 10 ท่าน ทำการลงคะแนนความสำคัญให้กับปัจจัยที่เกิดจากการระดมความคิดทั้งหมด 16 ปัจจัย หลังจากนั้นนำคะแนนที่ได้มาเขียนแผนพาเรโต เพื่อเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยต่างๆ

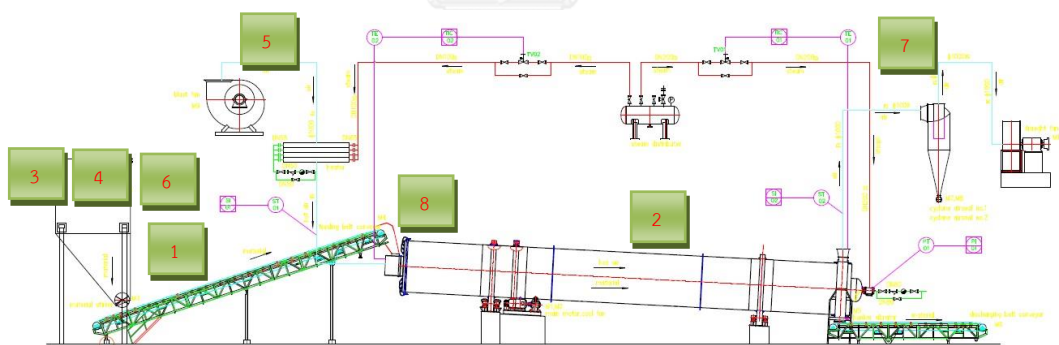
จากรูปที่ 4.7 ผลการให้คะแนนความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อค่าความขึ้นเชื้อเพลิง พบว่าคะแนนรวมทั้งหมดของปัจจัยมีค่าเท่ากับ 766 คะแนน และทำการเลือกปัจจัยตามลำดับคะแนนที่ได้จัดเรียงไว้ในแผนภูมิพาเรโต เพื่อนำไปวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) ในขั้นตอนต่อไป โดยแสดงตำแหน่งของปัจจัยที่ได้เลือกไว้รวมทั้งสิ้น 8 ปัจจัย ตามกฎ 80:20 ดังแสดงในรูปที่ 4.8 และมีผลรวมคะแนนความสำคัญของปัจจัยที่เลือกไว้เท่ากับ 626 คะแนน ซึ่งเป็นสัดส่วน 81.72%

ตารางที่ 4.3 ความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลของปัจจัยที่มีผลต่อค่าความชื้นเชื้อเพลิง

Cause and Effect Matrix			
ลำดับ	กลุ่มที่จำแนก	ปัจจัย	คะแนนความสัมพันธ์
1	Man	พนักงานไม่ปฏิบัติงานตามขั้นตอน	25
2	Man	พนักงานไม่เข้าใจการทำงานของเครื่องจักร	25
3	Man	พนักงานไม่มีประสบการณ์ในการทำงาน	10
4	Machine	ทางออกลมร้อนของเครื่อง Heat exchanger ตัน	60
5	Machine	ฝุ่นเกาะรอบท่อในเครื่องอบแห้ง	10
6	Machine	ท่อลำเลียงไอน้ำฉนวนหุ้มท่อชำรุด	5
7	Machine	ไซโคลนของทางออกของลมร้อนตัน	64
8	Material	เชื้อเพลิงที่ใช้ในการอบมีหลายชนิด	85
9	Material	เชื้อเพลิงที่ใช้ในการอบมีหลายขนาด	76
10	Material	เปอร์เซ็นต์ของค่าความชื้นเชื้อเพลิงขาเข้าแตกต่างกัน	85
11	Method	อัตราการป้อนเชื้อเพลิงไม่เหมาะสม	88
12	Method	ปริมาณลมร้อนขาเข้า-ออกไม่เหมาะสม	80
13	Method	ความเร็วรอบเครื่องอบไม่เหมาะสม	88
14	Measurement	เครื่องมือวัดถูกต้องและแม่นยำ	5
15	Environment	อุณหภูมิของอากาศ	30
16	Environment	ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ	30
รวมทั้งหมด			766



รูปที่ 4.7 แผนภูมิพารโตเรียงตามคะแนนความสัมพันธ์ Cause & Effect Matrix



รูปที่ 4.8 ตำแหน่งของปัจจัยที่ผ่านการคัดเลือกจากการวิเคราะห์ด้วย Cause & Effect Matrix

โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความชื้นเชื้อเพลิงจากรางความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล ดังตารางที่ 4.4 ซึ่งแต่ละปัจจัยมีรายละเอียดดังนี้

1. การปรับตั้งค่าอัตราการป้อนเชื้อเพลิงไม่เหมาะสม

ในกระบวนการอบแห้งเชื้อเพลิงในปัจจุบัน การปรับตั้งค่าอัตราการป้อนเชื้อเพลิงไม่มีมาตรฐานในการปรับตั้ง โดยจะเน้นปริมาณเชื้อเพลิงที่ต้องการอบในแต่ละวันเป็นที่ตั้ง เมื่อต้องการปริมาณเชื้อเพลิงมากจะป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่กระบวนการอบมาก หากต้องการใช้เชื้อเพลิงน้อยจะป้อน

เชื้อเพลิงเข้าสู่กระบวนการอบน้อย โดยไม่สามารถบอกความแตกต่างของค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงหลังอบได้

ตารางที่ 4.4 ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความชื้นเชื้อเพลิงจากตารางความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล

Item	Six Area Causes	Process input variable	Total
1	Method	อัตราการป้อนเชื้อเพลิงไม่เหมาะสม	88
2	Method	ความเร็วรอบเครื่องอบไม่เหมาะสม	88
3	Material	เชื้อเพลิงที่ใช้ในการอบมีหลายชนิด	85
4	Material	เปอร์เซ็นต์ของค่าความชื้นเชื้อเพลิงเข้าแตกต่างกัน	85
5	Method	ปริมาณลมร้อนเข้า-ออกไม่เหมาะสม	80
6	Material	เชื้อเพลิงที่ใช้ในการอบมีหลายขนาด	76
7	Machine	ไซโคลนของทางออกของลมร้อนต้น	64
8	Machine	ทางออกลมร้อนของเครื่อง Heat exchanger ต้น	60
รวมทั้งหมด			626

2. การปรับตั้งค่าความเร็วรอบเครื่องอบไม่เหมาะสม

ในกระบวนการอบแห้งเชื้อเพลิงในปัจจุบัน การปรับตั้งค่าความเร็วรอบเครื่องอบไม่มีมาตรฐานในการปรับตั้ง เมื่อปรับตั้งความเร็วรอบช้าจะทำให้ใช้เวลาในการอบนานขึ้น และเมื่อปรับตั้งค่าความเร็วรอบเร็วระยะเวลาในการอบจะสั้นลง ทำให้ระยะเวลาในการระเหยความชื้นและการเพิ่มอุณหภูมิของเชื้อเพลิงที่ได้ไม่เหมาะสมกับเชื้อเพลิงที่เข้าอบ เนื่องจากเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้าเครื่องอบแตกต่างกัน ส่งผลต่อค่าความชื้นเชื้อเพลิงที่ลดลงจะไม่เท่ากัน ดังนั้นจำเป็นต้องหาจุดที่เหมาะสมในการปรับตั้งเครื่องจักร

3. เชื้อเพลิงที่ใช้ในการอบมีหลายชนิด

เชื้อเพลิงที่ใช้ในการอบแห้งมีหลายชนิด แบ่งเป็น 2 ประเภท ดังนี้

3.1 เชื้อเพลิงที่มีลักษณะเป็นเส้นใย ได้แก่ ทะลายปาล์ม เปลือกมะพร้าว เปลือกไม้ยูคาลิปตัส

3.2 เชื้อเพลิงที่ไม่เป็นเส้นใย ได้แก่ ไม้ซิป เศษไม้ ชานอ้อย

ซึ่งทั้ง 2 ประเภทมีขนาด รูปร่าง และคุณสมบัติแตกต่างกัน ณ เวลาที่เท่ากัน อัตราส่วนของความชื้นแต่ละชนิดจะมีปริมาณน้ำที่ระเหยจากเชื้อเพลิงไม่เท่ากัน ดังนั้นหากต้องการค่าความชื้นลดลงต้องปรับตั้งค่าพารามิเตอร์เครื่องจักรให้เหมาะสมกับชนิดเชื้อเพลิง ซึ่งในการอบแห้งปัจจุบัน มีการเดินเครื่องที่ไม่มีการแบ่งแยกการปรับตั้งค่าเครื่องจักรตามประเภทหรือชนิดของเชื้อเพลิงส่งผลต่อค่าความชื้นที่ลดลง หากมีการปรับตั้งค่าเครื่องจักรให้เหมาะสมตามชนิดของเชื้อเพลิงค่าความชื้นหลังอบแห้งน่าจะดีขึ้นกว่าเดิม

4. เปอร์เซ็นต์ของค่าความชื้นเชื้อเพลิงขาเข้า

เชื้อเพลิงก่อนเข้าสู่กระบวนการอบมีค่าความชื้นระหว่าง 40%-60% คือ ปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงขาเข้าแตกต่างกัน นั่นแสดงว่าปริมาณมวลน้ำที่ระเหยจากเชื้อเพลิงจะแตกต่างกัน เมื่อใช้เวลาในการอบเท่ากัน ค่าความชื้นเชื้อเพลิงที่ลดลงจะไม่เท่ากัน แต่เป็นปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้เนื่องจากเชื้อเพลิงขาเข้าที่ร่อนเข้าสู่กระบวนการในแต่ละรอบของการร่อนจะมีค่าแตกต่างกัน

5. การปรับตั้งค่าปริมาณลมร้อนขาเข้า-ออกไม่เหมาะสม

ในกระบวนการอบแห้งเชื้อเพลิงในปัจจุบัน การปรับตั้งปริมาณลมร้อนขาเข้า-ออกไม่มีมาตรฐานในการปรับตั้ง โดยจะปรับปริมาณลมร้อนคงที่ที่ค่าใดค่าหนึ่งตลอด เมื่อใช้เวลาในการอบเท่ากัน ค่าความชื้นเชื้อเพลิงที่ลดลงจะไม่เท่ากัน ดังนั้นจำเป็นต้องหาจุดที่เหมาะสมในการปรับตั้งเครื่องจักร

6. เชื้อเพลิงที่ใช้ในการอบมีหลายขนาด

เชื้อเพลิงที่ใช้ในการอบแห้งมีหลายขนาดและหลายแบบ ดังรูปที่ 4.9 ทำให้อัตราการระเหยความชื้นแตกต่างกัน ช่วงเวลาในการอบที่เท่ากัน ความชื้นแต่ละขนาดจะมีค่าลดลงแตกต่างกัน โดยการเดินเครื่องปัจจุบันมีการปรับตั้งค่าคงที่โดยไม่แบ่งตามชนิดหรือขนาดเชื้อเพลิง ทำให้ค่าความชื้นเชื้อเพลิงไม่ลดลงตามที่ควรจะเป็น



รูปที่ 4.9 ขนาดและลักษณะเชื้อเพลิงที่ใช้ในการอบแห้ง

7. โซโคลอนตันทำให้ขวางทางออกของลมร้อน

โซโคลอนมีหน้าที่ในการดักจับฝุ่นที่ออกมาจากลมร้อนโดยจะมีโรตารี(Rotary)ในการควบคุมให้ฝุ่นไหลออกสู่สายพานลำเลียงขาออก ซึ่งหากระบบการทำงานของโรตารีมีปัญหาจะทำให้ฝุ่นไม่สามารถไหลออกได้ เกิดการสะสมมากขึ้นจนถึงระดับที่ขวางทางลมร้อนที่จะไปสู่ปล่องและอากาศ จะทำให้ความชื้นที่ระเหยออกจากเชื้อเพลิงไม่มีการระบายออกและสะสมในเครื่องอบ ส่งผลต่อค่าความชื้นเชื้อเพลิงที่ไม่ลดลงเท่าที่ควรดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 โซโคลอนของเครื่องอบแห้ง

8. ทางออกลมร้อนของเครื่อง Heat exchanger ตัน

กระบวนการอบแห้งต้องใช้ลมร้อนช่วยในการระเหยน้ำและเพิ่มอุณหภูมิเชื้อเพลิง หากมีเชื้อเพลิงตันทางออกของลมร้อนจะทำให้ประสิทธิภาพของลมร้อนลดลง คือ ปริมาณลมลดลง ความเร็วลมลดลง ทำให้การระเหยความชื้นออกจากเชื้อเพลิงลดลง ส่งผลให้ค่าความชื้นไม่ลดลงเท่าที่ควร

4.4.3 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA)

จากที่ได้เลือกปัจจัยที่สำคัญด้วย Cause & Effect Matrix แล้ว ในขั้นตอนนี้จะนำปัจจัยเหล่านั้นมาทำการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) เพื่อศึกษาถึงลักษณะของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นของปัจจัยต่างๆเหล่านั้น พร้อมทั้งพิจารณาผลกระทบที่เกิดขึ้นเพื่อถ่วงดุลให้เหลือแต่ปัจจัยที่มีความสำคัญต่อปัญหาที่ทำการวิจัยเพื่อนำไปปรับปรุงแก้ไขในกระบวนการต่อไป โดยมีขั้นตอนวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) มีดังนี้

1. จัดตั้งทีมงานเพื่อระดมสมองในการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) โดยเป็นทีมงานเดียวกับทีมงานที่ได้กำหนดไว้แล้ว

2. นำปัจจัยที่ได้คัดกรองมาจาก Cause & Effect Matrix ทั้ง 8 ปัจจัย มาทำการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและทำการบันทึก
3. ประเมินความร้ายแรงของผลกระทบของปัจจัย ซึ่งประกอบด้วย
 - SEV = Severity คือ ระดับความรุนแรงของผลกระทบ
 - OCC = Occurrence คือ ระดับโอกาสในการเกิดปัญหา
 - DET = Detection คือ ระดับความสามารถในการตรวจจับปัญหา
4. ศึกษาวิธีการควบคุมเพื่อป้องกันและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ
5. คำนวณค่า RPN (Risk Priority Number) ซึ่งเป็นการนำค่า SEV OCC และ DET มาคูณกันและบันทึกในตาราง FMEA โดยเกณฑ์ในการให้คะแนนเป็นดังนี้
 - Occurrence คือ ระดับความถี่ของการเกิดปัญหาความล้มเหลวหรือข้อผิดพลาด เกณฑ์ในการให้คะแนน (รจจิรา อุไรพงษ์ 2552) แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 เกณฑ์การให้คะแนนระดับความถี่ของการเกิดปัญหา

โอกาสเกิด	จำนวนครั้งต่อรายการ	ระดับ
สูงมาก	100 ต่อ 1,000 / 1 ใน 10	10
สูง	50 ต่อ 1,000 / 1 ใน 20	9
	20 ต่อ 1,000 / 1 ใน 50	8
	10 ต่อ 1,000 / 1 ใน 100	7
ปานกลาง	2 ต่อ 1,000 / 1 ใน 500	6
	0.5 ต่อ 1,000 / 1 ใน 2,000	5
	0.1 ต่อ 1,000 / 1 ใน 10,000	4
ต่ำ	0.01 ต่อ 1,000 / 1 ใน 100,000	3
	≤ 0.001 ต่อ 1,000 / 1 ใน 1,000,000	2
ต่ำมาก	ข้อบกพร่องไม่เกิดขึ้นเนื่องจากมีระบบป้องกัน	1

- S = Severity คือ ระดับความรุนแรงของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหาขึ้น เกณฑ์ในการให้คะแนน (รจจิรา อุไรพงษ์ 2552) แสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 เกณฑ์การให้คะแนนระดับความรุนแรงของผลกระทบ

ผลกระทบ	เกณฑ์ความรุนแรงของผลกระทบต่อกระบวนการ	ระดับ
ผลกระทบต่อความปลอดภัยและ/หรือกฎหมาย	มีผลกระทบต่อความปลอดภัยของผู้ใช้ และ/หรือขัดต่อกฎหมายโดยไม่มี การเตือนล่วงหน้า	10
	มีผลกระทบต่อความปลอดภัยของผู้ใช้ และ/หรือขัดต่อกฎหมายโดยมีการเตือนล่วงหน้า	9
ผลกระทบสูงมาก	ผลิตภัณฑ์อาจเสียทั้ง 100% ต้องหยุดกระบวนการผลิตหรือไม่สามารถส่งของได้เลย	8
ผลกระทบสูง	ผลิตภัณฑ์บางส่วนต้องถูกคัดแยก/กำจัดทิ้ง กระบวนการเกิดความเป็ยงเบน รวมถึงความเร็วของการผลิตลดลง หรือต้องเพิ่มอัตรากำลัง	7
ผลกระทบปานกลาง	ผลิตภัณฑ์ 100% อาจจะต้องถูก Rework ภายหลังและตรวจสอบซ้ำ	6
	ผลิตภัณฑ์บางส่วน อาจจะต้องถูก Rework ภายหลังและตรวจสอบซ้ำ	5
	ผลิตภัณฑ์ 100% อาจจะต้องถูก Rework ระหว่างกระบวนการ	4
	ผลิตภัณฑ์บางส่วนอาจจะต้องถูก Rework ระหว่างกระบวนการ	3
ผลกระทบเล็กน้อย	เกิดความไม่สะดวกต่อกระบวนการ การทำงาน หรือผู้ปฏิบัติงาน	2
ไม่มีผลกระทบ	ไม่มีผลกระทบที่สังเกตเห็นได้	1

- D = Detection คือ ระดับความสามารถในการตรวจจับปัญหานั้นก่อนส่งมอบงานหรือผลิตภัณฑ์ไปให้ลูกค้า เกณฑ์ในการให้คะแนน (รุจิรา อุไรพงษ์ 2552) แสดงดังตารางที่ 4.7

จากตัวเลขระดับความเสี่ยง (RPN) ซึ่งมาจากการวิเคราะห์ผลกระทบจากความผิดพลาดในกระบวนการอบแห้ง โดยได้จากการคูณระหว่าง ค่าความรุนแรง (Severity) กับโอกาสในการเกิด (Occurrence) และความสามารถในการป้องกัน (Detection) ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.7 เกณฑ์การให้คะแนนระดับความสามารถในการตรวจจับปัญหา

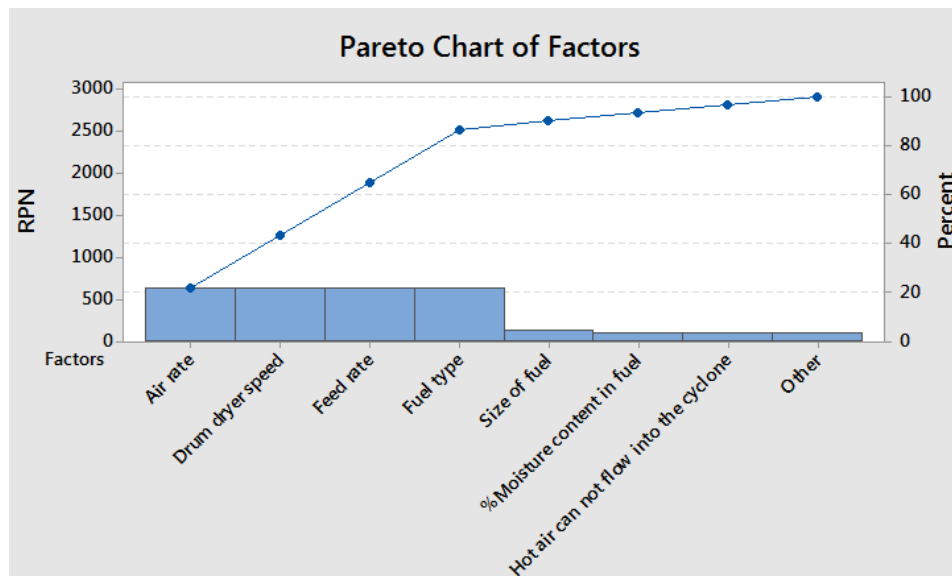
โอกาสในการตรวจพบ	เกณฑ์โอกาสในการตรวจพบปัญหา	ระดับ	ความถี่ในการตรวจพบ
ไม่มีโอกาสตรวจพบ	ไม่มีการควบคุม ไม่สามารถตรวจจับหรือแยกแยะได้เลย	10	แทบจะเป็นไปไม่ได้เลย
ตรวจพบแทบจะไม่ได้	ข้อบกพร่อง และ/หรือสาเหตุของปัญหาไม่ง่ายในการตรวจจับ (เช่น ใช้การสุ่มตรวจ)	9	เป็นไปได้ยากมาก
ปัญหาถูกตรวจจับได้ที่กระบวนการถัดไป	ข้อบกพร่องถูกตรวจจับได้ระหว่างกระบวนการ โดยผู้ปฏิบัติงาน โดยตรวจสอบด้วยสายตา การสัมผัส การฟังเสียง	8	เป็นไปได้ยาก
ปัญหาถูกตรวจจับได้ที่ระหว่างกระบวนการ	ข้อบกพร่องถูกตรวจจับได้ระหว่างกระบวนการ โดยผู้ปฏิบัติงาน โดยตรวจสอบด้วยสายตา การสัมผัส การฟังเสียง หรือที่กระบวนการถัดไป	7	ต่ำมาก
ปัญหาถูกตรวจจับได้ที่กระบวนการถัดไป	ข้อบกพร่องถูกตรวจจับได้ที่กระบวนการถัดไปโดยผู้ปฏิบัติงาน	6	ต่ำ
ปัญหาถูกตรวจจับได้ระหว่างกระบวนการ	ข้อบกพร่องถูกตรวจจับได้ระหว่างกระบวนการ โดยผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งตรวจจับผลิตภัณฑ์ที่มีปัญหา	5	ปานกลาง
ปัญหาถูกตรวจจับได้ที่กระบวนการถัดไป	ข้อบกพร่องถูกตรวจจับได้ที่กระบวนการถัดไปโดยระบบอัตโนมัติ ซึ่งจะคัดแยกผลิตภัณฑ์ที่มีปัญหา	4	ค่อนข้างสูง
ปัญหาถูกตรวจจับได้ระหว่างกระบวนการ	ข้อบกพร่องถูกตรวจจับได้ระหว่างกระบวนการ โดยระบบอัตโนมัติ ซึ่งจะคัดแยกผลิตภัณฑ์ที่มีปัญหา	3	สูง
มีระบบป้องกันการเกิดปัญหา	มีระบบตรวจจับสาเหตุในระหว่างกระบวนการ โดยระบบอัตโนมัติ ซึ่งจะตรวจจับความผิดปกติ	2	สูงมาก
ไม่ต้องตรวจจับ มีระบบป้องกันข้อบกพร่อง	มีระบบป้องกันจากสาเหตุ ซึ่งเป็นผลมาจากการออกแบบ หรือผลิตภัณฑ์ที่มีปัญหาไม่สามารถเกิดขึ้นได้เพราะป้องกันไว้ตั้งแต่การออกแบบ	1	เกือบจะมีความแน่นอน

ตารางที่ 4.8 การวิเคราะห์ผลกระทบจากความผิดพลาดในกระบวนการ

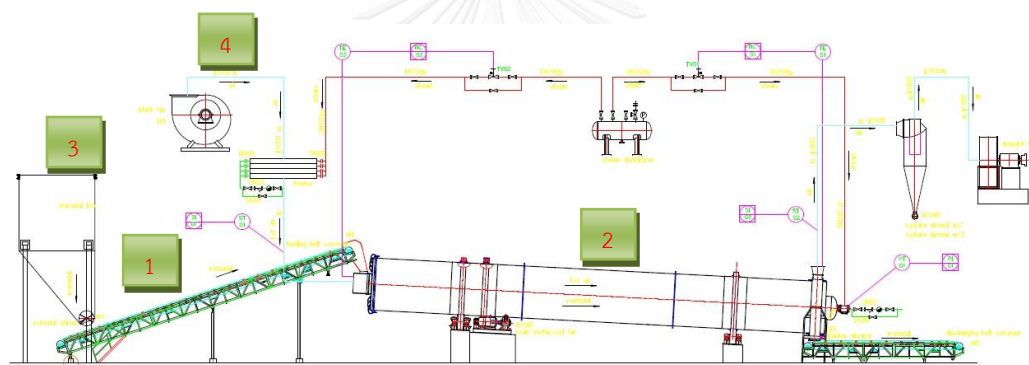
Failure Mode & Effect Analysis Process : FMEA Process								
Process: กระบวนการอบแห้งเชื้อเพลิง								
ปัจจัยนำเข้าหลักของกระบวนการ	ลักษณะความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้	ผลกระทบจากความผิดพลาด	SEV	สาเหตุที่ทำให้เกิดความผิดพลาด	OCC	การควบคุมในปัจจุบัน	DET	RPN
อัตราการป้อนเชื้อเพลิง	การตั้งค่าอัตราการป้อนเชื้อเพลิงมากหรือน้อยเกินไป	เชื้อเพลิงมีค่าความชื้นสูง	7	ไม่มีมาตรฐานอัตราการป้อนเชื้อเพลิง	9	ไม่มีการควบคุมในปัจจุบัน	10	630
ความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง	การตั้งค่าความเร็วรอบเครื่องอบแห้งมากหรือน้อยเกินไป	เชื้อเพลิงมีค่าความชื้นสูง	7	ไม่มีมาตรฐานการปรับตั้งความเร็วรอบเครื่องอบ	9	ไม่มีการควบคุมในปัจจุบัน	10	630
เชื้อเพลิงที่ใช้ในการอบมีหลายชนิด	การปรับตั้งค่าเครื่องจักรในปัจจุบันไม่เหมาะสมกับชนิดเชื้อเพลิง	เชื้อเพลิงมีค่าความชื้นสูง	7	ไม่มีมาตรฐานการปรับตั้งค่าเครื่องจักรกับเชื้อเพลิง	9	ไม่มีการควบคุมในปัจจุบัน	10	630
เปอร์เซ็นต์ของค่าความชื้นเชื้อเพลิงขาเข้า	การปรับตั้งค่าเครื่องจักรในปัจจุบันไม่เหมาะสมกับความชื้นเชื้อเพลิง	เชื้อเพลิงมีค่าความชื้นสูง	8	ไม่มีมาตรฐานการปรับตั้งค่าเครื่องจักรกับความชื้นเชื้อเพลิง	2	ไม่มีการควบคุมในปัจจุบัน	6	96
ปริมาณลมร้อนขาเข้า-ออก	การปรับตั้งค่าเครื่องจักรในปัจจุบันไม่เหมาะสมกับเชื้อเพลิง	เชื้อเพลิงมีค่าความชื้นสูง	7	ไม่มีมาตรฐานการปรับตั้งค่าความเร็วลมร้อนขาเข้า	9	ไม่มีการควบคุมในปัจจุบัน	10	630
เชื้อเพลิงที่ใช้ในการอบมีหลายขนาด	การปรับตั้งค่าเครื่องจักรในปัจจุบันไม่เหมาะสมกับขนาดเชื้อเพลิง	เชื้อเพลิงมีค่าความชื้นสูง	6	การตรวจรับเชื้อเพลิงไม่เข้มงวด	4	ตรวจสอบโดยพนักงาน	5	120
ไซโคลนของทางออกของลมร้อนต้น	ประสิทธิภาพการอบแห้งลดลง	เชื้อเพลิงมีค่าความชื้นสูง	6	ไม่มีการตรวจสอบเครื่องจักรตามรอบ	3	ตรวจสอบโดยพนักงาน	5	90
ทางออกลมร้อนของเครื่อง Heat exchanger ต้น	ประสิทธิภาพการอบแห้งลดลง	เชื้อเพลิงมีค่าความชื้นสูง	6	ไม่มีการตรวจสอบเครื่องจักรตามรอบ	3	ตรวจสอบโดยพนักงาน	5	90

ตารางที่ 4.9 สาเหตุของปัญหาและค่า RPN

ลำดับ	ปัจจัยนำเข้าหลักของกระบวนการ	RPN
1	อัตราการป้อนเชื้อเพลิง	630
2	ความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง	630
3	เชื้อเพลิงที่ใช้ในการอบมีหลายชนิด	630
4	เปอร์เซ็นต์ของค่าความชื้นเชื้อเพลิงขาเข้า	630
5	ปริมาณลมร้อนขาเข้า-ออก	630
6	เชื้อเพลิงที่ใช้ในการอบมีหลายขนาด	120
7	ไซโคลนของทางออกของลมร้อนต้น	90
8	ทางออกลมร้อนของเครื่อง Heat exchanger ต้น	90



รูปที่ 4.11 แผนภาพพารโตเรียงตามลำดับปัจจัยตามค่า RPN



รูปที่ 4.12 ตำแหน่งของปัจจัยที่ผ่านการคัดเลือกจากการวิเคราะห์ด้วย FMEA

จากการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) ได้ค่า RPN (Risk Priority Number) ของแต่ละปัจจัย จากนั้นนำคะแนนของแต่ละปัจจัยมาเรียงลำดับจากมากไปหาน้อยตามค่า RPN ดังตารางที่ 4.9 และนำมาสร้างเป็นแผนภาพพารโตเรียงตามลำดับปัจจัยตามค่า RPN จะเห็นว่าจากปัจจัย 8 ปัจจัย มี 4 ปัจจัยที่คะแนนต่ำมาก เนื่องจากปัจจัยเหล่านั้นมีแนวทางการแก้ไขปัญหายู้อยู่แล้ว ดังนี้

1. เชื้อเพลิงที่ใช้ในการอบมีหลายขนาด โดยเชื้อเพลิงที่ได้จากภายในโรงงาน ซึ่งใช้เครื่องสับเชื้อเพลิงให้มีขนาดเล็ก มีการควบคุมคุณภาพตลอด 24 ชั่วโมง หากมีการย่อยเชื้อเพลิงที่มีขนาดใหญ่จะทำการปรับระยะใบมีดของเครื่องย่อยและอื่นๆ เพื่อให้เชื้อเพลิงมีขนาดเล็กลงทันที ทำให้ปัญหานี้เกิดขึ้นน้อยมาก

2. ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงขาเข้า ในการป้อนเข้าสู่กระบวนการในแต่ละวัน จะมีค่าแตกต่างกันตลอดเวลาซึ่งไม่สามารถควบคุมปัจจัยนี้ได้
3. ไซโคลนของทางออกลมร้อนต้น มีหน้าที่ดักจับฝุ่นที่มีน้ำหนักมากที่ออกมาจากลมร้อนโดยจะมีโรตารี (Rotary) ในการควบคุมให้ฝุ่นไหลออกสู่สายพานลำเลียงขาออก ซึ่งหากกระบวนการทำงานของโรตารีมีปัญหาจะทำให้ฝุ่นไม่สามารถไหลออกได้ ปัจจุบันมีการบำรุงรักษา (PM) โดยการตรวจเช็คความพร้อมใช้ของโรตารี (Rotary) และเคลียร์ทำความสะอาดเชื้อเพลิงที่ต้นออกทุกเดือน ทำให้ปัญหานี้เกิดขึ้นน้อยมาก
4. ทางออกลมร้อนของเครื่อง Heat exchanger ต้น ซึ่งเกิดขึ้นได้จากการสะสมของเชื้อเพลิงระหว่างสายพานลำเลียงตรงจุดต่อทางเข้าเครื่องอบ เมื่อมีการสะสมเป็นระยะเวลาานาน จะมีปริมาณมาก และขวางทางเข้าของลมร้อนที่ใช้ช่วยในการลดความชื้นเชื้อเพลิงได้ ปัจจุบันมีการบำรุงรักษา (PM) โดยการเปิดเพื่อเป่าและเคลียร์ทำความสะอาดทุกเดือน ทำให้ปัญหานี้เกิดขึ้นน้อยมาก

และมี 4 ปัจจัยที่มีคะแนนสูงโดดเด่นกว่าปัจจัยอื่นๆ จึงคิดมาทำการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป โดยใช้กฎ 80-20 ดังรูปที่ 4.11 ซึ่งแสดงถึงปัจจัยที่ถูกคัดเลือกมา และมีตำแหน่งของปัจจัยที่ผ่านการคัดเลือกจากการวิเคราะห์ด้วย FMEA ดังรูปที่ 4.12 โดยพิจารณาจากคะแนน RPN 4 ลำดับแรก ได้แก่ อัตราการป้อนเชื้อเพลิง ความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง ชนิดเชื้อเพลิง และปริมาณลมร้อนขาเข้า-ออก มีผลรวมคะแนนทั้ง 4 ปัจจัย เท่ากับ 2,520 คะแนน จากคะแนนทั้งหมด 2,916 คะแนน คิดเป็น 86.42% ของคะแนนรวมทั้งหมด ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ปัจจัยที่คัดเลือกจากการวิเคราะห์ FMEA

ลำดับ	ปัจจัยนำเข้าหลักของกระบวนการ	RPN
1	อัตราการป้อนเชื้อเพลิง	630
2	ความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง	630
3	เชื้อเพลิงที่ใช้ในการอบมีหลายชนิด	630
4	ปริมาณลมร้อนขาเข้า-ออก	630
รวมทั้งหมด		2,520

4.5 บทสรุป

จากที่กล่าวมาทั้งหมดในการตรวจวัดปัญหา โดยเริ่มจากการวิเคราะห์ความแม่นยำและความเที่ยงของระบบการวัด (Gage R&R) เพื่อตรวจสอบความแม่นยำและความเที่ยงตรงของระบบที่ใช้ในการเก็บข้อมูลซึ่งความแปรปรวนในการวัดจะมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ การสร้างแผนที่กระบวนการผลิต (Process Map) เพื่อให้ทราบถึงขั้นตอน ปัจจัย และความสัมพันธ์ของงานแต่ละงาน เพื่อให้นำไปวิเคราะห์เพื่อแก้ไขปัญหาได้สะดวกและง่ายมากขึ้น และการระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้าโดยการหาปัจจัยโดยใช้แผนภูมิก้างปลา (Cause and Effect Diagram) การสร้างตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) และการวิเคราะห์ลักษณะข้อพร่องและผลกระทบ (FMEA) เพื่อค้นหาสาเหตุและปัจจัยที่ก่อให้เกิดปัญหาขึ้น สามารถสรุปสาเหตุหลักที่อาจจะส่งผลกระทบต่อค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงที่ลดลงน้อยหลังจากเข้าสู่กระบวนการอบแห้งได้ ดังนี้ อัตราการป้อนเชื้อเพลิง ความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง ชนิดเชื้อเพลิง เปอร์เซ็นต์ของค่าความชื้นเชื้อเพลิงขาเข้า และความเร็วลมร้อนขาเข้า-ออก ซึ่งจะดำเนินการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นเพื่อแก้ไขปัญหาในขั้นตอนต่อไป

บทที่ 5

ระยะวิเคราะห์สาเหตุปัญหา (Analysis Phase)

5.1 บทนำ

จากขั้นตอนระยะวัดเพื่อกำหนดหาสาเหตุของปัญหา ได้สาเหตุเบื้องต้นจากการวิเคราะห์ผลกระทบพบว่าสาเหตุที่น่าจะมีผลกระทบต่อการลดลงของค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงหลังเข้าสู่กระบวนการอบแห้ง คือ อัตราการป้อนเชื้อเพลิง ความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง ชนิดเชื้อเพลิง ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงขาเข้า และปริมาณลมร้อนขาเข้า-ออก เพื่อให้การปรับปรุงแก้ไขทำได้ถูกต้องจะทำการวิเคราะห์ปัญหาโดยหลังการทางสถิติ โดยดำเนินการทดลองเพื่อหาข้อมูลสนับสนุนสมมติฐานที่ตั้งไว้ เพื่อยืนยันว่าสาเหตุเหล่านั้นมีผลต่อค่าความชื้นเชื้อเพลิงอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ โดยทำการทดลองแบบแฟคทอเรียล 3^k ด้วยการทดลองจริงกับกระบวนการอบแห้งเชื้อเพลิง เพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อค่าความชื้นเชื้อเพลิง

5.2 แนวทางการวิเคราะห์

แนวทางการวิเคราะห์จะทำโดยอาศัยหลักการออกแบบการทดลองเชิงวิศวกรรมแบบแฟคทอเรียล (3^k Factorial Design) เพื่อคัดกรองปัจจัย (Screening Factors) ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นเชื้อเพลิงอย่างมีนัยสำคัญไปทำการออกแบบการทดลองในขั้นตอนการปรับปรุง (Improve Phase)

5.2.1 ปัจจัยและคุณลักษณะของปัจจัยป้อนเข้า

จากระยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา โดยใช้แผนภูมิแก๊งปลา (Cause and Effect Diagram) และการวิเคราะห์ลักษณะข้อพร่องและผลกระทบ (FMEA) สามารถสรุปได้ว่าปัจจัยที่อาจมีผลทำให้ค่าความชื้นเชื้อเพลิงหลังเข้าสู่กระบวนการอบแห้งลดลงน้อย มีจำนวน 4 ปัจจัยดังต่อไปนี้

1. ชนิดเชื้อเพลิง (Fuels type)
2. อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (Feed rate)
3. ความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง (Drum dryer speed)
4. ปริมาณลมร้อนขาเข้า-ออก (Air rate)

โดยปัจจัยดังกล่าวยังไม่ทราบค่าปัจจัยที่เหมาะสม จึงจะทำการทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐานของทั้ง 4 ปัจจัย โดยแบ่งเป็น 3 ระดับที่แตกต่างกัน เนื่องจากสามารถปรับตั้งค่าเครื่องจักรได้ง่าย ซึ่งมีรายละเอียดของขั้นตอนดำเนินการทดสอบสมมติฐาน ดังนี้

1. ชนิดเชื้อเพลิง (Fuels type)

เชื้อเพลิงที่โรงงานป้อนเข้าสู่กระบวนการอบแห้งในปัจจุบัน มี 2 ชนิด คือ ไม้ซิป และไฟเบอร์ผสม(ทะเลายปาล์ม เปลือกมะพร้าว และเปลือกยูคาลิปตัส)

2. การตั้งค่าอัตราการป้อนเชื้อเพลิง (Feed rate)

การตั้งค่าอัตราการป้อนเชื้อเพลิงเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิง จึงจำเป็นต้องพิจารณาปรับตั้งค่าที่เหมาะสม ซึ่งในการทดลองจะกำหนดไว้ 3 ระดับ คือ 10 15 และ 20 ตันต่อชั่วโมง เนื่องจากเป็นค่าต่ำสุด ค่ากึ่งกลาง และค่าสูงสุดของกำลังการอบแห้งของเครื่องจักร โดยหากตั้งค่าอัตราการป้อนเชื้อเพลิงน้อยกว่า 10 ตันต่อชั่วโมงจะทำให้เชื้อเพลิงไม่เพียงพอต่อปริมาณการใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า

3. การตั้งค่าความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง (Drum dryer speed)

การตั้งค่าความเร็วรอบเครื่องอบแห้งจะมีผลต่อค่าความชื้น หากปรับความเร็วรอบสูง เชื้อเพลิงจะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อย และหากปรับความเร็วรอบต่ำเชื้อเพลิงจะใช้เวลาในการอบแห้งนาน จึงจำเป็นต้องพิจารณาปรับตั้งค่าที่เหมาะสม ซึ่งในการทดลองจะกำหนดไว้ 3 ระดับ คือ 1.77 3.51 และ 5.61 รอบต่อนาที เนื่องจากเป็นค่าต่ำสุด ค่ากึ่งกลาง และค่าสูงสุดของความเร็วที่สามารถปรับได้ของเครื่องจักร

4. ปริมาณลมร้อนขาเข้า-ออก (Air rate)

ปริมาณลมร้อนขาเข้า-ออกจะมีใบพัดลมที่สามารถปรับตั้งค่าเปอร์เซ็นต์ของปริมาณลมร้อนที่ป้อนเข้าได้ จึงจำเป็นต้องพิจารณาปรับตั้งค่าที่เหมาะสม โดยปริมาณลมร้อนมากที่สุดตามสเปคเท่ากับ 50,150 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (100%) ซึ่งในการทดลองจะกำหนดไว้ 3 ระดับ คือ 40% 70% และ 100% เนื่องจากเป็นค่าต่ำสุด ค่ากึ่งกลาง และค่าสูงสุดของปริมาณลมร้อนขาเข้า-ออก ที่สามารถปรับได้ของเครื่องจักร

จากที่กล่าวมาทั้งหมดสามารถสรุปปัจจัยและระดับปัจจัยนำเข้าที่จะนำมาทดสอบสมมติฐาน โดยแบ่งตามชนิดเชื้อเพลิง ดังตารางที่ 5.1 และ 5.2 โดยใช้การออกแบบการทดลองแฟคทอเรียล 2^k ลักษณะการทดลองใช้การทดลองจริงกับกระบวนการอบแห้งเชื้อเพลิง ซึ่งผลการทดลองที่ได้จะทำการทดสอบสมมติฐานเพื่อคัดเลือกเฉพาะปัจจัยนำเข้าที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ

1. ชนิดเชื้อเพลิง ไฟเบอร์

ตารางที่ 5.1 ระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลองของเชื้อเพลิงไฟเบอร์

ปัจจัยนำเข้า	ระดับของปัจจัย			หน่วย	ก่อนปรับปรุง
	ค่าต่ำสุด	ค่ากึ่งกลาง	ค่าสูงสุด		
อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (Feed rate)	10	15	20	Ton/hr	19
ความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง (Drum dryer speed)	1.77	3.51	5.61	rpm	2.19
ปริมาณลมร้อนขาเข้า-ออก (Air rate)	40	70	100	Percent	60

2. ชนิดเชื้อเพลิง ไม้ซิป

ตารางที่ 5.2 ระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลองของเชื้อเพลิงไม้ซิป

ปัจจัยนำเข้า	ระดับของปัจจัย			หน่วย	ก่อนปรับปรุง
	ค่าต่ำสุด	ค่ากึ่งกลาง	ค่าสูงสุด		
อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (Feed rate)	10	15	20	Ton/hr	19
ความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง (Drum dryer speed)	1.77	3.51	5.61	rpm	2.19
ปริมาณลมร้อนขาเข้า-ออก (Air rate)	40	70	100	Percent	60

5.3 การออกแบบการทดลองแบบ 3^k Factorial design

ในการออกแบบการทดลองเบื้องต้นใช้การออกแบบการทดลองแบบ 3^k Factorial design โดยเริ่มต้นจะทำการสุ่ม (Randomization) ลำดับของการทดลองในแต่ละการทดลองเป็นแบบสุ่มเพื่อลดผลของปัจจัยภายนอกที่อาจจะมีผลกระทบต่อผลการดำเนินการทดลอง และใช้การสุ่มลำดับในการทดลองด้วยการจับสลาก การดำเนินการทดลองนี้จะแยกการทดลองระหว่างเชื้อเพลิงไฟเบอร์และไม้ซิป โดยแต่ละเซตของการทดลองจะมี 3 ปัจจัย ปัจจัยละ 3 ระดับ ทำการทดลอง 2 ซ้ำ มีจำนวนการทดลอง 54 การทดลอง ซึ่งเหมือนกันทั้งสองชนิดเชื้อเพลิง ทำให้มีจำนวนการทดลองทั้งหมด 108

การทดลอง โดยตัวแปรตอบสนองในการทดลองคือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงที่ออกจากระบวนการอบแห้ง (% Moisture output)

5.4 ผลการทดลอง

ในการดำเนินการทดลองแบบ 3^3 Factorial design เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงในกระบวนการอบแห้งแยกตามชนิดเชื้อเพลิงไฟเบอร์และไม้ซิป ได้ผลการทดลองดังนี้

5.4.1 ชนิดเชื้อเพลิงไฟเบอร์

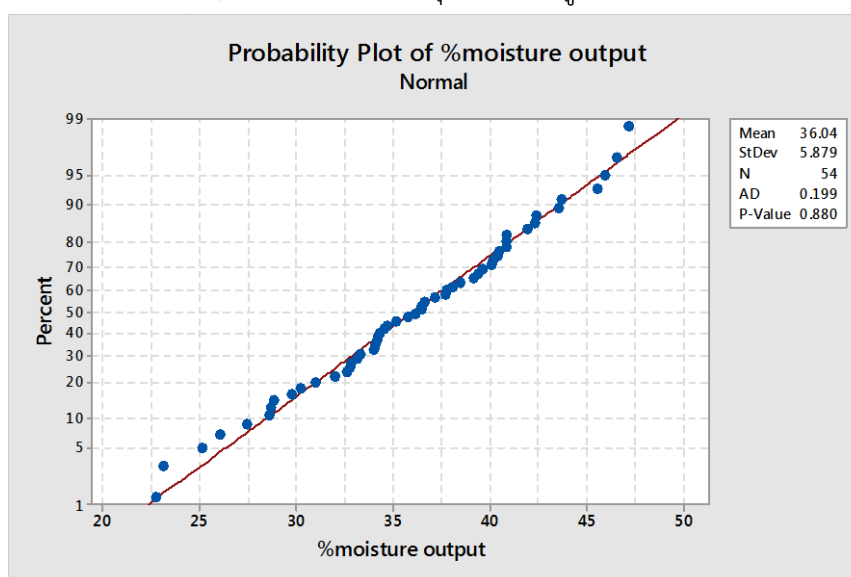
การทดลอง 3 ปัจจัย ปัจจัยละ 3 ระดับ ทำการทดลอง 2 ซ้ำ มีจำนวนการทดลอง 54 การทดลอง ได้ผลการทดลอง แสดงดังตารางที่ 5.3

1. ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model adequacy checking)

ก่อนวิเคราะห์ผลการทดลองต้องทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model adequacy checking) เพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง โดยทดสอบด้วยโปรแกรม Minitab ซึ่งโดยทั่วไปจะทำการวิเคราะห์ ดังนี้

1.1 การตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูล (Normal Distribution)

โดยการพิจารณา Normal Probability Plot ของเรสซิดิวล เมื่อมีการกระจายแบบปกติกราฟจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงและมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 จากผลการทดสอบด้วยโปรแกรม Minitab ได้กราฟดังรูปที่ 5.1 จะเห็นว่ากราฟมีการเรียงตัวในลักษณะใกล้เคียงเส้นตรง มีค่า P-Value เท่ากับ 0.880 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่า ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ



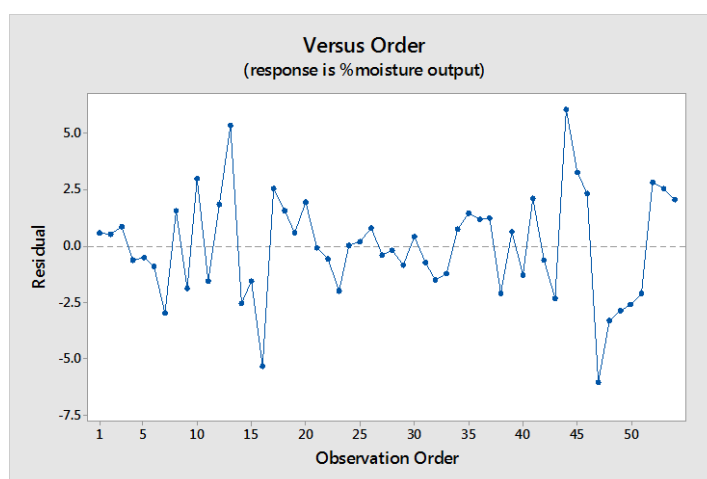
รูปที่ 5.1 ผลการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของเชื้อเพลิงไฟเบอร์

ตารางที่ 5.3 ผลการทดลอง 3³ Factorial design ของเชื้อเพลิงไฟเบอร์

No.	Feed rate	Drum dryer speed	Air rate	%Moisture input		%Moisture output	
				ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	10	1.77	100	53.18	51.15	34.10	32.89
2	10	1.77	70	48.00	55.07	35.21	34.19
3	10	1.77	40	46.72	44.37	41.97	40.21
4	10	3.51	100	48.34	50.33	28.63	27.50
5	10	3.51	70	47.94	50.69	40.10	36.16
6	10	3.51	40	48.14	50.53	43.60	43.71
7	10	5.61	100	56.00	50.78	37.21	34.70
8	10	5.61	40	45.08	51.38	34.26	38.46
9	10	5.61	70	47.50	53.72	47.20	45.96
10	15	1.77	100	44.80	47.08	26.07	32.03
11	15	1.77	40	47.93	41.17	36.46	33.31
12	15	1.77	70	55.56	54.96	32.79	36.52
13	15	3.51	100	43.38	48.57	23.15	22.75
14	15	3.51	70	48.13	46.65	32.63	30.98
15	15	3.51	40	50.14	49.45	33.15	34.00
16	15	5.61	40	51.56	47.20	25.12	29.75
17	15	5.61	100	47.62	54.70	42.32	30.22
18	15	5.61	70	42.12	44.05	40.88	34.30
19	20	1.77	40	45.43	43.11	39.41	28.70
20	20	1.77	100	47.26	49.88	35.79	40.86
21	20	1.77	70	46.34	50.00	37.76	40.87
22	20	3.51	100	51.81	50.34	37.71	39.20
23	20	3.51	40	47.91	51.85	36.66	39.63
24	20	3.51	70	55.66	45.87	38.11	40.51
25	20	5.61	40	44.60	51.71	28.87	34.55
26	20	5.61	100	40.85	49.66	40.43	45.59
27	20	5.61	70	44.55	51.43	42.43	46.58

2.2 การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล (Independent)

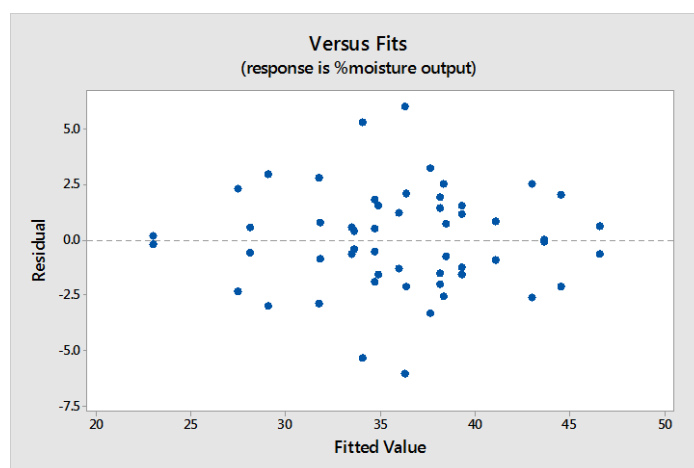
การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูลจะพิจารณารูปแบบการกระจายตัวของค่าเรสซิดวอลที่สัมพันธ์กับลำดับของการทดลองของชุดการทดลองทั้งหมด จะต้องมึรูปแบบของการกระจายตัวแบบไร้รูปแบบ จึงจะสามารถสรุปได้ว่า ข้อมูลมีความเป็นอิสระ ผลการทดสอบได้กราฟดังรูปที่ 5.2 จะเห็นว่ากราฟมีลักษณะการกระจายตัวเป็นอิสระต่อกัน จึงสรุปได้ว่า ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน



รูปที่ 5.2 ผลการทดสอบความเป็นอิสระของเชื้อเพลิงไฟเบอร์

2.3 การตรวจสอบเสถียรภาพของความแปรปรวนของข้อมูล

จากหลักการที่ว่าถ้าตัวแบบและสมมติฐานถูกต้อง การกระจายตัวของค่าเรสซิดวอลต้องไร้รูปแบบ คือ การกระจายตัวของค่าเรสซิดวอลไม่ขึ้นตรงกับตัวแปรใดๆ ผลการทดสอบได้กราฟดังรูปที่ 5.3 จะเห็นว่ากราฟมีลักษณะการกระจายตัวที่ไร้รูปแบบ จึงสรุปได้ว่า ข้อมูลมีเสถียรภาพของความแปรปรวน



รูปที่ 5.3 ผลการทดสอบเสถียรภาพของความแปรปรวนข้อมูลของเชื้อเพลิงไฟเบอร์

สรุปผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model adequacy checking) ที่นำมาทดลองนี้ พบว่า ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ มีความเป็นอิสระต่อกัน และมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขของการออกแบบการทดลอง จึงสามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์ผลทางสถิติได้

3. การวิเคราะห์ผลการทดลองเชื้อเพลิงไฟเบอร์

นำผลการทดลองที่ได้จากตารางที่ 5.3 มาวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติด้วยโปรแกรม Minitab ดังแสดงในรูปที่ 5.4

General Factorial Regression: %moisture output versus Feed rate, Drum dryer speed, Air rate						
Factor Information						
Factor	Levels	Values				
Feed rate	3	10, 15, 20				
Drum dryer speed	3	1.77, 3.51, 5.61				
Air rate	3	40, 70, 100				
Analysis of Variance						
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	
Model	26	1549.47	59.595	5.70	0.000	
Linear	6	713.83	118.972	11.37	0.000	
Feed rate	2	444.05	222.026	21.22	0.000	
Drum dryer speed	2	78.90	39.452	3.77	0.036	
Air rate	2	190.88	95.439	9.12	0.001	
2-Way Interactions	12	762.05	63.504	6.07	0.000	
Feed rate*Drum dryer speed	4	41.23	10.308	0.99	0.432	
Feed rate*Air rate	4	263.60	65.900	6.30	0.001	
Drum dryer speed*Air rate	4	457.22	114.305	10.92	0.000	
3-Way Interactions	8	73.59	9.198	0.88	0.546	
Feed rate*Drum dryer speed*Air rate	8	73.59	9.198	0.88	0.546	
Error	27	282.50	10.463			
Total	53	1831.97				
Model Summary						
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)			
3.23462	84.58%	69.73%	38.32%			

รูปที่ 5.4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปัจจัยที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไฟเบอร์

จากรูปที่ 5.4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปัจจัยที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไฟเบอร์ จะพิจารณาที่ค่า P-value หากมีค่าน้อยกว่า 0.05 จะสรุปได้ว่าปัจจัยนั้นมีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงในกระบวนการอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากรูปจะเห็นได้ว่ามีผลกระทบจากปัจจัยหลัก ได้แก่ อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (Feed rate) ความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง (Drum dryer speed) และปริมาณลมเข้า-ออก (Air rate) และมีผลกระทบของปัจจัยร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย ได้แก่ อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (Feed rate) กับปริมาณลมเข้า-ออก (Air rate) มีค่า P-value เท่ากับ 0.001 และ ความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง (Drum dryer speed) กับปริมาณลมเข้า-ออก (Air rate) มีค่า P-value เท่ากับ 0.000

จึงสรุปได้ว่า ปัจจัยหลักที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไฟเบอร์ในกระบวนการอบ มี 3 ปัจจัย ได้แก่ อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (Feed rate) ความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง (Drum dryer speed) และ ปริมาณลมร้อนเข้า-ออก (Air rate)

5.4.2 ชนิดเชื้อเพลิงไม้ซิป

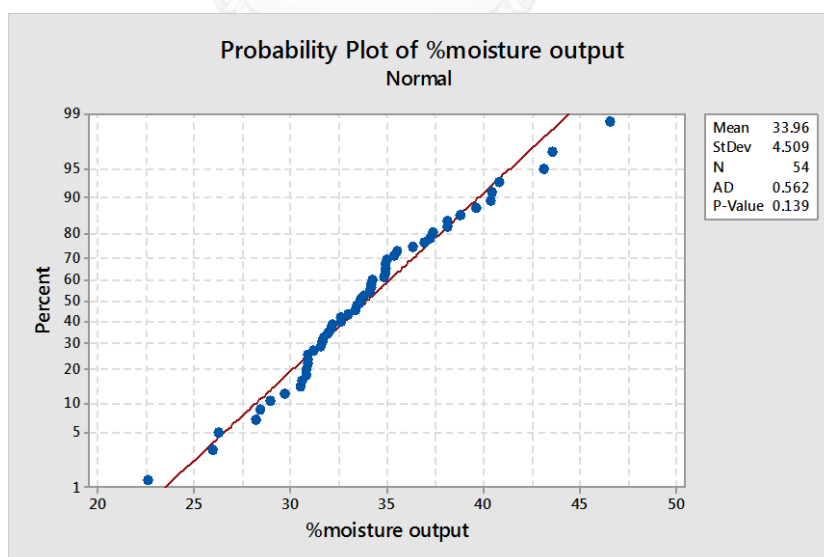
การทดลอง 3 ปัจจัย ปัจจัยละ 3 ระดับ ทำการทดลอง 2 ซ้ำ มีจำนวนการทดลอง 54 การทดลอง ได้ผลการทดลอง แสดงดังตารางที่ 5.4

1. ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model adequacy checking)

ก่อนวิเคราะห์ผลการทดลองต้องทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model adequacy checking) เพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง โดยทดสอบด้วยโปรแกรม Minitab ซึ่งโดยทั่วไปจะทำการวิเคราะห์ ดังนี้

1.1 การตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูล (Normal Distribution)

โดยการพิจารณา Normal Probability Plot ของเรสซิดิว เมื่อมีการกระจายแบบปกติกราฟจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงและมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 จากผลการทดสอบด้วยโปรแกรม Minitab ได้กราฟดังรูปที่ 5.5 จะเห็นว่ากราฟมีการเรียงตัวในลักษณะใกล้เคียงเส้นตรง มีค่า P-Value เท่ากับ 0.139 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่า ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ



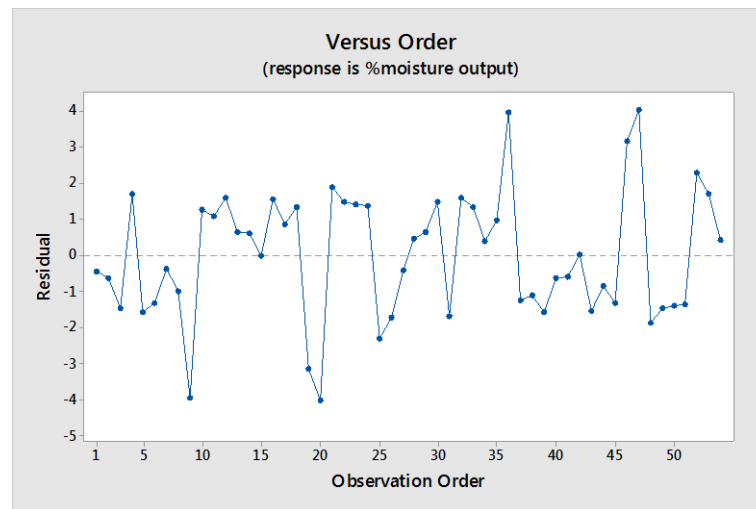
รูปที่ 5.5 ผลการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของเชื้อเพลิงไม้ซิป

ตารางที่ 5.4 ผลการทดลอง 3^3 Factorial design ของเชื้อเพลิงไม้ซุง

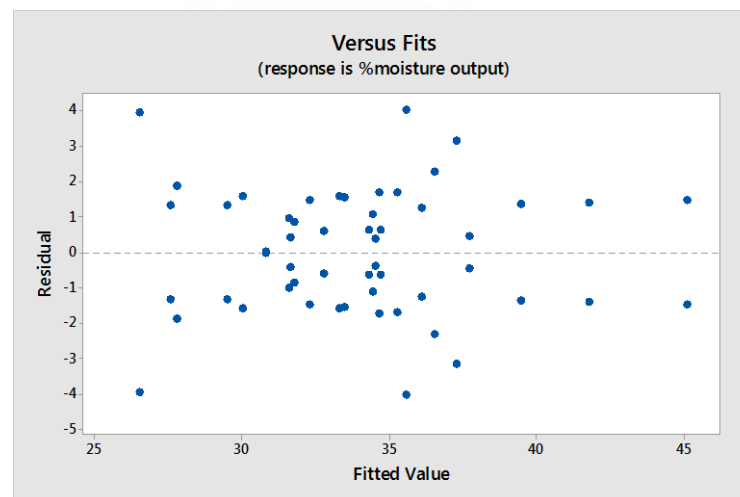
No.	Feed rate	Drum dryer speed	Air rate	%Moisture input		%Moisture output	
				ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	10	1.77	40	44.66	43.38	37.26	38.17
2	10	1.77	70	36.25	50.68	34.1	35.36
3	10	1.77	100	38.7	37.64	30.84	33.79
4	10	3.51	40	38.99	37.33	36.96	33.57
5	10	3.51	70	32.33	37.47	28.43	31.63
6	10	3.51	100	33.04	37.91	26.24	28.92
7	10	5.61	40	36.13	35.39	34.16	34.92
8	10	5.61	70	40.18	36.72	30.62	32.59
9	10	5.61	100	28.35	37.9	22.58	30.5
10	15	1.77	40	44.19	39.92	37.37	34.87
11	15	1.77	70	37.58	36.46	35.56	33.37
12	15	1.77	100	39.03	36.74	34.9	31.71
13	15	3.51	40	35.3	36.72	34.95	33.66
14	15	3.51	70	35.05	33.38	33.4	32.17
15	15	3.51	100	37.21	35.19	30.82	30.87
16	15	5.61	40	37.32	34.16	35.03	31.95
17	15	5.61	70	34.95	36.38	32.64	30.9
18	15	5.61	100	36.21	37.63	30.86	28.19
19	20	1.77	40	35.65	43.8	34.16	40.44
20	20	1.77	70	35.12	41.04	31.57	39.62
21	20	1.77	100	30.84	30.68	29.72	25.93
22	20	3.51	40	48.62	47.47	46.56	43.62
23	20	3.51	70	48.27	42.02	43.18	40.38
24	20	3.51	100	46.72	42.2	40.86	38.12
25	20	5.61	40	37.33	41.96	34.23	38.83
26	20	5.61	70	38.77	42.91	32.95	36.38
27	20	5.61	100	40.97	39.03	31.22	32.09

1.2 การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล (Independent)

การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูลจะพิจารณารูปแบบการกระจายตัวของค่าเรสซิดวอลที่สัมพันธ์กับลำดับของการทดลองของชุดการทดลองทั้งหมด จะต้องมึรูปแบบของการกระจายตัวแบบไร้รูปแบบ จึงจะสามารถสรุปได้ว่า ข้อมูลมีความเป็นอิสระ ผลการทดสอบได้กราฟดังรูปที่ 5.6 จะเห็นว่ากราฟมีลักษณะการกระจายตัวเป็นอิสระต่อกัน จึงสรุปได้ว่า ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน



รูปที่ 5.6 ผลการทดสอบความเป็นอิสระของเชื้อเพลิงไม้ซีก



รูปที่ 5.7 ผลการทดสอบเสถียรภาพของความแปรปรวนข้อมูลของเชื้อเพลิงไม้ซีก

1.3 การตรวจสอบเสถียรภาพของความแปรปรวนของข้อมูล

จากหลักการที่ว่าถ้าตัวแบบและสมมติฐานถูกต้อง การกระจายตัวของค่าเรสซิดวอล ต้องไร้รูปแบบ คือ การกระจายตัวของค่าเรสซิดวอลไม่ขึ้นตรงกับตัวแปรใดๆ ผลการทดสอบได้กราฟดังรูปที่ 5.7 จะเห็นว่ากราฟมีลักษณะการกระจายตัวที่ไร้รูปแบบ จึงสรุปได้ว่า ข้อมูลมีเสถียรภาพของความแปรปรวน

สรุปผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model adequacy checking) ที่นำมาทดลองนี้ พบว่า ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ มีความเป็นอิสระต่อกัน และมีเสถียรภาพของความแปรปรวนซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขของการออกแบบการทดลอง จึงสามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์ผลทางสถิติได้

2. การวิเคราะห์ผลการทดลองเชื้อเพลิงไม้ซิป

นำผลการทดลองที่ได้จากตารางที่ 5.4 มาวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติด้วยโปรแกรม Minitab ดังแสดงในรูปที่ 5.8

General Factorial Regression: %moisture output versus Feed rate, Drum dryer speed, Air rate						
Factor Information						
Factor	Levels	Values				
Feed rate	3	10, 15, 20				
Drum dryer speed	3	1.77, 3.51, 5.61				
Air rate	3	40, 70, 100				
Analysis of Variance						
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	
Model	26	913.84	35.148	5.79	0.000	
Linear	6	579.39	96.565	15.92	0.000	
Feed rate	2	201.39	100.694	16.60	0.000	
Drum dryer speed	2	84.79	42.395	6.99	0.004	
Air rate	2	293.21	146.606	24.17	0.000	
2-Way Interactions	12	309.24	25.770	4.25	0.001	
Feed rate*Drum dryer speed	4	277.44	69.361	11.44	0.000	
Feed rate*Air rate	4	27.05	6.762	1.11	0.370	
Drum dryer speed*Air rate	4	4.75	1.187	0.20	0.938	
3-Way Interactions	8	25.21	3.152	0.52	0.831	
Feed rate*Drum dryer speed*Air rate	8	25.21	3.152	0.52	0.831	
Error	27	163.77	6.066			
Total	53	1077.61				
Model Summary						
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)			
2.46284	84.80%	70.17%	39.21%			

รูปที่ 5.8 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปัจจัยที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไม้ซิป

จากรูปที่ 5.8 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปัจจัยที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไม้ซิป จะพิจารณาที่ค่า P-value หากมีค่าน้อยกว่า 0.05 จะสรุปได้ว่าปัจจัยนั้นมีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงในกระบวนการอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากรูปจะเห็นว่า มีผลกระทบจากปัจจัยหลัก ได้แก่ อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (Feed rate) ความเร็วรอบเครื่องอบ

แห้ง (Drum dryer speed) และปริมาณลมขาเข้า-ออก (Air rate) และมีผลกระทบของปัจจัยร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย ได้แก่ อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (Feed rate) กับความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง (Drum dryer speed) มีค่า P-value เท่ากับ 0.000 จึงสรุปได้ว่า ปัจจัยหลักที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไม้ซิปในกระบวนการอบ มี 3 ปัจจัย ได้แก่ อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (Feed rate) ความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง (Drum dryer speed) และปริมาณลมร้อนขาเข้า-ออก (Air rate)

จึงสรุปได้ว่า ปัจจัยหลักที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงในกระบวนการอบ มี 3 ปัจจัย ได้แก่ อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (Feed rate) ความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง (Drum dryer speed) และปริมาณลมร้อนขาเข้า-ออก (Air rate)

5.5 บทสรุป

ระยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาได้นำปัจจัยที่ผ่านการคัดกรองจากเครื่องมือต่างๆ มาทดสอบสมมติฐาน โดยทำการทดลองแบบ 3^k Factorial design เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงในกระบวนการอบ ซึ่งมีปัจจัยนำเข้า 3 ปัจจัย ได้แก่ อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (Feed rate) ความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง (Drum dryer speed) และปริมาณลมร้อนขาเข้า-ออก (Air rate) ทำการทดลองโดยแยกทดลองเชื้อเพลิงไฟเบอร์และไม้ซิป อย่างละ 27 การทดลอง จำนวน 2 ซ้ำ

จากผลการทดลองพบว่า ทั้ง 3 ปัจจัย ได้แก่ อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (Feed rate) ความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง (Drum dryer speed) และปริมาณลมร้อนขาเข้า-ออก (Air rate) มีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไฟเบอร์และไม้ซิปในกระบวนการอบ อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

บทที่ 6

ระยะปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase)

6.1 บทนำ

จากการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา พบว่า ปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัย ได้แก่ อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (Feed rate) ความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง (Drum dryer speed) และปริมาณลมร้อนขาเข้า-ออก (Air rate) มีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงในกระบวนการอบไฟเบอร์และไม้ซิป จึงนำจำปัจจัยเหล่านี้มาปรับปรุงแก้ไขกระบวนการเพื่อหาระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย

6.2 ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ

จากระยะวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase) ได้มีการทดลองโดยใช้การทดลองแบบ 3^k Factorial design เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงในกระบวนการอบแห้งแยกตามชนิดเชื้อเพลิงไฟเบอร์และไม้ซิป ดังรูปที่ 5.1 และ 5.2 ตามลำดับ โดยทดลอง 3 ปัจจัย ปัจจัยละ 3 ระดับ ทำการทดลอง 2 ซ้ำ มีจำนวนการทดลอง 54 การทดลอง สำหรับเชื้อเพลิงไฟเบอร์และไม้ซิป ได้ผลการทดลอง แสดงดังรูปที่ 5.3 และ 5.8

6.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

6.3.1 การวิเคราะห์ผลการทดลองเชื้อเพลิงไฟเบอร์

นำผลการทดลองที่ได้จากรูปที่ 5.3 มาวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติด้วยโปรแกรม Minitab ดังแสดงในรูปที่ 6.1

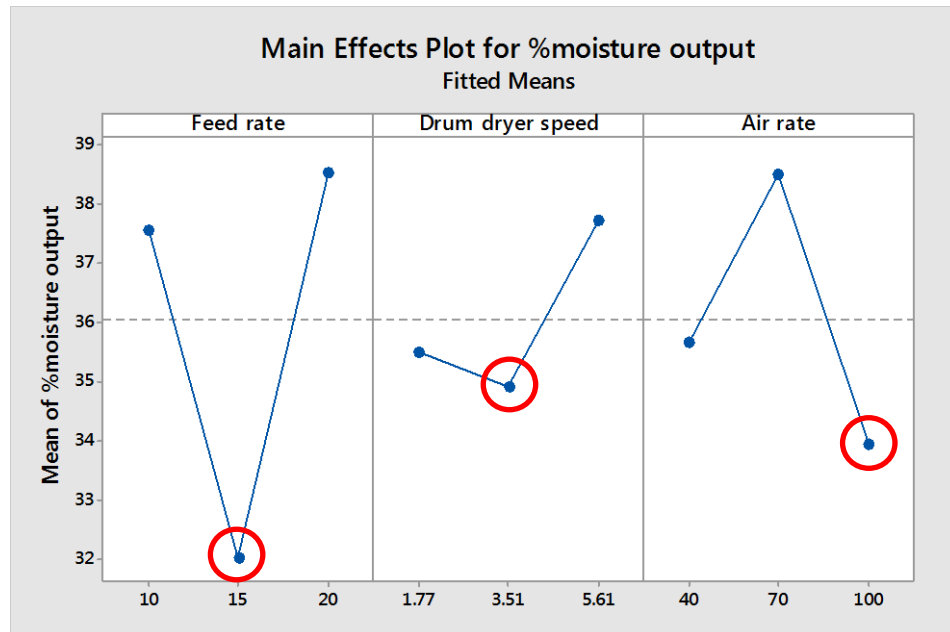
จากรูปที่ 6.1 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปัจจัยที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไฟเบอร์ พิจารณาที่ค่า P-value หากมีค่าน้อยกว่า 0.05 จะสรุปได้ว่าปัจจัยนั้นมีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไฟเบอร์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากรูปจะเห็นได้ว่า

1. มีผลกระทบจากปัจจัยหลัก ทั้ง 3 ปัจจัย คือ อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (Feed rate) ความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง (Drum dryer speed) และปริมาณลมร้อนขาเข้า-ออก (Air rate) มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 ซึ่งแสดงว่าปัจจัยหลักมีผลกระทบต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไฟเบอร์ อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

General Factorial Regression: %moisture output versus Feed rate, Drum dryer speed, Air rate						
Factor Information						
Factor	Levels	Values				
Feed rate	3	10, 15, 20				
Drum dryer speed	3	1.77, 3.51, 5.61				
Air rate	3	40, 70, 100				
Analysis of Variance						
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	
Model	26	1549.47	59.595	5.70	0.000	
Linear	6	713.83	118.972	11.37	0.000	
Feed rate	2	444.05	222.026	21.22	0.000	
Drum dryer speed	2	78.90	39.452	3.77	0.036	
Air rate	2	190.88	95.439	9.12	0.001	
2-Way Interactions	12	762.05	63.504	6.07	0.000	
Feed rate*Drum dryer speed	4	41.23	10.308	0.99	0.432	
Feed rate*Air rate	4	263.60	65.900	6.30	0.001	
Drum dryer speed*Air rate	4	457.22	114.305	10.92	0.000	
3-Way Interactions	8	73.59	9.198	0.88	0.546	
Feed rate*Drum dryer speed*Air rate	8	73.59	9.198	0.88	0.546	
Error	27	282.50	10.463			
Total	53	1831.97				
Model Summary						
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)			
3.23462	84.58%	69.73%	38.32%			

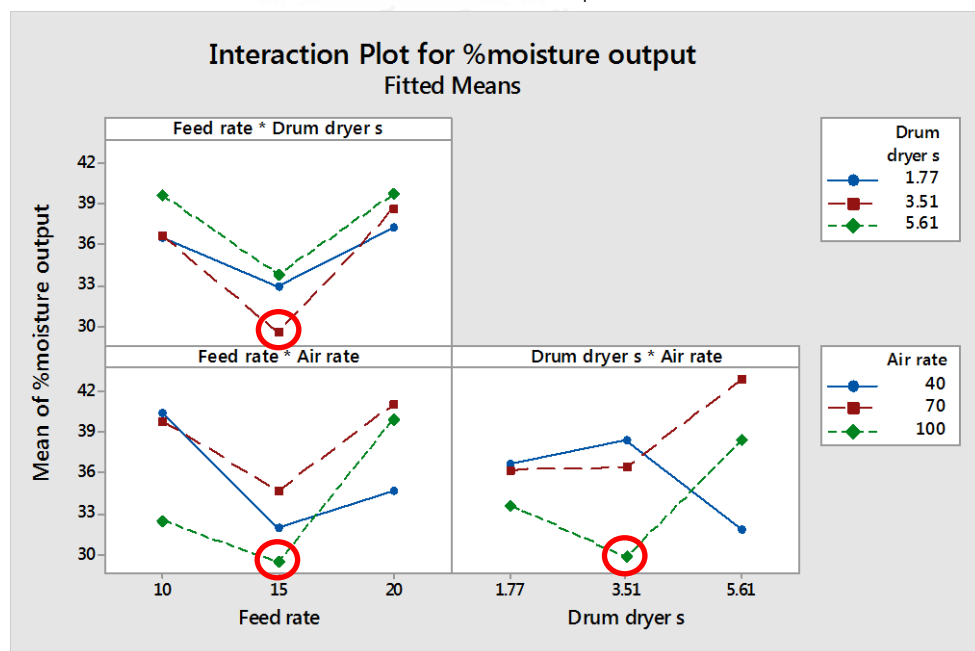
รูปที่ 6.1 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปัจจัยที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไฟเบอร์

- มีผลกระทบของปัจจัยร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยอัตราการป้อนเชื้อเพลิง (Feed rate) กับปริมาณลมร้อนขาเข้า-ออก (Air rate) มีค่า P-Value เท่ากับ 0.001 และปัจจัยความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง (Drum dryer speed) กับ ปริมาณลมร้อนขาเข้า-ออก (Air rate) มีค่า P-Value เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่าค่า α 0.05 แสดงว่าปัจจัยร่วม 2 ปัจจัยมีผลกระทบต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไฟเบอร์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
- ไม่มีผลกระทบของปัจจัยร่วมระหว่าง 3 ปัจจัย คือ ปัจจัยอัตราการป้อนเชื้อเพลิง (Feed rate) ความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง (Drum dryer speed) และปริมาณลมร้อนขาเข้า-ออก (Air rate) มีค่า P-Value เท่ากับ 0.546 ซึ่งมากกว่าค่า α 0.05 แสดงว่า ปัจจัยร่วม 3 ปัจจัย ไม่มีผลกระทบต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไฟเบอร์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



รูปที่ 6.2 ผลกระทบของปัจจัยหลักที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไฟเบอร์

จากรูปที่ 6.2 แสดงผลกระทบของปัจจัยหลักที่มีต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไฟเบอร์ โดยใช้โปรแกรม Minitab จะเห็นได้ว่าจากผลการทดลองปัจจัยหลักที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไฟเบอร์ โดยอัตราการป้อนเชื้อเพลิง (Feed rate) ที่ระดับ 15 ตันต่อชั่วโมง ความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง (Drum dryer speed) ที่ระดับ 3.51 รอบต่อนาที และปริมาณลมร้อนเข้า-ออก (Air rate) ที่ระดับ 100% ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไฟเบอร์น้อยที่สุด



รูปที่ 6.3 ผลกระทบของปัจจัยร่วมที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไฟเบอร์

จากรูปที่ 6.3 แสดงผลกระทบของปัจจัยร่วมที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไฟเบอร์ ซึ่งจากผลวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า มีผลกระทบของปัจจัยร่วมทั้ง 2 ปัจจัยทุกตัวแปร สรุปได้ดังนี้

1. ผลกระทบของปัจจัยร่วมระหว่างปัจจัยอัตราการป้อนเชื้อเพลิง (Feed rate) และความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง (Drum dryer speed) ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง ระดับ 15 ตันต่อชั่วโมง และที่ความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง ระดับ 3.51 รอบต่อนาที ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไฟเบอร์น้อยที่สุด
2. ผลกระทบของปัจจัยร่วมระหว่างปัจจัยอัตราการป้อนเชื้อเพลิง (Feed rate) และปริมาณลมร้อนขาเข้า-ออก (Air rate) ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง ระดับ 15 ตันต่อชั่วโมง และที่ปริมาณลมร้อนขาเข้า-ออก ระดับ 100% ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไฟเบอร์น้อยที่สุด
3. ผลกระทบของปัจจัยร่วมระหว่างปัจจัยความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง (Drum dryer speed) และปริมาณลมร้อนขาเข้า-ออก (Air rate) ที่ความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง ระดับ 3.51 รอบต่อนาที และที่ปริมาณลมร้อนขาเข้า-ออก ระดับ 100% ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไฟเบอร์น้อยที่สุด

ตารางที่ 6.1 ระดับของปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงไฟเบอร์

ลำดับ	ปัจจัยนำเข้า	ระดับที่เหมาะสม	หน่วย
1	อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (Feed rate)	15	ตันต่อชั่วโมง
2	ความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง (Drum dryer speed)	3.51	รอบต่อนาที
3	ปริมาณลมร้อนขาเข้า-ออก (Air rate)	100	เปอร์เซ็นต์

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ทั้ง 3 ปัจจัย สรุปได้ว่าระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด ที่ทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไฟเบอร์น้อยที่สุด คือ อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (Feed rate) เท่ากับ 15 ตันต่อชั่วโมง ความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง (Drum dryer speed) เท่ากับ 3.51 รอบต่อนาที และปริมาณลมร้อนขาเข้า-ออก (Air rate) เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 6.1

6.3.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองเชื้อเพลิงไม้chip

นำผลการทดลองที่ได้จากรูปที่ 5.8 มาวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติด้วยโปรแกรม Minitab ดังแสดงในรูปที่ 6.4

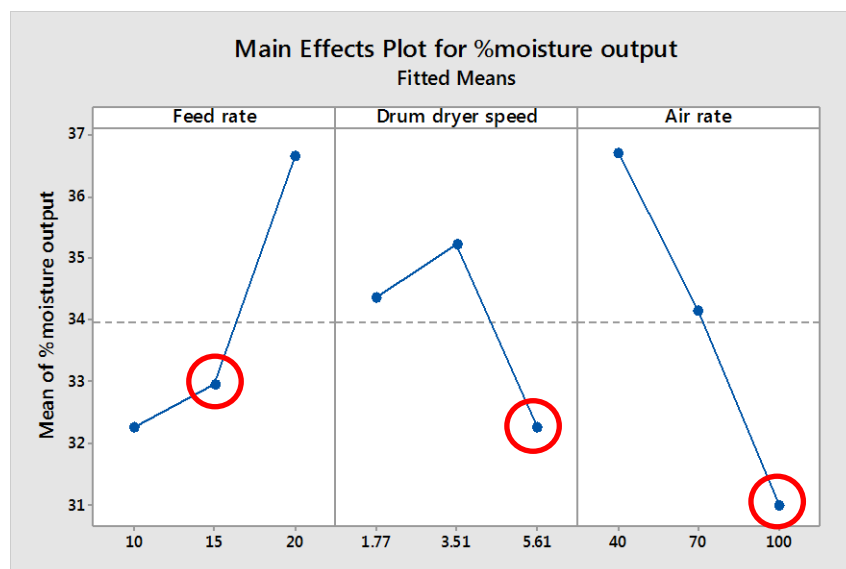
General Factorial Regression: %moisture output versus Feed rate, Drum dryer speed, Air rate						
Factor Information						
Factor	Levels	Values				
Feed rate	3	10, 15, 20				
Drum dryer speed	3	1.77, 3.51, 5.61				
Air rate	3	40, 70, 100				
Analysis of Variance						
Source		DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model		26	913.84	35.148	5.79	0.000
Linear		6	579.39	96.565	15.92	0.000
Feed rate		2	201.39	100.694	16.60	0.000
Drum dryer speed		2	84.79	42.395	6.99	0.004
Air rate		2	293.21	146.606	24.17	0.000
2-Way Interactions		12	309.24	25.770	4.25	0.001
Feed rate*Drum dryer speed		4	277.44	69.361	11.44	0.000
Feed rate*Air rate		4	27.05	6.762	1.11	0.370
Drum dryer speed*Air rate		4	4.75	1.187	0.20	0.938
3-Way Interactions		8	25.21	3.152	0.52	0.831
Feed rate*Drum dryer speed*Air rate		8	25.21	3.152	0.52	0.831
Error		27	163.77	6.066		
Total		53	1077.61			
Model Summary						
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)			
2.46284	84.80%	70.17%	39.21%			

รูปที่ 6.4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปัจจัยที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไม้chip

จากรูปที่ 6.4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปัจจัยที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไม้chip พิจารณาที่ค่า P-value หากมีค่าน้อยกว่า 0.05 จะสรุปได้ว่าปัจจัยนั้นมีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไม้chip อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากรูปจะเห็นได้ว่า

1. มีผลกระทบจากปัจจัยหลัก ทั้ง 3 ปัจจัย คือ อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (Feed rate) ความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง (Drum dryer speed) และปริมาณลมร้อนขาเข้า-ออก (Air rate) มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 ซึ่งแสดงว่าปัจจัยหลักมีผลกระทบต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไม้chip อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
2. มีผลกระทบของปัจจัยร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยอัตราการป้อนเชื้อเพลิง (Feed rate) กับความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง (Drum dryer speed) มีค่า P-Value เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่าค่า α 0.05 แสดงว่าปัจจัยร่วม 2 ปัจจัยมีผลกระทบต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไม้chip อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
3. ไม่มีผลกระทบของปัจจัยร่วมระหว่าง 3 ปัจจัย คือ ปัจจัยอัตราการป้อนเชื้อเพลิง (Feed rate) ความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง (Drum dryer speed) และปริมาณลมร้อนขาเข้า-ออก

(Air rate) มีค่า P-Value เท่ากับ 0.831 ซึ่งมากกว่าค่า α 0.05 แสดงว่า ปัจจัยร่วม 3 ปัจจัย ไม่มีผลกระทบต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไม้ซิปอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

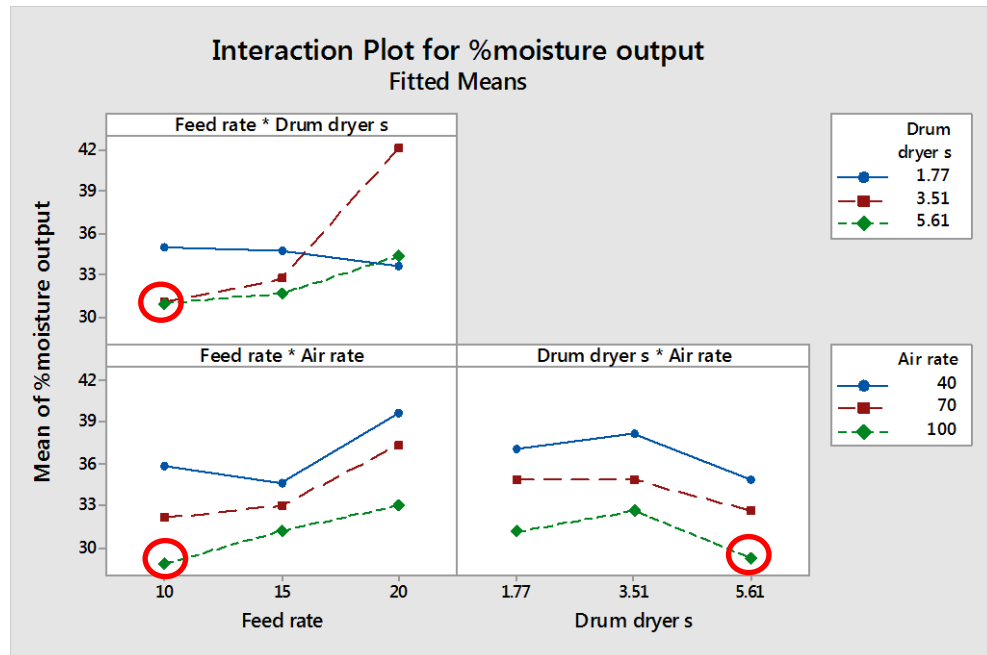


รูปที่ 6.5 ผลกระทบของปัจจัยหลักที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไม้ซิป

จากรูปที่ 6.5 แสดงผลกระทบของปัจจัยหลักที่มีต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไม้ซิป โดยใช้โปรแกรม Minitab จะเห็นได้ว่าจากผลการทดลองปัจจัยหลักที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไม้ซิป โดยอัตราการป้อนเชื้อเพลิง (Feed rate) ที่ระดับ 10 ตันต่อชั่วโมง ความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง (Drum dryer speed) ที่ระดับ 5.61 รอบต่อนาที และปริมาณลมร้อนเข้า-ออก (Air rate) ที่ระดับ 100% ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไม้ซิปน้อยที่สุด

จากรูปที่ 6.6 แสดงผลกระทบของปัจจัยร่วมที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไม้ซิป ซึ่งจากผลวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า มีผลกระทบของปัจจัยร่วมทั้ง 2 ปัจจัย สรุปได้ดังนี้

1. ผลกระทบของปัจจัยร่วมระหว่างปัจจัยอัตราการป้อนเชื้อเพลิง (Feed rate) และความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง (Drum dryer speed) ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง ระดับ 10 ตันต่อชั่วโมง และที่ความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง ระดับ 5.61 รอบต่อนาที และใกล้เคียงกับ 3.51 รอบต่อนาที โดยให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไม้ซิปน้อยที่สุด



รูปที่ 6.6 ผลกระทบของปัจจัยร่วมที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไม้ซีก

- ผลกระทบของปัจจัยร่วมระหว่างปัจจัยอัตราการป้อนเชื้อเพลิง (Feed rate) และปริมาณลมร้อนเข้า-ออก (Air rate) ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง ระดับ 10 ตันต่อชั่วโมง และที่ปริมาณลมร้อนเข้า-ออก ระดับ 100% ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไม้ซีกน้อยที่สุด
- ผลกระทบของปัจจัยร่วมระหว่างปัจจัยความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง (Drum dryer speed) และปริมาณลมร้อนเข้า-ออก (Air rate) ที่ความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง ระดับ 5.61 รอบต่อนาที และที่ปริมาณลมร้อนเข้า-ออก ระดับ 100% ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไม้ซีกน้อยที่สุด

ตารางที่ 6.2 ระดับของปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงไม้ซีก

ลำดับ	ปัจจัยนำเข้า	ระดับที่เหมาะสม	หน่วย
1	อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (Feed rate)	10	ตันต่อชั่วโมง
2	ความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง (Drum dryer speed)	5.61	รอบต่อนาที
3	ปริมาณลมร้อนเข้า-ออก (Air rate)	100	เปอร์เซ็นต์

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ทั้ง 3 ปัจจัย สรุปได้ว่าระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด ที่ทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไฟเบอร์น้อยที่สุด คือ อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (Feed rate) เท่ากับ 10 ตันต่อชั่วโมง ความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง (Drum dryer speed) เท่ากับ 5.61 รอบต่อนาที และปริมาณลมร้อนขาเข้า-ออก (Air rate) เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 6.2

6.4 การวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงโดยเพิ่มระดับปัจจัย

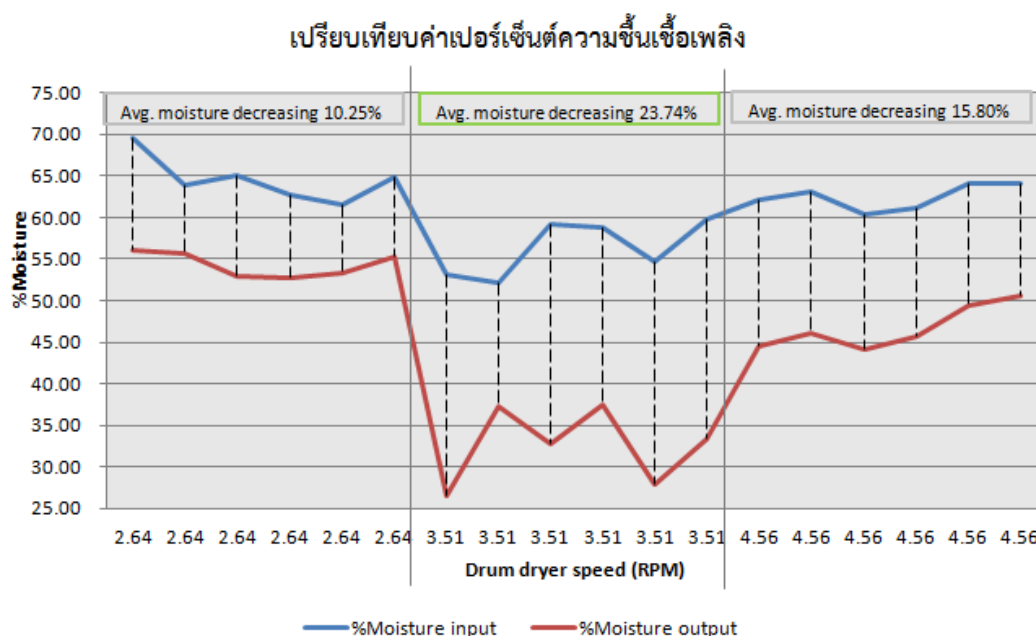
จากระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดของเชื้อเพลิงไฟเบอร์ คือ อัตราการป้อนเชื้อเพลิง เท่ากับ 15 ตันต่อชั่วโมง ความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง เท่ากับ 3.51 รอบต่อนาที และปริมาณลมร้อนขาเข้า-ออก เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 6.3 ผลการทดลองอบแห้งเชื้อเพลิงไฟเบอร์ที่ความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง 3 ระดับ

No.	Feed rate	Drum dryer speed	Air rate	%Moisture input	%Moisture output	Temp. inlet (°C)
1	15	2.64	100	69.57	56.06	140
2	15	2.64	100	63.83	55.61	140
3	15	2.64	100	64.97	53.02	138
4	15	2.64	100	62.77	52.70	140
5	15	2.64	100	61.49	53.25	142
6	15	2.64	100	64.83	55.33	140
7	15	3.51	100	53.12	26.54	139
8	15	3.51	100	52.07	37.41	138
9	15	3.51	100	59.28	32.84	142
10	15	3.51	100	58.88	37.55	142
11	15	3.51	100	54.72	27.84	142
12	15	3.51	100	59.77	33.33	143
13	15	4.56	100	62.20	44.44	140
14	15	4.56	100	63.07	46.03	142
15	15	4.56	100	60.30	44.13	142
16	15	4.56	100	61.18	45.62	140
17	15	4.56	100	64.02	49.34	142
18	15	4.56	100	64.12	50.53	140

เพื่อยืนยันผลการทดลองจึงทำการทดลองโดยแบ่งระดับของปัจจัยความเร็วรอบเครื่องอบแห้งอีก 2 ระดับ คือ 2.64 รอบต่อนาที และ 4.56 รอบต่อนาที อุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งไม่สามารถควบคุมได้จากแหล่งจ่าย โดยมีค่าระหว่าง 138-146 องศาเซลเซียส ซึ่งมีผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 6.3

โดยค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไฟเบอร์ที่ความเร็วรอบเครื่องอบ 2.64 ลดลงเฉลี่ยเท่ากับ 10.25% ความเร็วรอบเครื่องอบ 3.51 รอบต่อนาที ลดลงเฉลี่ย เท่ากับ 23.74% และความเร็วรอบเครื่องอบ 4.56 รอบต่อนาที ลดลงเฉลี่ย เท่ากับ 15.80% รอบต่อนาที ซึ่งแสดงผลดังรูปที่ 6.7 ทำให้สามารถสรุปได้ว่า ระดับปัจจัยความเร็วรอบเครื่องอบที่เหมาะสมที่สุดของเชื้อเพลิงไฟเบอร์ คือ 3.51 รอบต่อนาที



รูปที่ 6.7 เปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไฟเบอร์ที่ความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง 3 ระดับ

6.5 บทสรุป

จากการวิเคราะห์ปัจจัยที่ผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไฟเบอร์และไม้ซิป มี 3 ปัจจัย คือ อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (Feed rate) ความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง (Drum dryer speed) และ ปริมาณลมร้อนเข้า-ออก (Air rate) ซึ่งได้ทำการทดลองเพื่อหาปัจจัยและระดับที่เหมาะสม โดยใช้ การทดลอง 3^k Factorial design พบว่า ปัจจัยหลักทั้งหมดมีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไฟเบอร์และไม้ซิป และมีผลกระทบของปัจจัยร่วมทั้ง 2 ปัจจัยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

โดยระดับของปัจจัยที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงไฟเบอร์ คือ อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (Feed rate) เท่ากับ 15ตันต่อชั่วโมง ความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง (Drum dryer speed) เท่ากับ 3.51 รอบ

ต่อนาที และปริมาณลมร้อนขาเข้า-ออก (Air rate) เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และปัจจัยที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงไม้ซีก คือ อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (Feed rate) เท่ากับ 10 ตันต่อชั่วโมง ความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง (Drum dryer speed) เท่ากับ 5.61 รอบต่อนาที และปริมาณลมร้อนขาเข้า-ออก (Air rate) เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งกระบวนการต่อไปหลังจากขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการจะนำปัจจัยที่เหมาะสมเหล่านี้ไปใช้ในกระบวนการอบแห้งเชื้อเพลิงเพื่อให้ได้คุณภาพเชื้อเพลิงที่ดีขึ้นหลังผ่านกระบวนการอบแห้งแล้ว



บทที่ 7

ระยะควบคุมกระบวนการ (Control Phase)

7.1 บทนำ

จากขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการที่ผ่านมา ทำให้ทราบถึงปัจจัยนำเข้าและระดับนำเข้าที่มีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ความขึ้นเชื้อเพลิงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งการควบคุมตัวแปรต่างๆในกระบวนการอบแห้ง เป็นขั้นตอนสุดท้ายในวิธีการซีกซ์ ซิกม่า เพื่อตรวจสอบและควบคุมปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ และมีแนวทางในการควบคุมการปฏิบัติงานในกระบวนการอบแห้งเชื้อเพลิงเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาค่าเปอร์เซ็นต์ความขึ้นเชื้อเพลิงหลังผ่านกระบวนการอบแห้งแล้วค่าเปอร์เซ็นต์ความขึ้นลดลงน้อยและไม่คุ้มค่าในการดำเนินการอบแห้งเชื้อเพลิงทั้งไฟเบอร์และไม้ซีพ

7.2 การดำเนินการควบคุมตัวแปร

จากการดำเนินงานในขั้นตอนการควบคุมต่างๆ โดยการควบคุมปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัย จะใช้คู่มือการปฏิบัติงานเพื่อป้องกันความผิดพลาดจากวิธีการปฏิบัติงาน โดยได้กำหนดค่าต่างๆตามที่ได้วิเคราะห์ผลของปัจจัยและระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความขึ้นเชื้อเพลิงลดลงตามเป้าหมาย

7.2.1 แผนการควบคุม

ปัจจัยที่มีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ความขึ้นเชื้อเพลิง ได้แก่ อัตราการป้อนเชื้อเพลิง ความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง ปริมาณลมเข้า-ออก และชนิดเชื้อเพลิง โดยการควบคุมปัจจัยเหล่านี้จะอาศัยคู่มือการปฏิบัติงาน ดังรูปที่ 7.1-7.4

ISO 9001 QUALITY MANAGEMENT SYSTEM			
บริษัท	WORK INSTRUCTION การควบคุมกระบวนการ อบแห้งแข็งเพลิง	Document No. : NPP3-ISO9001-QWI-PP-04	
		Revise No. :	Page 1 of 5
		Issue Date :	Effective Date:
		Prepare by :	Approved by :

WORK INSTRUCTION

การควบคุมกระบวนการอบแห้งแข็งเพลิง

ผู้จัดทำ :

()

ตำแหน่ง : ผู้จัดการแผนกเชื้อเพลิง

ผู้ทบทวน :

()

ตำแหน่ง : ผู้จัดการแผนกเชื้อเพลิง

ผู้อนุมัติ :

()

ตำแหน่ง : Quality Management Representative

รูปที่ 7.1 คู่มือการควบคุมกระบวนการอบแห้งแข็งเพลิง

<p>1. วัตถุประสงค์</p> <ul style="list-style-type: none"> • เพื่อให้คุณภาพเชื้อเพลิงในกระบวนการอบแห้งได้ตามเป้าหมาย • เพื่อให้ปฏิบัติงานได้ถูกต้อง ปลอดภัย และเป็นมาตรฐานเดียวกัน <p>2. ขอบเขต</p> <ul style="list-style-type: none"> • ใช้สำหรับกระบวนการอบแห้งเชื้อเพลิงของ โรงงานกรมศึกษา <p>3. คำจำกัดความ</p> <p>3.1 เชื้อเพลิงไฟเบอร์ หมายถึง เชื้อเพลิงผสมระหว่างทะเลลายปาล์ม เปลือกมะพร้าว และเปลือกไม้ยูคาลิปตัส</p> <p>3.2 Heat exchanger หมายถึง เครื่องจักรที่ผลิตลมร้อนป้อนเข้าเครื่องอบแห้งเพื่อช่วยลดค่าความชื้นเชื้อเพลิง</p> <p>4. ข้อกำหนด</p> <p>-</p> <p>5. ขั้นตอนการดำเนินงาน</p> <p>5.1 ขั้นตอนการเตรียมการตรวจสอบความพร้อมต่างๆเพื่อเตรียมเดินเครื่องจักร</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. เชื้อเพลิงที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งมีปริมาณเพียงพอที่จะเดินเครื่องจักรหรือไม่ โดยพนักงานปฏิบัติงานเดินเครื่องตรวจสอบที่หัวหน้างานแผนกเชื้อเพลิง 2. รถจักรกลหนักมีความพร้อมในการปฏิบัติงานหรือไม่ โดยพนักงานปฏิบัติงานเดินเครื่องตรวจสอบที่หัวหน้างานแผนกเชื้อเพลิง 3. มีปริมาณไอน้ำที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งเพียงพอหรือไม่ โดยพนักงานปฏิบัติงานเดินเครื่องตรวจสอบที่หัวหน้างานแผนกเชื้อเพลิง 4. เครื่องจักรต่างๆของกระบวนการอบแห้งอยู่ในสภาพสมบูรณ์ พร้อมสำหรับการเดินเครื่องหรือไม่ โดยพนักงานปฏิบัติงานเดินเครื่องทดสอบเดินเครื่องระบบต่างๆ ได้แก่ สกรูป้อนเชื้อเพลิงเข้า สายพานขาเข้า เครื่อง Heat exchanger การทำงานของระบบพัดลม เครื่องอบแห้ง สายพานขาออก และไซโคลนทางออกของลม
--

รูปที่ 7.2 คู่มือการควบคุมกระบวนการอบแห้งเชื้อเพลิง (ต่อ)

5.2 ขั้นตอนการเดินเครื่องจักร

1. ให้เปิดวาล์วไลน์ครบถ้วนทุกจุดเพื่อระบายน้ำที่ค้างในระบบออกให้หมด
2. ให้วอร์มเครื่องอบแห้งเชื้อเพลิง ก่อนการเดินเครื่องทุกครั้งให้วอร์มเครื่องอบแห้งเชื้อเพลิง โดยการเปิดไอน้ำเข้าไปในเครื่องอบแห้ง โดยไม่มีการป้อนเชื้อเพลิงเข้า เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

5.3 ขั้นตอนการปรับตั้งเครื่องจักร

1. เชื้อเพลิงที่ใช้ในการอบ: โฟเบอร์
ปรับตั้งเครื่องจักรดังนี้
 - 1.1 อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (Feed rate) ปรับรอบสกรูป้อนเชื้อเพลิงที่ 21 Hz หรือ 15 ตันต่อชั่วโมง
 - 1.2 ความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง (Drum dryer speed) ปรับความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง ที่ 32 Hz หรือ 3.51 รอบต่อนาที
 - 1.3 ปริมาณลมร้อนเข้า-ออก (Air rate) ปรับปริมาณลมร้อนเข้า-ออกโดยปรับ Damper ใบพัดลม ที่ 100%
2. เชื้อเพลิงที่ใช้ในการอบ: ไม้ซิป
ปรับตั้งเครื่องจักรดังนี้
 - 2.1 อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (Feed rate) ปรับรอบสกรูป้อนเชื้อเพลิงที่ 16 Hz หรือ 10 ตันต่อชั่วโมง
 - 2.2 ความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง (Drum dryer speed) ปรับความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง ที่ 50 Hz หรือ 5.61 รอบต่อนาที
 - 2.3 ปริมาณลมร้อนเข้า-ออก (Air rate) ปรับปริมาณลมร้อนเข้า-ออกโดยปรับ Damper ใบพัดลม ที่ 100%

รูปที่ 7.3 คู่มือการควบคุมกระบวนการอบแห้งเชื้อเพลิง (ต่อ)

5.4 ขั้นตอนระหว่างกระบวนการอบแห้ง

1. จดบันทึกค่าต่างๆ ทุกชั่วโมง ลงในแบบฟอร์ม

2. เก็บตัวอย่างเชื้อเพลิงขาเข้าและขาออกทุก 4 ชั่วโมง ส่งที่ห้องแล็บเพื่อวัดค่าความชื้นเชื้อเพลิงและค่าความร้อน
3. เดินตรวจสอบการทำงานของระบบต่างๆของกระบวนการอบแห้งให้สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง เช่น ปัญหาเชื้อเพลิงติดตันระบบลำเลียง เป็นต้น

5.5 ขั้นตอนการหยุดเดินเครื่องจักร

เมื่อต้องการหยุดเดินกระบวนการอบแห้งเชื้อเพลิง

1. หยุดการป้อนเชื้อเพลิงขาเข้า รอจนกระทั่งเชื้อเพลิงในฮอปเปอร์ลำเลียงออกจนหมดจึงหยุดเดินสกรูและสายพานลำเลียงขาเข้า
2. รอจนกระทั่งเชื้อเพลิงไหลออกจนหมดเครื่องอบแห้งจึงปิดวาล์วจ่ายไอน้ำและหยุดการทำงานของเครื่องอบและสายพานลำเลียงขาออก
3. หยุดการทำงานของเครื่อง Heat exchanger และการทำงานของพัดลมขาเข้าและขาออก

6. ขั้นตอน หรือกิจกรรม (Description of activities)

6.1 ระยะเวลาและความถี่ (Frequency)

- บันทึกค่าต่างๆประจำวันทุกชั่วโมง
- เก็บตัวอย่างเชื้อเพลิงส่งห้องแล็บ ทุก 4 ชั่วโมง

7. บันทึก (Records)

- บันทึกค่าต่างๆประจำวันตามแบบฟอร์ม

รูปที่ 7.4 คู่มือการควบคุมกระบวนการอบแห้งเชื้อเพลิง (ต่อ)

ตารางที่ 7.1 ผลการทดลองตามปัจจัยที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงไฟเบอร์

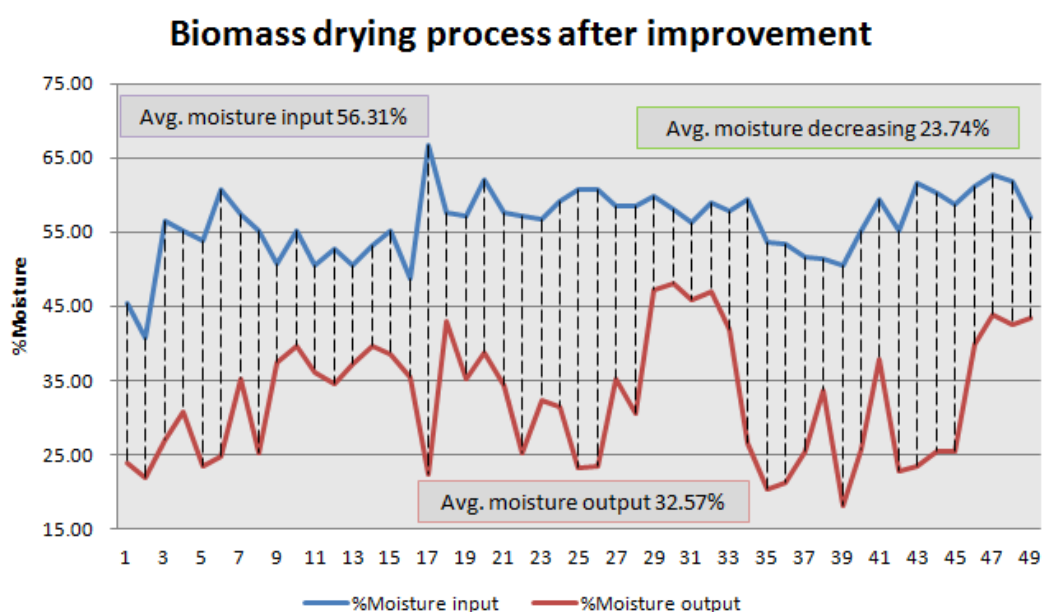
No.	Day	Feed rate	Drum dryer speed	Air rate	%Moisture input	%Moisture output	Temp. air inlet (°C)
1	1	15	3.51	100	45.45	23.80	140
2	1	15	3.51	100	40.76	21.89	140
3	1	15	3.51	100	56.56	27.09	142
4	1	15	3.51	100	55.10	30.84	138
5	1	15	3.51	100	53.85	23.52	139
6	1	15	3.51	100	60.70	24.86	138
7	1	15	3.51	100	57.31	35.19	138
8	1	15	3.51	100	55.19	25.13	138
9	2	15	3.51	100	50.63	37.52	140
10	2	15	3.51	100	55.07	39.64	140
11	2	15	3.51	100	50.59	36.05	142
12	2	15	3.51	100	52.75	34.47	140
13	2	15	3.51	100	50.44	37.24	138
14	2	15	3.51	100	53.25	39.65	138
15	2	15	3.51	100	55.13	38.50	140
16	2	15	3.51	100	48.68	35.37	140
17	3	15	3.51	100	66.74	22.32	140
18	3	15	3.51	100	57.50	43.05	142
19	3	15	3.51	100	57.17	35.12	142
20	3	15	3.51	100	62.07	38.76	142
21	3	15	3.51	100	57.56	34.33	140
22	3	15	3.51	100	57.25	25.28	142
23	3	15	3.51	100	56.82	32.41	142
24	3	15	3.51	100	59.12	31.43	144

ตารางที่ 7.2 ผลการทดลองตามปัจจัยที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงไฟเบอร์ (ต่อ)

No.	Day	Feed rate	Drum dryer speed	Air rate	%Moisture input	%Moisture output	Temp. air inlet (°C)
25	4	15	3.51	100	60.62	23.17	144
26	4	15	3.51	100	60.70	23.46	142
27	4	15	3.51	100	58.41	35.26	142
28	4	15	3.51	100	58.38	30.61	140
29	4	15	3.51	100	59.86	47.19	140
30	4	15	3.51	100	58.03	47.98	140
31	4	15	3.51	100	56.18	45.79	142
32	4	15	3.51	100	58.88	46.92	142
33	5	15	3.51	100	57.91	41.89	144
34	5	15	3.51	100	59.36	26.61	140
35	5	15	3.51	100	53.69	20.43	140
36	5	15	3.51	100	53.46	21.22	142
37	5	15	3.51	100	51.62	25.32	142
38	5	15	3.51	100	51.41	33.67	140
39	5	15	3.51	100	50.52	18.06	144
40	5	15	3.51	100	55.19	25.56	140
41	5	15	3.51	100	59.28	37.83	142
42	6	15	3.51	100	55.22	22.78	142
43	6	15	3.51	100	61.57	23.33	140
44	6	15	3.51	100	60.20	25.36	140
45	6	15	3.51	100	58.70	25.39	144
46	6	15	3.51	100	61.11	39.94	144
47	6	15	3.51	100	62.61	43.84	146
48	6	15	3.51	100	61.77	42.47	140
49	6	15	3.51	100	57.00	43.51	144

7.3 ข้อมูลหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต

แผนการควบคุมปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้ง 4 ปัจจัยที่กำหนด จึงทำการเปลี่ยนแปลงกระบวนการอบแห้งเชื้อเพลิงตามปัจจัยที่เหมาะสมที่ได้จากการวิเคราะห์จากงานวิจัย โดยดำเนินการอบแห้งเชื้อเพลิงไฟเบอร์ และเก็บตัวอย่างเชื้อเพลิงไฟเบอร์ทุกๆ 1 ชั่วโมง ทั้งก่อนนำเข้ากระบวนการและหลังจากผ่านกระบวนการอบแห้งแล้ว จำนวน 49 ตัวอย่าง แล้วนำไปวัดค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงที่ห้องปฏิบัติการแล็บ ซึ่งผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 7.1 และ 7.2 โดยค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงเฉลี่ยก่อนนำเข้ากระบวนการอบแห้ง เท่ากับ 56.31% และหลังจากผ่านกระบวนการอบแห้ง เท่ากับ 32.57% โดยลดลงเฉลี่ย 23.74% ซึ่งแสดงผลดังรูปที่ 7.5

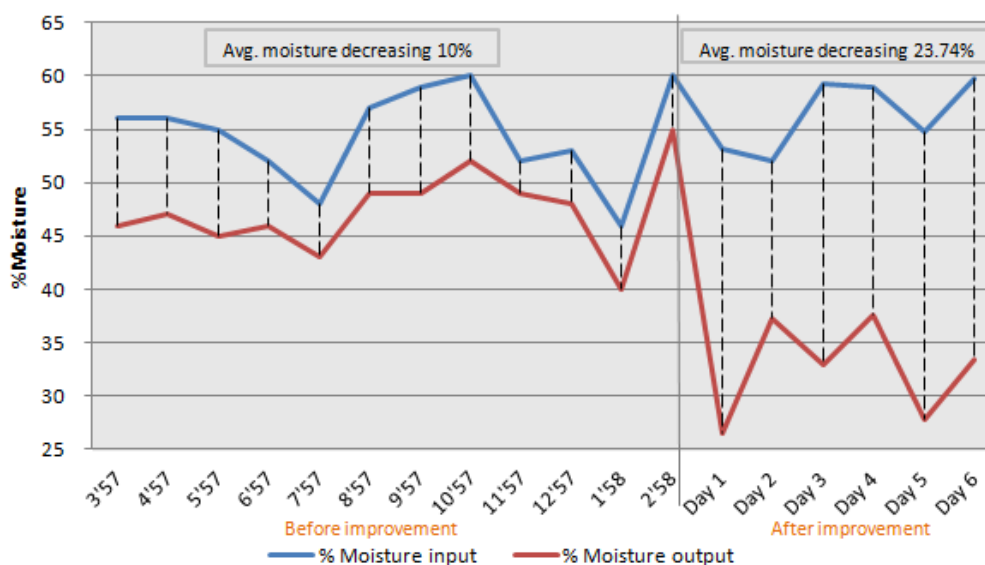


รูปที่ 7.5 ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไฟเบอร์หลังปรับปรุงกระบวนการผลิต

7.4 สรุปผลการดำเนินงานตามวิธีซิกซ์ ซิกม่า

จากวัตถุประสงค์ในการทำวิจัยนี้เพื่อปรับปรุงค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงในกระบวนการอบแห้งของโรงผลิตไฟฟ้าและไอน้ำ โดยใช้แนวคิดซิกซ์ ซิกม่า ซึ่งหลังจากดำเนินการแก้ไขปัญหตามวิธีซิกซ์ ซิกม่าแล้วสามารถสรุปผลได้ดังรูปที่ 7.6

Biomass drying process before and after improvement



รูปที่ 7.6 เปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไฟเบอร์ก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการผลิต

จากรูปที่ 7.6 จะเห็นได้ว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงในช่วงก่อนปรับปรุงที่ไม่มีการกำหนดระดับของปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการอบแห้งนั้น พบว่า ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงในช่วงเดือนมีนาคม 2557 – กุมภาพันธ์ 2558 มีค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นลดลงเฉลี่ย 10% และเมื่อทำการปรับค่าระดับปัจจัยต่างๆที่เหมาะสมตามที่ได้ปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ โดยปรับอัตราการป้อนเข้าเชื้อเพลิง (Feed rate) 15 ตันต่อชั่วโมง ความเร็วรอบเครื่องอบ (Drum dryer speed) 3.51 รอบต่อนาที และปริมาณลมร้อนเข้า-ออก (Air rate) 100% พบว่า ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงลดลงเฉลี่ย 23.74% ซึ่งสามารถลดปัญหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงลดลงในปริมาณที่น้อยหลังจากผ่านกระบวนการอบแห้ง ส่วนเชื้อเพลิงไม้ซิปเนื่องจากไม่มีสต็อกเชื้อเพลิงไม้ซิปจึงไม่สามารถเดินเครื่องแบบต่อเนื่องได้

7.5 บทสรุป

จากผลการควบคุมกระบวนการผลิตที่ผ่านมา สามารถกำหนดค่าของปัจจัยและระดับของปัจจัยที่เหมาะสมรวมถึงการควบคุมผลลัพธ์ของกระบวนการได้ โดยหลังจากทำการควบคุมกระบวนการและจัดทำคู่มือการควบคุมกระบวนการอบแห้งเชื้อเพลิง เมื่อดำเนินการแก้ไขปัญหามาตามวิธีซิกซ์ ซิกมา ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงลดลงเฉลี่ย 23.74% ซึ่งลดลงมากกว่าก่อนดำเนินการปรับปรุงกระบวนการ ทำให้สามารถลดมูลค่าความสูญเสียลงได้ โดยมีรายละเอียดในบทต่อไป

บทที่ 8

มูลค่าความสูญเสียหลังการปรับปรุง

8.1 บทนำ

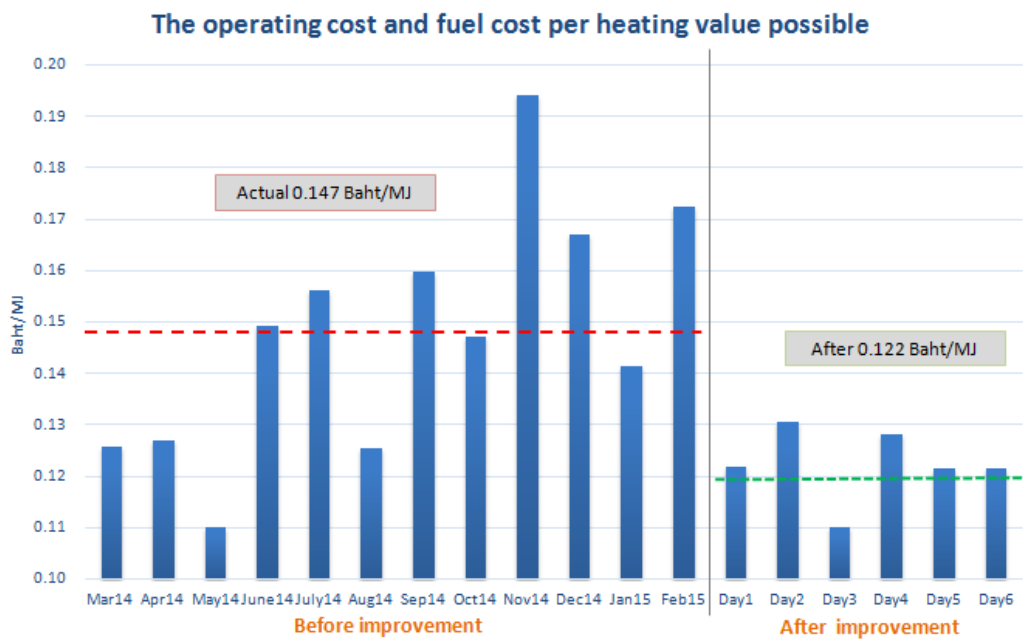
จากปัญหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงในกระบวนการอบแห้งลดลงในปริมาณที่น้อยหลังจากผ่านกระบวนการอบแห้ง ส่งผลให้ต้นทุนค่าเชื้อเพลิงเมื่อรวมกับต้นทุนในกระบวนการอบแห้งสูงกว่าที่โรงงานกรณีศึกษายอมรับ คิดเป็นมูลค่าสูญเสีย 1,212,727 บาท/ปี โดยจากการปรับปรุงกระบวนการ พบว่า ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเฉลี่ยลดลงมากกว่าก่อนปรับปรุงกระบวนการ ทำให้ไม่เกิดความสูญเสียขึ้นจากกระบวนการอบแห้งและยังสามารถเพิ่มมูลค่าเชื้อเพลิงได้จากการที่สามารถเพิ่มค่าพลังงานความร้อนให้กับเชื้อเพลิงได้มากขึ้น

8.2 มูลค่าความสูญเสียที่ลดลง

หลังจากการดำเนินการแก้ไขกระบวนการอบแห้งเชื้อเพลิงด้วยวิธีการซิกซ์ ซิกมา พบว่า ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงลดลงมากกว่าก่อนดำเนินการปรับปรุงกระบวนการ โดยก่อนปรับปรุงค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นลดลง 10% หลังปรับปรุงกระบวนการค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นลดลง 23.74% ทำให้ต้นทุนในกระบวนการอบแห้งเฉลี่ยลดลงจาก 0.147 บาทต่อเมกกะจูล เป็น 0.122 บาทต่อเมกกะจูล แสดงดังรูปที่ 8.1 ซึ่งค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเฉลี่ยลดลงมากกว่าเดิม 1.37 เท่า โดยค่าพลังงานความร้อนที่ทำได้เฉลี่ยก่อนปรับปรุงกระบวนการ เท่ากับ 14.23×10^6 MJ/Month คิดเป็นมูลค่าสูญเสียเฉลี่ยเท่ากับ 101,061 บาท/เดือน หรือ 1,212,727 บาท/ปี เมื่อปรับปรุงกระบวนการค่าพลังงานความร้อนที่ทำได้เฉลี่ย เท่ากับ 36.25×10^6 MJ/Month คิดเป็นมูลค่าต้นทุนที่ประหยัดได้เฉลี่ย เท่ากับ 381,919 บาท/เดือน หรือ 4,583,028 บาท/ปี โดยเทียบกับต้นทุนที่สูญเสียก่อนปรับปรุงกระบวนการผลิต

8.3 บทสรุป

จากก่อนปรับปรุงค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงในกระบวนการอบแห้งลดลงในปริมาณน้อยทำให้เกิดมูลค่าสูญเสีย 1,212,727 บาท/ปี โดยเมื่อปรับปรุงค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของกระบวนการอบแห้งแล้ว พบว่า ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงลดลงมากกว่าก่อนดำเนินการปรับปรุงกระบวนการ 1.07 เท่า ทำให้ต้นทุนต่อค่าความร้อนที่ทำได้ลดลงจากก่อนปรับปรุงกระบวนการ 0.021 บาท/MJ คิดเป็นมูลค่าเพิ่มเฉลี่ยเท่ากับ 164,504 บาท/เดือน หรือ 2,632,060 บาท/ปี



รูปที่ 8.1 เปรียบเทียบต้นทุนต่อค่าความร้อนก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการผลิต

บทที่ 9

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

9.1 บทนำ

การดำเนินการวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์จากโรงงานกรณีศึกษาซึ่งเป็นผู้ประกอบธุรกิจด้านการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงชีวมวล เพื่อปรับปรุงค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงในกระบวนการอบแห้ง โดยได้ดำเนินการตามแนวทางซิกซ์ ซิกม่า ในการแก้ไขปัญหา ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

9.2 ระบะนิยามปัญหา (Define Phase)

ในขั้นตอนนี้เริ่มจากการพิจารณาปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นในกระบวนการอบแห้งที่ลดลงในปริมาณที่น้อยทำให้ต้นทุนต่อค่าความร้อนที่ทำได้สูงกว่าที่โรงงานกรณีศึกษายอมรับได้ จึงจำเป็นต้องศึกษาถึงสาเหตุ โดยเริ่มจากการศึกษากระบวนการอบแห้งเชื้อเพลิง ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงที่ทำได้ ต้นทุนต่อค่าความร้อน เพื่อใช้เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการซึ่งดำเนินการตามแนวทางซิกซ์ ซิกม่า โดยพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงลดลงน้อยและต้นทุนต่อค่าความร้อนสูง จึงจำเป็นต้องหาแนวทางแก้ไขต่อไป

9.3 ระยะเวลาวัดปัญหา (Measure Phase)

ในขั้นตอนนี้จะดำเนินการวิเคราะห์ความแม่นยำและความเที่ยงของระบบการวัด (Gage R&R) ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงในกระบวนการอบแห้ง ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่า ระบบระบบการวัดมีความสามารถในการแยกความแตกต่างของค่าวัดได้และความแปรปรวนในระบบการวัดมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ มีความแม่นยำและเที่ยงตรงเพียงพอที่จะใช้ จากนั้นได้ทำแผนที่กระบวนการผลิต (Process Map) เพื่อทราบถึงขั้นตอน ปัจจัย และความสัมพันธ์ของงานแต่ละงานเพื่อนำไปวิเคราะห์ปัญหาได้สะดวก จากนั้นทำการระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้าโดยใช้แผนภูมิแกงปลา (Cause and Effect Diagram) เพื่อหาสาเหตุของปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อค่าความชื้นเชื้อเพลิง โดยพบว่ามีปัจจัยทั้งหมด 16 ปัจจัย และทำตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) เพื่อคัดกรองปัจจัยที่มีผลกระทบมากที่สุดได้ 8 ปัจจัย จากนั้นทำการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) เพื่อศึกษาถึงลักษณะของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นของปัจจัยเหล่านั้น พร้อมทั้งพิจารณาผลกระทบที่เกิดขึ้นเพื่อกำหนดให้เหลือเฉพาะปัจจัยที่มีความสำคัญต่อปัญหาที่หา

การวิจัย ซึ่งพบว่า สาเหตุที่อาจจะส่งผลกระทบต่อค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงลดลงในปริมาณที่น้อย คือ อัตราการป้อนเชื้อเพลิง ความเร็วรอบเครื่องอบ ปริมาณลมเข้า-ออก และชนิดเชื้อเพลิง ซึ่งจะไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือทางสถิติในขั้นต่อไป

9.4 ระยะเวลาวิเคราะห์สาเหตุปัญหา (Analysis Phase)

จากขั้นตอนการตรวจวัดปัญหาพบปัจจัยที่อาจจะเป็นสาเหตุของปัญหา คือ อัตราการป้อนเชื้อเพลิง ความเร็วรอบเครื่องอบ ปริมาณลมเข้า-ออก และชนิดเชื้อเพลิง จึงนำสาเหตุเหล่านั้นมาวิเคราะห์โดยใช้การออกแบบการทดลองเชิงวิศวกรรมแบบ 3^k Factorial Design เนื่องจากพารามิเตอร์ต่างๆสามารถปรับตั้งได้ง่ายและใช้ต้นทุนต่ำ โดยใช้เพื่อคัดกรองปัจจัยที่มีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งพบว่า ปัจจัยทั้ง 4 มีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงอย่างมีนัยสำคัญ

9.5 ระยะเวลาปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase)

ในขั้นตอนนี้ใช้การออกแบบการทดลองเชิงวิศวกรรมเพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงที่ผ่านกระบวนการอบแห้งลดลงในปริมาณมากและต้นทุนต่อค่าความร้อนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยพบว่า ระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดสำหรับเชื้อเพลิงไฟเบอร์ คือ อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 15 ตันต่อชั่วโมง ความเร็วรอบเครื่องอบ 3.51 รอบต่อนาที และปริมาณลมร้อนเข้า-ออก 100% ส่วนเชื้อเพลิงไม้ซิป คือ อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 10 ตันต่อชั่วโมง ความเร็วรอบเครื่องอบ 5.61 รอบต่อนาที และปริมาณลมร้อนเข้า-ออก 100% ซึ่งให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงในกระบวนการอบแห้งลดลงในปริมาณที่มากและต้นทุนค่าความร้อนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

9.6 ระยะเวลาควบคุมกระบวนการ (Control Phase)

จากผลการควบคุมกระบวนการผลิตที่ผ่านมา สามารถกำหนดค่าของปัจจัยและระดับของปัจจัยที่เหมาะสมรวมถึงการควบคุมผลลัพธ์ของกระบวนการได้ โดยหลังจากทำการควบคุมกระบวนการและจัดทำคู่มือการควบคุมกระบวนการอบแห้งเชื้อเพลิง เมื่อดำเนินการแก้ไขปัญหามาตามวิธีซิกมา โดยก่อนปรับปรุงค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นลดลง 10% หลังปรับปรุงกระบวนการค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นลดลง 23.74% ทำให้ต้นทุนในกระบวนการอบแห้งเฉลี่ยลดลงจาก 0.147 บาทต่อเมกกะจูล เป็น 0.122 บาทต่อเมกกะจูล แสดงดังรูปที่ 8.1 ซึ่งค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเฉลี่ยลดลงมากกว่าเดิม 1.37 เท่า โดยค่าพลังงานความร้อนที่ทำได้เฉลี่ยก่อนปรับปรุงกระบวนการ เท่ากับ 14.23×10^6 MJ/Month คิดเป็นมูลค่าสูญเสียเฉลี่ยเท่ากับ 101,061 บาท/เดือน หรือ 1,212,727

บาท/ปี เมื่อปรับปรุงกระบวนการค่าพลังงานความร้อนที่ทำได้เฉลี่ย เท่ากับ 36.25×10^6 MJ/Month คิดเป็นมูลค่าต้นทุนที่ประหยัดได้เฉลี่ย เท่ากับ 381,919 บาท/เดือน หรือ 4,583,028 บาท/ปี โดยเทียบกับต้นทุนที่สูญเสียก่อนปรับปรุงกระบวนการผลิต

9.7 ปัญหาและอุปสรรคในงานวิจัย

9.7.1 การทดลองตามการทดลองที่ได้ออกแบบไว้เป็นการทดลองจริงที่กระบวนการอบแห้งเชื้อเพลิง ซึ่งต้องรอให้มีไอน้ำเหลือใช้จากกระบวนการผลิตไฟฟ้าก่อนถึงจะสามารถทดลองได้


9.7.2 เกิดข้อผิดพลาดในการสื่อสารกับพนักงานปฏิบัติการที่ควบคุมเครื่องจักรเนื่องจากทำงานแบบต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง โดยแบ่งเป็น 3 กะ

9.7.3 อุปกรณ์ในกระบวนการอบแห้งชำรุดทำให้ต้องรอคอยการซ่อมเครื่องจักรจึงจะสามารถทดลองเดินเครื่องได้ทำให้ใช้เวลาในการทำงานวิจัยเพิ่มขึ้น

9.8 ข้อเสนอแนะ

9.8.1 งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิง 2 ชนิด คือ ไฟเบอร์และไม้ชิฟ เท่านั้น เนื่องจากชนิดอื่นๆไม่ใช่ฤดูกาลที่จะมีเชื้อเพลิงอื่นจึงไม่มีสต็อก ทำให้ไม่สามารถทดลองได้ ดังนั้นในงานวิจัยต่อไปควรศึกษาเชื้อเพลิงอื่นๆที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งเพื่อให้เป็นประโยชน์ต่อโรงงานกรณีศึกษา

9.8.2 โรงงานกรณีศึกษามีปัญหาเกี่ยวกับเชื้อเพลิงอีกหลายเรื่อง เนื่องจากต้นทุนเชื้อเพลิงเป็นต้นทุนที่สูงสำหรับโรงไฟฟ้าชีวมวล โดยงานวิจัยต่อไปควรศึกษาการสร้างรูปแบบสูตรในการผสมเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อลดต้นทุนเชื้อเพลิง การใช้เครื่องมือทางสถิติมาช่วยในการคัดเลือกลูกค้าเชื้อเพลิง เป็นต้น



รายการอ้างอิง

- Han Song, F. S., Lilia Daianova, Jinyue Yan. (2012). Influence of drying process on the biomass-based polygeneration system of bioethanol, power and heat.
- Ho Ting Luk, T. Y. G. L., Adetoyese Olajire Oyedun, Tesfaldet Gebreegziabher, Chi Wai Hui. (2013). Drying of biomass for power generation: A case study on power generation from empty fruit bunch.
- Montgomery, D. C. Design and analysis of experiments.
- กาญจนางกูรพันธุ์, น. (2545). การศึกษาสมรรถนะของเครื่องอบแห้งชนิดใช้ฮีตปั๊มร่วมกับท่อแลกเปลี่ยนความร้อน.
- ชุติมา, ป. (2545). การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม.
- ดวงสีเสน, ว. (2555). การศึกษาการอบแห้งกากมันสำปะหลังโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบตะแกรงหมุน.
- มรรคไพบุลย์, เ. (2537). การอบแห้งข้าวโพดในเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดเซชันหลายชั้นที่มีการสั่นสะเทือน.
- วัฒน์ไชย, ศ. (2545). การจำลองแบบและทดลองเครื่องอบแห้งกากอ้อยแบบพาหะลม.
- อุไรพงษ์, ร. (2552). การปรับปรุงค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ในกระบวนการผสมเม็ดพลาสติกกับสารเติมแต่งและการบรรจุภัณฑ์โดยใช้แนวทางซิกซ์ซิกม่า.



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวสรารัตน์ ชาลีกัน เกิดวันที่ 21 มิถุนายน 2529 ที่จังหวัดขอนแก่น สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ในปี 2551 หลังจากสำเร็จการศึกษาได้เข้าทำงานในตำแหน่งวิศวกรวางแผนในบริษัทแห่งหนึ่ง และในปี 2557 ได้เข้าศึกษาปริญญาโท สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

