การปรับปรุงกระบวนการอัดรีดท่อพลาสติกพอลิไวนิลคลอไรด์เพื่อลดต้นทุนวัตถุดิบ

นายศรัณย์พัชร สุวรรณโชติ

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 2560
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

IMPROVEMENT OF A POLYVINYLCHLORIDE
PIPE EXTRUSION PROCESS TO REDUCE MATERIAL COST

Mr. Saranpath Suwannachote

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

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 2017

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การปรับปรุงกระบวนการอัดรีดท่อพลาสติกพอลิไวนิลคลอไรด์เพื่อลดต้นทุนวัตถุดิบ

โดย นายศรัณย์พัชร สุวรรณโชติ

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์)

....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ)

....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ)

....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ สมชาย พวงเพิกศึก)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ศรัณย์พัชร สุวรรณโชติ : การปรับปรุงกระบวนการอัดรีดท่อพลาสติกพอลิไวนิลคลอไรด์เพื่อลดต้นทุนวัตถุดิบ (IMPROVEMENT OF A POLYVINYLCHLORIDE PIPE EXTRUSION PROCESS TO REDUCE MATERIAL COST) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร. สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ, 153 หน้า.

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีปรับปรุงกระบวนการอัดรีดท่อพลาสติกพอลิไวนิลคลอไรด์เพื่อลดต้นทุนวัตถุดิบ โดยประยุกต์ใช้กระบวนการซิกซ์ ซิกซ์ม่าเพื่อค้นหาต้นตอของปัญหา ซึ่งทำการทดลองที่ผลิตภัณฑ์ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร ที่ชั้นคุณภาพ 8.5 โดยปัจจุบันพบว่ามีน้ำหนักเกินจากมาตรฐาน มากถึง 25% จากค่าน้ำหนักมาตรฐาน 10.496 กิโลกรัม คิดเป็นความสูญเสีย 0.28 ล้านบาทต่อปี จากการศึกษาพบว่าสาเหตุที่มีผลต่อน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ คือปัจจัยการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการอัดรีด ที่ไม่เหมาะสม จึงทำการทดลองเพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสม โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบ บ็อกซ์-เบห์นเคน ร่วมกับหลักการพื้นผิวผลตอบสนอง โดยมีปัจจัยที่ส่งผล 5 ปัจจัย คือ อุณหภูมิหัวแม่พิมพ์ อุณหภูมิท้ายแม่พิมพ์ ความเร็วรอบสกรู ความดันสุญญากาศ และความเร็วเครื่องลาก โดยค่าเหมาะสมที่ได้จากการทดลองคือ อุณหภูมิหัวแม่พิมพ์ 165 องศาเซลเซียส อุณหภูมิท้ายแม่พิมพ์ 180 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบสกรู 22 รอบต่อนาที ความดันสุญญากาศ 450 มิลลิบาร์ และความเร็วเครื่องลาก 3,100 มิลลิเมตรต่อนาที น้ำหนักหลังการปรับปรุงลดลงเหลือ 10.26 กิโลกรัมต่อท่อน และอยู่ในช่วงยอมรับได้ ทำให้ต้นทุนลดลง 0.94 ล้านบาทต่อปี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ	ลายมือชื่อนิสิต	....
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก	....
ปีการศึกษา	2560		

5870965221 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING
KEYWORDS: EXTRUSION PROCESS / BOX-BEHNKEN DESIGN / SIX SIXMA APPROACH RESPONSE SURFACE ANALYSIS

SARANPATH SUWANNACHOTE: IMPROVEMENT OF A POLYVINYLCHLORIDE PIPE EXTRUSION PROCESS TO REDUCE MATERIAL COST. ADVISOR: ASSOC. PROF. SOMKIAT TANGJITSITCHAROEN, Ph.D., 153 pp.

The purpose of this research is to improve the polyvinylchloride pipe extrusion process in order to reduce the material cost by applying Six Sigma method to determine the root cause. This study specifically experimented on the pipe of 100/8.5 mm because it is found that the weight of it exceeds up to 25% from the standard weight of 10.496 kilogram which costs up to 0.28 million Baht per year. It is understood that the cause of overweight is the improper setting of the extruder parameters. Hence, Box–Behnken design is employed with the response surface analysis to explore the suitable parameters, which are head die temperature, end die temperature, screw speed, vacuum pressure, and pipe pulling speed. The experimentally obtained parameters are head die temperature of 165 °C, end die temperature of 180 C°, screw speed of 22 rpm, vacuum pressure of 450 mbar, and pipe pulling speed of 3,100 mm/minute. The weight of pipe has decreased in 10.26 kilograms per piece, which is acceptable. The production has no longer produce overweight pipe which beneficially save 0.94 million Baht per year.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Department:	Industrial Engineering	Student's Signature	....
Field of Study:	Industrial Engineering	Advisor's Signature	....
Academic Year:	2017		

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงสำเร็จลุล่วงด้วยดีไม่ได้หากขาดความช่วยเหลือและการอนุเคราะห์จากบุคคลต่างๆดังต่อไปนี้ รองศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้สละ เวลาคอยเอาใจใส่ดูแล ให้คำปรึกษา และตรวจทานวิทยานิพนธ์จนกระทั่งสำเร็จลงได้ด้วยดี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ สมชาย พวงเพิกศึก และรองศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้เวลาและคำแนะนำจนกระทั่งการสอบสำเร็จลงได้ด้วยดี

ส่วนหนึ่งของความสำเร็จครั้งนี้ ได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลในฝ่ายรีดพลาสติกของโรงงานตัวอย่างที่สนับสนุนในด้านข้อมูลความรู้เฉพาะด้านและข้อแนะนำต่างๆตลอดจนความร่วมมือในการปฏิบัติการแก้ไขปัญหาต่างๆเป็นอย่างดี จากความช่วยเหลือของบุคคลที่ได้กล่าวมาแล้วทั้งสิ้น ผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงจากใจจริง สำหรับการสนับสนุนและความเอื้อเฟื้อต่างๆที่มีให้

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้กำเนิด และครอบครัวทุกคนที่คอยดูแลเลี้ยงดูเป็นอย่างดี จนกระทั่งวันนี้ผู้วิจัยสำเร็จการศึกษาลงได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .... จ

กิตติกรรมประกาศ .... ฉ

สารบัญ .... ช

สารบัญตาราง .... ฎ

สารบัญรูป .... ฐ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 12

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 12

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 12

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ 12

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 12

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 15

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์พลาสติก 15

2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับพลาสติก 15

2.3 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับกรรมวิธีการขึ้นรูปพลาสติก 16

2.4 การจัดแบ่งจำแนกชนิดของเครื่องอัดรีดพลาสติก 19

2.5 โครงสร้างพื้นฐานของเครื่องอัดรีดพลาสติก 22

2.6 ขั้นตอนการอัดรีดพลาสติก 25

2.7 พารามิเตอร์สำคัญในการปรับตั้งเครื่องอัดรีดพลาสติก 27

2.8 การปรับปรุงกระบวนการผลิตตามแนวทางซิกซ์ ซิกม่า 28

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

2.9 การวิเคราะห์ผล 47
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 47
บทที่ 3 ผลการดำเนินงานวิจัยในระยะนิยามปัญหา 51
3.1 บทนำ 51
3.2 สภาพปัญหาในปัจจุบัน 51
3.3 การจัดตั้งทีมงาน 53
3.4 กำหนดวัตถุประสงค์ เป้าหมาย และตัวชี้วัด 54
3.5 แผนผังกระบวนการ 54
3.6 สรุปผลการดำเนินงานระยะนิยามปัญหา 55
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานระยะการวัดเพื่อระบุสาเหตุของปัญหา 56
4.1 บทนำ 56
4.2 ตัวแปรที่มีผลต่อน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ 56
4.3 การวิเคราะห์ตัวแปรที่มีผลต่อน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ 58
4.4 การวิเคราะห์ระบบการวัด 62
4.5 การวัดความสามารถของกระบวนการ 66
4.6 การระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้า 68
4.7 การวิเคราะห์พารามิเตอร์ในกระบวนการอัดรีดพลาสติก 72
4.8 สรุปผลการดำเนินงานระยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา 76
บทที่ 5 ผลการดำเนินงานในระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา 77
5.1 บทนำ 77
5.2 ปัจจัยที่จะนำเข้ามาทดลอง 77
5.3 การเลือกใช้รูปแบบในการทดลอง 78
5.4 ขนาดตัวอย่าง 78

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

5.5 ปัจจัยนำเข้าและระดับของปัจจัยนำเข้า 79
5.6 ตัวแปรตอบสนอง 80
5.7 การออกแบบการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อความผันแปรของน้ำหนักและความหนา 81
5.8 การทำการทดลอง..... 83
5.9 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับความหนาของผลิตภัณฑ์ท่อ 83
5.10 ผลการทดลอง..... 88
5.11 ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง..... 90
5.12 การวิเคราะห์ผลการทดลอง 92
5.13 สรุประยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา..... 100
บทที่ 6 ผลการดำเนินงานวิจัยระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ 101
6.1 บทนำ 101
6.2 การหาสภาวะที่เหมาะสม..... 102
6.3 สรุประยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา 112
บทที่ 7 ผลการดำเนินงานในระยะการติดตามควบคุม 113
7.1 บทนำ 113
7.2 การทดสอบยืนยันผล 113
7.3 ต้นทุนที่สามารถลดได้..... 120
7.4 สรุปผลระยะติดตามการควบคุม 121
บทที่ 8 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 122
8.1 บทนำ 122
8.2 บทสรุปจากขั้นตอนการนิยามปัญหา..... 122
8.3 บทสรุปจากขั้นตอนการวัดเพื่อระบุสาเหตุของปัญหา..... 123

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

8.4 บทสรุปจากขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา 123

8.5 บทสรุปจากขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ 124

8.6 บทสรุปจากขั้นตอนการติดตามควบคุม 125

8.7 ข้อจำกัดในงานวิจัย 126

8.8 ปัญหาและอุปสรรคในการทำวิจัย 126

8.9 ข้อเสนอแนะ 126

รายการอ้างอิง 130

ภาคผนวก 134

ภาคผนวก ก 135

ภาคผนวก ข 145

ภาคผนวก ค 148

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 153

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

ตารางที่ 1.1 ปริมาณการส่งออกผลิตภัณฑ์พลาสติกประเภทต่าง ๆ 1

ตารางที่ 1.2 ปริมาณการนำเข้าผลิตภัณฑ์พลาสติกประเภทต่าง ๆ 2

ตารางที่ 1.3 ปริมาณการสูญเสียวัตถุดิบจากข้อบกพร่องและการเดินสินค้าเกินน้ำหนักมาตรฐาน ตั้งแต่เดือนมกราคม-ธันวาคม 2558 6

ตารางที่ 1.4 เปรียบเทียบต้นทุนความสูญเสียวัตถุดิบแต่ล่ะชนิด 7

ตารางที่ 1.5 ข้อมูลความสูญเสียวัตถุดิบที่เกิดจากการเดินสินค้าน้ำหนักเกินมาตรฐานโดยการจำแนกรายผลิตภัณฑ์ 8

ตารางที่ 1.6 การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวกับกระบวนการลดความสูญเสียในอุตสาหกรรมพลาสติก 9

ตารางที่ 1.7 แผนการดำเนินงาน 14

ตารางที่ 2.1 การจำแนกชนิดของเครื่องอัดรีดพลาสติก 19

ตารางที่ 2.2 ตาราง ANOVA สำหรับตัวแบบอิทธิพลคงที่ประเภทจำแนกทางเดียว 39

ตารางที่ 3.1 แผนผังกระบวนการสำหรับกระบวนการอัดรีดท่อพลาสติกพีวีซี 54

ตารางที่ 4.1 ผลการวัดชิ้นงานของพนักงาน A ,B และพนักงาน C 63

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการวัดของพนักงาน A,B และพนักงาน C 64

ตารางที่ 4.3 รายละเอียดเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ 70

ตารางที่ 4.4 แสดงปัจจัยที่ส่งผลต่อความหนาของผลิตภัณฑ์ 72

ตารางที่ 4.5 การวิเคราะห์สาเหตุและผลโดยใช้ C&E Matrix 74

ตารางที่ 5.1 ปัจจัยนำเข้าที่อาจมีผลต่อตัวแปรตอบสนองทั้ง 5 ปัจจัย 77

ตารางที่ 5.2 การกำหนดระดับพารามิเตอร์ของปัจจัยนำเข้าและตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง 79

ตารางที่ 5.3 การออกแบบการทดลองเพื่อหาปัจจัยมีผลต่อน้ำหนักและความหนาของท่อ 81

ตารางที่ 5.4 แสดงผลของการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อความหนาและน้ำหนัก 88

ตารางที่ 6.1 ปัจจัยนำเข้าและระดับพารามิเตอร์ของปัจจัยนำเข้า 101

ตารางที่ 6.2 ค่าควบคุมมาตรฐานท่อพีวีซีตามมาตรฐานอุตสาหกรรมไทย(มอก.) 108

ตารางที่ 6.3 ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้า ที่ทำให้ท่อมีความหนาและน้ำหนักที่ต่ำที่สุด 109

ตารางที่ 6.4 ผลการทดสอบเพื่อยืนยันผลการปรับตั้งปัจจัย 110

ตารางที่ 6.5 ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าทำให้ท่อมีน้ำหนักที่ต่ำที่สุดโดยพิจารณาน้ำหนักที่ต่ำที่สุดโดยพิจารณามาตรฐานมอก. 111

ตารางที่ 7.1 ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่เหมาะสมทั้ง 5 ปัจจัย เพื่อใช้ในการทดสอบเพื่อยืนยันผล 113
ตารางที่ 7.2 แผนการควบคุมปัจจัยนำเข้าเฉพาะปัจจัยที่มีนัยสำคัญ 117
ตารางที่ 7.3 การเปรียบเทียบความสามารถของกระบวนการก่อนและหลังการปรับปรุง 119
ตารางที่ 7.4 ผลการทดลองเทียบกับผลจากการทำนาย 120
ตารางที่ 8.1 ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่ทำให้ท่อมีน้ำหนักต่ำสุด
โดยพิจารณามาตรฐานมอก. 125
ตารางที่ 8.2 ค่า α กรณีการทดลองแบบส่วนประสมกลางกรณีปัจจัย 2-6 127
ตารางที่ 8.3 ผลการทดลองเทียบกับผลจากการทำนาย (ก่อนลดรูป) 128
ตารางที่ 8.4 ผลการทดลองเทียบกับผลจากการทำนาย (หลังลดรูป) 129

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

รูปที่ 1.1 แสดงต้นทุนการผลิตท่อพลาสติกพีวีซี 2

รูปที่ 1.2 แสดงตัวอย่างสินค้าท่อและข้อต่อ 4

รูปที่ 1.3 แสดงตัวอย่างสินค้าก่อสร้างจากวัตถุดิบพลาสติกพีวีซี 4

รูปที่ 1.4 กระบวนการผลิตท่อพลาสติกพีวีซี 5

รูปที่ 1.5 ข้อมูลความสูญเสียวัตถุดิบที่เกิดจากการเดินสินค้าเกินน้ำหนักมาตรฐาน โดยจำแนกรายผลิตภัณฑ์ 8

รูปที่ 1.6 ความสามารถของกระบวนการ ท่อ Size100/8.5 9

รูปที่ 2.1 รูปแบบของเครื่องอัดรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยว 20

รูปที่ 2.2 รูปร่างของเครื่องอัดรีดพลาสติกแบบสกรูประกบกัน 21

รูปที่ 2.3 รูปร่างของเครื่องอัดรีดพลาสติกแบบสกรูไม่ประกบกัน 22

รูปที่ 2.4 โครงสร้างของเครื่องอัดรีดพลาสติก 22

รูปที่ 2.5 ส่วนประกอบของชุดอัดรีดพลาสติก 23

รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบของชุดแม่แบบพลาสติก 23

รูปที่ 2.7 ส่วนประกอบของส่วนปรับขนาดท่อ 24

รูปที่ 2.8 ส่วนประกอบของส่วนดึงชิ้นงาน 24

รูปที่ 2.9 ส่วนประกอบของส่วนตัดชิ้นงาน 25

รูปที่ 2.10 ขั้นตอนการป้อนพลาสติกลงสกรูอัดรีดพลาสติก 25

รูปที่ 2.11 ขั้นตอนการหลอมพลาสติกหรือการอัดพลาสติก 26

รูปที่ 2.12 ขั้นตอนการอัดพลาสติกผ่านแม่แบบ 26

รูปที่ 2.13 แสดงรูปแม่แบบท่อพลาสติกพีวีซี 26

รูปที่ 2.14 การทดลองเชิงแฟคทอเรียลที่ไม่มีอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย (รูป A) การทดลองเชิงแฟคทอเรียลที่มีอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย (รูป B) 35

รูปที่ 2.15 ส่วนของการทดลองแบบส่วนผสมกลาง 40

รูปที่ 2.16 การออกแบบบ็อกซ์ – เบห์นเคนสำหรับสามตัวแปร 41

รูปที่ 3.1 แผนภาพพาเรโตแสดงมูลค่าความสูญเสียวัตถุดิบ 51

รูปที่ 3.2 แผนภาพพาเรโตแสดงความสูญเสียวัตถุดิบรายผลิตภัณฑ์ 52

รูปที่ 3.3 ความสามารถของกระบวนการในการรีดท่อพลาสติกพีวีซีผลิตภัณฑ์ 100/8.5 53

รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ขององค์ประกอบของน้ำหนักผลิตภัณฑ์ท่อ 56

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 4.2 กระบวนการในการตรวจสอบค่าความหนาแน่นของวัตถุดิบ 57
รูปที่ 4.3 แสดงระดับชั้นคุณภาพและตำแหน่งการวัดความหนาของท่อพลาสติกพีวีซี 57
รูปที่ 4.4 แสดงตำแหน่งของลิมิตสวิตช์เพื่อควบคุมระยะตัดท่อ 58
รูปที่ 4.5 แผนภูมิควบคุมความหนาแน่นของวัตถุดิบ 59
รูปที่ 4.6 การวิเคราะห์พฤติกรรมของตัวแปรต่าง ๆโดย Multi-Vari Chart (ด้านความหนา) 60
รูปที่ 4.7 การวิเคราะห์พฤติกรรมของตัวแปรต่าง ๆโดย Multi-Vari Chart (ด้านความยาว) 60
รูปที่ 4.8 การวิเคราะห์พฤติกรรมของตัวแปรต่าง ๆโดย Multi-Vari Chart (ด้านน้ำหนัก) 61
รูปที่ 4.9 แสดงเครื่องมือในการวัดความหนาและน้ำหนักของท่อ 62
รูปที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัด (GR&R) จากโปรแกรม MINITAB 65
รูปที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์ Process Capability จากโปรแกรม MINITAB 67
รูปที่ 4.12 แสดงรายละเอียดในแผนผังแสดงเหตุและผล 71
รูปที่ 4.13 แผนภูมิแท่งเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อความหนา 75
รูปที่ 5.1 แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิหัวแม่พิมพ์กับความหนาท่อ 84
รูปที่ 5.2 แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิปลายแม่พิมพ์กับความหนาท่อ 84
รูปที่ 5.3 แสดงลักษณะผิวของท่อพีวีซีเมื่อปรับอุณหภูมิปลายแม่พิมพ์ไปที่ระดับต่างๆ 85
รูปที่ 5.4 แสดงความสัมพันธ์ของความเร็วรอบ Screw กับความหนาท่อ 85
รูปที่ 5.5 แสดงความสัมพันธ์ของความดันสุญญากาศกับความหนาท่อ 86
รูปที่ 5.6 แสดงการทำงานของระบบสุญญากาศที่ขึ้นรูปให้ท่อป่องตัวเป็นทรงกระบอก 86
รูปที่ 5.7 แสดงความสัมพันธ์ของความเร็วเครื่องลากกับความหนาท่อ 87
รูปที่ 5.8 ผลการทดสอบสมมุติฐานของการแจกแจงปกติของข้อมูลการวัดความหนา 90
รูปที่ 5.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างและลำดับการเก็บข้อมูล 91
รูปที่ 5.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิต 91
รูปที่ 5.11 ผลของการวิเคราะห์การทดลองเพื่อค้นหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อความหนา 92
รูปที่ 5.12 ผลหลักของปัจจัยที่มีผลต่อความหนา 93
รูปที่ 5.13 ผลของอิทธิพลร่วมที่มีผลต่อความหนา 93
รูปที่ 5.14 การวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบสนอง (Response surface)
และเส้นโครงร่าง (Contour plot) 94
รูปที่ 5.15 ผลของการวิเคราะห์การทดลองเบื้องต้นเพื่อค้นหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อน้ำหนัก 96
รูปที่ 5.16 ผลหลักของปัจจัยที่มีผลต่อน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ 97
รูปที่ 5.17 ผลของอิทธิพลร่วมที่มีผลต่อน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ 97

รูปที่ 5.18 การวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบสนอง (Response surface)
และเส้นโครงร่าง (Contour plot) 98
รูปที่ 6.1 ผลลัพธ์การหาตัวแบบถดถอยจากวิธีการ Stepwise โดยโปรแกรม Minitab 102
รูปที่ 6.2 ผลการวิเคราะห์การทดสอบความมีนัยสำคัญของตัวแบบถดถอย 104
รูปที่ 6.3 ผลการวิเคราะห์การหาค่าผลตอบที่เหมาะสมที่สุด (Response Optimization) 108
รูปที่ 6.4 Optimization Plot จากโปรแกรม Minitab 109
รูปที่ 6.5 Optimization Plot จากโปรแกรม Minitab โดยพิจารณามาตรฐาน มอก 111
รูปที่ 7.1 แผนภาพการไหลอย่างง่ายของการทดลองในขั้นตอนยืนยันผล 114
รูปที่ 7.2 หน้าจอแสดงผลควบคุมอุณหภูมิหัวและท้ายแม่พิมพ์ 116
รูปที่ 7.3 หน้าจอแสดงผลควบคุมความเร็วรอบสกรู 116
รูปที่ 7.4 หน้าจอแสดงผลควบคุมแรงดันสุญญากาศ 116
รูปที่ 7.5 หน้าจอแสดงผลควบคุมความเร็วเครื่องลาก 116
รูปที่ 7.6 การตรวจสอบการกระจายตัวของข้อมูลน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ท่อ 118
รูปที่ 7.7 ผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการด้วยโปรแกรม Minitab 119
รูปที่ 8.1 จำนวนการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab 127
รูปที่ 8.2 ผลของการวิเคราะห์การทดลองก่อนทำการลดรูป 128
รูปที่ 8.3 ผลของการวิเคราะห์การทดลองหลังทำการลดรูป 129

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

1.1.1 แนวโน้มอุตสาหกรรมที่เกี่ยวของกับอุตสาหกรรมผลิตพลาสติก

ปัจจุบันธุรกิจในอุตสาหกรรมผลิตพลาสติก มีแนวโน้มของการแข่งขันสูงขึ้นเรื่อย ๆ โดยมีปริมาณยอดการผลิตเพื่อส่งออก และการนำเข้าผลิตภัณฑ์เพื่อนำมาจำหน่ายในประเทศที่สูงขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 1.1 และ 1.2 [1] ทำให้ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมพยายามที่จะพัฒนาองค์กรให้สามารถอยู่รอดในสภาวะที่มีการแข่งขันสูง โดยมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาตัวสินค้า บริการ คุณภาพ หรือราคา ให้ตอบสนองต่อความต้องการและความพึงพอใจของลูกค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 1.1 ปริมาณการส่งออกผลิตภัณฑ์พลาสติกประเภทต่าง ๆ

ผลิตภัณฑ์ (ตัน)	**2556**	**2557**	**2558**
ใยยาวเดี่ยว	4,628	8,189	3,200
หลอดหรือท่อ	27,388	35,082	36,401
พลาสติกปูพื้น	86,531	67,636	53,906
แผ่นบาง ฟิล์ม ฟอยล์ และแถบอื่นๆชนิดยึดติดในตัว	19,688	22,933	22,282
แผ่นบาง ฟิล์ม ฟอยล์ และแถบอื่นๆที่ไม่เป็นแบบเซลลูลาร์	322,227	347,871	341,229
แผ่นบาง ฟิล์ม ฟอยล์ และแถบอื่นๆที่เป็นแบบเซลลูลาร์	47,316	51,628	50,301
เครื่องสุขภัณฑ์	1,581	1,978	2,036
ของใช้ที่ลำเลียงหรือบรรจุสินค้า	377,233	422,895	397,138
เครื่องใช้ในครัวเรือน	54,077	55,040	51,909
เครื่องประกอบของอาคาร	7,466	7,656	8,544
ของอื่นๆที่ทำด้วยพลาสติก	109,701	112,506	111,612
รวม	1,057,836	113,414	1,078,558

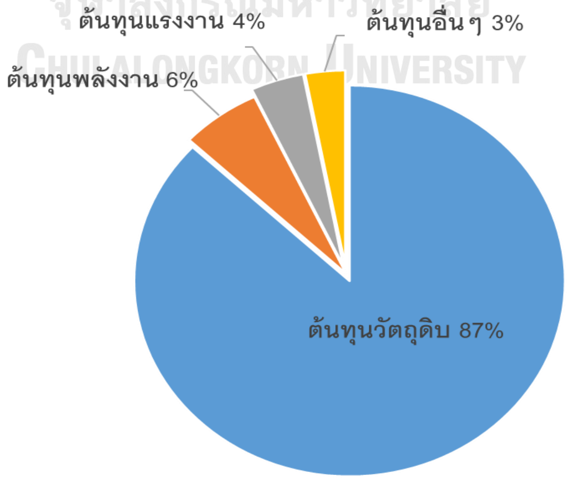
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 1.2 ปริมาณการนำเข้าผลิตภัณฑ์พลาสติกประเภทต่าง ๆ

ผลิตภัณฑ์ (ตัน)	**2556**	**2557**	**2558**
ใยยาวเดี่ยว	6,339	7,661	8,695
หลอดหรือท่อ	23,623	28,914	34,889
พลาสติกปูพื้น	17,088	19,403	25,105
แผ่นบาง ฟิล์ม ฟอยล์ และแถบอื่นๆชนิดยึดติดในตัว	39,463	44,470	46,682
แผ่นบาง ฟิล์ม ฟอยล์ และแถบอื่นๆที่ไม่เป็นแบบเซลลูลาร์	129,398	130,417	144,375
แผ่นบาง ฟิล์ม ฟอยล์ และแถบอื่นๆที่เป็นแบบเซลลูลาร์	70,261	87,390	92,516
เครื่องสุขภัณฑ์	4,373	5,465	5,826
ของใช้ที่ลำเลียงหรือบรรจุสินค้า	106,079	111,440	108,559
เครื่องใช้ในครัวเรือน	23,892	25,792	23,175
เครื่องประกอบของอาคาร	15,471	14,860	18,808
ของอื่นๆที่ทำด้วยพลาสติก	117,038	121,306	118,881
รวม	553,017	597,119	627,513

ในธุรกิจการผลิตท่อพลาสติกพีวีซี ก็เป็นอีกหนึ่งธุรกิจที่มีความสำคัญและมีแนวโน้มในการเติบโตสูงเช่นกัน ซึ่งจากการศึกษาพบว่าต้นทุนของการผลิตสินค้าท่อพลาสติกพีวีซี ประกอบไปด้วย ต้นทุนวัตถุดิบ (PVC Compound) ร้อยละ 87, ต้นทุนพลังงานร้อยล่ะ 6, ต้นทุนแรงงานร้อยละ 4 ที่เหลือเป็นค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ร้อยละ 3 [2] โดยแสดงดังรูปที่ 1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 1.1 แสดงต้นทุนการผลิตท่อพลาสติกพีวีซี

ซึ่งจากข้อมูลต้นทุนการผลิตที่เกิดขึ้น ถ้าสามารถลดต้นทุนที่เกิดจากต้นทุนวัตถุดิบได้ จะทำให้มีความสามารถในการแข่งขันที่สูงขึ้น โดยปัจจุบันความสูญเสียต้นทุนที่เกิดจากวัตถุดิบ มี 2 สาเหตุใหญ่ ๆ ดังนี้

1. ของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องในการผลิต คือ ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านข้อกำหนดของการผลิต เช่น การทดสอบแรงดัน หรือ ด้านความสวยงามของผลิตภัณฑ์ ซึ่งอาจพบข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์นั้น เช่น แตกเมื่อทำการทดสอบแรงดัน, รอยข่วน, ผิวไหม้ เป็นต้น

2. ผลิตสินค้าน้ำหนักเกินมาตรฐาน คือ การผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักเกินจากมาตรฐานการผลิต ซึ่งอาจจะเกิดจากกระบวนการผลิตที่ไม่นิ่ง ซึ่งประกอบไปด้วยความผิดปกติจากวัตถุดิบในการผลิต การเดินผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาเกินมาตรฐานที่กำหนด และความสมบูรณ์ของเครื่องจักร

โดยที่ความสามารถในการควบคุมความสูญเสียที่เกิดจากต้นทุนวัตถุดิบทั้ง 2 ชนิด ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลัก 3 ประการคือ ปัจจัยของสูตรการผลิต, ปัจจัยจากความสมบูรณ์ของเครื่องจักรแม่พิมพ์ และปัจจัยจากการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเข้าใจถึง สภาพปัจจุบันของบริษัทว่ามีความสูญเสียเกิดจากสาเหตุชนิดใดมากที่สุด จากนั้นจึงไปศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุกับปัจจัยที่เกิดขึ้น ว่ามีความสัมพันธ์กันในรูปแบบใด และไปทำการปรับปรุงเพื่อลดความสูญเสียที่เกิดจากต้นทุนวัตถุดิบ

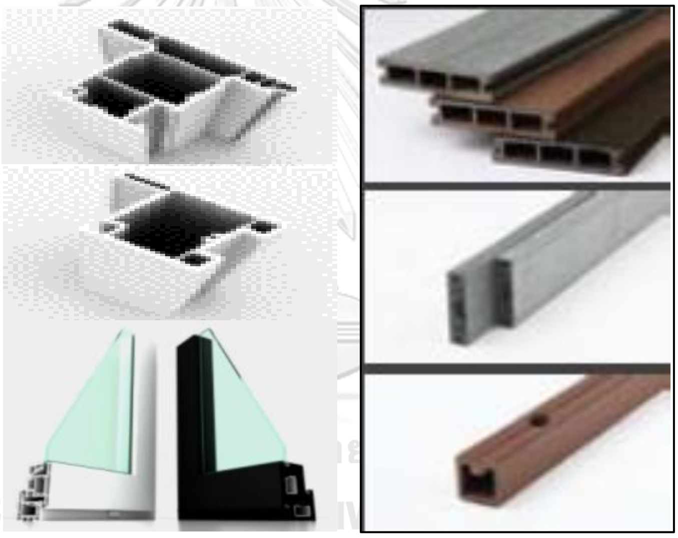
1.1.2 สภาพทั่วไปและการดำเนินงานของบริษัท

บริษัทกรณีศึกษา เป็นบริษัท ดำเนินธุรกิจแปรรูปผลิตภัณฑ์จากวัตถุดิบพลาสติกพีวีซี โดยก่อตั้งเมื่อปี 2513 ด้วยทุนจดทะเบียน 426 ล้านบาท ปัจจุบันมียอดขาย 9,000 ล้านบาท โดยแบ่งธุรกิจหลักของบริษัทเป็น 2 ประเภทคือ

1. ธุรกิจท่อและข้อต่อพลาสติกพีวีซี - ผลิตสินค้าท่อ/ข้อต่อพลาสติกพีวีซี โดยมียอดขายสินค้าท่อพลาสติกพีวีซีอยู่ที่ 102,000 ตัน/ปี และยอดขายสินค้าข้อต่อพลาสติกพีวีซี อยู่ที่ 12,000 ตัน/ปี คิดเป็นส่วนแบ่งทางการตลาดอยู่ที่ 53% โดยมีตัวอย่างผลิตภัณฑ์ ดังแสดงในรูปที่ 1.2

2. ธุรกิจอุปกรณ์ก่อสร้างจากพลาสติกพีวีซี - ผลิตสินค้าตกแต่งบ้านด้วยวัตถุดิบพลาสติกพีวีซี เช่น กรอบประตู หน้าต่าง, แผ่นไม้เทียม, รางน้ำฝนพลาสติกซีวีซี โดยมียอดขายสินค้าอยู่ที่ 9,500 ตัน/ปี คิดเป็น ส่วนแบ่งทางการตลาดอยู่ที่ 58% โดยมีตัวอย่างผลิตภัณฑ์ ดังแสดงในรูปที่ 1.3

รูปที่ 1.2 แสดงตัวอย่างสินค้าท่อและข้อต่อ

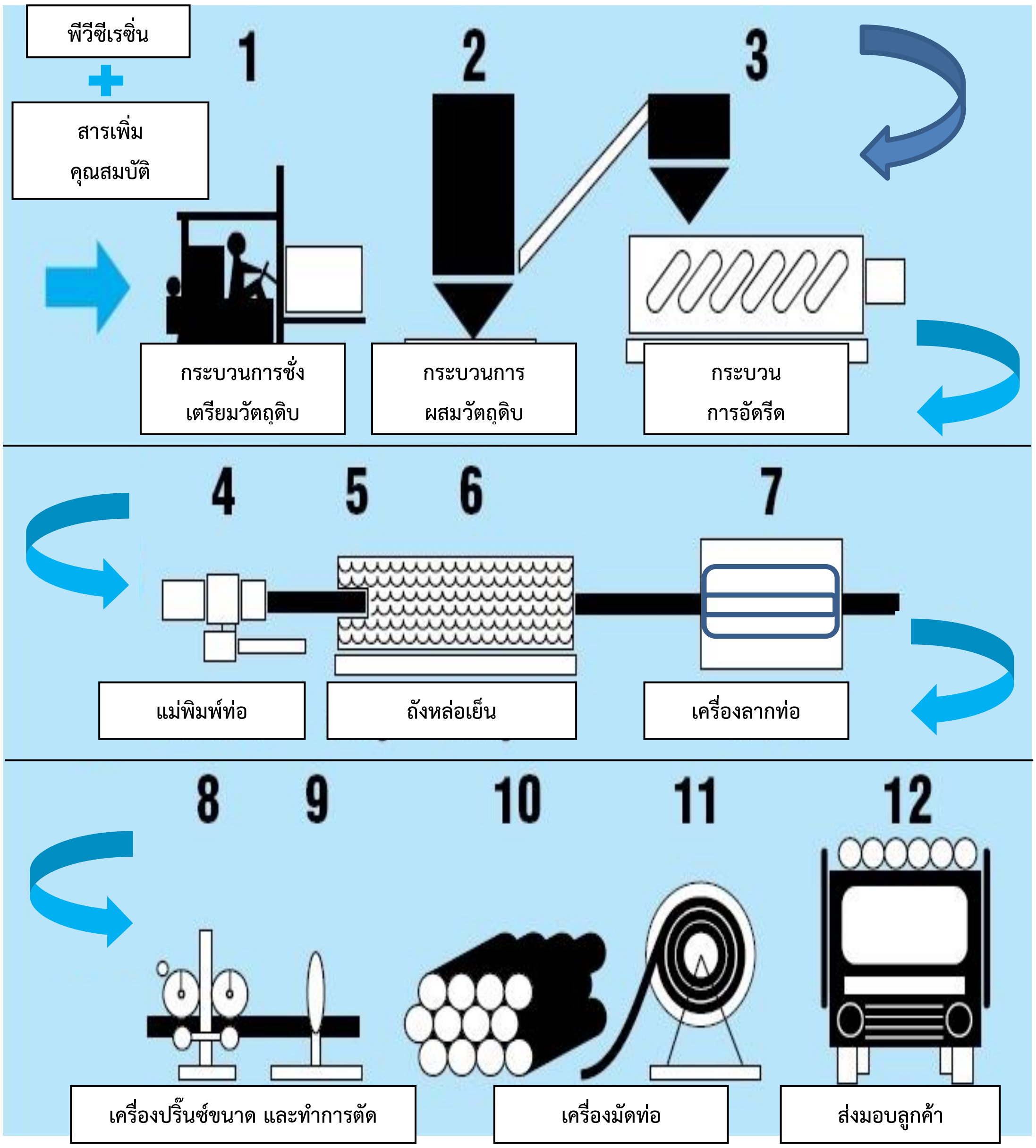


รูปที่ 1.3 แสดงตัวอย่างสินค้าก่อสร้างจากวัตถุดิบพลาสติกพีวีซี

1.1.3 กระบวนการผลิต

กระบวนการผลิตท่อพลาสติกพีวีซีของบริษัทกรณีศึกษา จะเริ่มจากกระบวนการชั่งเตรียมวัตถุดิบให้ได้ตามสูตรผลิต โดยมีวัตถุดิบหลักคือผงพีวีซีเรซิ่น ผสมกับสารเพิ่มคุณสมบัติพิเศษ เช่น สารเพิ่มคุณสมบัติการทนต่อแรงกระแทก ,ความหยืดหยุ่น และสี เป็นต้น จากนั้นจะนำวัตถุดิบที่ได้ไปทำการผสมคลุกเคล้าให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยใช้เครื่องปั่นที่มีความเร็วรอบสูง ซึ่งวัตถุดิบที่ได้ในขั้นตอนนี้จะเรียกว่าดรายเบ็น จากนั้นจะนำเข้าสู่ขั้นตอนถัดไปคือ กระบวนการอัดรีดขึ้นรูป (Extrusion) โดยอาศัยเครื่องอัดรีดพลาสติกที่มีแหล่งให้ความร้อนในการหลอมเหลว มาจากชุดให้ความร้อน (Heater) ที่ส่งผ่านกระบอกเครื่องอัดรีด (Barrel) ที่วัตถุดิบไหลผ่าน และจากการเสียดสี

ระหว่างของสกรู ที่เสียดสีกับผงวัตถุดิบผ่านระบบอัดรีด จะทำให้ผงวัตถุดิบเปลี่ยนรูปเป็นพลาสติกเหลว จากนั้นจึงทำการอัดผ่านแม่แบบ (Die) ที่มีลักษณะเป็นรูปทรงผลิตภัณฑ์ โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จะถูกลากโดยเครื่องลาก (Haul-off) ผ่านถังหล่อเย็น (Calibrator Tank) เพื่อทำให้ชิ้นงานเซ็ทตัวเพื่อคงรูปร่าง จากนั้นจึงทำการปริ๊นซ์บาร์โค๊ดเพื่อระบุขนาดและยี่ห้อของผลิตภัณฑ์ และทำการตัดให้ได้ตามขนาดที่ต้องการ โดยกระบวนการสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.4 กระบวนการผลิตท่อพลาสติกพีวีซี

1.1.4 การศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในสายการผลิต

ซึ่งจากการศึกษาความสัมพันธ์ของกระบวนการทางธุรกิจของบริษัทกรณีศึกษา พบว่าสิ่งที่เป็นปัญหาของบริษัทในขณะที่จะเริ่มทำโครงการวิจัยนี้ จะเป็นในเรื่องความสูญเสียวัตถุดิบที่เกิดจากข้อบกพร่องในการผลิต และความสูญเสียวัตถุดิบจากการผลิต ผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักเกินมาตรฐาน ซึ่งจากข้อมูลของการผลิต ในช่วงเดือนมกราคม ถึงเดือนธันวาคม 2558 พบว่า มีปริมาณการสูญเสียวัตถุดิบรวมทั้งสิ้น 6,122 ตัน จาก ยอดผลิต 102,000 ตัน หรือคิดเป็นปริมาณความสูญเสียวัตถุดิบรวม 6 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณการผลิตตั้งหมด โดยแบ่งเป็นปริมาณความสูญเสียวัตถุดิบที่เกิดจากข้อบกพร่องในการผลิต 5,150 ตัน และปริมาณการสูญเสียวัตถุดิบจากการผลิต ผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักเกินมาตรฐาน 972.5 ตัน ดังแสดงในตารางที่ 1.3

ตารางที่ 1.3 ปริมาณการสูญเสียวัตถุดิบจากข้อบกพร่องและการเดินสินค้าเกินน้ำหนักมาตรฐานตั้งแต่เดือนมกราคม-ธันวาคม 2558

Month	Produce (ตัน)	ของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องในการผลิต (ตัน)								น้ำหนักเกินมาตรฐาน (ตัน)
		ผิวเป็นเม็ด	ผิวย่น	ผิวเป็นเส้น	ผิวไหม้	ผิวด้าน	ท่อบาง	อื่น ๆ	Total	
Jan	9,734	62.3	19.0	25.8	22.4	22.0	20.6	264.2	436.6	70.3
Feb	8,851	73.5	40.9	-	20.4	30.7	25.8	228.2	419.8	76.6
Mar	8,683	127.4	52.5	36.1	75.4	-	27.1	191.8	510.6	73.3
Apr	8,556	90.4	33.2	-	45	26.0	-	181.4	376.2	52.9
May	8,662	21.7	-	-	26.4	34.66	28.2	275.8	386.9	66.4
Jun	8,650	46.2	26.5	-	24.8	26.9	28.8	232.5	386.0	65.5
Jul	7,398	24.8	18.9	56.6	29.7	-	27.5	255.5	413.3	116.6
Aug	7,860	60.3	21.8	33.5	17.6	24.5	51.8	192.6	402.4	90.2
Sep	9,064	66.7	27.8	40.5	24.2	27.8	52.6	224	463.7	77.3
Oct	8,276	29.9	27.3	41.3	39.3	34.5	37.6	226.7	436.8	132.2
Nov	8,047	41.1	30.5	47.8	24.1	29.7	28.2	231	432.7	82
Dec	8,212	99.0	24.1	44.0	46.4	-	43	227.9	484.7	68.9
Total	102,000	744	322	326	396.4	256.4	371.7	2,732	5,150	972.5
% Total Prod.		0.73	0.32	0.32	0.39	0.25	0.36	2.68	5.05	0.95

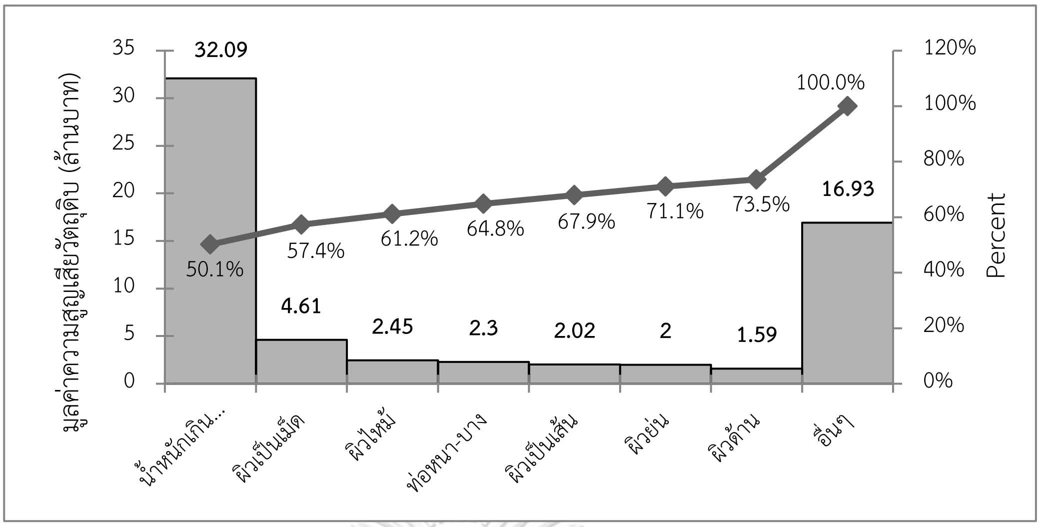
จากข้อมูลความสูญเสียวัตถุดิบ ตามตารางที่ 1.3 ได้นำข้อมูลมาเปรียบเทียบเพื่อคัดเลือกจุดในการปรับปรุง โดยทำการเปรียบเทียบกับต้นทุนการสูญเสียของวัตถุดิบ โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ ต้นทุนความสูญเสียวัตถุดิบจากข้อบกพร่องในการผลิต มีต้นทุนอยู่ที่ 6,200 บาท/ตัน (ประกอบด้วยต้นทุนที่เกิดจากการรีไซเคิ้ล เพื่อนำวัตถุดิบกลับมาใช้ใหม่ 3,600 บาทต่อตัน และต้นทุนที่เกิดจากการแปรรูปวัตถุดิบ 2,600 บาทต่อตัน) และต้นทุนความสูญเสียวัตถุดิบจากการเดินสินค้าเกินน้ำหนักมาตรฐาน มีต้นทุนความสูญเสียอยู่ที่ 33,000 บาท/ตัน โดยแสดงข้อมูลดังตารางที่ 1.4 โดยที่ต้นทุนของความสูญเสียข้อบกพร่องในการผลิตมีต้นทุนที่ต่ำกว่าเนื่องจากการสูญเสียวัตถุดิบประเภทนี้สามารถนำวัตถุดิบไปผ่านกระบวนการรีไซเคิ้ล เพื่อนำวัตถุดิบกลับมาใช้ใหม่ได้

ตารางที่ 1.4 เปรียบเทียบต้นทุนความสูญเสียวัตถุดิบแต่ละชนิด

หัวข้อ	**ปริมาณ (ตัน)/ปี**	**ต้นทุนของความสูญเสีย (บาท/ตัน)**	**มูลค่าความสูญเสีย (บาท/ปี)**
ผิวเป็นเม็ด	744	6,200	4,612,924
ผิวย่น	322	6,200	2,001,980
ผิวเป็นเส้น	326	6,200	2,021,324
ผิวไหม้	396	6,200	2,457,990
ผิวด้าน	257	6,200	1,593,028
ท่อหนา-บาง	372	6,200	2,304,726
อื่น ๆ	2,732	6,200	16,939,144
จากข้อบกพร่องทั้งหมด	5,150	6,200	31,931,798
น้ำหนักเกินมาตรฐาน	973	33,000	32,092,500
วัตถุดิบทั้งหมด	102,000	33,000	3,366,000,000

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ซึ่งจากตารางที่ 1.4 เมื่อนำมาทำเป็นแผนภาพพาเรโต ดังรูปที่ 1.5 พบว่าความสูญเสียวัตถุดิบจากการเดินสินค้าน้ำหนักเกินมาตรฐานมีความสูญเสียในด้านของต้นทุนสูงสุด โดยมีความสูญเสียเฉลี่ยต่อปีประมาณ 32,092,500 บาทต่อปี โดยในการแก้ไขปัญหาปัจจุบันดำเนินการปรับลดหรือเพิ่มพารามิเตอร์ ซึ่งต้องเสียเวลาในการปรับตั้งเครื่องอัดรีดและมีของเสียจากการปรับตั้งเครื่องจึงเป็นที่มาของแนวคิด ที่จะลดของเสียโดยการปรับค่าพารามิเตอร์ของเครื่องอัดรีด ฉะนั้นในโครงงานวิจัยนี้ ทำการจำแนกกลุ่มของผลิตภัณฑ์ที่พบปัญหาตามตารางที่ 1.5 จะพบได้ว่ากลุ่มที่พบปัญหามากที่สุดคือ ท่อพลาสติกพีวีซีขนาด 100 มิลลิเมตร ชั้นคุณภาพ 8.5



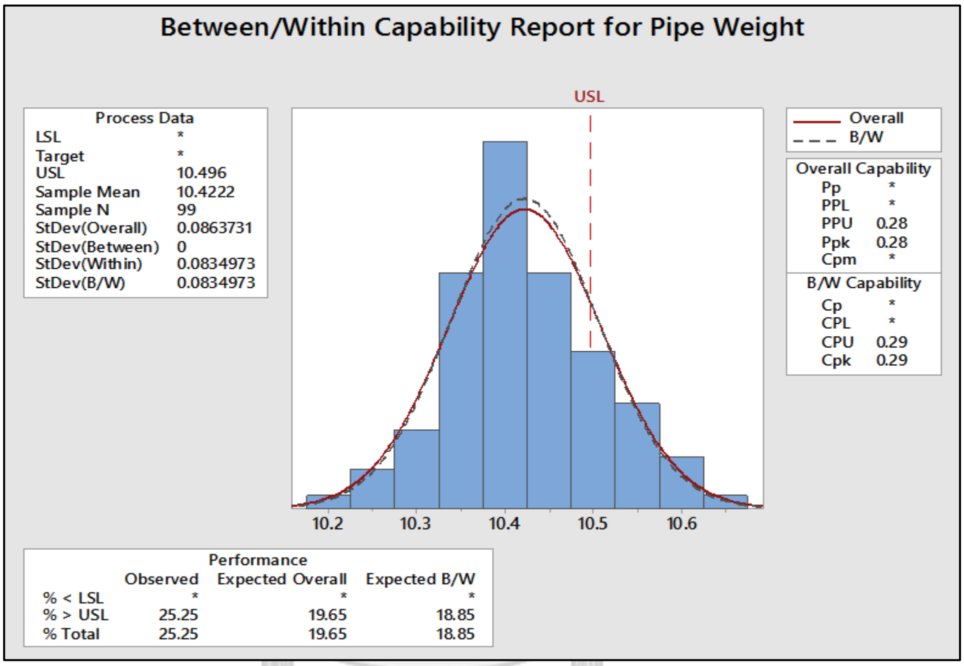
รูปที่ 1.5 แผนภาพพาเรโตแสดงมูลค่าความสูญเสียวัตถุดิบ

ตารางที่ 1.5 ข้อมูลความสูญเสียวัตถุดิบที่เกิดจากการเดินสินค้าเกินน้ำหนักมาตรฐาน โดยจำแนกรายผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์	**ปริมาณ (ตัน)**	**%**
100/8.5	160,851	16.54
55/8.5	106,068	10.91
80/8.5	94,025	9.67
80/5	54,424	5.60
100/5	48,630	5.00
150/5	40,796	4.19
200/5	36,880	3.79
40/5	26,740	2.75
55/5	32,287	3.32
250/5	23,638	2.43
18/5	22,243	2.29
25/5	21,986	2.26
40/8.5	20,190	2.08
150/8.5	19,911	2.05
20/13.5	18,862	1.94
100/13.5	18,541	1.91
125/5	16,700	1.72
200/8.5	16,370	1.68
125/8.5	14,010	1.44
อื่น ๆ	167,228	17.19

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

โดยปัจจุบันท่อขนาด 100 มิลลิเมตร ชั้นคุณภาพ 8.5 มีค่าขอบเขตด้านสูง (Upper Spec Limit: USL) ของน้ำหนัก คือ 10.496 กิโลกรัมต่อท่อน และเมื่อทำการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 1.6 พบว่าความสามารถของกระบวนการ ระยะสั้น (C_{pk}) มีค่าเท่ากับ 0.29 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1.33 [3] หมายความว่าความสามารถของกระบวนการในระยะสั้นมีความผันแปรสูง และค่าน้ำหนักเกินมาตรฐานอยู่ 25.25 % ซึ่งถือว่ากระบวนการยังไม่ดี ต้องทำการปรับปรุง



รูปที่ 1.6 ความสามารถของกระบวนการ ท่อ Size100/8.5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.1.5 เปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา

ตารางที่ 1.6 การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวกับกระบวนการลดความสูญเสียในอุตสาหกรรมพลาสติก

งานวิจัย	รายละเอียด	วิธีการศึกษา	ข้อจำกัด
[4]	ทำการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการอัดรีดท่อพลาสติกพีวีซีเพื่อหาต้นต้อของการเกิดของเสีย เช่น ผิวเป็นคลื่น รอยยุบบนชิ้นงาน ความหนาของท่อ เป็นต้น	ศึกษาพารามิเตอร์ที่สำคัญของกระบวนการอัดรีด เช่น แรงดันสุญญากาศ อุณหภูมิ ความเร็วเครื่องลาก และคุณสมบัติของวัตถุดิบ โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองวิธี Taguchi's Method	-การพิจารณาเลือกลดของเสียให้มีค่าต่ำที่สุด ควรพิจารณาแยกต้นทุนของเสียแต่ละชนิดให้ชัดเจน เนื่องจากของเสียแต่ละประเภทมีต้นทุนไม่เท่ากัน

งานวิจัย	รายละเอียด	วิธีการศึกษา	ข้อจำกัด
[5]	ทำการศึกษาเพื่อลดของเสียในกระบวนการฉีดท่อพลาสติก	ศึกษาการลดของเสียในกระบวนการอัดรีด โดยใช้หลักการ DMAIC เพื่อค้นหาต้นเหตุของในการเกิดของเสีย จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วย FMEA เมื่อได้ปัจจัยจึงทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาการปรับตั้งค่าเพื่อให้ได้ค่าที่ทำให้เกิดของเสียในกระบวนการน้อยที่สุด	-ไม่ได้พิจารณาแยกปัจจัยของเสียออกเป็นประเภทให้ชัดเจน โดยทำการทดลองเปรียบเทียบกับเปอร์เซ็นภาพรวมของ ของเสีย
[6]	ทำการศึกษาปัจจัยกระบวนการรีดวัตถุดิบพีวีซีคอมเปานด์ที่มีผลต่อค่าเฉดสีของผลิตภัณฑ์	ศึกษาปัจจัย 3 ปัจจัยคือ - อุณหภูมิของกระบอกฉีด - ความเร็วในการป้อนวัตถุดิบ - ความเร็วรอบสกรู	-ไม่ได้กล่าวถึงที่มาของการคัดเลือกปัจจัยว่ามาจากการระดมความเห็นจากหน่วยงานเดียวหรือหลายหน่วยงาน - ไม่ได้มีกล่าวถึงการยืนยันความสมบูรณ์ของสภาพเครื่องจักร, แม่พิมพ์ ก่อนทดลอง
[7]	ทำการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการอัดรีดท่อพลาสติกพีวีซีเพื่อหาค่าปรับตั้งพารามิเตอร์ให้มีของเสียในกระบวนการต่ำที่สุด	ศึกษาพารามิเตอร์ที่สำคัญ 4 ปัจจัยคือ - ความเร็วเครื่องลาก - อุณหภูมิ - แรงดันสุญญากาศ - ความเร็วรอบสกรู โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบ Taguchi’s Method	-สัดส่วนการผสมของวัตถุดิบมีผลต่อของเสีย - ความพร้อมของเครื่องจักรควรอยู่ในสภาพสมบูรณ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

งานวิจัย	รายละเอียด	วิธีการศึกษา	ข้อจำกัด
[8]	ทำการศึกษาวิธีการออกแบบการทดลองเพื่อกำหนดค่าระดับที่เหมาะสมของปัจจัยต่าง ๆ ที่ใช้ในการปรับตั้งเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ในกระบวนการอัดรีดยาง	ศึกษาปัจจัย 6 ปัจจัยคือ - ความเร็วรอบสกรู - ความเร็วสายพานตู้อบที่ 1 - อุณหภูมิตู้อบที่ 1 - ความเร็วสายพานตู้อบที่ 2 - อุณหภูมิตู้อบที่ 2 - อุณหภูมิตู้อบที่ 3	- ไม่ได้มีกล่าวถึงการยืนยันความสมบูรณ์ของสภาพเครื่องจักร, แม่พิมพ์ ก่อนทำการทดลอง - ไม่ได้พิจารณาถึงปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อเนื่องกับปัจจัยที่จะทำการศึกษา เช่น ความเร็วในการป้อนวัตถุดิบ ที่มีความสัมพันธ์กับความเร็วรอบสกรู
[9]	ทำการศึกษาวิธีการออกแบบการทดลองเพื่อกำหนดค่าระดับที่เหมาะสมของปัจจัยต่าง ๆ ที่ใช้ในการปรับตั้งเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ในกระบวนการผลิตท่อพลาสติกพีวีซีเพื่อลดความผันแปรด้านความหนา	ศึกษาปัจจัย 8 ปัจจัยคือ - อุณหภูมิแม่พิมพ์โซนที่ 1 - อุณหภูมิแม่พิมพ์โซนที่ 2 - อุณหภูมิแม่พิมพ์โซนที่ 3 - อุณหภูมิแมนเดล - อุณหภูมิกระบอกฉีดโซน 1 - อุณหภูมิกระบอกฉีดโซน 2 - อุณหภูมิกระบอกฉีดโซน3 - อุณหภูมิกระบอกฉีดโซน 4	- ไม่ได้พิจารณาถึงปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อเนื่องกับปัจจัยที่จะทำการศึกษา เช่น ความเร็วในการป้อนวัตถุดิบ ที่มีความสัมพันธ์กับความเร็วรอบสกรู -ไม่ได้มีการใช้ Regression เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยเพื่อตัดปัจจัยที่มากถึง 8 ตัวออกไป

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา ตามตารางที่ 1.6 สามารถสรุปได้คือ ความแตกต่างของวัตถุดิบของผลิตภัณฑ์แต่ล่ะชนิด ไม่ว่าจะเป็นยาง EDM, วัตถุดิบพลาสติกพีวีซี หรือวัตถุดิบจากผลิตภัณฑ์อาหาร มีผลแตกต่างต่อการเลือกปัจจัยที่เกิดขึ้นและการปรับตั้งค่าของปัจจัยที่เหมาะสม แม้ว่าจะเป็นการปรับตั้งเครื่องจักรเพื่อปรับปรุงจุดประสงค์เดียวกันก็ตาม ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้จึงเป็นการศึกษาเพื่อใช้ในการปรับตั้งค่าในการผลิต ผลิตภัณฑ์ท่อพลาสติกพีวีซีเพื่อควบคุมไม่ให้เกิดความสูญเสียที่เกิดจากการเดินเครื่องจักรผลิตสินค้าน้ำหนักเกินมาตรฐานจากวัตถุดิบพีวีซีคอมเปาว์ที่พัฒนาโดยบริษัทเอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อลดต้นทุนวัตถุดิบ โดยการปรับปรุงกระบวนการอัดรีดท่อพลาสติกพอลิไวนิลคลอไรด์ ไม่ให้ผลิตภัณฑ์มีน้ำหนักเกินมาตรฐานที่กำหนด และการปรับปรุงต้องไม่ส่งผลกระทบต่อการเกิดข้อบกพร่องชนิดอื่น ๆ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตของงานวิจัยสามารถแบ่งออกเป็น 2 ข้อดังนี้

1. ศึกษากระบวนการอัดรีดพลาสติกพีวีซีเฉพาะท่อขนาด 100 มิลลิเมตร ชั้นคุณภาพ 8.5 สูตร E100 ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่พบปัญหามากที่สุดในบริษัท โดยเลือกสายการผลิตขึ้นมาทำการวิจัยเพียง 1 สายการผลิต คือสายการผลิต PI.87 ยี่ห้อ Twinsic รุ่น TW-90-RP-D ขนาดสกรู 90 มิลลิเมตร
2. ในงานวิจัยนี้จะประยุกต์ใช้กระบวนการซิกซ์ ซิกม่า เป็นกระบวนการในการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา ในกระบวนการเครื่องอัดรีดที่มีผลกระทบต่อการผลิตสินค้าที่มีน้ำหนักเกินมาตรฐานที่กำหนด

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถลดต้นทุนวัตถุดิบที่เกิดจากการเดินผลิตภัณฑ์เกินน้ำหนักมาตรฐาน
2. เป็นแนวทางในการขยายผลสำหรับท่อพลาสติกพีวีซีในรุ่นอื่นต่อไป

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

เข้าใจถึงสาเหตุที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีน้ำหนักเกินมาตรฐานที่กำหนด และกำหนดวิธีการควบคุมน้ำหนักของผลิตภัณฑ์เพื่อไม่ให้ผลิตภัณฑ์มีน้ำหนักเกินมาตรฐานที่กำหนด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
2. นิยามปัญหา
   - 2.1 ศึกษากระบวนการรีดพลาสติก และศึกษาข้อมูลสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบันที่เกี่ยวกับความสูญเสียของวัตถุดิบในการผลิต
   - 2.2 กำหนดปัญหา วัตถุประสงค์ เป้าหมาย และขอบเขตของการวิจัย
3. ทำการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา
   - 3.1 เก็บรวบรวมข้อมูลและพิจารณาความสามารถของกระบวนการ
   - 3.2 ระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้า

4. วิเคราะห์สาเหตุของปัญหา
    4.1 นำปัจจัยนำเข้าที่ได้มาทำการทดสอบเพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญที่ส่งผลต่อน้ำหนักของผลิตภัณฑ์
    4.2 กำหนดระดับปัจจัยที่จะนำมาทำการทดสอบพร้อมทั้งเลือกรูปแบบการทดลอง
5. ปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ
    5.1 นำปัจจัยที่มีนัยสำคัญจากขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุมาทำการออกแบบการทดลอง
    5.2 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง
    5.3 จากผลการทดลองทำการกำหนดระดับของปัจจัยที่สามารถลดปริมาณน้ำหนักของผลิตภัณฑ์เพื่อนำไปปรับปรุงกระบวนการผลิตจริง
6. ติดตามเพื่อยืนยันผล
    6.1 ทำการทดสอบเพื่อยืนยันผลโดยทำการเก็บข้อมูลหลังทำการกำหนดระดับปัจจัยที่ได้จากการปรับปรุงเป็นระยะเวลา 1 เดือน
    6.2 จัดทำแผนควบคุมและเลือกใช้แผนภูมิควบคุม
    6.3 สรุปผลการปรับปรุงที่ได้และจัดทำมาตรฐานการผลิต
7. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ
8. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 1.7 แผนการดำเนินงาน

หัวข้อเรื่อง	ก.ค. 59				ส.ค. 59				ก.ย. 59				ต.ค. 59				พ.ย. 59				ธ.ค. 59				ม.ค. 60			
	WK1	WK2	WK3	WK4	WK1	WK2	WK3	WK4	WK1	WK2	WK3	WK4	WK1	WK2	WK3	WK4	WK1	WK2	WK3	WK4	WK1	WK2	WK3	WK4	WK1	WK2	WK3	WK4
1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง	↔	↔	↔																									
2. นิยามปัญหา				↔	↔	↔	↔																					
3. ทำการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา								↔	↔	↔																		
4. วิเคราะห์สาเหตุของปัญหา											↔	↔	↔	↔														
5. ปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ															↔	↔	↔											
6. ติดตามเพื่อยืนยันผล																		↔	↔	↔	↔							
7. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ																						↔	↔					
8. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์																			↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์พลาสติก

พลาสติกเป็นวัสดุสังเคราะห์ ที่มีโมเลกุลหนักซึ่งประกอบด้วยหน่วยอินทรีย์เคมี (Organic Chemical Unit) ซ้ำกันหลาย ๆ หน่วย พลาสติกส่วนใหญ่ไม่ได้เป็นสารที่เกิดโดยธรรมชาติ แต่เกิดจากการ สังเคราะห์สารเคมีที่เป็นหน่วยเล็ก ๆ ที่เรียกว่าโมโนเมอร์ (Monomer) ให้ประกอบเป็นลูกโซ่ เรียกว่า โพลีเมอร์ (Polymer) โดยปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรด์เซชั่น (Polymerization) พลาสติกมีหลายแบบ เช่น พีอี (PE), พีพี (PP), พีวีซี (PVC) และ ไนลอน (Nylon) เป็นต้น ผลิตภัณฑ์พลาสติกที่เราพบอยู่ทั่วไปนั้น โดยทั่วไปจะมีกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกันออกไป เช่น กรรมวิธีการอัดรีด (Extrusion) ซึ่งใช้ในการ ผลิตชิ้นงานต่าง ๆ ที่มีลักษณะคล้ายท่อยาว กรรมวิธีการฉีดเข้าไปในแบบ (Injection Molding) ซึ่งใช้ในการผลิตชิ้นงานค่อนข้างหลากหลาย สามารถฉีดชิ้นงานที่มีความซับซ้อนได้ดี เช่น กรรมวิธีเป่าขวด (Blow Molding) เป็นต้น [10]

2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับพลาสติก

พลาสติกโดยทั่วไปสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทด้วยกัน คือกลุ่มเทอร์โมพลาสติก กลุ่มเทอร์โมเซตพลาสติก และ กลุ่มอีลาสโตเมอร์ หรือยางสังเคราะห์ ซึ่งมีคุณสมบัติแตกต่างดังนี้

2.2.1 เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastics)

เทอร์โมพลาสติก เป็นพลาสติกที่สามารถทำให้หลอมเหลวหรือเปลี่ยนรูปร่างได้ด้วยความร้อน และจะแข็งตัวเมื่อทำให้เย็น พลาสติกนี้สามารถนำมาขึ้นรูปใหม่ (Recycle) ได้ เทอร์โมพลาสติกโดยมาก ประกอบด้วยพวก Long chain carbon atoms ที่เกิดพันธะโคเวเลนต์เข้าด้วยกัน บางครั้งอาจมีธาตุไนโตรเจน ออกซิเจน หรือกำมะถัน เข้าไปเกิดพันธะโคเวเลนต์ในโมเลกุล และระหว่างโมเลกุลจะเกิด พันธะทุติยภูมิ (Secondary bonds) ตัวอย่างของพลาสติกกลุ่มเทอร์โมพลาสติก เช่น PE (โพลีเอตทีลีน) PP (โพลีโพรพีลีน) PVC (โพลีไวนิลคลอไรด์) และ PS (โพลีสไตรีน) เป็นต้น [11]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.2.2 เทอร์โมเซตพลาสติก (Thermosets Plastic)

เทอร์โมเซตพลาสติก เป็นพลาสติกที่ไม่สามารถทำให้หลอมเหลวได้ด้วยความร้อน พลาสติกชนิดนี้จะคงรูปอย่างถาวรด้วยการบ่ม “set” เกิดปฏิกิริยาเคมี เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงจะเกิดการสลายตัว หรือไหม้ ดังนั้นจึงไม่สามารถนำกลับมาขึ้นรูปใหม่ได้ โดยเทอร์โมเซตพลาสติกประกอบด้วยคาร์บอนอะตอมที่เกิดพันธะโคเวเลนต์เข้าด้วยกันเป็นโครงข่าย (Network) ได้เป็นของแข็ง บางครั้งในโครงข่ายนั้นจะมีอะตอมของธาตุไนโตรเจน ออกซิเจน กำมะถัน หรืออะตอม อื่นๆ เข้าไปเกิดพันธะ โคเวเลนต์ร่วมด้วยกัน ตัวอย่างของพลาสติกกลุ่มเทอร์โมเซตพลาสติก เช่น Silicones Epoxies และ Urethane เป็นต้น [11]

2.2.3 อีลาสโตเมอร์ (Elastomer) หรือ ยางสังเคราะห์

อีลาสโตเมอร์พลาสติก หรือ ยางสังเคราะห์ เป็น พลาสติกที่เมื่อนำไปหลอมเหลวแล้วปล่อยให้เย็นจนแข็งตัวด้วยกรรมวิธีวัลคาไนเซชั่น (Vulcanization) จะทำให้เกิดโครงสร้างแบบร่างแห (Molecule Cross-Linking) ภายใต้อิทธิพลของความร้อนที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ไม่สามารถนำกลับมาหลอมเหลวได้ อีก เช่น ยาง SBR ยาง NBR และ ยาง NR เป็นต้น [12]

2.3 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับกรรมวิธีการขึ้นรูปพลาสติก

กรรมวิธีในการขึ้นรูปมีหลายวิธี การเลือกใช้วิธีการขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสติก และลักษณะรูปทรง ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์เป็นสำคัญ ในที่นี้จะขอกล่าวเพียงกรรมวิธีที่สำคัญ ๆ ดังนี้

2.3.1 กรรมวิธีขึ้นรูปแบบฉีด (Injection Molding)

เป็นวิธีการที่นิยมใช้กันแพร่หลายที่สุด ผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ผลิตโดยวิธีนี้มีตั้งแต่ เครื่องใช้ในบ้าน เช่น ตะกร้า แก้วน้ำ ภาชนะต่าง ๆ เครื่องใช้สำนักงาน เช่น ตัวเรือนเครื่องคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ ต่าง ๆ ไปจนถึงชิ้นส่วนรถยนต์ ชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ กรรมวิธีคือ การหลอมพลาสติกในกระบอกแล้วฉีดอัดเข้าไปในแม่แบบ (Mould) ปล่อยให้เย็นตัวแล้ว ถอดชิ้นงานออก

การผลิตชิ้นงานที่มีคุณภาพนั้นจะต้องควบคุมตัวแปรทั้งหลายให้อยู่ในพิกัดที่เหมาะสม ทั้งนี้จะต้องมีเครื่องจักรที่ดี สามารถควบคุมอุณหภูมิ ความดัน ความเร็วฉีด และจังหวะการ ฉีด นอกจากนี้ แม่แบบ จะต้องดี กล่าวคือ ในการออกแบบอย่างถูกต้อง เช่น การกำหนดตำแหน่งฉีด ร่องนำพลาสติก (Runner) ทางเข้า (Gate) การหล่อเย็น การถอดชิ้นงานออก [10]

2.3.2 กรรมวิธีขึ้นรูปแบบอัดรีด (Extrusion Molding)

ผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ผลิตโดยวิธีนี้ได้แก่ ท่อน้ำพีวีซี ท่อพีอี สายไฟ รางน้ำ รองเท้า ขวดน้ำ และราง โปรไฟล์ แบบต่าง ๆ กรรมวิธีคือใช้สกรูหมุนอัดพลาสติกให้ผสมเป็นเนื้อเดียวกันที่จุดหลอมเหลวของพลาสติก หลังจากนั้นก็ใช้แรงสกรูขับส่งพลาสติกที่หลอมเหลวอยู่ในกระบอกให้ความ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ร้อนผ่านแบบ (Die) ซึ่งติดตั้งอยู่ที่ปลายกระบอกให้ออกมาอย่างต่อเนื่อง จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นท่อหรือราง ซึ่งมีรูปร่างตามแม่แบบที่ใช้ นอกจากนี้จะต้องมีอุปกรณ์ช่วย เช่น ตัวปรับขนาดถังหล่อเย็น เครื่องดึง และเครื่องตัด หรือม้วน [10]

2.3.3 กรรมวิธีขึ้นรูปแบบเป่ากลวง (Blow Molding)

เป็นกรรมวิธีที่ใช้สำหรับผลิตภาชนะกลวง เช่น ถังใส่น้ำมัน ขวดแชมพู น้ำยาซักล้าง ขวดใส่ยา และ ขวดพลาสติกขนาดเล็กชนิดต่าง ๆ

กรรมวิธีทั่วไปคือ ใช้เครื่องขับดันหรือเครื่องฉีดสร้างหลอดพลาสติกหลอมเหลวที่เรียกว่า พาริสัน แล้วใช้แม่แบบหนีบพาริสัน พร้อมกับเป่าลมเข้าไปข้างในหลอด ให้พลาสติกยืดตัวเต็มแม่แบบ เมื่อปล่อยให้ชิ้นงานเย็นตัวลงจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นภาชนะกลวงที่มีรูปร่างคล้ายแม่แบบ

ในกรรมวิธีขึ้นรูปแบบเป่ากลวง มีกรรมวิธีที่แตกต่างกันอยู่ 3 วิธีคือ

1. วิธีขับดัน-เป่า (Extrusion Blow Molding) เป็นวิธีที่ง่ายและใช้กันแพร่หลายที่สุด
2. วิธีขับดัน-ยืด-เป่า (Extrusion Stretch Blow Molding) วิธีนี้เป็นการยืดหลอดพาริสันออกทั้ง 2 แกน ท่าให้สามารถผลิตขวดได้บางแต่มีความแข็งแรงสูงนิยมใช้ผลิตขวด PVC และ PET
3. วิธีฉีด-เป่า (Injection Blow Molding) เป็นวิธีผสมผสานระหว่างการฉีดและเป่า โดยขั้นแรก จะเป็นการฉีดพลาสติกหุ้ม Blow Pin ไว้ภายในจังหวะต่อไปจะย้ายชุด Blow Pin ไปเข้า แม่แบบเป่าพร้อมทั้งเป่าให้ขยายออกเต็มแม่แบบ เมื่อเย็นตัวแล้วก็เปิดแม่แบบ และถอดชิ้นงานออก [10]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.3.4 กรรมวิธีขึ้นรูปแบบเป่าพอง (Inflation Molding)

เหมาะสำหรับการผลิตแผ่นฟิล์ม PE หรือฟิล์ม PP โดยเฉพาะซึ่งจะนำไปใช้งานทำเป็นถุงหิ้ว หรือใช้ ห่อหุ้ม บางครั้งก็จัดว่าเป็นวิธีหนึ่งในกรรมวิธีการขึ้นรูปแบบขับดัน กรรมวิธีการผลิตฟิล์มโดยการเป่าพองก็คือ การใช้เครื่องขับดันพลาสติกให้ผ่านแม่แบบที่มีลักษณะเป็นรูปร่าง แล้วใช้ลมเป่าภายในให้พองออก และมีลมเป่าด้านนอกเพื่อให้พลาสติกเย็นตัว หลังจากนั้นจะรีดเข้า หากันเพื่อม้วนเก็บ หรือจะผ่านกระบวนการตัดและเชื่อมให้เป็นถุงอย่างต่อเนื่องก็ได้ [10]

2.3.5 กระบวนการรีด (Calendaring)

ใช้สำหรับการผลิตแผ่นฟิล์มพีวีซี ผ้าใบพลาสติก หนังเทียม เป็นต้น กรรมวิธีคือให้ความร้อนแก่ วัตถุดิบพลาสติกด้วยลูกกลิ้งที่กำลังหมุน หลังจากนั้นส่งต่อไปรีดเร้นด้วย ลูกกลิ้งเย็นหลาย ๆ ชั้นจนได้เป็นแผ่นบาง ๆ ตามต้องการแล้วจึงม้วนเก็บ [10]

2.3.6 กรรมวิธีขึ้นรูปแบบสุญญากาศ (Vacuum Thermo Forming)

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกรรมวิธีนี้ได้แก่ แก้วบาง กล่องใส่อาหาร ชามใส่สลัดผัก รางใส่ไข่ไก่ อ่างล้างหน้า อ่างอาบน้ำ ผนังชั้นในของตู้เย็น เป็นต้น กรรมวิธีคือ นำเอาแผ่นพลาสติกมาให้ความร้อนจนถึงจุดอ่อนตัว แล้วนำมาขึ้นรูปในแม่แบบตัวผู้กดทับ การให้ความร้อนอาจใช้ชุดฮีทเตอร์ หรือ รังสีอินฟราเรด [10]

2.3.7 กรรมวิธีขึ้นรูปแบบหมุนหล่อ (Rotational Moulding)

ใช้สำหรับผลิตชิ้นงานพลาสติกตั้งแต่ขนาดเล็ก เช่น ตุ๊กตา ไปจนถึงลังขนาดใหญ่ กรรมวิธีคือนำเอาพลาสติกเหลวหรือพลาสติกผง มาใส่ลงในแม่แบบซึ่งหมุนได้ทั้ง 2 แกนพร้อม ๆ กันในห้องร้อนด้วยความเร็วรอบไม่สูงมากนักคือ ความเร็วในแกนหลัก (Main Axis) ประมาณ 40 รอบต่อนาที และในแกนรอง (Minor Axis) ประมาณ 12 รอบต่อนาที หลังจากนั้นย้ายไปหมุนในห้องที่เย็นที่มีลมเย็นหรือน้ำเย็นพ่นแล้วย้ายออกไปถอดชิ้นงานออก [10]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.4 การจัดแบ่งจำแนกชนิดของเครื่องอัดรีดพลาสติก

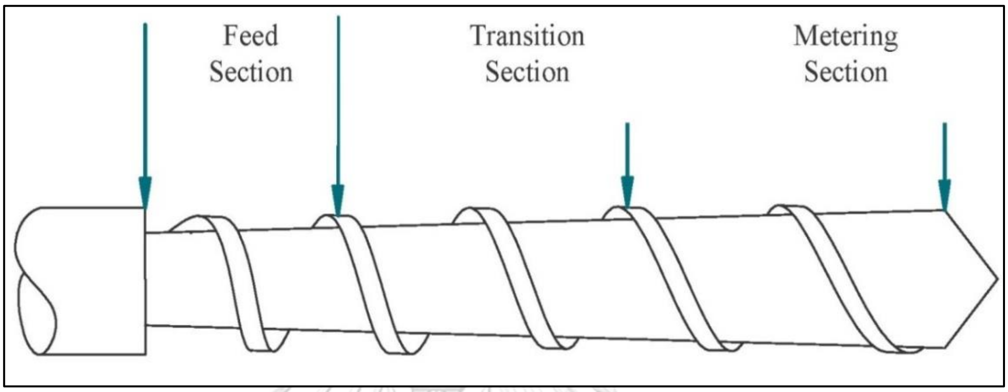
เครื่องอัดรีดพลาสติกในอุตสาหกรรมมีหลากหลายชนิดตามการออกแบบ จุดหลักของความแตกต่างระหว่างเครื่องอัดรีดอยู่ที่การใช้งาน เป็นแบบต่อเนื่องหรือไม่ต่อเนื่อง ชนิดของพลาสติกที่ใช้กับเครื่องอัดรีด หลักการทำงานของเครื่องอัดรีดจะเหมาะกับกระบวนการที่เป็นแบบไม่ต่อเนื่อง คล้ายกับเครื่องฉีดพลาสติก (Injection Moulding) และรูปแบบเป่ากลวง (Blow Moulding) การจำแนกเครื่องอัดรีดพลาสติกสามารถแบ่งได้ตามตารางที่ 2.1 [12]

ตารางที่ 2.1 การแบ่งจำแนกชนิดของเครื่องอัดรีดพลาสติก

Screw Extruder (Continuous)	Single Screw Extruders	– Melt Fed or Plasticating – Single stage or Multi Stage – Plastic vs. rubber Extruder
	Multi-Screw Extruders	– Twin Screw Extruder – Gear Pump – Planetary Gear extruder – Multi (>2) Screw Extruder
Disk of Drum Extruder (Continuous)	Viscous Drag Type Extruders	– Spiral disk Extruder – Drum Extruder – Diskpack Extruder – Stepped Disk Extruder
	Elastic Melt Extruders	– Screw less Extruder (Maxwell) – Screw /Disk Extruder (USSR)
Reciprocating Extruders (Discontinuous)	Ram Extruders	– Melt Fed Extruder – Plasticating Extruder
	Reciprocating Extruders	– Plasticating Unit in Molding Machines – Compounding Extruders (Ko-kneader, Pulsating

2.4.1 เครื่องอัดรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยว (Single Screw Extruder)

เครื่องอัดรีดแบบสกรู (Screw Extruder) แบ่งออกเป็น เครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว (Single Screw Extruder) และเครื่องอัดรีดพลาสติกแบบหลายสกรู (Multi Screw Extruder) เครื่องอัดรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยวมีความสำคัญอย่างมาก ในอุตสาหกรรมการผลิตพลาสติก เนื่องจากมีข้อดีตรงที่มีราคาเครื่องถูก การออกแบบเป็นแบบเส้นตรงตลอดแนว คุณสมบัติในการใช้งานค่อนข้างดีเมื่อเทียบกับราคาเครื่อง รูปแบบของเครื่องอัดรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยวดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 รูปแบบของเครื่องอัดรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยว

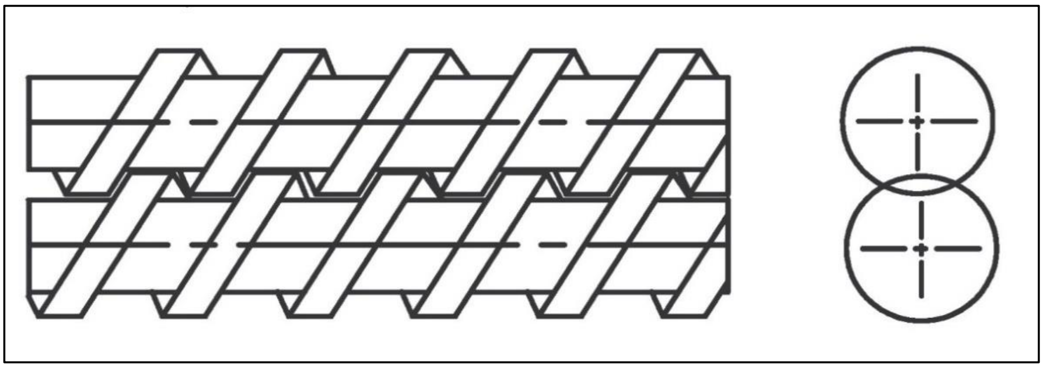
ลักษณะรูปแบบของเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยวจะมีสมบัติในการอัดพลาสติกตลอดแนวยาวของสกรู สามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ตามรูปที่ 2.1 คือ หน่วยที่ 1 หน่วยที่ทำการป้อน (Feed Section) พลาสติก ที่จะทำการอัดรีด จะผ่านหน่วยนี้เป็นหน่วยแรก ลักษณะของเกลียวหน่วยนี้จะมีความลึกมากที่สุดเพื่อ ช่วยให้พลาสติกไหลผ่านตลอดแนวสกรูได้ดี หน่วยที่ 2 หน่วยที่เปลี่ยนสถานะของพลาสติก (Transition Section) พลาสติกบริเวณหน่วยนี้จะถูกแรงอัดจากความเร็วรอบของสกรูและความลึก ของเกลียวให้ผสมรวมกันเป็นเนื้อเดียว และถูกให้ความร้อนจากแรงเสียดทานของสกรูและอุณหภูมิ ของเครื่องอัดรีดพลาสติกจนเริ่มหลอมเหลว ส่วนหน่วยสุดท้าย คือหน่วยอัดผ่านแม่พิมพ์ (Metering Section) อัดพลาสติกให้ไหลผ่านแม่พิมพ์ จากที่กล่าวมาเครื่องอัดรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยวสามารถ แบ่งออกได้ 3 หน่วย โดยความลึกของครีบเกลียวสกรูในแต่ละหน่วยจะไม่เท่ากัน บริเวณหน่วยที่ทำการป้อนจะมีความลึกมากที่สุด และจะลดลงจนถึงปลายของสกรู

การออกแบบเครื่องอัดรีดพลาสติกจะออกแบบโดยใช้เส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกของเครื่องอัดรีด (Barrel) เช่น ตัวมาตรฐานของอเมริกาจะมีขนาด ¾ , 1, 1½, 2 , 2 ½, 3 ½, 4 ½ , 6 และ 8 นิ้ว ตัวอย่าง มาตรฐานของยุโรปจะมีขนาด 20, 25, 30, 35, 40, 50, 60, 90, 120, 150, 200 และ 250 มิลลิเมตร โดย ส่วนมากขนาดของเครื่องอัดรีดจะอยู่ที่ 1 ถึง 6 นิ้ว หรือ 25 ถึง 150 มิลลิเมตร และจะมีอีกส่วนที่ใช้ในการออกแบบ คือความยาวของสกรูที่ใช้ จะเรียกว่าอัตราส่วนความยาวของสกรูต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง (L/D) จะมีอัตราส่วนอยู่ประมาณ 20 ถึง 30 ส่วนมากจะใช้ที่อัตราส่วน 24 [13]

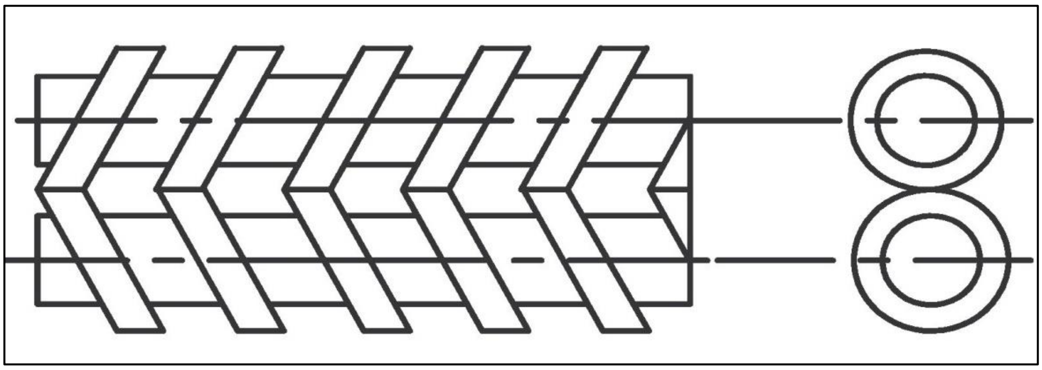
2.4.2 เครื่องอัดรีดพลาสติกแบบสองสกรู (Twin Screw Extruder)

เครื่องอัดรีดพลาสติกแบบสองสกรู มีข้อดีอยู่ที่สามารถใช้งานได้หลากหลายประเภทของพลาสติก ในการเลือกใช้เครื่องอัดรีดพลาสติกแบบสองสกรูนั้น เป็นความยากลำบากที่จะเลือกเพราะมีหลายชนิด หลายขนาดและทิศทางการหมุนก็แตกต่างกัน คือมีการหมุนตามกันของสกรู (Co-rotating Screw) และการหมุนสวนทางกันของสกรู (Counter-rotating Screw) แบ่งตามการประกบของ สกรูจะแบ่งได้ 2 ชนิดคือ แบบสองสกรูที่มีเกลียวสกรูประกบเข้าด้วยกัน (Intermeshing Extruders) ตามรูปที่ 2.2 และ แบบสองสกรูที่มีเกลียวสกรูไม่ประกบกัน (No-intermeshing Extruders) ตามรูปที่ 2.3 หรือแบ่งตามรูปแบบของสกรู คือ สกรูแบบทรงกระบอก (Cylindrical Extruders) และ สกรูแบบกรวย (Conical Extruders) แบ่งตามความเร็วรอบที่ใช้กับตัวเครื่องอัดรีดพลาสติกก็จะแบ่งออกเป็น เครื่องความเร็วรอบต่ำ (Low Speed Extruder) และ เครื่องความเร็วรอบสูง (High Speed Extruder) การออกแบบเครื่องอัดรีด ในบางครั้งอาจจะขัดแย้งกับทางทฤษฎี ความสำเร็จโดยส่วนใหญ่ของการออกแบบ จะมาจากการปฏิบัติงาน และศึกษาความเป็นมาของการใช้เครื่อง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



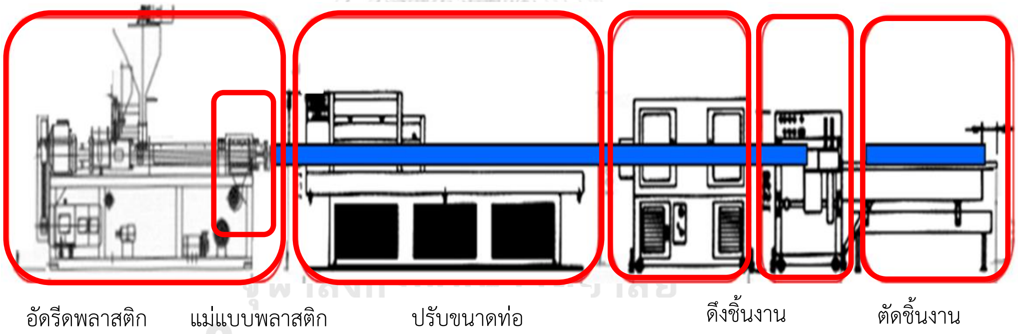
รูปที่ 2.2 รูปร่างของเครื่องอัดรีดพลาสติกแบบสกรูประกบกัน



รูปที่ 2.3 รูปร่างของเครื่องอัดรีดพลาสติกแบบสกรูไม่ประกบกัน

2.5 โครงสร้างพื้นฐานของเครื่องอัดรีดพลาสติก

โดยทั่วไปแล้วเครื่องอัดรีดพลาสติกจะมีโครงสร้างส่วนประกอบสำคัญ ซึ่งสามารถแบ่งได้ 5 ส่วน คือ ส่วนอัดรีดพลาสติก (Extrusion Unit), ส่วนแม่แบบพลาสติก (Die Unit), ส่วนปรับขนาดท่อ (Calibrator Unit), ส่วนดึงชิ้นงาน (Haul-off Unit) และส่วนตัดชิ้นงาน (Cutting Unit) ดังแสดงในรูปที่ 2.4

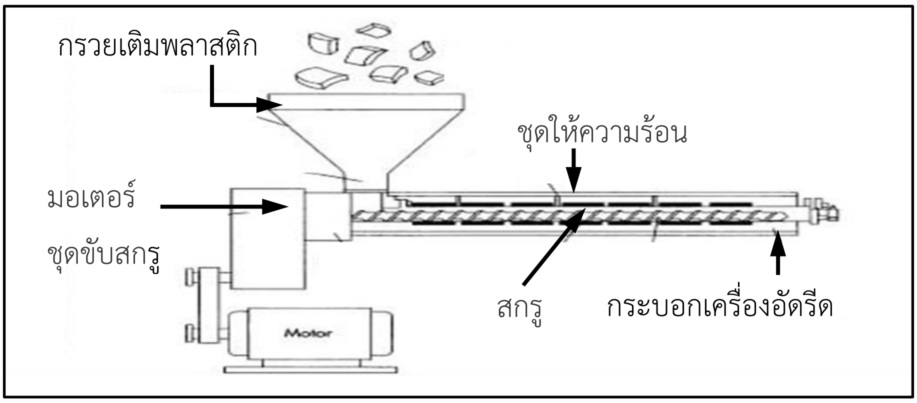


CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 2.4 โครงสร้างของเครื่องอัดรีดพลาสติก

2.5.1 ส่วนอัดรีดพลาสติก (Extrusion Unit)

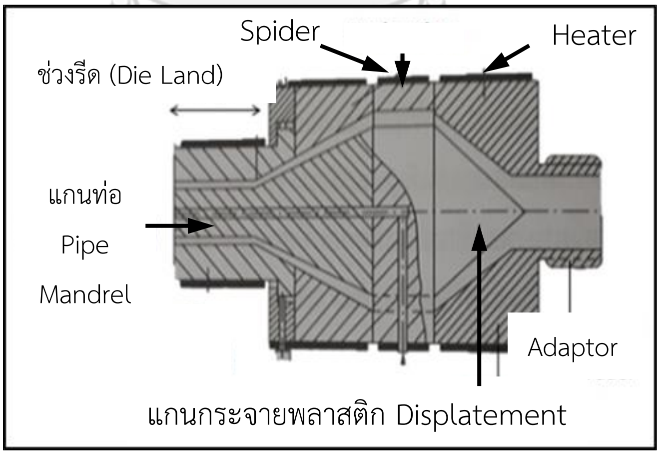
ทำหน้าที่ในการบดส่วนผสมของพลาสติกให้เป็นเนื้อเดียวกันจนหลอมเหลว โดยใช้หลักการที่แรงเสียดทานของการหมุนของสกรูและอุณหภูมิของลำกล้องของเครื่องอัดรีดพลาสติก มีส่วนประกอบพื้นฐาน ดังนี้ คือ สกรู (Screw), กระบอกเครื่องอัดรีด (Barrel), มอเตอร์ชุดขับสกรู (Motor and Gear Box) ,ชุดให้ความร้อน (Heating Unit) และกรวยเติมพลาสติก (Hopper) ดังแสดงในรูป 2.5



รูปที่ 2.5 ส่วนประกอบของชุดอัดรีดพลาสติก

2.5.2 ส่วนแม่แบบพลาสติก (Die Unit)

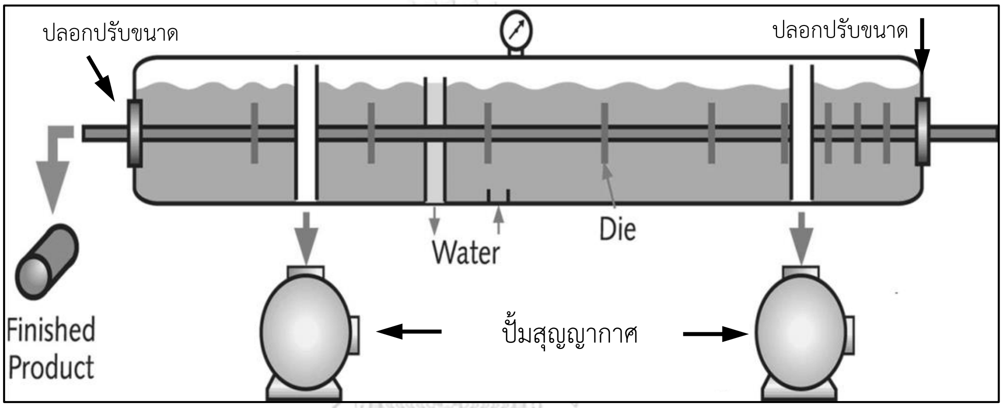
ทำหน้าที่ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ตามขนาดและรูปทรงที่กำหนด โดยมีส่วนประกอบคือ โครงหัวแม่แบบพลาสติก (Adaptor) ซึ่งใช้ประกอบกับเครื่องอัดรีดพลาสติก และยึดติดกับ Spider plate โดยที่ Spider plate จะมีแกนกระจายพลาสติกเหลวอยู่ด้านหน้า (Displatement mandrel) และแกนท่อ (Pipe Mandrel) อยู่ด้านหลัง โดยที่ Spider plate จะทำการเจาะช่องหรือ รูให้พลาสติกผ่านไปยังช่วงรีดท่อ นอกจากนี้ยังมีเกลียวต่อกับ extruder หรือถ้าท่อขนาดใหญ่จะใช้หน้าแปลนสำหรับประกอบกับ extruder และมี และมี Heater หุ้มอยู่รอบ ๆ หัวแม่แบบ สำหรับการปรับความหนาของท่อจะทำโดยการปรับสกรู ซึ่งสามารถขันเกลียวปรับช่วงรีด (Die land) ให้เลื่อนปรับความหนาได้โดยรอบ ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบของชุดแม่แบบพลาสติก

2.5.3 ส่วนปรับขนาดท่อ (Calibrator Unit)

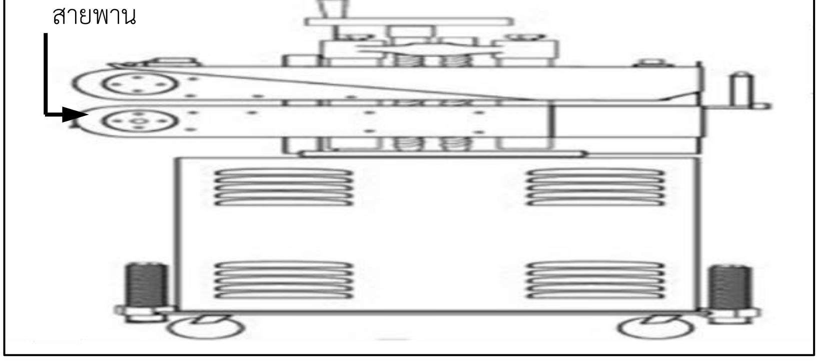
ทำหน้าที่ในการบังคับรูปทรงให้คงที่ แล้วจึงทำให้เย็นตัว โดยมีหลักการอยู่สองลักษณะคือ การปรับขนาดภายนอก (Outer Calibrator) และปรับขนาดภายใน (inner Calibrator) ซึ่งในปัจจุบันนิยมใช้การปรับขนาดภายนอกมากกว่าเนื่องจากระบบการทำงานไม่ยุ่งยากมากและสามารถใช้ผลิตท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก ตั้งแต่ 4 มิลลิเมตรจนถึงมากกว่า 100 มิลลิเมตร โดยมีหลักการในการปรับขนาดคือเมื่อท่อถูกดึงผ่านหัวแม่แบบ จะถูกดึงผ่านปลอกปรับขนาด (Calibrating Sleeve) โดยใช้แรงดันสุญญากาศดูดให้แนบกับปลอกพร้อมฉีดน้ำหล่อเย็น ซึ่งจะทำให้ท่อมีรูปทรงกลมและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกมีขนาดเท่ากับปลอกปรับขนาด ดังแสดงในรูป 2.7



รูปที่ 2.7 ส่วนประกอบของส่วนปรับขนาดท่อ

2.5.4 ส่วนดึงชิ้นงาน (Haul-off Unit)

ทำหน้าที่ในการจับและดึงท่อพลาสติกให้เลื่อนไปด้วยความเร็วคงที่ โดยสัมพันธ์กับความเร็วของการอัดรีดและการตัดชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 2.8

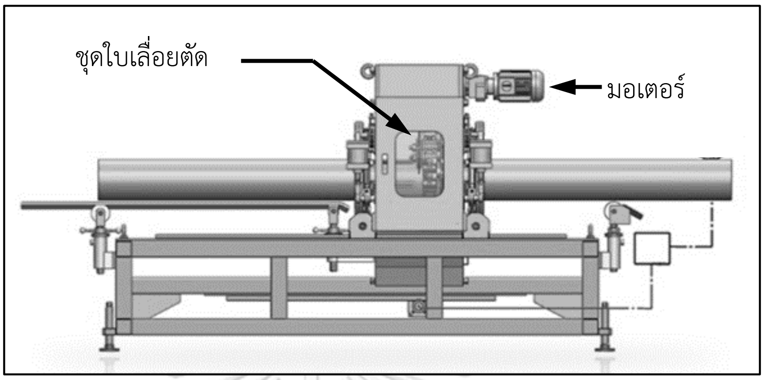


รูปที่ 2.8 ส่วนประกอบของส่วนดึงชิ้นงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.5.5 ส่วนตัดชิ้นงาน (Cutting Unit)

ทำหน้าที่ในการตัดชิ้นงานให้มีขนาดที่พอเหมาะเท่าๆ กัน โดยการตัดจะใช้เลื่อย ใบมีด หรือกรรไกรตัด บางลักษณะการตัดต้องใช้เวลานาน อุปกรณ์ตัดจะต้องเดินไปพร้อม ๆ กับชิ้นงานไปด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ส่วนประกอบของส่วนตัดชิ้นงาน

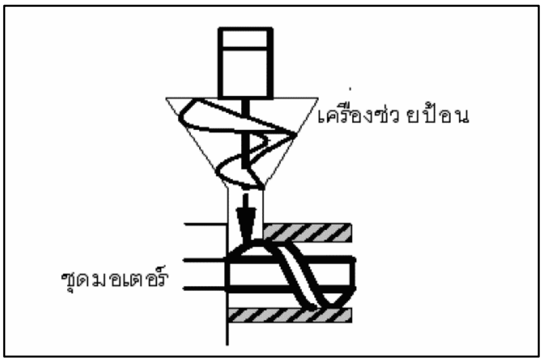
2.6 ขั้นตอนการอัดรีดพลาสติก

การอัดรีดพลาสติกแบบนี้จะประกอบด้วยสกรู 2 ส่วน คือสกรูที่ทำหน้าที่ในการอัดรีดพลาสติก และ สกรูสำหรับอัดพลาสติกผ่านแม่แบบ ซึ่งหลักการทำงานของทั้ง 2 ต่างกัน สกรูที่อัดรีดพลาสติก จะเคลื่อนที่ 2 แนวคือหมุนรอบแกน และเคลื่อนที่ในแนวแกน ส่วนสกรูอัดพลาสติกผ่านแม่แบบ จะเคลื่อนแนวเดียวคือแนวแกน สามารถสรุปขั้นตอนของการฉีดพลาสติกได้ 5 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.6.1 การป้อนพลาสติกใส่ลงสกรูอัดรีดพลาสติกในอัตราส่วนที่คงที่

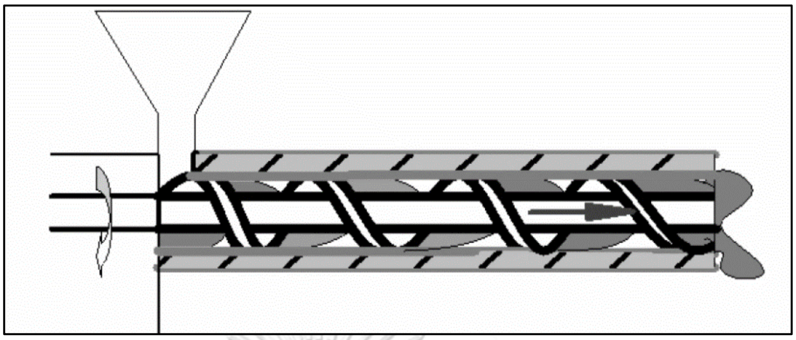
มีชุดที่สำหรับป้อนในอัตราคงที่ (Agitator) ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ขั้นตอนการป้อนพลาสติกลงสกรูอัดรีดพลาสติก

2.6.2 การหลอมเหลวพลาสติกหรือการอัดพลาสติก

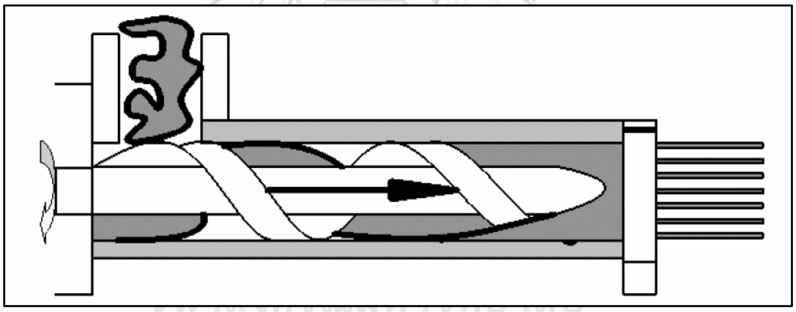
เป็นขั้นทำพลาสติกชนิดผงให้หลอมด้วยความร้อนของชุดให้ความร้อน จากพลังงานที่ปล่อยออกมาจากแรงเฉือนของสกรูที่เสียดสีกับพลาสติกที่ไหลอยู่ในกระบอกสกรู ดังรูปที่ 2.11



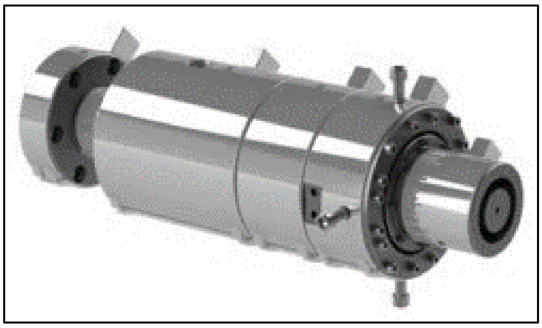
รูปที่ 2.11 ขั้นตอนการหลอมพลาสติกหรือการอัดพลาสติก

2.6.3 หลังจากพลาสติกถูกหลอมเหลวขั้นตอนต่อไปจะถูกสกรูอัดผ่านแม่แบบ

พลาสติกเหลวที่หลอมเหลวจะถูกไหลอัดผ่านแม่พิมพ์ เพื่อขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ ตามรูปที่ 2.12 และ 2.13



รูปที่ 2.12 ขั้นตอนการอัดพลาสติกผ่านแม่แบบ



รูปที่ 2.13 แสดงรูปแม่แบบท่อพลาสติกพีวีซี

2.6.4 จากนั้นบังคับรูปทรงให้คงที่โดยผ่านถังปรับขนาดท่อ

บังคับรูปทรงให้คงที่โดยใช้เครื่องลาก ดึงชิ้นงานที่ขึ้นรูปผ่านแม่แบบท่อพลาสติก ผ่านถังปรับขนาด โดยเมื่อท่อถูกดึงผ่านหัวแม่แบบ จะถูกดึงผ่านปลอกปรับขนาด (Calibrating Sleeve) โดยใช้สุญญากาศดูดให้แนบกับปลอกพร้อมหล่อเย็น ซึ่งจะทำให้ท่อมีรูปทรงกลมและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกมีขนาดเท่ากับปลอกปรับขนาด

2.7 พารามิเตอร์สำคัญในการปรับตั้งเครื่องอัดรีดพลาสติก

2.7.1 อุณหภูมิกระบอกสกรู (Barrel Temperature)

อุณหภูมิของกระบอกสกรูมีหน้าที่หลอมรวมเป็นเนื้อเดียวกัน เป็นตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพของชิ้นงานด้านคุณลักษณะของผิวและสีของผลิตภัณฑ์ หากอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลง โดยมีอุณหภูมิต่ำชิ้นงานที่ได้จะมีลักษณะขุ่น สีไม่สดและอาจพบปัญหาการหลอมละลายของวัตถุดิบบางชนิดไม่หมด ทำให้เกิดเป็นจุดบนชิ้นงาน แต่ถ้าหากมีอุณหภูมิสูงก็จะส่งผลให้ชิ้นงานมีความเงาสีจะสดใส และอาจพบปัญหาผิวเป็นคลื่น เป็นต้น หลักการปรับตั้งค่า อุณหภูมิของกระบอกสกรู สำหรับพีวีซีเกรดแข็งจะปรับตั้งอุณหภูมิประมาณ 180-190 องศาเซลเซียส แต่สำหรับพีวีซีเกรดนิ่มจะปรับตั้งอุณหภูมิประมาณ 140-160 องศาเซลเซียส

2.7.2 ความเร็วรอบของสกรู (Screw Speed)

ความเร็วรอบของสกรูเป็นตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพของชิ้นงานด้านน้ำหนักเป็นหลัก เนื่องจากถ้าทำการปรับรอบสกรูให้มีความเร็วสูง อัตราการไหลของพลาสติกก็จะสูง จะทำให้ท่อพลาสติกพีวีซีมีความหนา เช่นเดียวกันกับกรณีความเร็วรอบของสกรูต่ำจะทำอัตราการไหลของพลาสติกจะต่ำ จะทำให้ท่อพลาสติกพีวีซีมีความบาง สำหรับการปรับตั้งค่าความเร็วรอบของสกรูประมาณ 21-25 รอบต่อนาที

2.7.3 อุณหภูมิของแม่แบบ (Die Temperature)

อุณหภูมิแม่แบบเป็นตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพของชิ้นงานด้านลักษณะเม็ด การเปลี่ยน แปลงค่าของอุณหภูมิแม่พิมพ์มีอิทธิพลต่อความสามารถในการไหลของพลาสติกเหลวผ่าน หากมีอุณหภูมิต่ำจะทำให้พลาสติกไหลย้อนกลับ แต่หากอุณหภูมิสูงไปก็จะทำให้การไหลไม่สม่ำเสมอ ชิ้นงานที่ได้จะมีขนาดบางและหนาปนกัน

2.7.4 ความเร็วในการป้อน (Dosing Speed)

ความเร็วรอบเป็นตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพของชิ้นงาน และมีความสัมพันธ์โดยตรงกับแรงที่ใช้ในการหมุนของสกรู คือเมื่อเพิ่มความเร็วในการป้อนจะส่งผลให้แรงที่ใช้ในการหมุนสกรูเพิ่มตาม ดังนั้นในการปรับตั้งค่าเครื่องอัดรีดพลาสติกจะมุ่งเฉพาะแรงที่ใช้ในการหมุนสกรู

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.7.5 อุณหภูมิของสกรู (Screw Temperature)

อุณหภูมิของสกรูเป็นตัวแปรที่ไม่มีมีผลต่อคุณภาพของชิ้นงาน แต่จะช่วยในการลดปัญหาพลาสติกเกาะติดสกรู โดยอุณหภูมิของสกรูจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าพลาสติก ที่อยู่ในกระบอกสกรูและอุณหภูมิของกระบอกสกรู

2.7.6 แรงสุญญากาศ (Vacuum Pressure)

แรงสุญญากาศเป็นตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพของชิ้นงานด้านฟองอากาศ เนื่องจากแรงสูญญากาศจะช่วยในการดูดสารระเหยประเภทน้ำมันที่ผสมกับพีวีซีที่ไม่สามารถดูดซับได้หมด

2.7.7 ความเร็วเครื่องลาก (Pullout Speed)

ความเร็วเครื่องลากเป็นตัวแปรที่มีผลต่อขนาดของท่อพลาสติกพีวีซี เนื่องจากถ้าทำการปรับความเร็วของเครื่องลากให้มีความเร็วสูง ความหนาของท่อพลาสติกพีวีซีจะมีขนาดบาง และถ้าทำการปรับความเร็วของเครื่องลากให้มีความเร็วต่ำจะทำให้ความหนาของท่อพลาสติกพีวีซีมีขนาดหนาขึ้น

2.8 การปรับปรุงกระบวนการผลิตตามแนวทางซิกซ์ ซิกม่า

การที่จะบรรลุวัตถุประสงค์เพื่อที่จะทำให้เกิดความสำเร็จตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ตามวิธีการทางซิกซ์ ซิกมา จะต้องมีการปรับปรุงกระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่องในทุก ๆ จุดของการปฏิบัติงานซึ่งจะต้องอาศัยกลยุทธ์ในการประยุกต์ใช้วิธีการต่าง ๆในวิชาสถิติซึ่งในวิธีการทางซิกซ์ซิกม่า มาประยุกต์ใช้กลยุทธ์ 5 ขั้นตอนที่สำคัญเพื่อการปรับปรุงกระบวนการผลิต [14] คือ

1. ขั้นตอนการกำหนดแผนงานในการแก้ไขปัญหา (Define Phase)
2. ขั้นตอนการวัดเพื่อระบุสาเหตุของปัญหา (Measurement Phase)
3. ขั้นตอนการวิเคราะห์เพื่อระบุสาเหตุของปัญหา (Analysis Phase)
4. ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improvement Phase)
5. ขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิต (Control Phase)

โดยรายละเอียดและเครื่องมือทางสถิติที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในแต่ละกิจกรรมทั้ง 5 ขั้นตอน มีดังนี้

2.8.1 ขั้นตอนการกำหนดแผนงานในการแก้ไขปัญหา (Define Phase)

เป็นช่วงที่มีความสำคัญที่สุด โดยมีการกำหนดความต้องการของลูกค้าและเป้าหมายของกระบวนการ/ผลิตภัณฑ์/บริการ รวมทั้งการระบุรายละเอียดปัญหาและผลกระทบต่อธุรกิจ ซึ่งขั้นตอนการกำหนดแผนงานในการแก้ไขปัญหานี้มีรายละเอียดและเครื่องมือที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

การกำหนดปัญหา (Problem Statement)

ระบุปัญหาที่ต้องการทำการศึกษาและแก้ไข ซึ่งปัญหานั้นต้องสัมพันธ์ในส่วนที่มีผลกระทบต่อลูกค้า หรือทางด้านคุณภาพ (CTQ's: Critical to Quality) โดยจะเป็นข้อความที่แสดงถึงปัญหาที่ควรเป็นคำตอบของคำถามเหล่านี้ คือ เกิดอะไรที่ผิดปกติ ปัญหาเกิดขึ้นที่ใด ปัญหานั้นรุนแรงเพียงใด และอะไรคือปัญหาที่มีผลต่อธุรกิจ เป็นต้น

แผนภาพกระบวนการผลิต (Process Map)

ส่วนนี้เป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการที่จะหาสาเหตุของปัญหา ซึ่งการสร้างแผนภาพของกระบวนการผลิต จะต้องทำอย่างละเอียดทุกขั้นตอนในการประกอบผลิตภัณฑ์ เพื่อที่จะสามารถระบุตัวแปรสำคัญ ใน กระบวนการผลิต (Process Input) และผลลัพธ์ในกระบวนการผลิต (Process Output) ขั้นตอนนี้จึงเปรียบ เสมือนเป็นการตรวจวิเคราะห์ของกระบวนการผลิตซึ่งอาจจะทำให้ทราบถึง สิ่งผิดปกติ หรือสาเหตุที่แท้จริงของความบกพร่องในการผลิต ที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่จะนำไปสู่การวิเคราะห์ปัญหาโดยการทดลองโดยการตั้งสมมติฐาน หรือโดยการใช้ข้อมูลทางด้านสถิติ ที่มีการเก็บรวบรวมอย่างถูกวิธี การสร้างแผนการไหลของผลิตภัณฑ์ต้องใช้การระดมสมอง และทีมงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อที่จะได้รายละเอียดที่สำคัญและครบถ้วนของกระบวนการผลิต ซึ่งแผนภาพการไหลนั้นจะต้องสามารถ บอกถึงสาเหตุแห่งความบกพร่องของผลิตภัณฑ์ (Cause of Poor Quality: COPQ)

การระดมสมอง (Brainstorming)

ในการเริ่มต้นทีมงานจะรวมอยู่ในห้องซึ่งมีโต๊ะที่วางอยู่ในลักษณะที่สามารถทำการสนทนาโต้ตอบกันได้ (มักใช้เป็นรูปตัวยู) การระดมสมองนั้นสมาชิกที่ถูกเลือกมานั้นควรจะมีมุมมองที่แตกต่างกันหรือมีหน้าที่ความรับผิดชอบที่ต่างกันในเรื่องที่จะทำการระดมสมอง โดยคำถามหรือปัญหาจะถูกเขียนให้ทุก ๆ คนสามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจนภายในห้อง โดยปกติในการระดมสมองจำเป็นจะต้องมีผู้นำในการระดมสมอง ซึ่งข้อควรปฏิบัติที่ผู้นำในการระดมสองควรจะต้องจดจำไว้ก่อนเริ่ม คือ

1. ควรจะถามความคิดเห็นของสมาชิกคนละความคิดเห็นโดยการวนถาม โดยจะถามวนต่อเนื่องกันไป จนกระทั่งสมาชิกทุกคนไม่มีความคิดเห็นที่จะเสนอแล้ว
2. ก่อนที่จะทำการสรุปว่าความคิดเห็นใดตรงกับประเด็นปัญหาหรือไม่ ความคิดเห็นที่ถูกนำเสนอขึ้นมานั้นจะต้องได้รับการประเมินหรือวิเคราะห์ในทุก ๆความคิดเห็น
3. พยายามสนับสนุนความคิดเห็นที่ค่อนข้างแหวกแนว เพราะการที่จะแสดงความคิดเห็นที่แหวกแนวนั้นค่อนข้างที่จะยากที่จะนำเสนอออกมาได้ ดังนั้นไม่ควรที่จะจำกัดความคิดเห็นเหล่านี้ และความคิดเห็นที่แหวกแนวนี้เองจะเป็นตัวสนับสนุน ให้มีการแสดงความคิดเห็นที่แหวกแนวอื่นตามมา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4. พยายามทำให้บรรยากาศในการระดมสมองเป็นบรรยายการที่สนุกสนานและไม่เป็นทางการมาก
5. จุดมุ่งหมายที่สำคัญคือต้องการจำนวนความคิดที่มากที่สุด ไม่ใช่คุณภาพ เพราะเมื่อยิ่งมีความคิดเห็นมากเท่าใด โอกาสที่จะเป็นความคิดเห็นที่ดีก็จะมีมากขึ้นด้วย
6. พยายามค้นหาแนวทางการปรับปรุงและรวมกลุ่มความคิดเห็นให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน

2.8.2 ขั้นตอนการวัดเพื่อระบุสาเหตุของปัญหา (Measure Phase)

ผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

ผังแสดงเหตุและผล คือ ผังที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะทางคุณภาพกับปัจจัยต่าง ๆ (ที่เกี่ยวข้อง) กล่าวคือ คุณลักษณะทางคุณภาพคือผลที่เกิดขึ้นจากสาเหตุคือปัจจัยต่าง ๆ ที่เป็นต้นตอของคุณลักษณะอันนั้นการสร้างผังแสดงเหตุและผลที่ จะเอื้อประโยชน์ต่อการแก้ปัญหาได้จริง ๆ ไม่ใช่เรื่องง่าย ผู้ที่สามารถสร้างผังก้างปลาได้ถูกต้อง คือ ผู้ที่มีโอกาสแก้ปัญหาทางคุณภาพได้ถูกต้องเช่นเดียวกันข้อสังเกตเกี่ยวกับผังแสดงเหตุและผล จะต้องทำการแยกแยะและเลือกสรรเพื่อหาปัจจัยอันเป็นสาเหตุแห่งปัญหานั้นควรใช้การปรึกษาหารือในกลุ่มคนหลาย ๆ ความคิดมาร่วมกันเพราะการละเว้นหรือมองข้ามปัจจัยบางอย่างไปจะก่อผลเสียภายหลังได้ (อาจทำให้การแก้ปัญหาผิดจุดได้) เลือกคุณลักษณะของปัญหาและปัจจัยสาเหตุในรูปขนาด หรือ ปริมาณที่สามารถใส่หน่วยวัดลงไปได้เพราะในที่สุดแล้วผลสรุปจากผังก้างปลาจะต้องนำไปแก้ไขปรับปรุงตัวแปรต่าง ๆ ในการผลิต การนำผังแสดงเหตุและผลไปใช้งานจะต้องก่อนสรุปปัญหาควรใส่น้ำหนักหรือคะแนนให้กับปัจจัยสาเหตุแต่ละตัวเพื่อได้ใช้การจัดลำดับความสำคัญของปัญหาซึ่งแนวทางเสนอแนะนี้จะนำไปผังแสดงเหตุผลที่ได้ไปเชื่อมโยงกับการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA)

ตารางความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและผล (Cause and Effect Matrix)

เป็นตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตอบสนองที่ทำการศึกษา (KPOV) กับปัจจัยนำเข้าที่สำคัญต่าง ๆ ที่ได้จากการระดมความคิดโดยใช้แผนภาพสาเหตุและผล โดยจะวิเคราะห์ถึงระดับความสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญนี้ที่มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองต่าง ๆ ที่พิจารณาโดยใช้ความรู้ความชำนาญและประสบการณ์ในการปฏิบัติงานของผู้ร่วมระดมความคิด ผลลัพธ์ที่สำคัญของการทำตารางความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและผลนี้จะได้จากแผนภูมิพาเรโตซึ่งเรียงปัจจัยตามลำดับผลกระทบที่มีต่อปัญหาที่ทำการพิจารณา ทำให้สามารถที่จะพิจารณาเลือกปัจจัยนำเข้าที่สำคัญในระดับต้นๆ มาทำการแก้ไขก่อน หรือนำผลที่ได้มาใช้ในการประเมินแผนการควบคุมคุณภาพของกระบวนการผลิตได้โดยมีวิธีการสร้างตารางความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและผล ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1. แจกแจงตัวแปรตอบสนองที่สนใจในการศึกษา ซึ่งตัวแปรที่มีความสำคัญต่อความพึงพอใจของลูกค้าหรือกลุ่มผู้ทำการวิเคราะห์ให้ความสำคัญ โดยเขียนไว้ในส่วนของบนของตาราง โดยรายการเหล่านี้ต้องเป็นสิ่งที่คณะทำงานหรือลูกค้าเชื่อว่ามีความสำคัญ
2. ทำการจัดลำดับความสำคัญของตัวแปรตอบสนองที่ได้แจกแจงนี้ โดยในการให้คะแนนโดยทั่วไป มักจะใช้สเกล 1 ถึง 10 ซึ่งตัวเลขที่มีค่ามากจะแสดงถึงตัวแปรตอบสนองที่มีความสำคัญมากที่สุดจะได้คะแนนรวมมากที่สุด ซึ่งสำคัญต่อการพึงพอใจของลูกค้ามากเช่นเดียวกัน
3. ทำการแจกแจง ปัจจัยนำเข้าที่มีแนวโน้มจะเป็นสาเหตุ (Potential cause) ทั้งหมดที่เป็นไปได้ใน ช่องทางซ้ายมือของตารางซึ่งปัจจัยนำเข้าที่สำคัญของตารางเหล่านี้จะได้ได้มาจากการระดม ความคิดของกลุ่มสมาชิก โดยใช้แผนภาพสาเหตุและผลช่วยในการพิจารณาบ่งชี้
4. ให้คะแนนลำดับความสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่มีผลกระทบต่อตัวแปร ตอบสนองต่างๆ ที่ได้แจกแจงไว้ในส่วนบนของตาราง โดยเกณฑ์การให้คะแนนของความสัมพันธ์มีดังต่อไปนี้

    1 = ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนั้นกับตัวแปรตอบสนอง

    3 = มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนั้นกับตัวแปรตอบสนองน้อยมาก

    5 = มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนั้นกับตัวแปรตอบสนองปานกลาง

    7 = มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนั้นกับตัวแปรตอบสนองมาก

    9 = มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนั้นกับตัวแปรตอบสนองมากที่สุด

    จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

    ซึ่งการให้คะแนนนี้ขึ้นกับความรู้ความชำนาญและประสบการณ์ของกลุ่มผู้ทำการวิเคราะห์

    CHULALONGKORN UNIVERSITY
5. รวบรวมคะแนนและจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่มีต่อตัวแปรตอบสนอง โดยใช้แผนภูมิพาเรโตช่วยในการวิเคราะห์ผลให้อัตราเป็นตัวเลข(ความสัมพันธ์ร่วม) แสดงอิทธิพลของปัจจัยนำเข้าแต่ละตัวที่มีต่อตัวแปรตอบสนองแต่ละตัวภายใต้กรอบในตารางที่พิจารณา โดยการกำหนดเกณฑ์นี้จะขึ้นกับประสบการณ์ของคณะทำงาน

<u>แผนภูมิพาเรโต (Pareto Chart)</u>

แผนภูมิพาเรโตเป็นแผนภูมิที่ใช้สำหรับตรวจสอบปัญหาต่าง ๆที่เกิดขึ้นในสถานที่ทำงานหรือโรงงาน เพื่อสังเกตดูว่าปัญหาใดเป็นปัญหาที่สำคัญที่สุดและรองๆลงมาตามลำดับ โดยนำปัญหาหรือสาเหตุเหล่านั้นมาจัดเป็นหมวดหมู่และแบ่งแยกประเภทจากนั้นทำการเรียงลำดับตามความสำคัญจากมากไปหาน้อยโดยการแสดงขนาดความสำคัญมากน้อยด้วยกราฟแท่งและค่าสะสมด้วยกราฟเส้นได้รับการคิดค้นขึ้นในปีค.ศ. 1897 โดยนักเศรษฐศาสตร์ชาวอิตาเลียนท่านหนึ่งที่มีชื่อว่า วี.พาเรโต

(V. Pareto) ที่ได้ทำการแสดงผลการวิจัยชิ้นหนึ่งของเขาโดยการแสดงให้เห็นว่าการกระจายรายได้ของประชากรแตกต่างกันซึ่งต่อมาดร.จูรานชาวอเมริกันก็ได้นำเอาหลักการของพาเรโตมาใช้ในวิชาการควบคุมคุณภาพ เพื่อแสดงให้เห็นว่าสาเหตุความบกพร่องเพียงไม่กี่สาเหตุกลับก่อให้เกิดความสูญเสียมากมายขณะที่ความสูญเสียเล็ก ๆ น้อย ๆที่เหลือกลับมาจากสาเหตุจำนวนมากและเรียกวิธีการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุของความบกพร่องกับ ความสูญเสียที่เกิดขึ้นนี้ว่าการวิเคราะห์แบบพาเรโต(Pareto Analysis) และเรียกรูปวาดหรือ แผนภูมิที่แสดงความสัมพันธ์นี้ว่าแผนภูมิพาเรโต(Pareto Diagram)

2.8.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์เพื่อระบุสาเหตุของปัญหา (Analysis Phase)

ระยะนี้เป็นการวิเคราะห์ (Analyze)โดยมุ่งวิเคราะห์จำแนกหาสาเหตุหลักของปัญหาต่างที่เกิดขึ้นโดยใช้ข้อมูลที่ได้รับจากขั้นตอนการวัดเพื่อระบุสาเหตุของปัญหา เพื่อใช้ระบุปัจจัยที่เป็นสาเหตุหลักของความผันแปรที่เกิดขึ้นในกระบวนการ โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางสถิติซึ่งงานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) ในระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาดังนั้นจึงนำเสนอทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบการทดลอง ดังนี้

<u>**การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments)**</u>

เป็นการออกแบบการทดลองเพื่อตรวจสอบว่าปัจจัย (Factor) ใดหรือตัวแปร (Input Variable) ใด มีผลต่อสิ่งที่ให้ความสำคัญหรือความสนใจในผลิตภัณฑ์ที่ออกมา (Output Response) โดยปัจจัย (Factor) ในการผลิตสามารถแบ่งได้เป็น 2 ปัจจัย ดังนี้

1. ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในการผลิต
2. ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่ไม่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ ในการผลิตอันเนื่องมาจากเทคโนโลยีไม่ทันสมัยพอ ต้นทุนในการควบคุมสูงมากหรือไม่มีความสามารถควบคุมเพราะเกิดจากสภาพแวดล้อมในการผลิต ฯลฯ

<u>**วัตถุประสงค์ของการออกแบบการทดลอง**</u>

1. หาตัวแปรที่มีผลต่อค่าตอบสนอง Y
2. หาวิธีการตั้งค่าของ X ที่มีผลต่อค่าตอบสนอง Y เพื่อให้ได้ Y ตามค่าที่ต้องการ
3. หาวิธีการตั้งค่าของ X ที่มีผลต่อค่าตอบสนอง Y เพื่อให้ได้ค่า Y ผันแปรน้อยที่สุด
4. หาวิธีการตั้งค่าของ X ที่มีผลต่อค่าตอบสนอง Y เพื่อให้ผลที่ไม่สามารถควบคุมได้มีค่าน้อยที่สุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

<u>คำจำกัดความ (Definition)</u>

1. อิทธิพลหรือผล (Effect) หมายถึง ผลของตัวแปรต้น (ปัจจัยที่ทราบค่า สามารถกำหนดและเปลี่ยนแปลงได้) ที่มีต่อตัวแปรตาม (คุณลักษณะที่สามารถทราบได้หลังจากการทดลองในแต่ ละครั้งหรือค่าที่ต้องการวัด)
2. ปัจจัย (Factor) หมายถึง คุณสมบัติใด ๆ ที่คาดว่ามีอิทธิผลต่อผลการทดลอง ของคุณลักษณะในตัวผลิตภัณฑ์
3. ระดับของปัจจัย (Level of Factor) หมายถึง สภาวะต่าง ๆ ของปัจจัยหนึ่งๆ ที่ทำการกำหนดในการทดลอง
4. ปัจจัยรบกวน (Noise Factor) หมายถึง ปัจจัยที่ก่อให้เกิดผลกระทบเล็ก ๆ น้อย ๆ ในการทดลอง ที่ไม่ทราบลักษณะและไม่สามารถควบคุมได้

<u>หลักในการออกแบบการทดลอง</u>

1. การทำแบบสุ่ม (Randomization) คือ การทำให้โอกาสในการเก็บข้อมูลของข้อมูลในแต่ละการทดลองเท่าๆ กัน เพื่อกระจายผลของปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ ให้กับข้อมูลทุกระดับที่ศึกษาให้เท่ากัน โดยการทำการทดลองแบบสุ่มนี้ยังสามารถแบ่งออกได้อีก 3 วิธีคือ
   1.1 การทำแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete randomization)
   1.2 การทำแบบสุ่มอย่างง่าย (Sample randomization)
   1.3 การทำแบบสุ่มแบบสมบูรณ์ภายในบล็อก (Complete randomization in blocks)
2. การทำซ้ำ (Replication) คือ การทำการทดลองซ้ำในแต่ละข้อมูล เพื่อกำจัดเอาผลของปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ออก
3. การบล็อก (Blocking) คือ การจัดกลุ่มทำการเก็บข้อมูลเป็นช่วง ๆ เพื่อลดผลของปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ แต่ไม่จำเป็นที่จะต้องมีการทำเสมอไป

<u>ลำดับขั้นตอนในการออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลอง</u>

ลำดับที่ 1 การนิยามปัญหา เป็นการระบุว่าความต้องการในการผลิตคืออะไร ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตคืออะไร ซึ่งการนิยามปัญหาในที่นี้ จะเกี่ยวโยงไปถึงวัตถุประสงค์ในการทดลอง

ลำดับที่ 2 การเลือกปัจจัยที่มีผลและกำหนดระดับของปัจจัย เป็นการใช้หลักการทางทฤษฎีและประสบการณ์ที่เคยปฏิบัติมาในการผลิต เพื่อระบุว่ามีปัจจัยใดบ้างที่น่าจะมีผลต่อการทดลองและในแต่ละปัจจัยนั้น ควรจะมีช่วงในการทดลองอย่างไร เพื่อระบุ ระดับของปัจจัยในการทดลองสุดท้าย คือ ระบุว่าระดับที่ใช้ควรเป็นแบบใด แบบกำหนด (Fixed levels) แบบสุ่ม (Random levels) หรือแบบผสม (Mixed levels)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

แบบกำหนด (Fixed levels)	หมายถึง	ระดับของปัจจัยที่สามารถควบคุมหรือกำหนดค่าได้แน่นอน
แบบสุ่ม (Random levels)	หมายถึง	ระดับของปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมหรือกำหนดค่าได้แน่นอน
แบบผสม (Mixed levels)	หมายถึง	การผสมผสานระดับของปัจจัยที่เป็นทั้งแบบกำหนดได้ และแบบสุ่ม

ลำดับที่ 3 การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Response variables) ในการเลือกตัวแปรตอบสนอง ผู้ทำการทดลองจะต้องเลือกตัวแปรที่สามารถให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการศึกษา และการวัดค่านั้นจะต้องแม่นยำ รวมทั้งความถูกต้องของเครื่องวัดด้วย

ลำดับที่ 4 การเลือกแบบการทดลองจะต้องพิจารณาถึงจำนวนข้อมูล ที่ทำซ้ำในการทดลองความ ข้อจำกัดในการสุ่ม (Randomization) และการบล็อก (Blocking) ที่เกี่ยวข้องทั้งนี้ต้องนำมาเกี่ยวโยงกันในกันในด้านความเสี่ยง รวมไปถึงต้นทุนที่ใช้ในการทดลองสำหรับการเลือกปัจจัยต่าง ๆ

ลำดับที่ 5 การทำการทดลอง ในขณะทำการทดลอง จะต้องปฏิบัติตามหลักการที่ได้ออกแบบไว้ นั่นคือ ต้องมีการสุ่ม การทำซ้ำ และข้อควรระวังในขณะทำการทดลองคือ ความถูกต้องของเครื่องมือวัดและความสม่ำเสมอในการทดลอง เพื่อให้ความผิดพลาด (Error) ที่ออกมามีน้อยที่สุด

ลำดับที่ 6 การวิเคราะห์ข้อมูล ในการวิเคราะห์ข้อมูล จะใช้ความรู้ทางด้านสถิติเข้ามาวิเคราะห์และสรุปผล รวมทั้งตัดสินความถูกต้องของข้อมูลที่เกิดขึ้น ก่อนที่จะตีความข้อมูลพึงระลึกเสมอว่า วิธีทางสถิติไม่สามารถบอกได้ว่าปัจจัยใดมีผล (Effect) เท่าใดได้แน่นอน แต่เป็นเพียงเครื่องมือที่ให้แนวทางในการวิเคราะห์ภายใต้ความเชื่อมั่นเป็นเปอร์เซ็นต์ในการสรุปผล

ลำดับที่ 7 สรุปผลและเสนอแนะ เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูล แล้วต้องสรุปผลของการวิเคราะห์ ซึ่งอาจแสดงในรูปของกราฟ ตาราง แผนภูมิ ฯลฯ และข้อเสนอแนะ เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตให้ดีขึ้น

การเลือกแบบการทดลอง แบ่งได้เป็น 3 กรณี ได้แก่

1. แผนการทดลองแบบสมบูรณ์ (Complete Randomized Design) ใช้กับการทดลองปัจจัยเดียว (Single factor experiment) หรือปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ที่มีขนาดไม่มากนัก และไม่มีปัจจัยรบกวน ซึ่งการทดลองจะทำโดยยึดหลักการทดลองแบบสุ่ม (Randomization) และการดำเนินการทำซ้ำ (Replication)

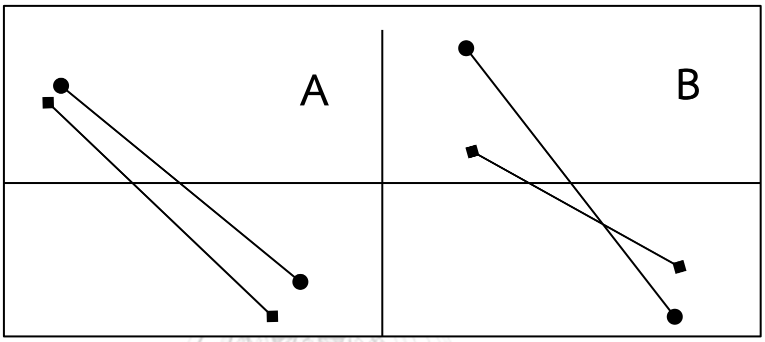
2. แผนการทดลองแบบบล็อกสุ่ม (Randomized Complete Block Design) ใช้กับการทดลองที่มีปัจจัยเดียว และทราบว่ามีปัจจัยรบกวน (Nuisance factor) มีหลักการคือ

2.1 ทำการสุ่มทดลองทุกครั้ง (Random)

2.2 ทำการทดลองซ้ำตามจำนวนซ้ำที่กำหนด (Replicate)

2.3 ทำการบล็อก (Blocking) เพื่อลดปัจจัยรบกวน ซึ่งอาจจะทำการบล็อกมากกว่าหนึ่ง บล็อกก็ได้ขึ้นกับรูปแบบของการทดลอง

3. แผนการทดลองแบบแฟกทอเรียล (Factorial Design) ใช้กับการทดลองที่มีปัจจัย ตั้งแต่ 2 ปัจจัย ซึ่งเป็นการทดลองที่มีหลายปัจจัย (Multiple factor experiment) ดังนั้นนอกจากจะเกิดอิทธิพลของปัจจัยหลัก (Main effect) ยังอาจเกิดอิทธิพล (effect) ของอีกปัจจัยหนึ่งเปลี่ยนแปลงด้วย ตัวอย่างการเกิดอิทธิพลของปัจจัยร่วมหรือ ปฏิสัมพันธ์ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 การทดลองเชิงแฟคทอเรียลที่ไม่มีอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย (รูป A)
การทดลองเชิงแฟคทอเรียลที่มีอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย (รูป B)

แผนการทดลองแบบแฟกทอเรียลทั่วไป (Factorial Design) มีรูปแบบทั่ว ๆ ไป คือ AxBxCx... แฟกทอเรียล เช่น 3x2x2 แฟกทอเรียล รูปแบบของแผนการทดลองแบบแฟกทอเรียล ที่สำคัญ ได้แก่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1. 2^k แฟกทอเรียล ใช้กับการทดลองหลายปัจจัย ที่กำหนดระดับของปัจจัยเพียง แค่ 2 ระดับ ในปัจจัยทั้งหมด k ปัจจัย เช่น 2^2 แฟกทอเรียล, 2^3 แฟกทอเรียล เป็นต้น

2. 3^k แฟกทอเรียล ใช้กับการทดลองหลายปัจจัย ที่กำหนดระดับของปัจจัยไว้เพียง 3 ระดับ ในปัจจัยทั้งหมด k ปัจจัย เช่น 3^2 แฟกทอเรียล, 3^3 แฟกทอเรียล เป็นต้น

เหตุที่ใช้เนื่องจากการทดลองแบบ 2^k แฟกทอเรียล นั้นเหมาะสมกับรูปแบบ (Model) ที่มีความเป็นเส้นตรง (Linearity) จึงมีความถูกต้องในการตีความข้อมูลได้อย่างถูกต้อง

<u>หลักการทางสถิติที่จำเป็นในการวิเคราะห์ข้อมูล</u>

1. การทดสอบสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R-square) เป็นการวิเคราะห์ว่าการออกแบบที่ได้ออกแบบขึ้นมาในใช้ในการทดลองนั้น มีความเหมาะสมเพียงไร ซึ่งในการทดลองทุกครั้ง จะต้องมีความผันแปรที่อธิบายไม่ได้ (Unexplained variable) หรือความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นเสมอการออกแบบการทดลองที่ดีจะต้องทำให้เกิดความผันแปรที่อธิบายไม่ได้น้อยที่สุด

$$\text{การทดสอบสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R-square)} = \frac{\text{ความผันแปรที่อธิบายได้}}{\text{ความผันแปรทั้งหมด}} \times 100\%$$

ถ้าค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R-square) ต่ำ สามารถแก้ไขโดย

1.1 เพิ่มจำนวนซ้ำในการทดลอง

1.2 ตรวจสอบหาปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง แล้วออกแบบการทดลองใหม่

1.3 ถ้าทำการเพิ่มปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-square) ยังต่ำอยู่ แสดงว่าผลจากปัจจัยรบกวน (Noise factor) มีมาก จึงควรทำการบล็อก (Blocking) เพื่อลดผลปัจจัยรบกวนให้น้อยที่สุด

2. การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ (Model Adequacy Checking) จากสมการ

$$Y_{\mu} = \mu + \tau_{\mu} + \varepsilon_{\mu}$$

เมื่อ μ = ค่าเฉลี่ย

τ = ผลจากทรีตเมนต์ i

ε = ค่าความคลาดเคลื่อน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ในการออกแบบการทดลองส่วนใหญ่ มักจะต้องสมมุติฐานในการวิเคราะห์จากการที่ y (ตัวแปรตอบสนอง) ให้มีการกระจายแบบแจกแจงปกติ (Normal distribution) และในการที่ y จะมีการกระจายแบบนี้ ε (ค่าความคาดเคลื่อน) มีการกระจายแบบปกติ และต้องเป็นการกระจายที่เป็นอิสระด้วย คือมี ε_{μ} - NID (0, σ^2)

การตรวจสอบ ε_{μ} มี 3 ขั้นตอนคือ

1. การตรวจสอบการกระจายว่าเป็นการแจกแจงปกติ (Normal distribution) หรือไม่โดย

- ทดสอบแบบไครส์แควร์ (λ^2 – Goodness of Fit test)
- ทดสอบแบบโคโกโมรอฟ- สเมอร์นอฟ (Kolgomorov-Smirnov test)
- ทดสอบโดยใช้กระดาษตรวจสอบการแจกแจงปกติ (Normal Probability Plot: NOPP)

2. การตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independence) สามารถตรวจสอบได้โดยการพิจารณาจาก แผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับลำดับของการเก็บข้อมูล (Observation Order) โดยการกระจายตัวของส่วนตกค้างควรมีรูปแบบที่เป็นอิสระต่อกัน ไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม หรือมีรูปแบบแน่นอน
3. การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน (Variance Stability) สามารถตรวจสอบได้ โดยใช้การพิจารณาแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับค่าที่ถูกฟิต (Fitted Value) ซึ่งแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม หรือมีการกระจายตัวที่รูปแบบกรวยปากเปิด

<u>การทดสอบสมมติฐาน (Test of Hypothesis)</u>

ในการตัดสินใจที่มีความตั้งใจก่อนการทดลองเพื่อใช้ในการยืนยันความเชื่อ อย่างใดอย่างหนึ่งสามารถ ดำเนินการโดยใช้ตัวแบบการตัดสินใจที่เรียกว่า การทดสอบสมมติฐาน โดยผู้ทำการทดลองจะทำการ ตั้งสมมติฐาน โดยอาจจะใช้ประสบการณ์ในอดีต จากทฤษฎีตัวแบบของกระบวนการที่ทำการศึกษา หรือพิจารณาจากข้อมูลกำหนดเฉพาะทางวิศวกรรมโดยสมมติฐานที่จะทำการทดสอบอาจจะเป็น แบบสองด้าน หรือด้านเดียว โดยจะต้องกำหนด H_0 สมมติฐานหลัก (Null Hypothesis) และ H_1 สมมติฐานอื่น (Alternative Hypothesis) เช่น

H_0: ปัจจัยทางด้านอุณหภูมิไม่มีผลต่อตัวแปร ($\mu_1 = \mu_2$)

H_1: ปัจจัยทางด้านอุณหภูมิมีผลต่อตัวแปร ($\mu_1 \neq \mu_2$)

จากนั้นผู้ทำการทดลองหรือผู้ทดสอบสมมติฐาน จะกำหนดวิธีการตัดสินใจ ด้วยการพิจารณาตัวสถิติสำหรับการทดสอบ และพิจารณาถึงการแจกแจงของสิ่งตัวอย่าง ซึ่งอธิบายถึงความผันแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ระหว่างเงื่อนไขของการทดลอง หรือ รีโปรดิวซิบิลิตี้ (Reproducibility) จากนั้นทดสอบด้วยการพิจารณาค่าความเสี่ยงของความผิดพลาดแบบที่ 1 (Type I Error) แทนด้วยสัญลักษณ์ α ซึ่งเป็นความผิดพลาดที่ปฏิเสธสมมติฐานหลัก เมื่อสมมติฐานหลักถูกต้อง และความผิดพลาดแบบที่ 2 (Type II Error) แทนด้วยสัญลักษณ์ β ซึ่งเป็นความผิดพลาดที่ยอมรับสมมติฐานหลักเมื่อสมมติฐานหลักไม่ถูกต้อง แล้วออกแบบการทดลองโดยให้ค่าความเสี่ยง β มีค่าต่ำตามที่กำหนด จากนั้นดำเนินการทดลองและทำการตัดสินใจตามที่ได้กำหนดไว้ คือ หากค่าของตัวสถิติหรือข้อมูล อยู่ในช่วงการยอมรับสมมติฐาน อันเป็นผลเนื่องมาจากความผันแปรที่เกิดจากสาเหตุด้านรีโปรดิวซิบิลิตี้ ของการทดลอง ให้ทำการยอมรับสมมติฐาน แต่ถ้าหากค่าของตัวสถิติอยู่บริเวณแห่งการปฏิเสธ ให้ทำการปฏิเสธสมมติฐาน และยืนยันว่า สมมติฐานที่กำหนดไว้ไม่ถูกต้อง

<u>การวิเคราะห์ความแปรปรวน</u>

การวิเคราะห์ความแปรปรวน เป็นแนวคิดที่ใช้การหาความแปรปรวนโดยรวม แล้วแยกออกเป็นความแปรปรวนอันเนื่องมาจากปัจจัยที่ได้รับการควบคุมหรือทรีตเมนต์ และความแปรปรวนอันเนื่องมาจาก สาเหตุที่ไม่ได้รับการควบคุมขณะทำการทดลองหรือรีพีททะบิลิตี้ (Repeatability) และพิจารณาว่า เทอมที่เป็นความแปรปรวนอันเนื่องมาจากทรีตเมนต์เทียบกับความแปรปรวนอันเป็นผลจากสาเหตุที่ไม่ได้ควบคุม หรือรีโปรดิวซิบิลิตี้ ว่ามีค่ามากหรือไม่ โดยสามารถอธิบายด้วยตัวแบบดังนี้

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad ; i= 1, 2, 3.....a ; j = 1, 2, 3..... n \qquad (2.1)$$

โดย Y_{ij} = ผลการทดลองของทรีตเมนต์ i ในการซ้ำครั้งที่ j

μ = พารามิเตอร์ร่วมสำหรับทุกทรีตเมนต์ซึ่งหมายถึงค่าเฉลี่ยทั้งหมด

τ_i = ผลจากทรีตเมนต์ i

ε_{ij} = ค่าความคลาดเคลื่อนในข้อมูลซึ่งเกิดจากสิ่งที่ไม่สามารถควบคุมได้

ซึ่งเรียกสมการที่ 2.1 ว่าตัวแบบการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-Way classification ANOVA model) โดยจะสามารถกำหนดสมมติฐานได้ว่า

H_0: ปัจจัยที่พิจารณาไม่มีผลต่อตัวแปรสนอง

H_1 : ปัจจัยที่พิจารณามีผลต่อตัวแปรสนอง

หรือ

$$H_0 : \mu + \sigma = \mu + \tau_2 = \ldots = \mu + \tau_a$$

$$H_1 : \mu + \tau_1 \neq \mu + \tau_2 \neq \ldots \neq \mu + \tau_a$$

ในกรณีที่เป็นอิทธิพลแบบคงที่ ($\sum \tau_i = 0$) จะได้

$$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \ldots = \tau_a = 0$$

H_1: $\tau_i \neq 0$ อย่างน้อย 1 ค่าของ i

ในการทดสอบสมมติฐานจะอาศัยการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยการหาค่าความผันแปรโดยรวม แล้วแตกออกเป็นความผันแปรเนื่องมาจากความคลาดเคลื่อนหรือรีพิททะบิลิตี้ โดยการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

คำนวณค่าความแปรปรวนสามารถหาได้จาก ตารางที่ 2.2 โดยจะปฏิเสธสมมติฐานเพื่อยืนยัน ว่าปัจจัยที่พิจารณามีผลอย่างมีนัยสำคัญเมื่อ

$$F_O > F_{\alpha;\, a-1,\, a(n-1)}$$

ตารางที่ 2.2 ตาราง ANOVA สำหรับตัวแบบอิทธิพลคงที่ประเภทจำแนกทางเดียว

แหล่งความผันแปร	SS	DF	MS	F_0
ทรีตเมนต์	$\sum \frac{Y_{i.}^2}{n} - \frac{Y_{..}^2}{an}$	a-1	$\frac{SStr}{a-1} = MStr$	$F_0 = \frac{MStr}{MSe}$
รีพีททะบิลิตี้	$SSt - SStr$	a(n-1)	$\frac{SSe}{a(n-1)} = MSe$	
ทั้งหมด	$\sum\sum Yij^2 - \frac{Y_{..}^2}{an}$	an-1		

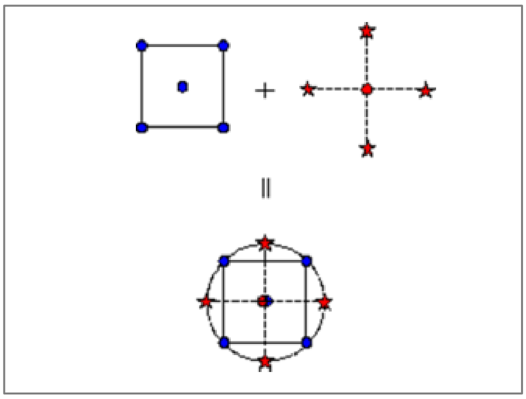
2.8.4 ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase)

Response Surface Methodology (RSM) คือ เทคนิคที่เกิดจากการรวมเทคนิคทางคณิตศาสตร์ และสถิติที่ใช้สร้างตัวแบบ และวิเคราะห์ปัญหาซึ่งตัวแปรตอบสนองได้รับอิทธิพลจาก ตัวแปรหลายๆตัวแปร และมีวัตถุประสงค์ในการหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมของตัวแปรเหล่านั้น ซึ่งจะใช้การทดลองที่มีการออกแบบจำลองอันดับที่สอง แต่เนื่องจากการออกแบบแบบจำลองอันดับที่สองไม่สามารถใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลได้ ดังนั้นในการออกแบบการทดลองจึงเติมการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลให้มีจุดเพียงพอที่จะหาแบบจำลองอันดับที่สองได้ ซึ่งการออกแบบลักษณะนี้มีหลายประเภทดังต่อไปนี้

CHULALONGKORN UNIVERSITY

<u>การออกแบบส่วนผสมกลาง (Central Composite Design: CCD)</u>

โดยทั่วไป CCD จะประกอบไปด้วย 2^k แฟกทอเรียลที่มี fn รัน, 2^k รันในแนวแกนหรือในแนวรูปดาว (Star) และ n_c รันที่จุดศูนย์กลางการพัฒนา CCD ในทางปฏิบัติ ส่วนมากจะเกิดจากการทดลองแบบเป็นอันดับ นั่นคือ การออกแบบ 2^k ถูกนำมาใช้เพื่อฟิตแบบจำลองอันดับหนึ่ง แล้วพบว่าแบบจำลองนี้ไม่เหมาะสมกับข้อมูลนี้ ดังนั้นจึงได้มีการรันเพิ่มขึ้นในแนวแกน เพื่อทำให้สามารถใส่พจน์ควอดราติกลงในแบบจำลองได้ CCD เป็นการออกแบบที่มีประสิทธิภาพมากในการฟิตแบบจำลองอันดับที่สอง มีพารามิเตอร์อยู่สองตัวในการออกแบบที่จะต้องถูกกำหนด นั่นคือระยะทาง α ของการรันในแนวแกนของจุดศูนย์กลางในการออกแบบ และจำนวนของจุดศูนย์กลาง n_c



รูปที่ 2.15 ส่วนของการทดลองแบบส่วนผสมกลาง

<u>CCD รูปทรงกลม</u>

ความสามารถในการหมุนเป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของรูปทรงกลม (Sphere) นั่นคือ จะเป็นการดีมากถ้าจะใช้เกณฑ์ในการออกแบบเช่นนี้เมื่อบริเวณที่เราสนใจอยู่เป็นรูปทรงกลม อย่างไรก็ตาม การออกแบบที่ดีไม่จำเป็นว่าจะต้องทำให้เกิดความสามารถในการหมุนได้อย่างถูกต้องร้อยเปอร์เซ็นต์ ในความเป็นจริงแล้ว สำหรับบริเวณของทรงกลมที่เรากำลังสนใจนั้น ทางเลือกที่ดีที่สุดสำหรับ α หาได้จากการพยากรณ์ความแปรปรวนสำหรับ CCD ซึ่งกำหนดให้ α = k การ ออกแบบเช่นนี้เรียกว่า CCD รูปทรงกลม (Spherical CCD) ซึ่งจะกำหนดให้ทุกจุดที่อยู่ในการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล และการออกแบบในแนวแกนให้อยู่บนพื้นผิวของรูปทรงกลมที่มีรัศมี $\sqrt{k}$

<u>จุดศูนย์กลางของการรันใน CCD</u>

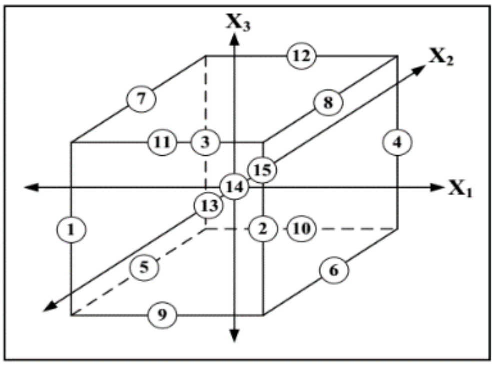
การเลือก α ใน CCD จะถูกกำหนดโดยบริเวณที่เราสนใจ เมื่อบริเวณนี้เป็นรูปทรงกลม การออกแบบจะต้องรวมเอาจุดศูนย์กลางการรันเข้าไว้ด้วย ทั้งนี้เพื่อว่าจะทำให้ค่าความแปรปรวน ของผลตอบที่พยากรณ์ได้มีเสถียรภาพอย่างเป็นที่ยอมรับได้ ตามปกติแล้ว แนะนำให้ใช้ 3-5 รัน

<u>การออกแบบบ็อกซ์ – เบห์นเคน (Box-Behnken Design)</u>

การออกแบบบ็อกซ์ - เบห์นเคน (Box - Behnken Design) เป็นการออกแบบการทดลองสำหรับจำนวนปัจจัย 3 ปัจจัยขึ้นไป โดยปัจจัยใด ๆจะถูกทดลองที่ 3 ระดับ โดยจะสร้างตัวแบบที่มีลักษณะเป็นโพลิโนเมียลกำลังสอง ซึ่งคอมบิเนชั่นของการทดลองจะประกอบด้วยการทดลองที่จุดกึ่งกลาง (Midpoints) ของแต่ล่ะด้านและที่จุดศูนย์กลางของตัวแบบดังแสดงในรูปที่ 2.16 นอกจากนี้การทดลองแบบบ็อกซ์ – เบห์นเคน ยังใช้จำนวนการทดลองที่น้อยกว่าแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง

CHULALONGKORN UNIVERSITY

Run	x1	x2	x3
1	-1	-1	0
2	-1	1	0
3	1	-1	0
4	1	1	0
5	-1	0	-1
6	-1	0	1
7	1	0	-1
8	1	0	1
9	0	-1	-1
10	0	-1	1
11	0	1	-1
12	0	1	1
13	0	0	0
14	0	0	0
15	0	0	0



รูปที่ 2.16 การออกแบบบ็อกซ์ – เบห์นเคนสำหรับสามตัวแปร

จากรูปแสดงให้เห็นถึงการออกแบบบ็อกซ์ – เบห์นเคนที่มีตัวแปร 3 ตัวแปร รูปทางเรขาคณิตของการออกแบบ จะสังเกตเห็นว่า การออกแบบบ็อกซ์ – เบห์นเคน เป็นการออกแบบรูปทรงกลม ที่ทุกจุดวางอยู่บนรูปทรงกลมรัศมี นอกจากนั้นการออกแบบบ็อกซ์ – เบห์นเคน ไม่ได้รวมเอาจุดใด ๆ ที่เป็นจุดยอดของรูปลูกบาศก์ที่สร้างจากขึ้นจากขีดจำกัดบนและล่างของแต่ละตัวแปรเอาไว้ การกระทำเช่นนี้เป็นประโยชน์อย่างมากเมื่อจุดที่อยู่บนมุมของลูกบาศก์ คือ การรวมของปัจจัยระดับ (Factor Level Combination) ที่แพงมากหรือเป็นไปไม่ได้ที่จะทำการทดลอง เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านกายภาพของกระบวนการ

2.8.5 ขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิต (Control Phase)

คุณภาพ (Quality) หมายถึง ความเหมาะสมสำหรับการใช้งาน (Fitness for use) สามารถตอบสนองความต้องการและสร้างความพึงพอใจแก่ลูกค้า (Customer Satisfaction) สำหรับความต้องการของลูกค้าโดยทั่วไปจะกำหนดด้วยข้อกำหนด (Specification) หรือมาตรฐาน (Standard)นั่นคือ คุณภาพเป็นความหมายที่รวมถึงคุณลักษณะและคุณสมบัติเชิงคุณภาพทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ให้เป็นไปตามข้อกำหนด ความต้องการและความคาดหวังของลูกค้าการควบคุมคุณภาพ (Quality Control) ตามความหมายของมาตรฐาน MIL-STD-109 กล่าวว่า การควบคุมคุณภาพ คือ การบริหารงานในด้านการควบคุมวัตถุดิบและควบคุมการผลิต เพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้ผลิตภัณฑ์ที่สำเร็จออกมามีข้อบกพร่องและเสียหายได้ เนื่องจากระบบการผลิตได้แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ วัตถุดิบ กระบวนการผลิต และผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป การควบคุมคุณภาพในระบบการผลิตจึงจำแนกออกเป็น 3 ส่วน คือ

1. การควบคุมคุณภาพวัตถุดิบ
2. การควบคุมคุณภาพกระบวนการผลิต
3. การควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป

วัตถุประสงค์ในการควบคุมคุณภาพ คือ การผลิตสินค้าที่มีคุณภาพหรือมีคุณสมบัติตรงตามที่ลูกค้าต้องการอย่างสม่ำเสมอ โดยอยู่ภายใต้ต้นทุนและเวลาที่เหมาะสมตามแนวทางการบริหารงานสมัยใหม่ที่สร้างความพึงพอใจให้แก่ลูกค้า นั่นก็คือการมอบคุณภาพของสินค้า ดังนั้นไม่ว่าธุรกิจหรืออุตสาหกรรมใดจึงให้ความสำคัญต่อกิจกรรมการจัดการระบบควบคุมคุณภาพ

<u>การควบคุมคุณภาพเพื่อการยอมรับ</u>

การควบคุมคุณภาพเพื่อการยอมรับจำแนกได้ 4 ประเภท [15] ดังนี้

1. การตรวจสอบแบบ 100% คือ การตรวจสอบผลิตภัณฑ์ทีละหน่วย ทุก ๆหน่วย

2. การตรวจสอบเป็นครั้งคราว (Spot-check Inspection) หมายถึง การตรวจสอบแบบเลือกตามใจชอบโดยมิได้วางอยู่บนเกณฑ์ด้านวิทยาศาสตร์ ได้แก่ การตรวจสอบชิ้นงานชิ้นแรก (First-Item Inspection), การตรวจสอบชิ้นงานชิ้นสุดท้าย (End-Item Inspection) และการตรวจสอบแบบเดินตรวจหรือลาดตระเวน (Patrol Inspection) เป็นต้น

3. การให้คำรับรอง (Certification) หมายถึง การควบคุมคุณภาพเพื่อการยอมรับโดยการให้วิศวกรหรือสถาบันที่ลูกค้าให้การยอมรับเป็นผู้ออกประกาศนียบัตรรับรองคุณภาพให้ ซึ่งในปัจจุบันประเทศไทยยังมีสถาบันดังกล่าวไม่มากนักและโดยส่วนใหญ่จะเป็นสถาบันทางราชการ

4. การชักสิ่งตัวอย่างเพื่อการยอมรับ (Acceptance Sampling) หมายถึง การตรวจสอบสิ่งตัวอย่าง (Sample) ที่เลือกขึ้นมาจากงานทั้งหมด โดยวิธีการทางสถิติด้วยกฎของความน่าจะเป็น (Probability) และอาศัยคุณลักษณะของสิ่งตัวอย่างที่ตรวจสอบ ได้ในการอธิบายคุณ ลักษณะของชิ้นงานทั้งหมดที่ต้องการตัดสินใจ

<u>การตรวจสอบคุณภาพ (Inspection)</u>

Juran และ Gryna กล่าวสรุปไว้ว่า การตรวจสอบเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นจะต้องมีในระบบควบคุมคุณภาพ โดยทั่วไปการตรวจสอบมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นการตัดสินใจยอมรับ วัตถุดิบชิ้นส่วนหรือผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ในวัตถุประสงค์อื่น ๆ ได้แก่ เพื่อวัดความถูกต้องของการตรวจสอบ การวัดผลกระบวนการผลิตหรือการตัดสินคุณภาพโดยรวมของผลิตภัณฑ์

การตรวจสอบเป็นกระบวนการ เพื่อค้นหาปัญหาหรือข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น ซึ่งถือว่าเป็นจุดเริ่มต้นของกระบวนการแก้ไขปัญหาและหาแนวทางในการป้องกันปัญหาเหล่านั้น การตรวจสอบมาจากการเฝ้าดู วัด และทำการทดสอบต่าง ๆทั้งนี้เพื่อควบคุมให้ได้ผลิตภัณฑ์ตรงตามมาตรฐานและคุณภาพที่ตั้งไว้ เป้าหมายของการตรวจสอบคือ พยายามรักษาระดับคุณภาพให้อยู่ในระดับมาตรฐานที่กำหนดไว้ และหากไม่สามารถจะทำการตรวจสอบได้ครบถ้วนสมบูรณ์ ก็พยายามควบคุมคุณภาพให้ความผันแปรอยู่ภายในขอบเขตอันหนึ่งที่พอจะยอมรับได้โดยทั่วไปจะสามารถพิจารณาจุดตรวจสอบต่าง ๆ ได้ดังนี้

1. การตรวจรับวัตถุดิบจากผู้ผลิตหรือผู้ขาย (Vendor Inspection)
2. การเริ่มต้นการปฏิบัติการ หรือระหว่างการปรับตั้งเครื่อง (Setup Inspection)
3. การเคลื่อนย้ายสินค้าจากหน่วยงานหนึ่งไปอีกหน่วยงานหนึ่ง (Inspection in Process)
4. กระบวนการที่ต้องคำนึงถึงเรื่องคุณภาพมาก หรือกระบวนการที่มีค่าใช้จ่ายสูง
5. เมื่อดำเนินการผลิตเรียบร้อยแล้วทุกขั้นตอนการผลิต (Finish goods Inspection)

ลักษณะการตรวจสอบสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ ดังนี้

1. การตรวจสอบแบบตามตัวแปรเป็นการตรวจสอบเพื่อควบคุมลักษณะที่สามารถวัดได้ของชิ้นส่วนซึ่งแปรผันอยู่ในขอบเขตอันหนึ่ง เช่น การวัดขนาด ความแข็งแรง ความเร็ว เป็นต้น

2. การตรวจสอบแบบดี – เสียเป็นการตรวจสอบเพื่อควบคุมลักษณะของชิ้นส่วนที่ไม่สามารถวัดได้ในเชิง ปริมาณ เช่น การตรวจสอบการใช้งานของหลอดไฟว่าติด หรือดับ เป็นต้น

3. การตรวจสอบแบบตามจำนวนตำหนิเป็นการตรวจสอบเพื่อการควบคุมตำหนิบนชิ้นส่วนให้อยู่ในขอบเขตที่กำหนด เช่น จำนวนตำหนิบนตัวถังรถยนต์ จำนวนฟองอากาศในแก้ว เป็นต้น

<u>ขั้นตอนการดำเนินการควบคุม</u> มี 4 ขั้นตอน ดังนี้

1. กำหนดมาตรฐานคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการทำการควบคุม
2. การเปรียบเทียบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ กับมาตรฐานคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่กำหนดไว้ว่าได้ผลตามมาตรฐานคุณภาพที่ต้องการหรือไม่
3. การเก็บข้อมูลเกี่ยวกับปัญหาและสาเหตุต่าง ๆที่เกิดขึ้น จากฝ่ายต่าง ๆเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์และทำการแก้ไขปรับปรุงการผลิต
4. การวางแผนการปรับปรุง เป็นขั้นตอนในการพัฒนาปรับปรุงมาตรฐานต่าง ๆ ทั้งส่วนของผลิตภัณฑ์ กระบวนการผลิต เป็นต้น เพื่อเพิ่มระดับคุณภาพให้สู่ระดับที่ดีกว่าเดิม

<u>QC Tools (แบบเก่า)</u>

เครื่องมือทางด้านการควบคุมคุณภาพ (QC) ใช้เป็นกลวิธีในการวิเคราะห์และแก้ปัญหาภายใต้หลักการ 2 ประการ คือทำง่าย และสามารถประยุกต์ใช้ได้หลายแบบเพราะฉะนั้นจึงได้รวบรวมมาเป็นเครื่องมือ 7 อย่างและสามารถแบ่งเป็น 3 กลุ่มประยุกต์ คือ

1. เครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ความเสถียรของข้อมูล เพื่อเป็นการศึกษาหรือยกตัวอย่างเพื่อดูว่าประชากรหรือตัวอย่างที่กำลังศึกษาได้รับการทำให้เป็นมาตรฐานหรือไม่

2. เครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์ความผันแปร เพื่อเป็นการวิเคราะห์ความผันแปรของข้อมูลและแยกสาเหตุที่เป็นปกติและไม่ปกติออกจากกัน

3. เครื่องมือสำหรับวิเคราะห์เหตุและผล เป็นลักษณะเชิงพรรณนา เช่น การกำหนดสมมติฐานของสาเหตุ การพิสูจน์เหตุและผล

<u>ใบตรวจสอบ (Check Sheet)</u> คือเอกสารที่อยู่ในรูปของตาราง แบบฟอร์มหรือแผนภาพใด ๆที่ออกแบบได้ง่ายต่อการจดบันทึกข้อมูล การจำแนกข้อมูลและการวิเคราะห์ผล หรืออาจจะมีลักษณะเป็นตารางแสดงรายละเอียดต่าง ๆที่ต้องการตรวจสอบไว้พร้อมแล้วสามารถนำไปใช้งานโดยไม่ต้องกรอกรายละเอียดใหม่ เพียงแต่กาเครื่องหมายลงในช่องที่ตรงกับรายละเอียดที่จัดไว้เท่านั้นเราสามารถแบ่งชนิดของใบตรวจสอบได้เป็น 3 ลักษณะดังนี้

1. ใบตรวจสอบแสดงลักษณะการกระจายของข้อมูลจากกระบนการผลิต
2. ใบตรวจสอบแสดงจำนวนข้อบกพร่องหรือรอยตำหนิ
3. ใบตรวจสอบตำแหน่งข้อบกพร่องหรือรอยตำหนิ

<u>แผนภูมิควบคุม (Control Chart)</u>

เครื่องมือที่ใช้เพื่อตรวจจับหาข้อบกพร่องที่เป็นแบบเรื้อรังและแบบเฉียบพลัน เป็นการตรวจจับจุดค่าวัดเกิดขึ้นทันทีทันใด ณ เวลาใด ๆ ที่ผิดไปจากค่าขอบเขตควบคุม และเป็นการจับแนวโน้ม(Trend) หรือ วัฏจักรการเกิดความผิดปกติต่าง ๆจึงทำให้สามารถติดตามผลที่ เกิดขึ้นในขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งของกระบนการได้ตลอดเวลาและสามารถวิเคราะห์หาสาเหตุเพื่อแก้ไขได้ทันท่วงทีแผนภูมิควบคุมเป็นแผนภูมิที่มีโครงสร้างประกอบด้วยเส้นควบคุม 3 เส้น ได้แก่ เส้นค่ากลาง (Center Line : CL) คือเส้นที่แสดงจำนวนหรือขนาดของข้อกำหนดหรือเป้าหมายการผลิตและเส้นควบคุมอีก 2 เส้นได้แก่ ขีดจำกัดควบคุมบน (Upper Control Limit : UCL) และขีดจำกัดควบคุมล่าง (Lower Control Limit : LCL) คือเส้นขอบเขตของการควบคุมค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดที่ยอมให้เกิดขึ้น ถ้าผลผลิตที่ได้มีค่าที่กำหนดอยู่ภายในขอบเขตการควบคุมระหว่าง 2 เส้นนี้ แสดงว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้ หากว่าค่าดังกล่าวอยู่นอกขอบเขตการควบคุม จะถือว่าเป็นค่าที่ยอมรับไม่ได้และต้องมีการวิเคราะห์สาเหตุเพื่อปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องดังกล่าวต่อไปแผนภูมิควบคุมเชิงปริมาณหรือ เป็นข้อมูลที่ได้จากการวัด เรียกว่า Variable Control Chart โดยทั่วไปนิยมใช้กัน 2 อย่างคือ แผนภูมิ X bar – R chart สำหรับข้อมูลแบบกลุ่ม และ X-MR สำหรับข้อมูลเชิงเดี่ยว

1. แผนภูมิ X bar เป็นแผนภูมิที่ใช้ควบคุมตรวจสอบและบอกถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์ว่าอยู่ในสภาพปกติหรือไม่
2. แผนภูมิ R chart เป็นแผนภูมิที่ใช้ควบคุมตรวจสอบและบอกถึงการเปลี่ยนแปลงค่าพิสัย (Range) ของผลิตภัณฑ์ว่าอยู่ในสภาพปกติหรือไม่
3. แผนภูมิ X chart เป็นแผนภูมิที่ใช้ควบคุมคุณสมบัติที่วัดได้จากผลิตภัณฑ์
4. แผนภูมิ MR chart เป็นแผนภูมิที่ใช้เพื่อควบคุมค่าการกระจายของคุณสมบัติที่วัดด้วยค่าพิสัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สรุปลักษณะที่สำคัญของแผนภูมิควบคุมมีลักษณะคล้ายกราฟเส้นตรง แต่เนื่องมาจากมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเฝ้าติดตามดูความผันแปรของค่าของข้อมูล จึงมีองค์ประกอบเพิ่มเติม ได้แก่

1. เส้นพิกัดด้านบน (Upper Control Limit: UCL)
2. เส้นพิกัดด้านล่าง (Lower Control Limit: LCL)
3. เส้นกลาง (Center Line: CL)

สิ่งที่สำคัญที่สุดของการควบคุมคุณภาพโดยใช้แผนภูมิ คือ การอ่านหรือตีความหมายจากภาพที่ปรากฏบนแผนภูมิ เพื่อโยงเหตุผลไปที่สภาวะของกระบวนการผลิต ซึ่งได้ผลิตข้อมูลที่เราได้นำมาเขียนเป็นแผนภูมิควบคุมเพราะอาการผิดปกติต่าง ๆ ในกระบวนการผลิตที่จะมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์จะแสดงออกให้เป็นรูปธรรมที่แผนภูมิควบคุมนี้เอง และเมื่อเราตรวจพบความผิดปกติของกระบวนการผลิตโดยอ่านจากแผนภูมิควบคุมนี้แล้ว เราได้ไปทำการแก้ไขที่สาเหตุของความผันแปรใด ๆ ในกระบวนการผลิตนั้น เพื่อปรับสภาพวะการผลิตให้กลับสู่สภาวะที่อยู่ในควบคุม (In Controlled) ได้ต่อไปเมื่อการอ่านแผนภูมิควบคุมอยู่นอกการควบคุมจะพบได้อย่างชัดเจน คือ มีจุดในแผนภูมิปรากฏอยู่นอกเส้นขอบเขตควบคุม เรียกว่า จุดอยู่นอกควบคุม (Out of Control) อาจอยู่นอกค่าสูงหรือค่าต่ำก็ได้ ถ้าข้อมูลอยู่ภายใต้ความผันแปรตามธรรมชาติข้อมูลจะมีพฤติกรรมแบบสุ่มรอบ ๆ เส้นกลางและมีขนาดของความผันแปรอยู่ภายใต้พิกัดด้านบนและพิกัดด้านล่าง

กราฟต่าง ๆ (Graphs) คือเครื่องมือสำหรับใช้แสดงข้อมูลที่เป็นตัวเลขออกมาให้เห็นเป็นภาพเพื่อสะดวกในการวิเคราะห์ข้อมูลที่เป็นตัวเลขทุกประเภทโดยนำเสนอในรูปแบบกราฟได้กราฟที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย เช่น กราฟเส้น กราฟแท่ง เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ฮิสโตแกรม (Histogram)

เป็นแผนภูมิที่แสดงความถี่ของสิ่งที่เกิดขึ้นโดยแสดงเป็นกราฟแท่งสี่เหลี่ยมที่มีความกว้างเท่ากัน และมีด้านข้างติดกันประโยชน์ของฮิสโตแกรมมีดังนี้

1. เพื่อศึกษาว่าข้อมูลชุดหนึ่งมีการกระจายตัวมากน้อยเพียงไร อยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้มากน้อยเพียงไร
2. ใช้ในการคำนวณหาค่าทางสถิติของข้อมูลชุดนั้น อาทิ ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ค่าพิสัย ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
3. จากค่าของขอบเขตที่ยอมรับได้ และค่าทางสถิติที่ยอมรับได้ทำให้สามารถระบุค่าดัชนี วัดค่าความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Index: Cp) ได้ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการเทียบเคียง (Benchmarking) และการปรับปรุงกระบวนการ
4. ใช้ตรวจสอบประสิทธิผลของการปรับปรุง

<u>ผังก้างปลาหรือผังเหตุและผล (Fishbone Diagram)</u>

ผังก้างปลาเป็นแผนภูมิที่ใช้ต่อจากแผนภูมิพาเรโต กล่าวคือ หลังจากตัดสินใจที่จะเลือกแก้ไขปัญหาใดจากการทำแผนภูมิพาเรโตแล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการระดมความคิดเพื่อแก้ปัญหาที่เลือกมา โดยแสดงผลของสาเหตุของปัญหาไว้ที่ปลายของแผนภูมิและระหว่างที่จะถึงปลาย ของแผนภูมิจะแสดงสาเหตุต่าง ๆ ของปัญหาที่เกิดขึ้น โดยมีหลักการเขียนคือกำหนดปัญหาที่ต้องแก้ไขและเขียนต้นเหตุของปัญหา ที่เป็นสาเหตุของปัญหาเล็ก ๆ แตกแยกแขนงออกจากเส้นตามแนวแกนนอน โดยเริ่มจากต้นเหตุใหญ่ของปัญหา ซึ่งโดยทั่วไปจะประกอบด้วยคน (Man) เครื่องจักร (Machine) วัสดุ (Material) วิธีการทำงาน (Method) และสภาพแวดล้อม (Environment) แผนผังการกระจาย คือ ผังที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของ 2 ตัวแปร ที่นำเสนอในรูปกราฟ 2 แกน (แกนนอนและแกนตั้ง) ทั้งนี้เมื่อทำการลงจุดของค่าวัดในกราฟที่เป็นตัวแทนของความสัมพันธ์กันแล้ว สามารถทำให้บอกได้ว่าตัวแปรที่กำลังศึกษาทั้งสองสิ่งนั้นมีความสัมพันธ์กันหรือไม่ หากมีความสัมพันธ์กันจะเป็นความสัมพันธ์รูปแบบใด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.9 การวิเคราะห์ผล

2.9.1 การใช้ P-Value ในการทดสอบสมมุติฐาน

การสรุปผลของการทดสอบสมมุติฐานวิธีหนึ่ง คือการแสดงว่าสมมุติฐานหลักจะถูกปฏิเสธหรือไม่ที่ค่า α หรือระดับนัยสำคัญที่กำหนด โดย P-Value คือความน่าจะเป็นที่ค่าทดสอบทางสถิติจะมีค่าเป็นอย่างน้อยที่จะทำให้ค่านี้มีค่ามากเท่ากับค่าสังเกต ในทางสถิติเมื่อสมมุติฐานหลักเป็นจริง ดังนั้น P-Value จะแสดงถึงค่าที่ใช้ในการปฏิเสธ H_o และผู้ตัดสินใจสามารุสรุปผลการทดลองที่ระดับนัยสำคัญอื่นๆได้ นอกจากนี้ยังสามารถนิยาม P-Value ว่าเป็นค่าที่น้อยที่สุด ของระดับนัยสำคัญซึ่งนำไปสู่การปฏิเสธสมมุติฐานหลัก H_o

โดยปกติแล้วค่าทดสอบทางสถิติมีนัยสำคัญก็ต่อเมื่อ สมมุติฐานหลัก H_o ถูกปฏิเสธ ดังนั้นเราอาจพิจารณาค่า P-Value ว่าเป็น α ที่น้อยที่สุดซึ่งทำให้ข้อมูลมีนัยสำคัญ เมื่อรู้ค่า P-Value แล้ว ผู้ทดลองก็สามารถทราบว่าข้อมูลมีนัยสำคัญอย่างไร โดยไม่ต้องอาศัยการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งมีการกำหนดระดับนัยสำคัญไว้ก่อน

2.9.2 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination: R2)

การทดสอบความเหมาะสมของสมการต้นแบบด้วยการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธ์การตัดสินใจเป็นค่าที่ใช้อธิบายความสามารถของสมการถดถอยหรือตัวแปรอิสระ ในสมการถดถอยว่าสามารถจะอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่าตอบสนอง หรือตัวแปรตามได้ในสัดส่วนเท่าใด ค่ายิ่งมาก สมการยิ่งมีความเหมาะสมมาก แต่ในทางปฏิบัติเนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์ ในการตัดสินใจมีความไวในการเปลี่ยนแปลง คือเมื่อเปลี่ยนแปลงจำนวนตัวแปรอิสระในสมการ ค่าสัมประสิทธิ์ในการตัดสินใจจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไป จึงนิยมใช้ค่าที่ทำการปรับค่าแล้ว (Radj2) แทน [17]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันนี้มีการศึกษาค้นคว้าทางด้านการอัดรีดพลาสติกมากมาย ทั้งนี้ก็เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านการอัดรีดพลาสติกให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงยิ่งขึ้นโดยที่เสีย ค่าใช้จ่ายต่ำลง ตัวอย่างงานวิจัยที่ผ่านมา

1. Narasimha, and Rejikumar. [4] ได้ทำการศึกษาเพื่อหาต้นตอที่ทำให้เกิดของเสียในกระบวนการอัดรีดท่อพลาสติกพีวีซี เช่น รอยเส้น, รอยยุบ และความหนาของท่อที่คลาดเคลื่อน โดยพบว่า มีสัดส่วนของเสียสูงถึง 23.2 % จากการวิเคราะห์พบว่า สาเหตุหลักมาจากปัญหาการปรับตั้งพารามิเตอร์ที่ไม่เหมาะสม ซึ่งพารามิเตอร์ที่สนใจคือ แรงดันสุญญากาศ, ความเร็วเครื่องลาก, ความเร็วรอบสกรู และอุณหภูมิ โดยประยุกต์ใช้การทดลองแบบ Taguchi’s method มาพิจารณาหาค่าปรับตั้งที่เหมาะสม โดยหลังการปรับปรุงพบว่ามีสัดส่วนของเสียลดลงเหลือ 14.8 %

2. ธเนตร์ตรี รัตนเรืองยศ. [5] ได้ทำการศึกษาเพื่อลดของเสียในกระบวนการอัดรีดท่อพลาสติกพีวีซี โดยใช้หลักการซิกซ์ ซิกม่า เพื่อค้นหาต้นตอในการเกิดของเสีย โดยการนิยามเพื่อค้นหาสาเหตุได้นำเครื่องมือแผนภูมิก้างปลา และแผนภูมิพาเรโตมาช่วยในการนิยามปัญหา จากนั้นจึงสร้างวิธีตรวจวัดปัญหาด้วยเครื่องมือ FMEA เพื่อระบุตัวแปรหลักที่ก่อให้เกิดของเสีย โดยปัจจัยหลักที่ได้จากงานวิจัยฉบับนี้คือ อุณหภูมิ แรงดันหลอมเหลว %Scrap Resin และความถี่ในการทำความสะอาดแม่พิมพ์ จากนั้นจึงทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปรับตั้งปัจจัยที่เหมาะสม โดยหลังทำการปรับปรุงพบว่าสามารถลดสัดส่วนของเสียลงได้ 3.55%

3. สุพลชัย ทองไชย. [6] ได้ทำการศึกษาตัวแปรของกระบวนการผสมวัตถุดิบพีวีซีคอมเปานด์ที่มีผลต่อค่าเฉดสีของผลิตภัณฑ์ โดยปัจจุบันพบว่ามีสัดส่วนของเสียเกิดขึ้นจากปัญหานี้ 0.377 % ซึ่งจากการศึกษาพบว่าตัวแปรที่มีผลต่อค่าดังกล่าวคือ อุณหภูมิของกระบอกฉีด, ความเร็วของ Screw และค่าความเร็วในการป้อนวัตถุดิบ โดยนำตัวแปรมาทำการออกแบบการทดลองแบบ 2^k แฟคทอเรียลที่มีจุดเซ็นเตอร์ ซึ่งผลหลังการทดลองพบว่าสามารถลดของเสียที่เกิดจากค่าเฉดสีจากอยู่ที่ 0.377 % เป็น 0.173 %

4. Gadekar, Sandip S. [7] ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการอัดรีดท่อพลาสติกพีวีซีเพื่อหาค่าปรับตั้งพารามิเตอร์ให้มีของเสียในกระบวนการต่ำที่สุด โดยปัญหาหลักของงานวิจัยมีดังนี้ ความหนาของท่อที่เกินมาตรฐาน, ท่อไม่ได้ระยะศูนย์กลางและมีความคลาดเคลื่อนที่สูง, ทนแรงดันไม่ผ่าน โดยทำศึกษาพารามิเตอร์ที่สำคัญ 4 ปัจจัยคือ ความเร็วเครื่องลาก อุณหภูมิ แรงดันสุญญากาศ และความเร็วรอบสกรู โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองวิธี Taguchi’s Method ซึ่งผลหลังการทดลองพบว่าสามารถลดของเสียที่เกิดขึ้น 57.7 %

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5. เอกชัย โตสลุง.[8] ได้ทำการศึกษาวิธีการออกแบบการทดลองเพื่อกำหนดค่าระดับที่เหมาะสมของปัจจัยต่างๆที่ใช้ในการปรับตั้งเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ในกระบวนการอัดรีดยาง โดยกำหนดผลตอบสนองของระบบที่ทำการพิจารณา คือค่าเฉลี่ยของความแตกต่างระหว่างขนาดของผลิตภัณฑ์ที่ได้รับกับค่าเป้าหมายของลูกค้า โดยทำการคัดเลือกปัจจัยที่เกี่ยวข้องมาทั้งสิ้น 6 ปัจจัยได้แก่ ความเร็วรอบสกรู ความเร็วสายพานตู้อบที่ 1 อุณหภูมิตู้อบที่ 1 ความเร็วสายพานตู้อบที่ 2 อุณหภูมิตู้อบที่ 2 และอุณหภูมิตู้อบที่ 3 โดยนำปัจจัยที่ได้มาทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าปรับตั้งที่ทำให้ค่าเฉลี่ยของยางมีความแปรปรวนกับเป้าหมายน้อยที่สุด โดยเลือกวิธีการออกแบบการทดลองแบบ Taguchi L-18 โดยผลหลังการทดลองพบว่า ค่าเฉลี่ยของชิ้นงานมีค่าเท่ากับ 17.53 มิลลิเมตร จากเดิม 17.82 มิลลิเมตร จากค่าเป้าหมายที่ลูกค้ากำหนดคือ 17.40 มิลลิเมตร

6. อุรคินทร์ พลนิกร. [16] ได้ทำการศึกษาเพื่อลดของเสียของกระบวนการรีดขึ้นรูปเย็นในอุตสาหกรรมท่อสเตนเลส เกรด 304L โดยพบว่าของเสียส่วนใหญ่เกิดในกระบวนการเชื่อมหลังจากที่ท่อเหล็กได้ผ่านการรีดขึ้นรูปด้วยลูกรีดมาแล้ว ซึ่งการวิเคราะห์ปัญหาด้วยวิธีการระดมสมองและใช้แผนภาพแสดงเหตุและผล เพื่อค้นหาปัจจัยที่มีผลต่อความสูญเสีย พบว่าตัวแปรที่มีผลต่อปัจจัยดังกล่าวคือ กระแสที่ใช้ในการเชื่อม ระยะเวลาในการเชื่อม และการปรับระยะอาร์ค ซึ่งได้นำตัวแปรมาทำการออกแบบการทดลองแบบ 2^k แฟคทอเรียลที่มีจุดเซ็นเตอร์ ซึ่งผลหลังการทดลองพบว่าสามารถลดของเสียที่เกิดจากเดิม 8.2 % เป็น 1.6 %

7. ปราโมทย์ เลิศโกวิทย์. [17] ได้ทำการศึกษาวิธีการลดปริมาณผลิตภัณฑ์บกพร่องในกระบวนการหล่อขึ้นรูปของมิเตอร์น้ำ GMK 15 โดยทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาโดยการใช้วิธีทางสถิติ โดยมุ่งเน้นพิจารณาไปที่ส่วนของเครื่องจักรที่มีผลกระทบกับการเกิดข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ ทำให้ทราบถึงตัวแปรที่มีผลต่อปัจจัยของเสียดังกล่าวคือ ปริมาณ Return Srap อุณหภูมิเทน้ำโลหะ และปริมาณคิวโปฟอสฟอรัส โดยนำตัวแปรมาทำการออกแบบการทดลองแบบ 2^k แฟคทอเรียลที่มีจุดเซ็นเตอร์ ซึ่งผลหลังการทดลองพบว่าสามารถลดของเสียที่เกิดจากเดิม 8% เป็น 2.36 %

8. วราภรณ์ ขำสนิท. [18] ได้ทำการศึกษาเพื่อลดต้นทุนของเสียรวมที่เกิดจากข้อบกพร่องหลายชนิดจากกระบวนการฉีดพลาสติก คือข้อบกพร่องที่เกิดจากครีบ และข้อบกพร่องที่เกิดจากการฉีดไม่เต็ม โดยทำการระดมสมองเพื่อค้นหาตัวแปรที่มีผลต่อข้อบกพร่องทั้ง 2 ชนิด และมาทำการจัดลำดับความสำคัญของตัวแปรโดยใช้ตารางแสดงความสัมพันธ์สาเหตุและผล โดยในการแก้ปัญหาได้ทำการพิจารณาถึงต้นทุนของเสียให้มีค่าต่ำที่สุด ซึ่งจากการระดมสมองเพื่อหาตัวแปรพบว่า ตัวแปรที่มีผลต่อข้อบกพร่องคือ ความดันฉีด ความเร็ว และระยะย้ำ ซึ่งผลหลังการทดลองพบว่าสามารถลดต้นทุนของเสียรวมจากข้อบกพร่องชนิดครีบ และข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มจากเดิม 0.3194 บาท/ชิ้น เป็น 0.0293 บาท/ชิ้น

9. Dawkins, Horton and Engelmann. [19] ได้ทำการศึกษาตัวแปรของกระบวนการฉีดชิ้นส่วนของรถยนต์จำนวน 7 ตัวแปรที่มีผลต่อสี ผลการวิจัยพบว่าอุณหภูมิของแม่แบบฉีดในการหล่อเย็น มีอิทธิพลสูงสุด รองลงมาคือ อุณหภูมิของกระบอกฉีด ความเร็วในการฉีด และ ความดันย้อนกลับ ลดลงตามลำดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

10. Kumar, Singh, Kumbhar and Deersingh. [20] ได้ทำการศึกษาตัวแปรของกระบวนการผสมอาหารชนิดลูกเดือยที่มี ส่วนประกอบ 5 ชนิดที่มีความชื้นแตกต่างกัน เพื่อให้เกิดความกรอบสูงสุดและความแข็งในการตัดต่ำที่สุด ซึ่งพบว่าตัวแปร ที่มีผลต่อค่าดังกล่าวคือ อุณหภูมิของแม่พิมพ์ อุณหภูมิของกระบอกฉีด และความเร็วของ Screw โดยนำตัวแปรมาทำการออกแบบการทดลองแบบ 2^k แฟคทอเรียลที่มีจุดเซ็นเตอร์ ซึ่งผลหลังการทดลองพบว่า ได้ค่าความกรอบและค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์อยู่ที่ 50 และ 79.7 N

11. Reshadat and Balke. [21] ได้ทำการวิจัยลักษณะของ Polyolefin ที่มีผลมาจากอุณหภูมิการหลอมเหลว พบว่าอุณหภูมิหลอมเหลวของ Polyolefin ในกระบวนการอัดรีด มีผลต่อค่าสี a* และ ค่าสี b* คือเมื่ออุณหภูมิของ Polyolefin เพิ่มจาก 150 °C เป็น 210 °C ค่าสี a* จะเพิ่มขึ้นหรือ มี ลักษณะแดงขึ้น และ ค่าสี b* ลดลงด้วย หรือมีลักษณะสีน้ำเงินขึ้น

12. ชัยยา ฉุยฉาย. [22] ได้ทำการศึกษาเพื่อแก้ไขปัญหาของเสียที่เกิดจากการฉีดชิ้นงานพลาสติกของงานผลิตชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ คือปัญหาของเสียที่เกิดจากรอยประสานของชิ้นงานโดย พบว่าปัญหาของเสียเกิดจากความไม่เข้าใจในการปรับค่าพารามิเตอร์ของเครื่องฉีดของ พนักงานและความไม่เข้าใจในตัวแปรของเครื่องจักรและแม่พิมพ์ที่จะทำให้เกิดของเสีย โดยจากการระดมสมองเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดของเสียพบว่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการเกิด ปัจจัยดังกล่าวคือ อุณหภูมิ, แรงดัน,ความเร็วและเวลา โดยนำตัวแปรมาทำการออกแบบการทดลองแบบ 2^k แฟคทอเรียลที่มีจุดเซ็นเตอร์ และทำการพิสูจน์การทดลองโดยสมการรีเกรซชั่น พบว่าพารามิเตอร์ที่ทำการปรับแต่งปัจจุบันไม่มีผลต่อปัญหาของเสียที่เกิดจากรอยประสาน ดังนั้นจึงกลับไปทำการตรวจสอบแม่พิมพ์โดยใช้โปรแกรมการวิเคราะห์จากคอมพิวเตอร์ (Mold flow) พบว่าปัญหาของเสียที่เกิดจากรอยประสานมีสาเหตุมาจากการออกแบบชิ้นส่วนแม่พิมพ์ที่ไม่เหมาะสม ซึ่งภายหลังการปรับแก้แม่พิมพ์พบว่าสามารถลดของเสียที่เกิดจากปัญหาดังกล่าว จากเดิมที่มีความกว้างของรอยประสานอยู่ที่ 7.24 ไมครอน ลดลงเหลือ 1.144 ไมครอน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
ผลการดำเนินงานวิจัยในระยะนิยามปัญหา

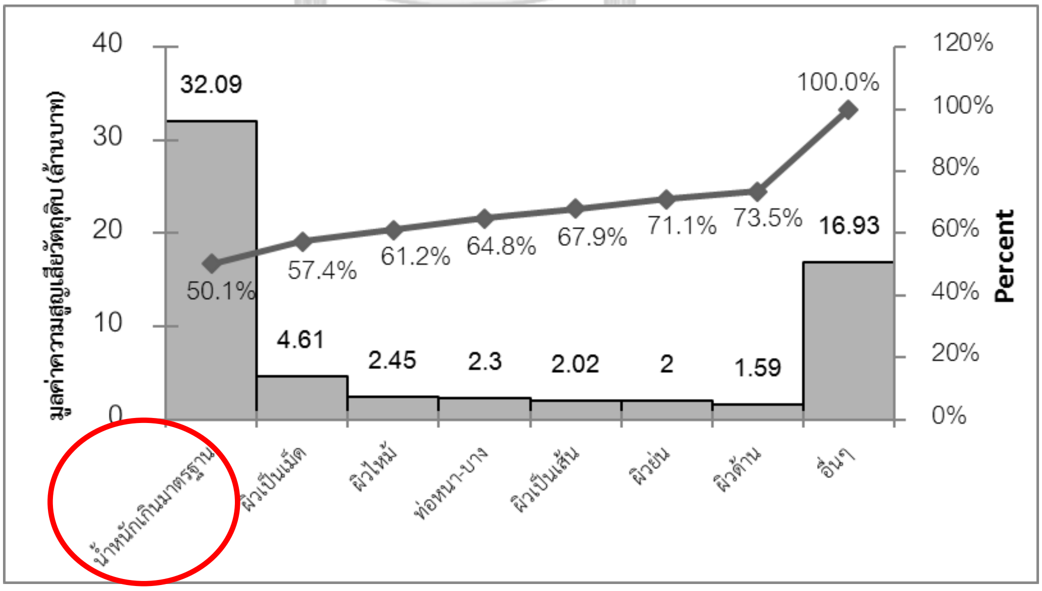
ระยะนิยามปัญหา เป็นการศึกษาสภาพปัญหา และกำหนดขอบเขตเป้าหมายของโครงการในการลดความสูญเสียที่เกิดจากต้นทุนวัตถุดิบ ให้อยู่ในมาตรฐานที่กำหนด

3.1 บทนำ

จากสภาพปัจจุบันของบริษัทกรณีศึกษา ในบทที่ 1 พบว่าปัญหาการผลิตสินค้าที่มีน้ำหนักเกินมาตรฐาน มีกระทบต่อต้นทุนการผลิตท่อพลาสติกพีวีซีโดยตรง เนื่องจากปัจจุบันต้นทุนการผลิตของบริษัท เป็นต้นทุนที่เกิดจากวัตถุดิบสูงถึง 87 % ซึ่งส่งผลให้บริษัทมีกำไรที่ลดลงและสูญเสียโอกาสในการแข่งขันทางด้านราคาต่อคู่แข่ง ดังนั้นเพื่อเป็นการลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นและเพิ่มโอกาสในการแข่งขันทางด้านราคาบริษัทจึงหาแนวทางในการปรับปรุง เพื่อควบคุมกระบวนการผลิตให้สามารถผลิตสินค้าให้อยู่ในมาตรฐานที่กำหนดโดยลดความสูญเสียที่เกิดจากวัตถุดิบให้มีค่าต่ำที่สุด

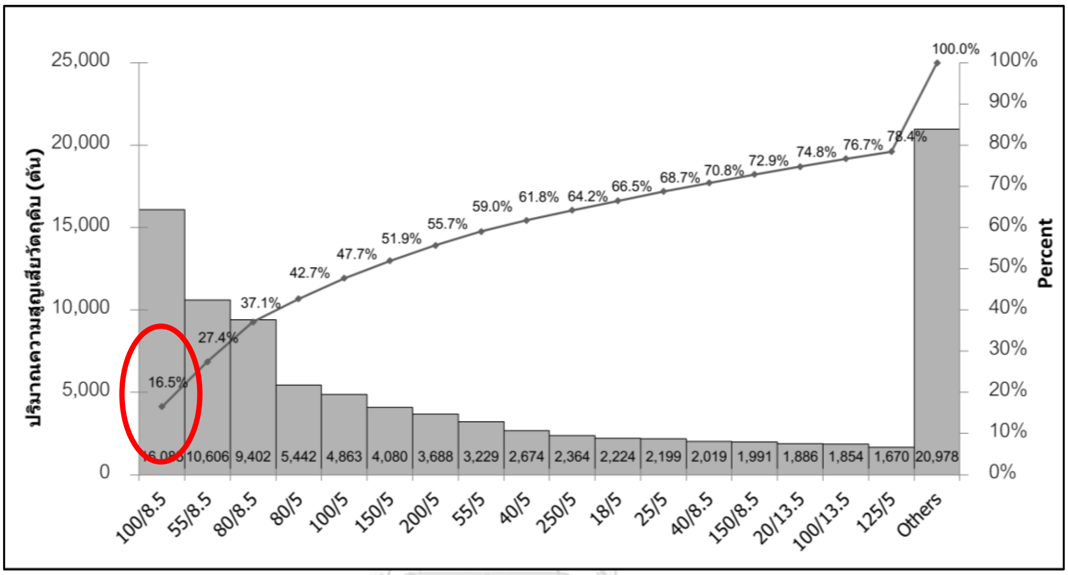
3.2 สภาพปัญหาในปัจจุบัน

จากการศึกษาข้อมูลของต้นทุนของเสีย พบว่าต้นทุนที่เกิดจากข้อบกพร่องประเภท น้ำหนักเกินมาตรฐาน ทำให้เกิดต้นทุนความล้มเหลวภายในสูงที่สุด ของต้นทุนรวมทั้งหมด เมื่อนำมาแสดงด้วยแผนภาพพาเรโต โดยแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพพาเรโตแสดงมูลค่าความสูญเสียวัตถุดิบ

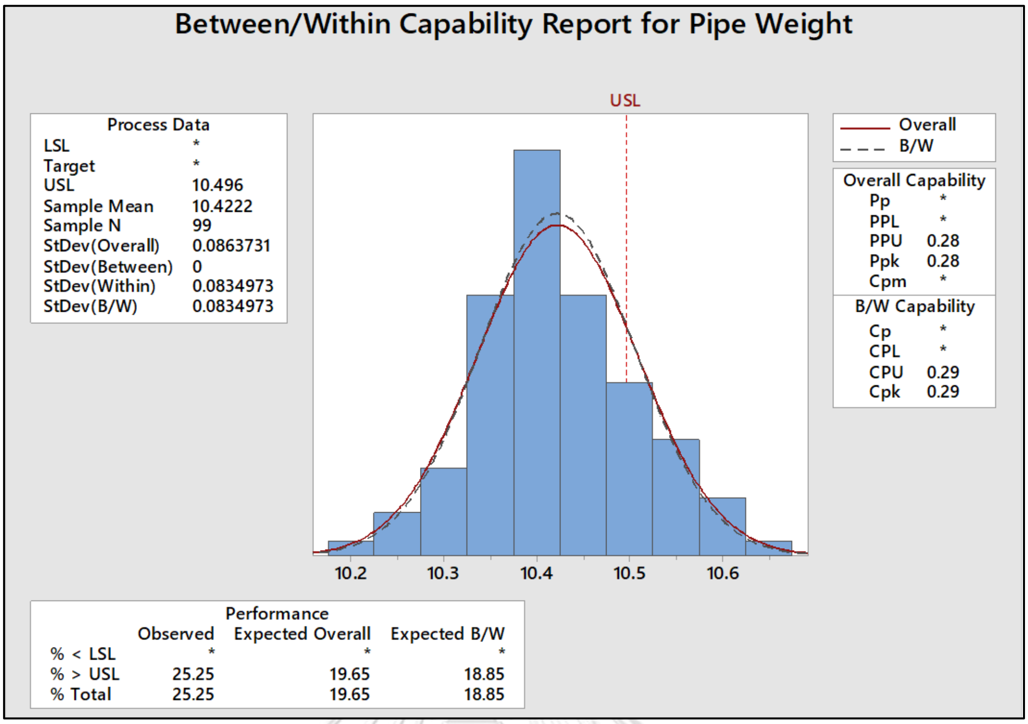
จากแผนภาพความสูญเสียในรูปที่ 3.1 จะเห็นว่า ต้นทุนความล้มเหลวภายใน ที่เกิดจากข้อบกพร่องประเภท น้ำหนักเกินมาตรฐาน เท่ากับ 50.1 % ของต้นทุนความล้มเหลวภายในที่เกิดจากข้อบกพร่องทุกประเภทรวมกัน และเมื่อนำต้นทุนของเสียเนื่องจากข้อบกพร่องที่เกิดจากการผลิตสินค้าน้ำหนักเกินมาตรฐาน มาแสดงด้วยแผนภาพพาเรโต โดยแยกตามชนิดของผลิตภัณฑ์ได้ผลตามรูปที่ 3.2 เป็นดังนี้



รูปที่ 3.2 แผนภาพพาเรโตแสดงความสูญเสียวัตถุดิบรายผลิตภัณฑ์

จากแผนภาพพาเรโตในรูปที่ 3.2 จะเห็นว่าต้นทุนความสูญเสียจากข้อบกพร่องประเภท ผลิตสินค้าน้ำหนักเกินมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ท่อพลาสติกพีวีซีชนิด 100 มิลลิเมตร ที่ชั้นคุณภาพ 8.5 มีความสูญเสียสูงสุดที่ 16.5 % ของผลิตภัณฑ์ทุกชนิดรวมกัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้ ผลิตภัณฑ์ท่อพลาสติกพีวีซีชนิด 100 มิลลิเมตร ชั้นคุณภาพ 8.5 เป็นตัวแทนในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

ความสามารถของกระบวนการ C_{PK} และ C_P ในกระบวนการรีดท่อพลาสติกพีวีซีที่ทำการศึกษาจากเครื่องอัดรีดท่อพลาสติกที่เดินสินค้าชนิด100/8.5 ระบุโดยการวัดที่น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ ที่ขอบเขตที่ยอมรับได้ คือ 10.496 กิโลกรัม/ท่อ และความหนาของท่อที่ขอบเขตที่ยอมรับได้ คือ 5.2- 0.35 มิลลิเมตร จำนวน 99 ท่อน โดยใช้โปรแกรม “Minitab” ได้ผลดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ความสามารถของกระบวนการในการรีดท่อพลาสติกพีวีซีผลิตภัณฑ์ 100/8.5

จากรูปที่ 3.3 จะเห็นว่าความสามารถของกระบวนการรีดท่อพลาสติกพีวีซี ที่ทำการศึกษามีค่าค่อนข้างต่ำ โดยการพิจารณาจากดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการ C_{PK} ซึ่งมีค่า 0.29 ซึ่งต่ำกว่าค่าเกณฑ์การยอมรับของ AIAG (2001) ที่ 1.33 โดยมีน้ำหนักของผลิตภัณฑ์มีการกระจายตัวกว้างและค่าความผันแปรของกระบวนการมีค่าสูง จากการประมาณค่าความสูญเสียเนื่องจากการเดินสินค้าเกินน้ำหนักมาตรฐาน อยู่ที่ 25.25 % คิดเป็นมูลค่าความสูญเสีย 0.28 ล้านบาท/ปี ดังนั้นผู้วิจัยจึงต้องทำการค้นหาสาเหตุที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีน้ำหนักเกินมาตรฐานที่กำหนด และทำการปรับปรุงเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีน้ำหนักอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดและลดความแปรปรวน โดยดำเนินการวิเคราะห์เพื่อแก้ไขปัญหาอย่างเป็นระบบ โดยใช้แนวคิดซิกซ์ ซิกมา มาใช้ในการปรับปรุงงาน

3.3 การจัดตั้งทีมงาน

ในงานวิจัยครั้งนี้ได้จัดตั้งคณะทำงานในส่วนของโครงการซิกซ์ ซิกมา ซึ่งประกอบไปด้วยบุคคลที่มาจากหน่วยงานต่าง ๆ เหล่านี้

1. Production division manager
2. Production Engineering
3. Improvement Engineering
4. Production Manager
5. Production Supervisor

6. Quality Engineering
7. Main shift Leader
8. Operator

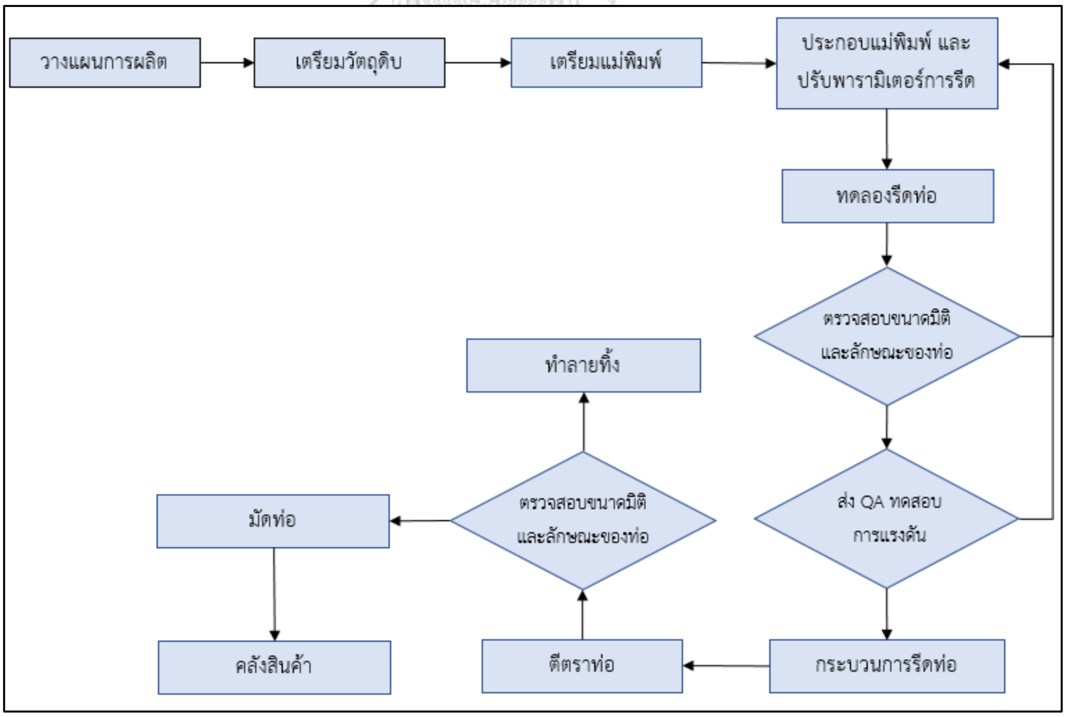
3.4 กำหนดวัตถุประสงค์ เป้าหมาย และตัวชี้วัด

เพื่อลดต้นทุนวัตถุดิบของกระบวนการอัดรีดท่อพลาสติกพีวีซี ที่เกิดจากการเดินสินค้าน้ำหนักเกินมาตรฐานให้อยู่ภายในค่าควบคุมที่กำหนด คือน้ำหนักสินค้าไม่เกิน 10.496 กิโลกรัม/ท่อน และความสามารถของกระบวนการ C_p และ C_{pk} ต้องมากกว่าเกณฑ์ยอมรับ AIAG(2001) ที่ 1.33 และต้องตรวจสอบกระบวนการหลังการปรับปรุงสำเร็จแล้ว ต้องไม่กระทบต่อข้อบกพร่องในด้านอื่นที่สัมพันธ์กัน เช่น การทดสอบความสามารถในการทนแรงดันของท่อพลาสติกพีวีซี หรือ มาตรฐานในด้านคุณภาพอื่นๆของผลิตภัณฑ์

3.5 แผนผังกระบวนการ

แผนผังกระบวนการ ได้ทำขึ้นมาเพื่อให้มองเห็นภาพของกระบวนการได้ชัดเจนขึ้นว่าเส้นทางกระบวนการผลิตท่อพลาสติกพีวีซีมีขั้นตอนยังไง โดยแสดงเส้นทางการไหล ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แผนผังกระบวนการสำหรับกระบวนการอัดรีดท่อพลาสติกพีวีซี



3.6 สรุปผลการดำเนินงานระยะนิยามปัญหา

จากที่ได้กล่าวมาทั้งหมด ในส่วนของขั้นตอนการนิยามปัญหา ตั้งแต่การพิจารณาปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อต้นทุนการผลิตในส่วนของความสูญเสียที่เกิดจากวัตถุดิบ พบว่าปัญหาหลักของบริษัทกรณีศึกษาคือความสูญเสียที่เกิดจากการผลิตสินค้าน้ำหนักเกินมาตรฐานที่กำหนด ซึ่งกระทบต่อต้นทุนการผลิตสูงที่สุด โดยเป้าหมายในการปรับปรุงของงานวิจัยนี้คือควบคุมน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ให้อยู่ภายในค่าควบคุมที่กำหนด คือน้ำหนักสินค้าไม่เกิน 10.496 กิโลกรัม/ท่อน และความสามารถของกระบวนการ C_p และ C_{pk} ต้องมากกว่า 1.33 และต้องตรวจสอบกระบวนการหลังการปรับปรุงสำเร็จแล้ว ต้องไม่กระทบต่อข้อบกพร่องในด้านอื่นที่สัมพันธ์กัน เช่น การทดสอบความสามารถในการทนแรงดันของท่อพลาสติกพีวีซี หรือ มาตรฐานในด้านคุณภาพอื่นๆ ของผลิตภัณฑ์ และได้กำหนดคณะทำงานโครงการซิกซ์ ซิกม่า ในการศึกษาและปรับปรุงกระบวนการให้เป็นไปตามเป้าหมายที่วางไว้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 4
ผลการดำเนินงานระยะการวัดเพื่อระบุสาเหตุของปัญหา

4.1 บทนำ

สำหรับงานวิจัยบทนี้ เป็นการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา โดยใช้เครื่องมือทางสถิติมาช่วยวิเคราะห์ถึงสาเหตุที่เป็นไปได้ โดยเริ่มจากการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ , การวิเคราะห์ความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัด (Gauge R&R) และทำการเก็บรวบรวมข้อมูลความสามารถของกระบวนการผลิตในปัจจุบัน เพื่อใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์หาสาเหตุ จากนั้นทำการระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่อาจมีผล (Key Process Input Variable หรือ KPIV) โดยใช้เครื่องมือต่าง ๆ เข้ามาช่วยการวิเคราะห์ เช่น ผังก้างปลา (Cause & Effect Diagram) ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix)

4.2 ตัวแปรที่มีผลต่อน้ำหนักของผลิตภัณฑ์

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ พบว่าตัวแปรที่มีผลต่อน้ำหนักของผลิตภัณฑ์จะประกอบด้วย 3 ส่วน โดยแสดงความสัมพันธ์ดังสมการและรูปที่ 4.1 ดังนี้

Weight = Density * Volume .... (4.1)

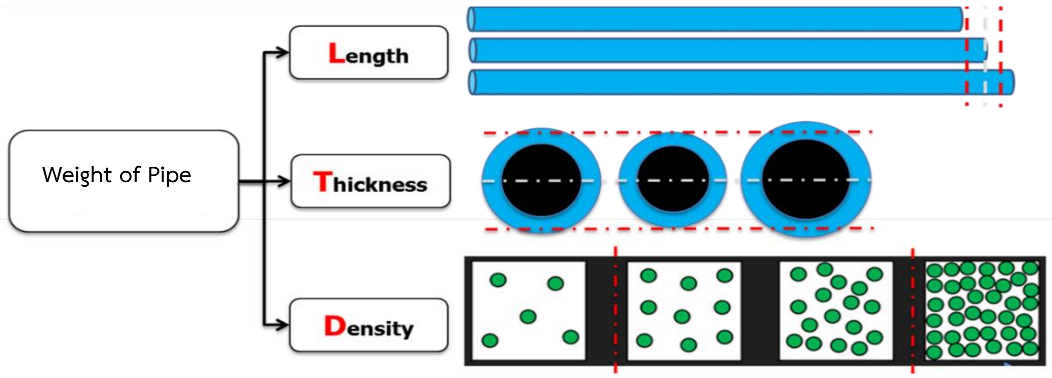
Weight = Density * [$\pi(R^2-r^2)$ *L]

Weight = f (Density, Thickness, Length)

โดย Density = ค่าความหนาแน่นของวัตถุดิบ

Thickness = ความหนาของท่อ [รัศมีด้านนอก(R) -รัศมีด้านใน(r)]

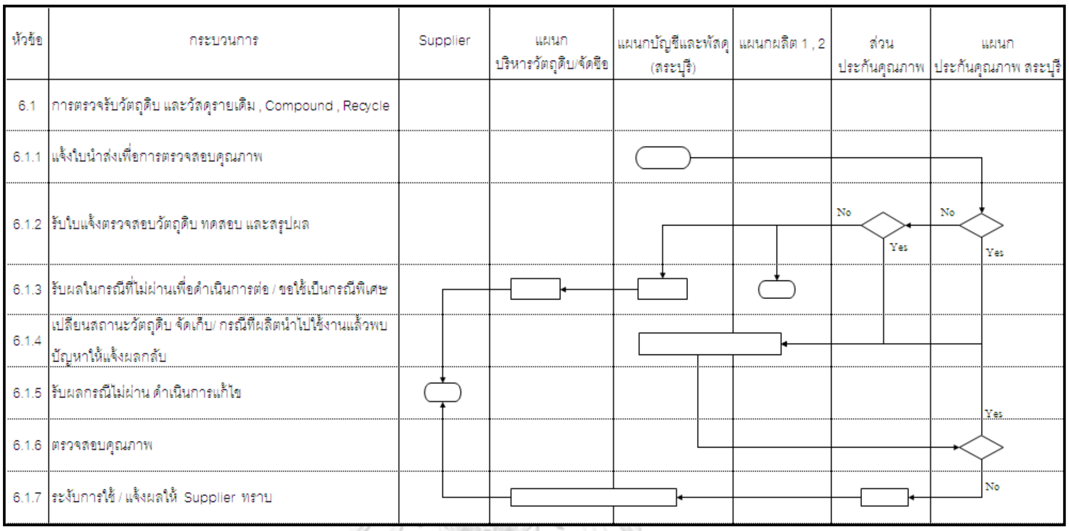
L = ความยาวของท่อ



รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ขององค์ประกอบของน้ำหนักผลิตภัณฑ์ท่อ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

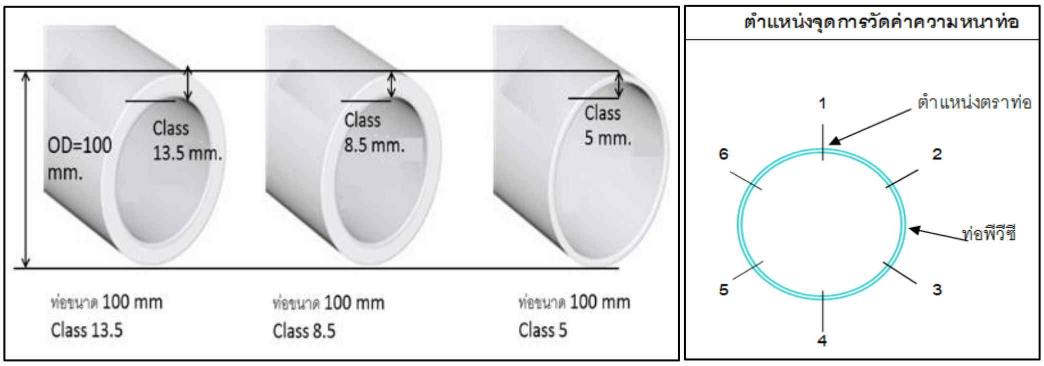
4.2.1 ความหนาแน่นของวัตถุดิบ คือ ความหนาแน่นของอัตราส่วนผสมระหว่างผงพีวีซีเรซิ่นกับสารเพิ่มคุณสมบัติพิเศษของผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะมีค่าควบคุมของการผลิตท่อ ในแต่ละสูตร โดยถ้าค่าความหนาแน่นสูงเกินมาตรฐานที่กำหนดจะทำให้ท่อที่รีดออกมามีน้ำหนักเกินมาตรฐานด้วย ซึ่งในปัจจุบันบริษัทกรณีศึกษามีกระบวนการในการตรวจสอบค่าความหนาแน่นของวัตถุดิบหลังการผสมก่อนการนำไปผลิตทุกครั้ง ตามขั้นตอนในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 กระบวนการในการตรวจสอบค่าความหนาแน่นของวัตถุดิบ

4.2.2 ความหนาของท่อ มีคุณสมบัติในการรับแรงดันของน้ำที่ระดับแตกต่างกันไป ซึ่งปัจจุบันมีอยู่ 3 ระดับคือ 5 , 8.5 และ 13.5 ซึ่งระดับการทนแรงดันเราเรียกว่าชั้นคุณภาพ ยิ่งสูงยิ่งดี เช่นท่อขนาด 100 มิลลิเมตร ชั้นคุณภาพ 8.5 หมายความว่าเป็นท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร สามารถทนระดับแรงดันได้ 8.5 บาร์ ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส โดยค่าความหนาของท่อจะถูกควบคุมด้วยแม่พิมพ์และแกนปรับความหนา (Pipe Mandrel) โดยพนักงานจะทำการวัดความหนาของท่อหลังจากปรับตั้งพารามิเตอร์ของเครื่องรีดให้ได้ตามมาตรฐานที่กำหนด โดยใช้เครื่องมือวัดไมโครมิเตอร์ โดยทำการวัดความหนาของท่อ 6 จุดโดยแสดงดังรูปที่ 4.3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4.3 แสดงระดับชั้นคุณภาพและตำแหน่งการวัดความหนาของท่อพลาสติกพีวีซี

4.2.3 ความยาวของท่อ จะถูกกำหนดโดยตำแหน่งของลิมิตสวิตช์ซึ่งติดตั้งอยู่ท้ายเครื่องตัด ให้มีระยะตัดตามที่กำหนด ซึ่งถ้าทำการตัดยาวเกินกว่าระยะที่กำหนดก็จะส่งผลต่อน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ด้วย โดยแสดงดังรูปที่ 4.4 ดังนี้

รูปที่ 4.4 แสดงตำแหน่งของลิมิตสวิตช์เพื่อควบคุมระยะตัดท่อ

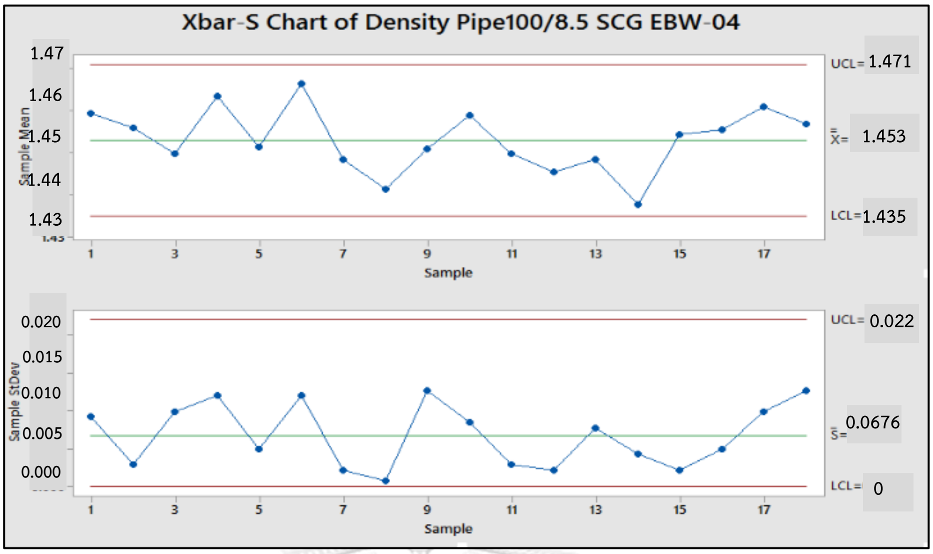
4.3 การวิเคราะห์ตัวแปรที่มีผลต่อน้ำหนักของผลิตภัณฑ์

นำข้อมูลของตัวแปรทั้งสามชนิดมาทำการวิเคราะห์ เพื่อหาว่าตัวแปรชนิดใดมีความสัมพันธ์ต่อน้ำหนักของผลิตภัณฑ์มากที่สุด เพื่อหาจุดในการปรับปรุง โดยใช้เครื่องมือทางสถิติคือ แผนภูมิควบคุม X Bar-S chart, Multi-Vari Chart มาทำการวิเคราะห์พฤติกรรมของตัวแปรต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ โดยทำการเก็บข้อมูลจากเครื่องรีดพลาสติก 3 เครื่อง ที่ทำการรีดท่อพลาสติกขนาด 100 มิลลิเมตร ที่ชั้นคุณภาพ 8.5 โดยทำการเก็บข้อมูลทั้งสิ้น 27 ค่า โดยแบ่งเป็นกะละ 3 ท่อน ติดต่อกัน 3 วัน

4.3.1 การวิเคราะห์ความหนาแน่นของวัตถุดิบ (Density)

ใช้เครื่องมือทางสถิติคือ แผนภูมิควบคุม X Bar-S chart เก็บค่าความหนาแน่น ของท่อพลาสติกขนาด 100 มิลลิเมตร ชั้นคุณภาพ 8.5 สูตร E100 ที่เป็นตัวแทนในการศึกษาครั้งนี้ เพื่อยืนยันกระบวนการตรวจสอบค่าความหนาแน่นของวัตถุดิบ โดนพบว่าความหนาแน่นของวัตถุดิบ อยู่ในค่าควบคุมที่กำหนด โดยมีค่ามาตรฐานควบคุมความหนาแน่นของวัตถุดิบ อยู่ที่ 1.46 ± 0.03 (Kg/cm^3) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

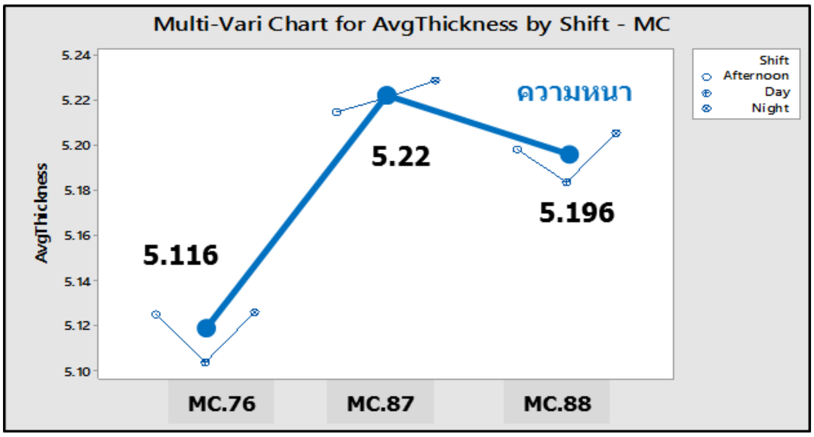


รูปที่ 4.5 แผนภูมิควบคุมค่าความหนาแน่นของวัตถุดิบ

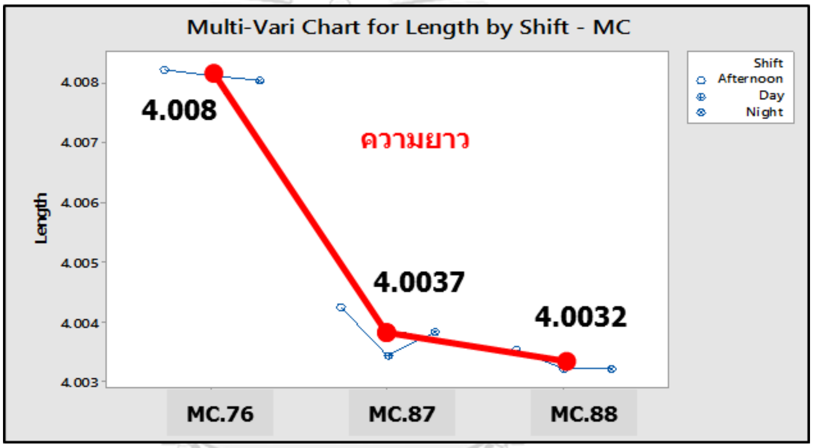
4.3.2 การวิเคราะห์ความหนาและความยาว (Thickness & Length)

ใช้เครื่องมือทางสถิติคือ Multi-Vari chart เก็บค่าความหนาและความยาว ของท่อพลาสติกขนาด 100 มิลลิเมตร ชั้นคุณภาพ 8.5 ที่เป็นตัวแทนในการศึกษาครั้งนี้ เพื่อสังเกตความแปรปรวนของความหนา และความยาว ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักผลิตภัณฑ์ โดยเปรียบเทียบความผันแปรระหว่างเครื่องจักรที่ใช้เดินผลิตภัณฑ์นี้ 3 เครื่อง คือ MC.76, MC87 และ MC.88 และช่วงเวลาในการทำงาน ซึ่งมี 3 ช่วงคือ กะเช้า, กะกลางวัน และกะกลางคืน โดยแสดงผลดังรูปที่ 4.6-4.7 โดยผลจากการวิเคราะห์พฤติกรรมที่เกิดจากความผันแปรระหว่างเครื่องจักร และช่วงเวลากับความหนาและความยาวของท่อ พบว่าความผันแปรที่เกิดจากช่วงระยะเวลาในการผลิตไม่มีผลเนื่องจากมีความผันแปรไปในทิศทางเดียวกันทั้งหมด จึงทำการตัดสาเหตุที่เกิดจากความผันแปรที่เกิดจากช่วงเวลาออกไป และเมื่อทำการสังเกตความผันแปรที่เกิดจากเครื่องจักรพบว่า ที่ MC.76 ท่อมีความหนาน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับ MC.87 และ MC.88 และเมื่อมาดูด้านความยาวพบว่า MC.76 เป็นเครื่องจักรที่เดินท่อเฉลี่ยได้ยาวกว่าที่สุด เมื่อเทียบกับ MC.87 และ MC.88

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 4.6 การวิเคราะห์พฤติกรรมของตัวแปรต่าง ๆโดย Multi-Vari Chart (ด้านความหนา)

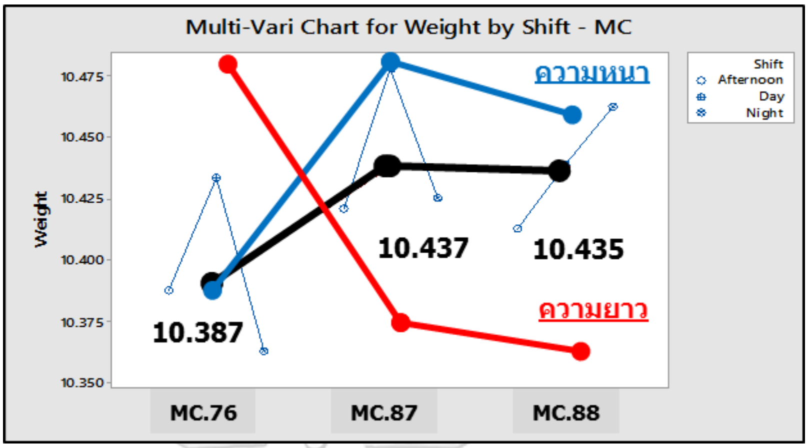


รูปที่ 4.7 การวิเคราะห์พฤติกรรมของตัวแปรต่าง ๆโดย Multi-Vari Chart (ด้านความยาว)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นำความผันแปรที่เกิดขึ้นมาเปรียบเทียบกับน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ โดยแสดงดังรูปที่ 4.8 พบว่า MC.76 เป็นเครื่องจักรที่ผลิต ผลิตภัณฑ์ท่อที่ค่าเฉลี่ยความยาวสูงที่สุด และมีความหนาของผลิตภัณฑ์ต่ำกว่า MC.87 และ MC.88 ซึ่งมีน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ท่อต่ำที่สุด ซึ่งกลับกันกับ MC.87 และ MC.88 ที่เป็นเครื่องจักรที่ผลิตผลิตภัณฑ์ท่อที่ค่าเฉลี่ยความยาวต่ำกว่า และมีความหนาของผลิตภัณฑ์สูงกว่า MC.76 มีน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ท่อสูงกว่า MC.76

จากการเปรียบเทียบตามรูปที่ 4.8 สามารถสรุปได้ว่าตัวแปรที่ส่งผลต่อน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ท่อของ บริษัทกรณีศึกษามากที่สุดคือตัวแปรด้านความหนา

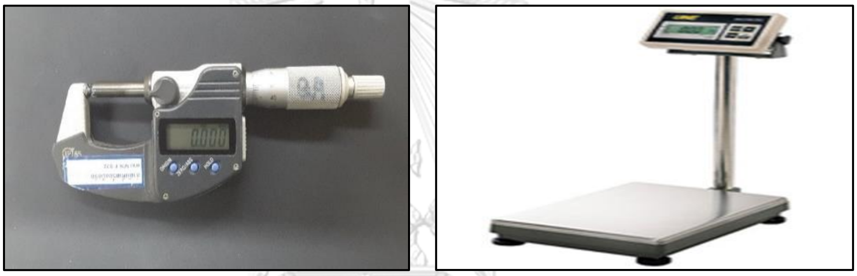


รูปที่ 4.8 การวิเคราะห์พฤติกรรมของตัวแปรต่าง ๆโดย Multi-Vari Chart (ด้านน้ำหนัก)

สรุปผลจากการวิเคราะห์ด้วยการนำเครื่องมือทางสถิติ คือแผนภูมิควบคุม X Bar-S chart และ Multi-Vari Chart มาใช้วิเคราะห์เพื่อพิจารณาหาปัจจัยในการปรับปรุงเพื่อลดน้ำหนักของต้นทุนวัตถุดิบ ซึ่งประกอบไปด้วยตัวแปร 3 ส่วนคือ ความหนาแน่นของวัตถุดิบ , ความหนาของท่อ และความยาวของท่อ โดยจากการเก็บข้อมูลโดยเครื่องมือ X Bar-S chart ตามรูปที่ 4.5 พบว่าความหนาแน่นของสูตรผลิตกระจายตัวอยู่ในค่าควบคุมมาตรฐาน คือ 1.46 ± 0.03 (Kg/cm^3) จึงพิจารณาไม่ดำเนินการปรับปรุงในจุดนี้ เนื่องจากถ้าทำการปรับอัตราส่วนของความหนาแน่นของสูตรผลิตให้ความหนาแน่นลดลงอาจส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ จากนั้นจึงใช้เครื่องมือ Multi-Vari Chart เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมของตัวแปรทางด้านความหนา (ค่ามาตรฐาน 5.2- 0.35 มิลลิเมตร) และความยาว (ค่ามาตรฐาน 4,000 + 10 มิลลิเมตร) ของท่อพลาสติกพีวีซี ตามรูปที่ 4.6-4.7 พบว่าที่เครื่องจักร MC.76 มีความหนาท่อเฉลี่ยน้อยที่สุด แต่มีความยาวเฉลี่ยสูงที่สุด กลับกันกับ MC.87 และ MC.88 มีความหนาท่อเฉลี่ยสูงที่สุด แต่มีความยาวเฉลี่ยต่ำที่สุด ซึ่งเมื่อมาทำการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาและความยาว กับน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ท่อ ดังรูปที่ 4.8 สามารถสรุปได้ว่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อน้ำหนักของการผลิตสินค้าที่มากที่สุดคือปัจจัยที่เกิดจากความหนาของขนาดท่อ จึงพิจารณาเลือกทำการปรับปรุงโดยพิจารณาสาเหตุจากตัวแปรด้านความหนาของท่อพลาสติกพีวีซีเป็นหลัก

4.4 การวิเคราะห์ระบบการวัด

วัตถุประสงค์ในการวิเคราะห์ระบบการวัดคือ การวิเคราะห์แหล่งความคลาดเคลื่อน ในระบบการวัดด้วยการจำแนกค่าที่ได้จากการวัดออกเป็น ค่าจริง ,ค่าความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ ,ค่าความคลาดเคลื่อนจากเครื่องมือวัด และค่าความคลาดเคลื่อนอื่น ๆ ซึ่งพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของระบบการวัดจะประกอบไปด้วยค่าวัดที่มีปริมาณที่สามารถกำจัดได้และกำจัดไม่ได้ จึงมีความจำเป็นต้องดำเนินการกำจัดค่าที่สามารถควบคุมได้เสียก่อน ได้แก่ค่าความคลาดเคลื่อนจากความผิดพลาดด้วยการทำให้ระบบการวัดเป็นมาตรฐานเสียก่อน และจึงดำเนินการสอบเทียบเครื่องมือเพื่อกำจัดความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ [13] ในการทำการวิจัยครั้งนี้ ตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ ความหนาของผลิตภัณฑ์สินค้าท่อพลาสติกพีวีซี โดยทำการวัดผ่านเครื่องมือวัดไมโครมิเตอร์ชนิดดิจิตอล และน้ำหนักของท่อโดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอลดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แสดงเครื่องมือในการวัดความหนาและน้ำหนักของท่อ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เนื่องจากบริษัทกรณีศึกษาได้จัดทำระบบ ISO9001 จึงได้มีการสอบเทียบเครื่องมือวัดเป็นประจำทุกระยะ 6 เดือน จึงอนุมานได้ว่าคุณสมบัติด้านความถูกต้องของเครื่องมือวัดดีแล้ว ในการวิจัยครั้งนี้จึงทำการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความแม่นยำของระบบการวัดเพียงอย่างเดียว ซึ่งผลการวิเคราะห์ได้ผลดังนี้

4.4.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความแม่นยำของระบบการวัด โดยใช้การประเมินค่า Repeatability และ Reproducibility (GR&R) โดยมีแผนการศึกษาดังนี้

1. ใช้พนักงานวัดที่ผ่านการอบรมมาอย่างดีในการวัดเพื่อยอมรับหรือปฏิเสธชิ้นงาน จำนวน 3 คน โดยมาจากกะผลิตทั้ง 3 กะ กะละ 1 คน
2. เครื่องมือที่ใช้ในการวัด ทำการใช้ไมโครมิเตอร์ชนิดดิจิตอลที่ผ่านการสอบเทียบแล้วอันเดียวกัน สำหรับผู้วัดทั้ง 3 คน
3. จำนวนชิ้นงานที่ทำการศึกษาจำนวน 20 ท่อน
   (โดยอ้างอิงจาก กิติศักดิ์, 2549 แนะนำที่ 10 ตัวอย่าง)

4. จำนวนการวัดซ้ำในแต่ละชิ้นงาน โดยทำการกำหนดให้วัด 3 ครั้ง โดยได้ผลการวัดตามตารางที่ 4.1 ดังนี้

ตารางที่ 4.1 ผลการวัดชิ้นงานของพนักงาน A ,B และพนักงาน C

ชิ้นงานที่	พนักงาน A			พนักงาน B			พนักงาน C		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	5.12	5.11	5.12	5.11	5.12	5.12	5.12	5.12	5.11
2	5.18	5.18	5.18	5.18	5.19	5.18	5.19	5.18	5.18
3	5.15	5.16	5.16	5.16	5.15	5.16	5.15	5.16	5.16
4	5.17	5.17	5.17	5.18	5.17	5.17	5.17	5.17	5.17
5	5.16	5.16	5.15	5.16	5.17	5.17	5.17	5.16	5.16
6	5.23	5.24	5.23	5.23	5.23	5.23	5.23	5.24	5.24
7	5.21	5.2	5.2	5.21	5.21	5.2	5.21	5.2	5.2
8	5.27	5.27	5.26	5.27	5.27	5.27	5.27	5.27	5.27
9	5.12	5.13	5.12	5.12	5.12	5.13	5.12	5.13	5.13
10	5.18	5.19	5.19	5.2	5.19	5.19	5.19	5.19	5.19
11	5.29	5.29	5.29	5.3	5.3	5.29	5.3	5.29	5.29
12	5.19	5.2	5.19	5.2	5.19	5.19	5.19	5.2	5.2
13	5.30	5.29	5.29	5.29	5.3	5.29	5.3	5.29	5.29
14	5.15	5.14	5.15	5.14	5.14	5.15	5.14	5.14	5.14
15	5.23	5.24	5.24	5.23	5.24	5.23	5.24	5.24	5.24
16	5.10	5.1	5.1	5.1	5.1	5.11	5.1	5.1	5.1
17	5.14	5.13	5.13	5.13	5.14	5.14	5.14	5.13	5.13
18	5.11	5.12	5.11	5.11	5.11	5.11	5.11	5.12	5.12
19	5.18	5.18	5.19	5.18	5.18	5.18	5.18	5.18	5.18
20	5.29	5.28	5.29	5.29	5.28	5.28	5.28	5.28	5.28

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการวัดของพนักงาน A ,B และพนักงาน C

Gage R&R for Measurements

Gage R&R Study - ANOVA Method

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	19	0.644936	0.0339440	1665.54	0.000
Operators	2	0.000048	0.0000239	1.17	0.321
Parts * Operators	38	0.000774	0.0000204	0.83	0.736
Repeatability	120	0.002933	0.0000244		
Total	179	0.648691			

α to remove interaction term = 0.05

Two-Way ANOVA Table Without Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	19	0.644936	0.0339440	1446.46	0.000
Operators	2	0.000048	0.0000239	1.02	0.364
Repeatability	158	0.003708	0.0000235		
Total	179	0.648691			

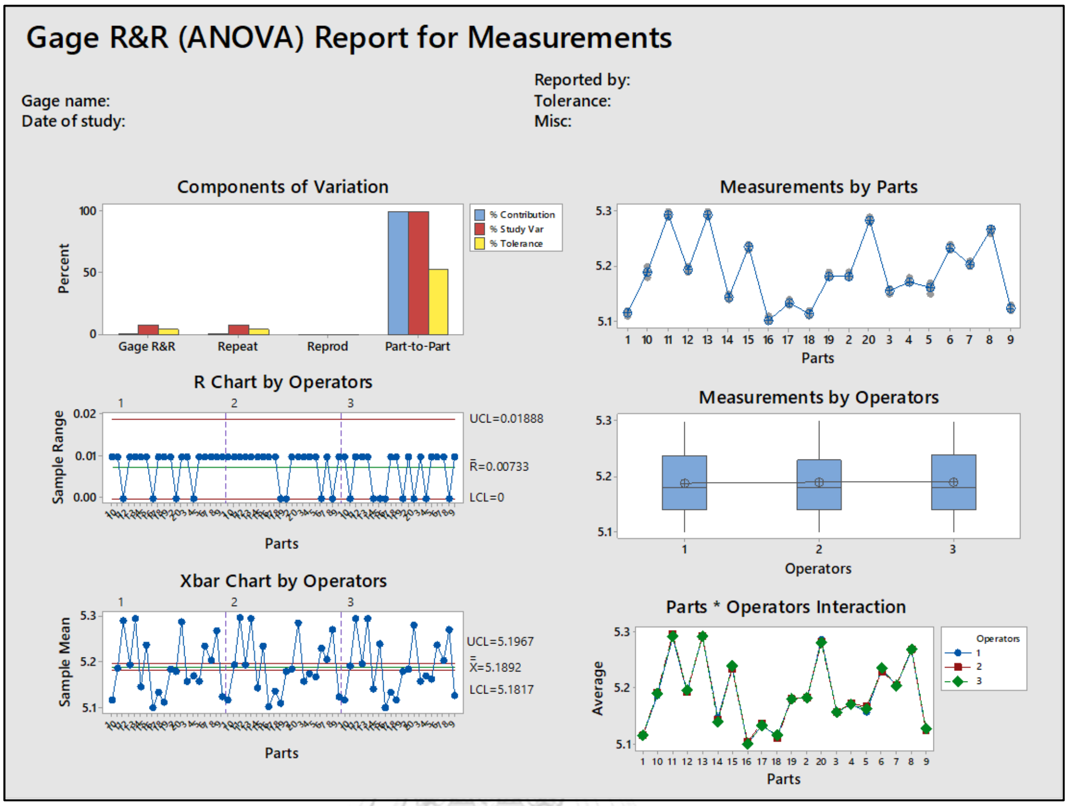
Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.0000235	0.62
Repeatability	0.0000235	0.62
Reproducibility	0.0000000	0.00
Operators	0.0000000	0.00
Part-To-Part	0.0037689	99.38
Total Variation	0.0037924	100.00

Process tolerance = 0.7

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.0048450	0.029070	7.87	4.15
Repeatability	0.0048443	0.029066	7.87	4.15
Reproducibility	0.0000839	0.000503	0.14	0.07
Operators	0.0000839	0.000503	0.14	0.07
Part-To-Part	0.0613917	0.368350	99.69	52.62
Total Variation	0.0615826	0.369496	100.00	52.79

Number of Distinct Categories = 17



รูปที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัด (GR&R) จากโปรแกรม MINITAB

วิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม Minitab

จากการพิจารณาค่า Number of Distinct ได้เท่ากับ 17 หมายความว่าระบบการวัดที่ทำการศึกษาได้ทำการแยกข้อมูลที่วัดได้ 17 ประเภทที่มีความแตกต่างกัน แสดงว่าข้อมูลที่ได้จะใช้ประมาณค่าความผันแปรของระบบการวัดได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1. ความผันแปรจากสิ่งตัวอย่าง จากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลทดลองทั้งหมด เมื่อประเมินความผันแปรเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ (Precision to Total Varience : P/TV) แล้ว จะพบว่า ถ้าความผันแปรจากกระบวนการผลิตที่ประเมินได้จากค่าวัดทั้งหมด (TV) มีค่าเท่ากับ 100 หน่วยแล้ว จะเป็นความผันแปรจากสาเหตุของกระบวนการผลิต 99.38 หน่วย และความผันแปรจากระบบการวัด 0.62 หน่วยจากค่า “Varcomp” แสดงความแปรปรวนของการทดลองแบบตัวแบบสุ่ม ซึ่งจะพบความแปรปรวนจากข้อมูลทั้งหมด มีค่า 0.0037924 หน่วย โดยมาจาก ความแปรปรวนจากกระบวนการผลิต 0.0037689 หน่วย และความแปรปรวนจากระบบการวัด 0.0000235 หน่วย

2. จากการวิเคราะห์ด้วย 2-Way Avova เมื่อพิจารณาร่วมกับ Two-Way Anova พบว่า ค่าเฉลี่ยจากการวัดของพนักงานแต่ละคนมีค่าใกล้เคียงกัน (ค่า p-value = 0.364 > α 0.05) จึงสรุปได้ว่า พนักงานทั้งสามคนไม่มีการวัดที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

และจากการทดสอบการหาค่าพบว่า

% Precision to Total variation = 7.87 %

% Precision to Tolerance = 4.15 %

ถือว่าระบบการวัดผ่านการยอมรับ

หมายเหตุ : ค่าที่ยอมรับได้ของ Total Gage R&R ต้องไม่เกิน 10% จาก AIAD(2001)

ดังนั้นสรุปได้ว่าจากการวิเคราะห์ผลลัพท์ที่ได้จาก โปรแกรม Minitab สามารถสรุปได้ว่า ความแม่นยำของระบบการวัดที่ใช้ในการวัดความหนาของท่อ มีความเหมาะสมและอยู่ในเกณฑ์ที่ใช้งานในระบบการวัดได้

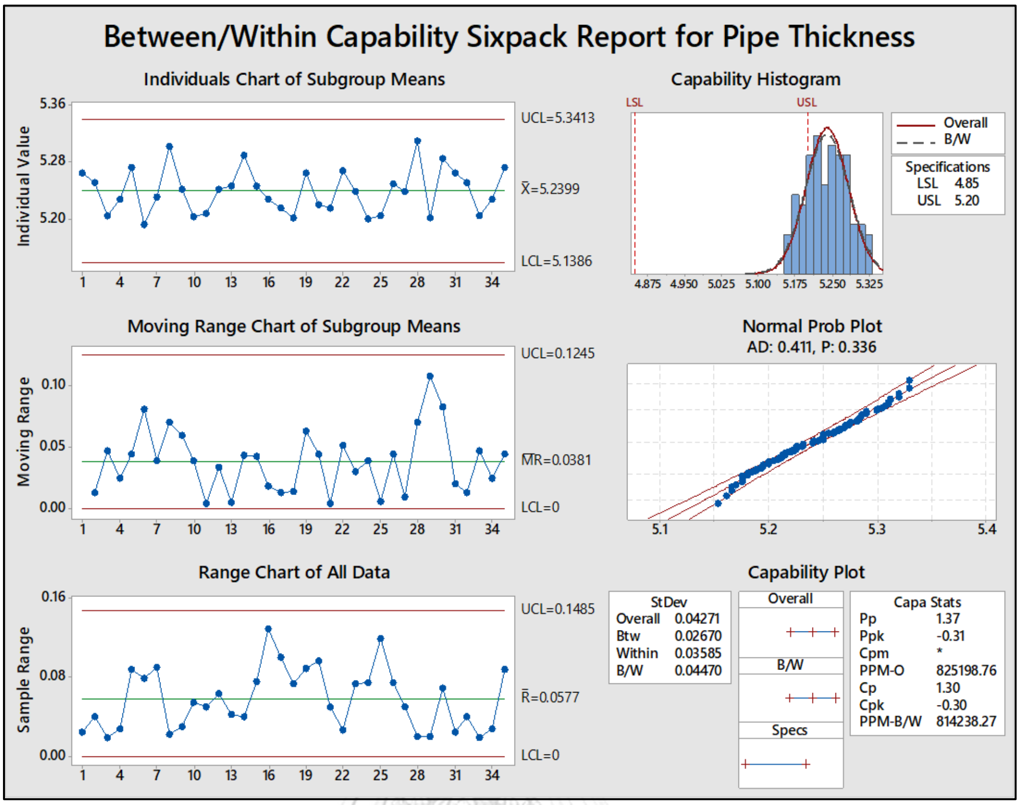
4.5 การวัดความสามารถของกระบวนการ

วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการอัดรีดท่อขนาด 100 มิลลิเมตร ที่ชั้นคุณภาพ 8.5 มิลลิเมตร ก็เพื่อประเมินความผันแปรของกระบวนการและวิเคราะห์ความผันแปรที่เกิดขึ้น เพื่อหาทางลดความผันแปรที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการ วิธีการเก็บข้อมูลเพื่อนำมาศึกษาความสามารถของกระบวนการ เริ่มด้วยการเก็บขนาดตัวอย่างสำหรับใช้วัดความสามารถของกระบวนการ และรวบรวมข้อมูลการวัดขนาดความหนาและน้ำหนักของท่อพลาสติกพีวีซี โดยเก็บจากพนักงานคนเดียวกัน ตลอดระยะเวลาในการเก็บข้อมูล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.5.1 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการก่อนการปรับปรุง

ผู้วิจัยได้ทำการกำหนดขนาดชิ้นงานตัวอย่างจำนวน 105 ท่อน โดยใช้ โปรแกรม Minitab ทำการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการได้ผลแสดงดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์ Process Capability จากโปรแกรม MINITAB

จากผลการวิเคราะห์ Process Capability จากโปรแกรม MINITAB ตามรูปที่ 4.11 พบว่า จากกราฟ Xbar-R Chart พบว่าข้อมูลการกระจายตัวปกติ โดยข้อมูลมีการกระจายตัวอยู่ในเส้นควบคุม และพิจารณาการแจกแจงของข้อมูล พบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ เนื่องจากค่า P-Vale เท่ากับ 0.336 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงแสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการวัดขนาดความหนาของท่อ มีความน่าเชื่อถือ สามารถวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการได้

วิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการรีดท่อพลาสติกด้านความหนา พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.2399 มิลลิเมตร จากค่ามาตรฐานด้านสูง(USL) 5.2 มิลลิเมตร และด้านต่ำ(LSL) 4.85 มิลลิเมตร ซึ่งห่างจากค่าเป้าหมาย (Target) คือค่าเฉลี่ย ที่ค่า 5.025 มิลลิเมตร สูงถึง 82.5% ส่วนค่า C_p และ C_{pk} ที่ได้คือ 1.3 และ -0.3 ตามลำดับ ซึ่งค่า C_p ที่ได้มีค่ามากกว่าเกณฑ์การยอมรับที่กำหนดคือ 1.33 ส่วนค่า C_{pk} มีค่าน้อยกว่าเกณฑ์ยอมรับ หมายความว่ากระบวนการนี้มีความผันแปรของกระบวนการมีค่าน้อยในระดับที่ยอมรับได้ แต่กระบวนการยังมีความสามารถในระดับที่ยอมรับไม่ได้เนื่องจากกระบวนการมีค่าเฉลี่ยเบี่ยงเบนจากค่าเป้าหมายอยู่มากเกินไป จึงควรพิจารณาปรับปรุงค่าเฉลี่ยให้เข้าใกล้เป้าหมายมากขึ้น

4.6 การระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้า

เป็นขั้นตอนที่ใช้การระดมความคิดจากทีมที่ทำการคัดเลือกมาจากระยะนิยามปัญหา และการอ้างอิงด้วยหลักการวิศวกรรม เพื่อให้ทราบถึงปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อความผันแปรของความหนาท่อพลาสติกพีวีซี โดยปัจจัยที่มีอิทธิพลจำแนกได้เป็น 5 กลุ่ม ดังนี้

1. ปัจจัยที่มาจากวัตถุดิบ (Material)
2. ปัจจัยที่เกิดจากเครื่องจักร (Machine)
3. ปัจจัยที่เกิดจากวิธีการ (Method)
4. ปัจจัยที่เกิดจากคน (Man)
5. ปัจจัยที่เกิดจากการวัด (Measurement)

1. ปัจจัยที่เกิดจากวัตถุดิบ (Material)
   - ความหนาแน่นของส่วนผสมสูตรผลิต มีผลต่อน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ท่อโดยตรงถ้าความหนาแน่นที่กำหนดมีค่าเกินมาตรฐานจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีน้ำหนักสูง
   - ความชื้นของวัตถุดิบ มีผลต่อน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ท่อโดยตรงถ้าความชื้นของวัตถุดิบที่กำหนดมีค่าเกินมาตรฐานจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีน้ำหนักสูง
2. ปัจจัยที่เกิดจากเครื่องจักร (Machine)
   - การเสื่อมสภาพและระยะเวลาในการบำรุงรักษา และเครื่องจักรที่ใช้ในสายการผลิตความสม่ำเสมอของการชั่งวัด และความเร็วของการปั่นผสมซึ่งไม่มีการตรวจสอบซ่อมแซมให้อยู่ในสภาพดีเสมอ จะมีผลทำให้เครื่องจักรปฏิบัติงานได้ผิดพลาดไป ทำให้เกิดความเสียหายต่อชิ้นงานหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงต่อตัวงานได้
3. ปัจจัยที่เกิดจากวิธีการ (Method)
   - อุณหภูมิกระบอกสกรู เป็นตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพของชิ้นงานด้านการหลอมเหลวเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติด้านสีและความใสของชิ้นงาน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิถ้ามีอุณหภูมิต่ำ ชิ้นงานที่ได้จะมีลักษณะขุ่น แต่ถ้าหากอุณหภูมิสูงจะส่งผลให้ชิ้นงานมีความเงาและสดใส
   - ความเร็วรอบสกรู (Screw Speed) เป็นตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพของชิ้นงานด้านน้ำหนัก เนื่องจากถ้าทำการปรับรอบสกรูให้มีความเร็วสูง อัตราการไหลของพลาสติกก็จะสูง จะทำให้ท่อพลาสติกพีวีซีมีความหนา เช่นเดียวกันกับกรณีความเร็วรอบของสกรูต่ำจะทำอัตราการไหลของพลาสติกจะต่ำ จะทำให้ท่อพลาสติกพีวีซีมีความบาง
   - อุณหภูมิของแม่แบบ (Die Temperature) อุณหภูมิแม่แบบเป็นตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพของชิ้นงานด้านลักษณะเม็ด การเปลี่ยนแปลงค่าของอุณหภูมิแม่พิมพ์มีอิทธิพล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ต่อความสามารถในการไหลของพลาสติกเหลวผ่าน หากมีอุณหภูมิต่ำจะทำให้พลาสติกไหลย้อนกลับ แต่หากอุณหภูมิสูงไปก็จะทำให้การไหลไม่สม่ำเสมอ ชิ้นงานที่ได้จะมีขนาดบางและหนาปนกัน

- ความเร็วในการป้อน (Dosing Speed) ความเร็วรอบเป็นตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพของชิ้นงาน และมีความสัมพันธ์โดยตรงกับแรงที่ใช้ในการหมุนของสกรู คือเมื่อเพิ่มความเร็วในการป้อนจะส่งผลให้แรงที่ใช้ในการหมุนสกรูเพิ่มตาม ดังนั้นในการปรับตั้งค่าเครื่องอัดรีดพลาสติกจะมุ่งเฉพาะแรงที่ใช้ในการหมุนสกรู
- แรงสุญญากาศ (Vacuum Pressure) แรงสุญญากาศเป็นตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพของชิ้นงานด้านฟองอากาศ เนื่องจากแรงสุญญากาศจะช่วยในการดูดสารระเหยประเภทน้ำมันที่ผสมกับพีวีซีที่ไม่สามารถดูดซับได้หมด
- ความเร็วเครื่องลาก (Pullout Speed) ความเร็วเครื่องลากเป็นตัวแปรที่มีผลต่อขนาดของท่อพลาสติกพีวีซี เนื่องจากถ้าทำการปรับความเร็วของเครื่องลากให้มีความเร็วสูงความหนาของท่อพลาสติกพีวีซีจะมีขนาดบาง และถ้าทำการปรับความเร็วของเครื่องลากให้มีความเร็วต่ำจะทำให้ความหนาของท่อพลาสติกพีวีซีจะมีขนาดหนาขึ้น

4. ปัจจัยที่เกิดจากคน (Man) ได้แก่ทักษะและความสามารถของพนักงานแต่ล่ะคน ซึ่งความสามารถของพนักงานแต่ล่ะคนจะขึ้นอยู่ประสบการณ์ในการทำงาน ซึ่งพนักงานปฏิบัติงานไม่เป็นไปตามข้อกำหนด เช่น การตั้งค่าและการตรวจสอบค่าปรับตั้งของเครื่อง หากพนักงานปฏิบัติงานอย่างไม่มีหลักเกณฑ์ ก็จะมีผลทำให้เกิดความเสียหายต่อชิ้นงานได้
5. ปัจจัยที่เกิดจากการวัด (Measurement) เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อกระบวนการผลิต เพราะการวัดเปรียบเสมือนกลไกในการควบคุมกระบวนการผลิต โดยค่าที่วัดได้จะมีความผันแปรจากสาเหตุต่าง ๆที่เป็นองค์ประกอบของระบบการวัด ได้แก่ เครื่องมือวัด พนักงานวัด และวิธีการวัด

โดยแสดงรายละเอียดในแผนผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) ที่มีผลต่อความหนาของผลิตภัณฑ์ท่อพลาสติกพีวีซี ในรูปที่ 4.12 แต่จากข้อมูลที่ผ่านมาของฝ่ายผลิต ร่วมกับการระดมสมองของทีมงานวิจัย พบว่า ปัจจัยสำคัญมาจากวิธีการกำหนดสภาวะการปรับตั้งเครื่องรีด (Condition) โดยการปรับพารามิเตอร์มีค่าที่ไม่ถูกต้องและไม่เหมาะสม โดยรายละเอียดของปัจจัยที่เหลืออีก 4 ปัจจัย ทีมงานวิจัยพิจารณาว่ามีอิทธิพลน้อยต่อการเกิดข้อบกพร่องที่ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาเกินมาตรฐานที่กำหนด และสามารถกำหนดให้เป็นปัจจัยควบคุมในงานวิจัยฉบับนี้ได้ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. ปัจจัยที่มาจากวัตถุดิบ (Material) วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต ผลิตภัณฑ์ท่อพลาสติกพีวีซี ขนาด 100/8.5 คือวัตถุดิบสูตร E100 โดยวัตถุดิบที่นำมาใช้มีกระบวนการตรวจสอบคุณภาพตามขั้นตอนของระบบคุณภาพ ISO9001 โดยมีขั้นตอนการตรวจสอบเริ่มจากการตรวจรับวัตถุดิบจาก Supplier จากนั้นก่อน นำวัตถุดิบที่ได้มาทำการผสมกับสารเพิ่มคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ ต้องผ่านกระบวนการอบไล่ความชื้นก่อนนำไปเก็บใน Silo ระบบปิด ก่อนส่งผ่านระบบส่งผงเพื่อจ่ายให้ทำการผลิตต่อไป และมีการประเมินผลทางด้านคุณภาพทุก ๆ 6 เดือนเป็นประจำ จึงสามารถกำหนดให้ปัจจัยที่มาจากวัตถุดิบนี้สามารถเป็นปัจจัยควบคุมได้

2. ปัจจัยที่เกิดจากเครื่องจักร (Machine) เครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการอัดรีดผลิตภัณฑ์ท่อพลาสติกพีวีซี ขนาด 100/8.5 ซึ่งมีรายละเอียดข้อมูลต่าง ๆ ของเครื่องจักร ดังแสดงในตาราง 4.3 โดยบริษัทกรณีศึกษาได้มีการทำระบบบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance: PM) ตามระยะเวลาที่กำหนด ดังนั้นทีมงานวิจัย จึงกำหนดให้เป็นปัจจัยควบคุมสำหรับงานวิจัยฉบับนี้

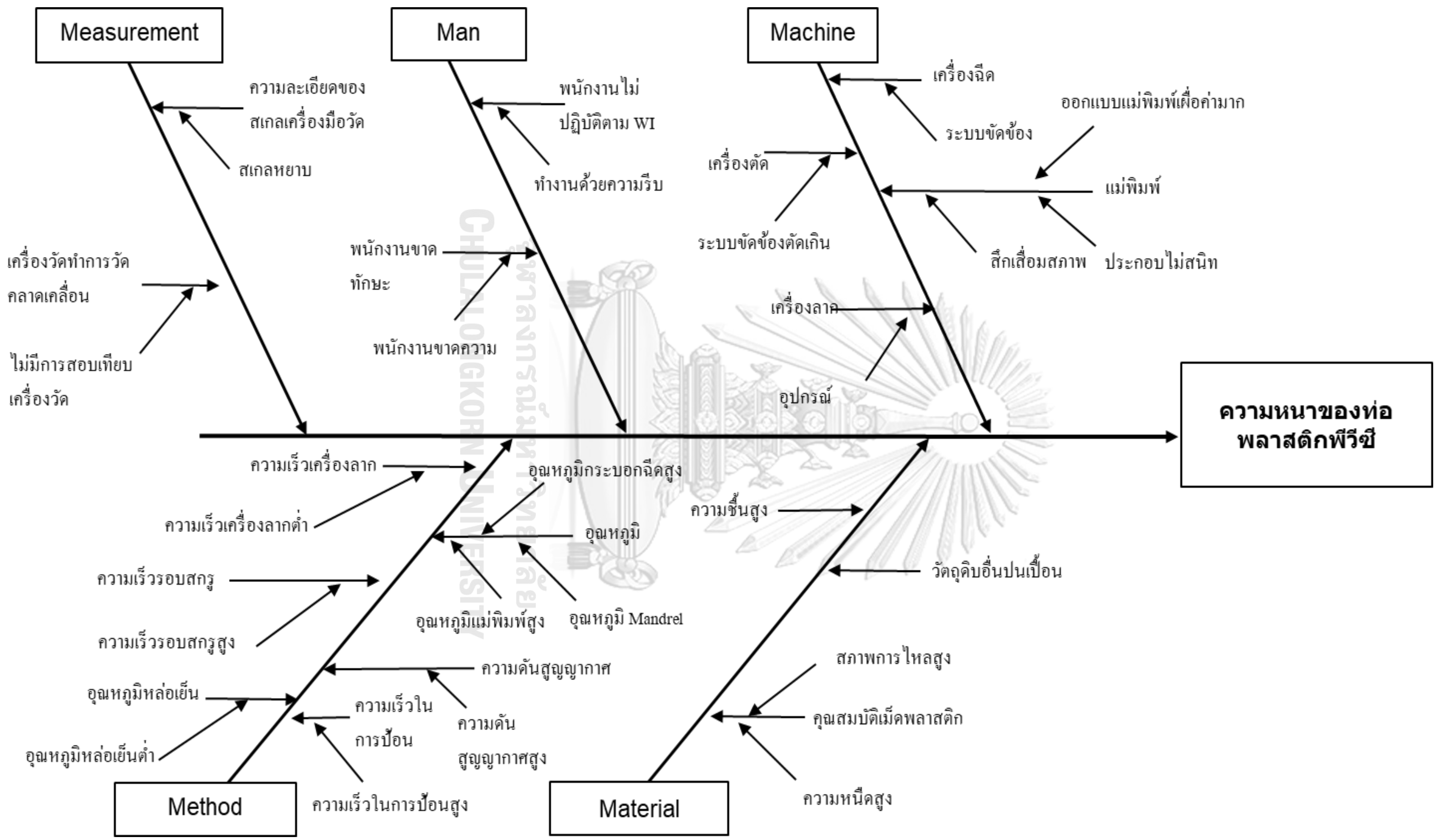
ตารางที่ 4.3 รายละเอียดเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์

เครื่องรีด (Extrusion Machine)	
Machine Name	TWINSIC
Model	TW-90-RP-D
Machine No.	87
Screw Diameter	90 mm.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3. ปัจจัยที่เกิดจากคน (Man) พนักงานทุกคนของบริษัทกรณีศึกษาต้องได้รับการฝึกอบรมในหลักสูตรของการปฏิบัติงานในหน้าที่ที่ได้รับผิดชอบ และมีการประเมินทุก ๆ รอบ 6 เดือน ดังนั้นทีมงานวิจัยจึงพิจารณาว่าปัจจัยที่เกิดจากพนักงานมีอิทธิพลน้อยต่อการเกิดข้อบกพร่องชนิดน้ำหนักเกินมาตรฐาน จึงกำหนดพนักงานทีมเดียวกันสำหรับทุกขั้นตอนของกระบวนการอัดรีด

4. ปัจจัยที่เกิดจากการวัด (Measurement) จากการวิเคราะห์ความถูกต้องและความแม่นยำ ของระบบการวัด พบว่าพนักงานตรวจสอบทั้ง 3 คน มีความสามารถในการวัด อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ดังนั้นทีมงานจึงพิจารณาให้ปัจจัยที่เกิดจากการวัด (Measurement) เป็นปัจจัยควบคุมโดยใช้พนักงานตรวจสอบคนเดิมตลอดการทดลองในงานวิจัยฉบับนี้



รูปที่ 4.12 แสดงรายละเอียดในแผนผังแสดงเหตุและผลที่มีผลต่อความหนาของผลิตภัณฑ์

สรุปปัจจัยที่มีอิทธิพลน้อยต่อการเกิดข้อบกพร่องชนิดน้ำหนักเกินมาตรฐาน และกำหนดให้เป็นปัจจัยควบคุมของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ปัจจัยที่เกิดจากวัตถุดิบ (Material) ปัจจัยที่เกิดจากเครื่องจักร (Machine) ปัจจัยที่เกิดจากการวัด (Measurement) ปัจจัยที่เกิดจากพนักงาน (Man) แต่ปัจจัยที่เกิดจากวิธีการ (Method) จะกำหนดให้เป็นปัจจัยนำเข้าที่ใช้ในการทดลองสำหรับงานวิจัยฉบับนี้

4.7 การวิเคราะห์พารามิเตอร์ในกระบวนการอัดรีดพลาสติก

งานวิจัยฉบับนี้ได้มีการระดมสมองจากสมาชิกในทีม เพื่อค้นหาพารามิเตอร์ทั้งหมดที่เป็นสาเหตุ ที่มีผลต่อความหนาของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นสาเหตุหลักซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์มีน้ำหนักเกินมาตรฐาน และนำเทคนิคการวิเคราะห์ปัญหาจากสาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix) มาใช้เพื่อคัดกรองพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบมาก ทั้งนี้เพื่อเป็นปัจจัยในการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าปรับตั้งที่เหมาะสมในบทที่ 5 โดยมีขั้นตอนดังนี้

4.7.1 ศึกษาข้อมูลเพื่อหาพารามิเตอร์ของกระบวนการรีดพลาสติก ที่ส่งผลกระทบต่อน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ ร่วมกันกับข้อมูลสนับสนุนจากการวิจัยที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงปัจจัยที่ส่งผลต่อความหนาของผลิตภัณฑ์

ลำดับ	พารามิเตอร์	ค่าปรับตั้ง	หน่วย	แหล่งที่มา	
				งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	การระดมสมอง
1	อุณหภูมิกระบอกฉีด 1	175-180	℃	-	/
2	อุณหภูมิกระบอกฉีด 2	170-175		-	/
3	อุณหภูมิกระบอกฉีด 3	165-170		-	/
4	อุณหภูมิกระบอกฉีด 4	160-165		-	/
5	อุณหภูมิกระบอกฉีด 5	155-160		-	/
6	อุณหภูมิหัวแม่พิมพ์	160-170		/	/
7	อุณหภูมิปลายแม่พิมพ์	175-195		/	/
8	อุณหภูมิแกนแบบท่อ	200-220		/	/
9	ความเร็วรอบสกรู	21-25	RPM.	/	/
10	ความเร็วเครื่องลาก	2900-3200	mm/minute	/	/
11	อุณหภูมิหล่อเย็น	10-16	℃	/	/
12	ความดันสูญญากาศ	400-500	mmbar	/	/

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากนั้นนำปัจจัยทั้งหมดที่มาจากการระดมสมองและจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมาใช้เครื่องมือ (Cause-and Effect Matrix : C&E Matrix) เพื่อกรองปัจจัยนำเข้า

4.7.2 การวิเคราะห์สาเหตุและผลโดยใช้ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause-and Effect Matrix: C&E Matrix)

เมื่อทราบตัวแปรนำเข้าทั้งหมดของกระบวนการที่ส่งผลต่อความผันแปรของความหนาของท่อแล้ว ต่อมาจึงมีความจำเป็นที่ต้องทำการระดมสมองเพื่อให้คะแนนปัจจัยนำเข้าทั้งหมดเพื่อหาปัจจัยนำเข้า ซึ่งจะมีการกำหนดระดับคะแนน จะกำหนดให้แตกต่างกันมากเพื่อให้สามารถแยกความสำคัญได้อย่างชัดเจนมากขึ้น โดยในการให้คะแนนครั้งนี้เป็นไปตามความรู้และประสบการณ์ของแต่ละบุคคลในทีม

เกณฑ์การให้คะแนนเป็นดังนี้

1 = ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนั้นกับตัวแปรตอบสนอง

3 = มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนั้นกับตัวแปรตอบสนองน้อยมาก

5 = มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนั้นกับตัวแปรตอบสนองปานกลาง

7 = มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนั้นกับตัวแปรตอบสนองมาก

9 = มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนั้นกับตัวแปรตอบสนองมากที่สุด

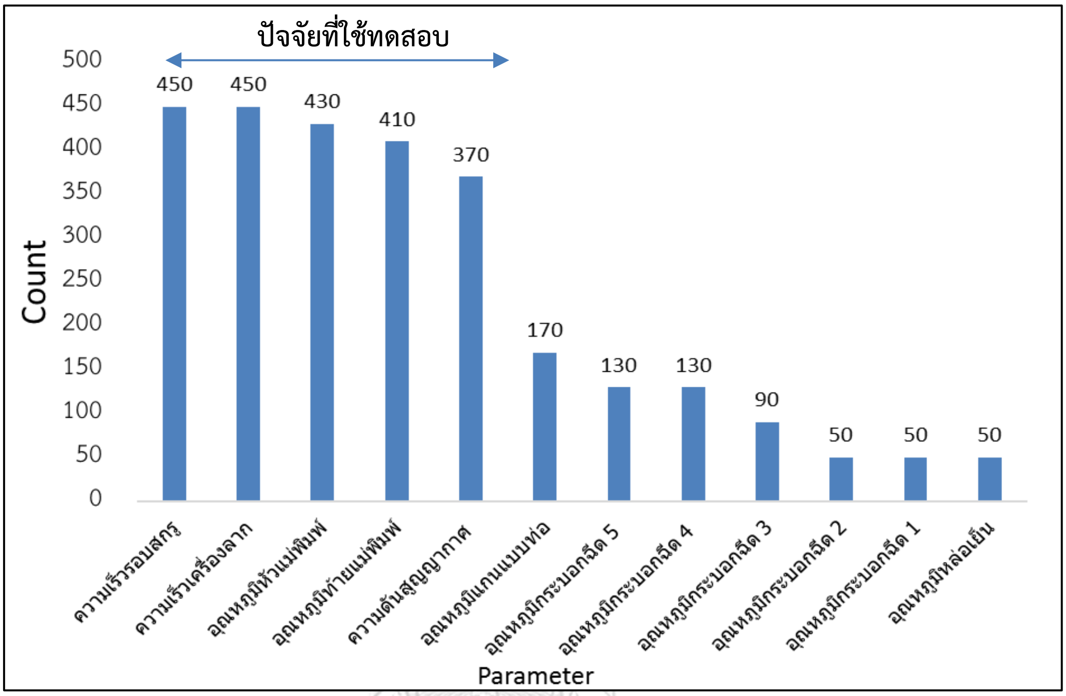
จากปัจจัยนำเข้าทั้ง 12 ปัจจัยในตารางที่ 4.4 เพื่อนำเข้าเครื่องมือ C&E Matrix เพื่อกรองปัจจัยออกมาโดยได้ผลการให้คะแนนเป็นดังตารางที่ 4.5 ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.5 การวิเคราะห์สาเหตุและผลโดยใช้ C&E Matrix

พารามิเตอร์ที่มีผลกระทบต่อข้อบกพร่องทางด้านความหนาของผลิตภัณฑ์										
ลำดับ	พารามิเตอร์	ค่าปรับตั้ง	หน่วย	ผลิต	บำรุงรักษาแบบผลิต	ซ่อมบำรุง	ประกันคุณภาพ	พัฒนาการผลิต	Total	Total*10
1	อุณหภูมิกระบอกฉีด 1	175-180	C˙	1	1	1	1	1	5	50
2	อุณหภูมิกระบอกฉีด 2	170-175	C˙	1	1	1	1	1	5	50
3	อุณหภูมิกระบอกฉีด 3	165-170	C˙	3	1	1	1	3	9	90
4	อุณหภูมิกระบอกฉีด 4	160-165	C˙	3	3	3	1	3	13	130
5	อุณหภูมิกระบอกฉีด 5	155-160	C˙	3	3	3	1	3	13	130
6	อุณหภูมิหัวแม่พิมพ์	160-170	C˙	9	9	7	9	9	43	430
7	อุณหภูมิท้ายแม่พิมพ์	175-195	C˙	9	9	7	7	9	41	410
8	อุณหภูมิแกนแบบท่อ	200-220	C˙	3	5	3	3	3	17	170
9	ความเร็วรอบสกรู	21-25	RPM.	9	9	9	9	9	45	450
10	ความเร็วเครื่องลาก	2900-3200	mm/minute	9	9	9	9	9	45	450
11	อุณหภูมิหล่อเย็น	10-16	C˙	1	1	1	1	1	5	50
12	ความดันสูญญากาศ	4-8	mmbar	9	7	7	7	7	37	370

จาก C&E Matrix คะแนนรวมความสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อความหนาของท่อพลาสติกพีวีซี เรียงตามลำดับลงมาสามารถนำมาพล็อตแผนภูมิแท่งเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยได้ผลดังรูปที่ 4.13 ดังนี้



รูปที่ 4.13 แผนภูมิแท่งเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อความหนา

จากผลการให้คะแนนความสำคัญของพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบต่อความหนาของผลิตภัณฑ์ท่อ โดยทีมงานได้ให้คะแนนรวมจากทุกพารามิเตอร์เท่ากับ 2,780 คะแนน และทำการคัดเลือกพารามิเตอร์ตามลำดับคะแนนความสำคัญที่ได้จัดเรียงไว้ในแผนภูมิในรูปที่ 4.13 เพื่อใช้เป็นปัจจัยในการวิเคราะห์โดยเทคนิคการออกแบบการทดลองทั้งสิ้น 5 ปัจจัยได้แก่

1. ความเร็วรอบสกรู คะแนนรวม 450 คะแนน
2. ความเร็วเครื่องลาก คะแนนรวม 450 คะแนน
3. อุณหภูมิหัวแม่พิมพ์ คะแนนรวม 430 คะแนน
4. อุณหภูมิท้ายแม่พิมพ์ คะแนนรวม 410 คะแนน
5. ความดันสุญญากาศ คะแนนรวม 370 คะแนน

ซึ่งผลรวมคะแนนความสำคัญของปัจจัยทั้งหมดที่เลือกไว้ มีค่าเท่ากับ 2,110 คะแนน คิดเป็นสัดส่วนประมาณ 76% ของคะแนนทั้งหมด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.8 สรุปผลการดำเนินงานระยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา

ในขั้นตอนแรกของระยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา ได้ใช้เครื่องมือทางสถิติคือ แผนภูมิควบคุม X Bar-S chart และ Multi-Vari Chart เพื่อวิเคราะห์หาตัวแปรที่มีผลต่อน้ำหนัก 3 ส่วน คือ ความหนาแน่นของวัตถุดิบ ความหนาของท่อ และความยาวของท่อ โดยพบว่าตัวแปรที่มีผลต่อน้ำหนักของผลิตภัณฑ์มากที่สุดของบริษัทกรณีศึกษาคือ ความหนาของท่อ จากนั้นได้ทำการวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) โดยใช้ GR&R ทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากค่าที่วัดโดยเครื่องมือวัดไมโครมิเตอร์ชนิดดิจิตอล ซึ่งใช้พนักงานวัด จำนวน 3 คน ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์ว่า ระบบการวัดมีคุณสมบัติผ่านเกณฑ์ และสามารถให้การยอมรับความผันแปรของกระบวนการวัดได้

ทำการศึกษาด้านความสามารถของกระบวนการ และทำการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งจากการเก็บข้อมูลความหนาของผลิตภัณฑ์ท่อจำนวน 105 ท่อน พบว่ากระบวนการรีดท่อพลาสติกในปัจจุบันมีความสามารถของกระบวนการค่อนข้างต่ำ คือ C_p และ C_{pk} ที่ได้คือ 1.3 และ -0.3 ตามลำดับ ซึ่งค่า C_p ที่ได้มีค่ามากกว่าเกณฑ์การยอมรับที่กำหนดคือ 1.33 ส่วนค่า C_{pk} มีค่าน้อยกว่าเกณฑ์ยอมรับ หมายความว่ากระบวนการนี้มีความผันแปรของกระบวนการมีค่าน้อยในระดับที่ยอมรับได้ แต่กระบวนการยังมีความสามารถในระดับที่ยอมรับไม่ได้เนื่องจากกระบวนการมีค่าเฉลี่ยเบี่ยงเบนจากค่าเป้าหมายอยู่มากเกินไป จึงควรพิจารณาปรับปรุงค่าเฉลี่ยให้เข้าใกล้เป้าหมายมากขึ้น

ทำการระดมความคิดจากทีมงานเพื่อค้นหาปัจจัยนำเข้า ที่มีผลต่อความหนาของผลิตภัณฑ์ท่อ โดยปัจจัยมาจากการระดมความคิดเห็นจากสมาชิก และจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในอดีต โดยได้ปัจจัยนำเข้าทั้งหมด 12 ปัจจัย จากนั้นจึงใช้ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause-and-Effect Matrix) เพื่อกรองปัจจัย โดยได้ปัจจัยหลัก 5 ปัจจัยคือ ความเร็วรอบสกรู ความเร็วเครื่องลาก อุณหภูมิหัวแม่พิมพ์ อุณหภูมิท้ายแม่พิมพ์ และความดันสุญญากาศ ซึ่งจะนำไปทดสอบและวิเคราะห์ในระยะต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
ผลการดำเนินงานในระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา จะประกอบไปด้วยการทดสอบสมมุติฐานและ/หรือการออกแบบการทดลอง เพื่อหาปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง เพื่อนำปัจจัยที่มีผลนี้มาทำการวิเคราะห์ ในระยะต่อไป

5.1 บทนำ

จากการระดมความคิดจากสมาชิก เพื่อหาสาเหตุที่เป็นไปได้ ที่มีผลต่อความผันแปรของน้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่เกินมาตรฐาน โดยได้ปัจจัยที่อาจมีผล จำนวน 5 ปัจจัย คือ อุณหภูมิหัวแม่พิมพ์ อุณหภูมิท้ายแม่พิมพ์ ความเร็วรอบสกรู ความดันสุญญากาศ และความเร็วเครื่องลาก ซึ่งจะนำ 5 ปัจจัยนี้ มาทำการวิเคราะห์ต่อในระยะของการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ซึ่งจะทำการทดลองเพื่อทดสอบว่า ปัจจัยนำเข้าใดมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความผันแปรของความหนา เพื่อนำมาใช้วิเคราะห์หา ระดับพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยในระยะการปรับปรุงแก้ไขในกระบวนการต่อไป

5.2 ปัจจัยที่จะนำเข้ามาทดลอง

จากระยะการวัดเพื่อระบุสาเหตุของปัญหาที่กล่าวมาในบทที่แล้ว สามารถสรุปปัจจัยนำเข้าที่จะนำมาทดสอบในระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ดังนี้

ตารางที่ 5.1 ปัจจัยนำเข้าที่อาจมีผลต่อตัวแปรตอบสนองทั้ง 5 ปัจจัย

ลำดับ	ปัจจัยนำเข้า	หน่วย
1	ความเร็วรอบสกรู	RPM.
2	ความเร็วเครื่องลาก	mm./minute
3	อุณหภูมิหัวแม่พิมพ์	℃
4	อุณหภูมิท้ายแม่พิมพ์	℃
5	ความดันสุญญากาศ	mbar

5.3 การเลือกใช้รูปแบบในการทดลอง

เครื่องมือที่ช่วยในการวิเคราะห์ ได้แก่ โปรแกรม MINITAB เป็น โปรแกรมที่มีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ผลทางสถิติพื้นฐานและสามารถประมวลผลที่ครอบคลุมทั้งด้านการควบคุมคุณภาพไปจนถึงการออกแบบการทดลอง โดยงานวิจัยนี้ออกแบบการทดลอง (Design of Experiment, DOE) โดยเลือกการออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box Behnken) เนื่องจากมีจำนวนครั้งของการทดลองที่น้อยกว่า รวมถึงต้นทุนที่ถูกกว่า นอกจากนี้การปรับตั้งพารามิเตอร์ของเครื่องจักรในบริษัทกรณีศึกษายังทำการปรับตั้งได้ง่ายกว่าเมื่อเทียบกับการออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมกลาง (Central Composite Design,CCD)

5.4 ขนาดตัวอย่าง

การหาขนาดตัวอย่าง (Sample Size) ของการออกแบบการทดลองแบบบ๊อกซ์-เบห์นเคน (Paul G. Mathews, 2004) ได้เสนอสูตรการคำนวณหาขนาดตัวอย่างของการทดลองแบบ บ็อกซ์-เบห์นเคน ที่มีปัจจัยนำเข้า 5 ปัจจัย โดยจะทำการพิจารณาจากระดับคุณภาพในปัจจุบัน ระดับการเปลี่ยนแปลงที่ตรวจจับได้ และปัจจัยอื่น ๆ ซึ่งมีสูตรการคำนวณดังสมการที่ 5.1 ดังนี้

$$n \geq \frac{1}{\frac{8}{3}(\frac{k}{2})}\left(\frac{t_{\frac{\alpha}{2}}\sigma_{\varepsilon}}{\delta}\right)^2 \quad \text{....... (5.1)}$$

เมื่อ n = ขนาดตัวอย่างของการทดลอง

σ_{ε} = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร

$t_{\alpha/2}$ = ค่าปกติมาตรฐานที่สอดคล้องกับระดับความเชื่อมั่น (1-α) %

δ = ค่าเฉลี่ยของกระบวนการที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

K = จำนวนปัจจัยของการทดลอง

กำหนดค่า σ_{ε} = 0.08 ของความสามารถของกระบวนการในรูปที่ 4.12 และกำหนดค่า δ =1σ_{ε} เนื่องจากเป็นอัตราที่นิยมใช้ในทางปฏิบัติติคือประมาณ 1σ (1 เท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน) และกำหนดค่ากำลังของการทดสอบ (Power of Test) ให้อย่างน้อยเท่ากับ 0.95 ดังนั้น $t_{0.025} \sim z_{0.025} = 1.96$ จากนั้นจึงทำการแทนค่าที่กำหนดทั้งหมดลงในสมการที่ 5.1 จะได้ขนาดตัวอย่างสำหรับการทดลองดังนี้

$$n \geq \frac{1}{\frac{8}{3}(\frac{5}{2})}\left(\frac{1.96\text{x}0.08}{0.08}\right)^2 = 0.024$$

ดังนั้นจากการทดสอบพบว่าได้ขนาดตัวอย่าง =0.024 จึงกำหนดให้การทดลองนี้ใช้ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 1 ตัวอย่าง แต่เพื่อเป็นการลดความคลาดเคลื่อนของผลการทดลองผู้วิจัยจึงกำหนดการทำซ้ำของการทดลองนี้จำนวน 3 ซ้ำ

5.5 ปัจจัยนำเข้าและระดับของปัจจัยนำเข้า

จากการวิเคราะห์ปัจจัยในบทที่ 4 ด้วยวิธีการระดมสมองจากทีมงานวิจัยด้วยแผนภูมิแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) สามารถเลือกพารามิเตอร์ที่คาดว่าจะมีผลกับน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ เพื่อใช้เป็นปัจจัยสำหรับการออกแบบการทดลองได้ 5 ปัจจัย คือ อุณหภูมิหัวแม่พิมพ์ อุณหภูมิท้ายแม่พิมพ์ ความเร็วรอบสกรู ความดันสุญญากาศ และความเร็วเครื่องลาก โดยการกำหนดระดับของปัจจัย (Brefogle, 1999) ในการทดลองนี้จะทำการกำหนดระดับของปัจจัย (Level) ใช้ระดับเป็นแบบกำหนดตายตัว (Fixed Level) เนื่องจากเป็นปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าได้แน่นอน โดยอ้างอิงจากคู่มือมาตรฐานการทำงาน ของผลิตภัณฑ์ขนาด 100 มิลลิเมตร ชั้นคุณภาพ 8.5 ซึ่งมาจากการพิจารณาจากค่าสูงสุดและต่ำสุดที่อยู่ในช่วงการทำงานซึ่งกำหนดโดยวิศวกรควบคุมการผลิต ดังนั้นจึงทำการกำหนดระดับของแต่ละปัจจัยนำเข้าที่นำมาออกแบบการทดลองสรุปดังตารางที่ 5.2 ดังนี้

ตารางที่ 5.2 การกำหนดระดับพารามิเตอร์ของปัจจัยนำเข้าและตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

ปัจจัย	ปัจจัยนำเข้า	ระดับของปัจจัย			ตัวแปรในการออกแบบการทดลอง
		ระดับต่ำ (-1)	ระดับกลาง (0)	ระดับสูง (1)	
1	อุณหภูมิหัวแม่พิมพ์ (°C)	160	165	170	A
2	อุณหภูมิท้ายแม่พิมพ์ (°C)	175	185	195	B
3	ความเร็วรอบสกรู (RPM.)	21	23	25	C
4	ความดันสุญญากาศ (mbar)	400	450	500	D
5	ความเร็วเครื่องลาก(mm/minute)	2900	3050	3200	E

1) อุณหภูมิหัวแม่พิมพ์ เป็นอุณหภูมิสำหรับหลอมเหลวเนื้อพลาสติก บริเวณหัวแม่พิมพ์เพื่อทำการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ โดยทำการกำหนดระดับอุณหภูมิที่หัวแม่พิมพ์ให้ต่ำกว่าอุณหภูมิหลอมเหลวของวัตถุดิบ (อุณหภูมิหลอมเหลวของ PVC ประมาณ 180-210 องศาเซลเซียส) ประมาณ 10-15 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันการไหม้ของเนื้อวัตถุดิบเนื่องจากการไหลวนอยู่ในแม่พิมพ์เป็นเวลานาน โดยทำการกำหนดระดับปัจจัยอุณหภูมิ เป็น 3 ระดับ คือ 160 165 และ 170 องศาเซลเซียส

2) อุณหภูมิท้ายแม่พิมพ์ เป็นอุณหภูมิสำหรับหลอมเหลวเนื้อพลาสติกบริเวณท้ายแม่พิมพ์ เพื่อทำการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ โดยทำการกำหนดระดับอุณหภูมิที่ปลายแม่พิมพ์ให้อยู่ในระดับเดียวกับอุณหภูมิหลอมเหลวของวัตถุดิบ (อุณหภูมิหลอมเหลวของ PVC ประมาณ 180-210 องศาเซลเซียส) โดยทำการกำหนดระดับปัจจัยอุณหภูมิ เป็น 3 ระดับ คือ 175 185 และ 195 องศาเซลเซียส

3) ความเร็วรอบสกรู เป็นตัวกำหนดอัตราการอัดรีดเพื่อผสมเนื้อวัตถุดิบให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยการกำหนดระดับค่าปรับตั้งของรอบสกรูจะทำการกำหนดที่ขนาดของผลิตภัณฑ์และอัตราความเร็วของการผลิตของผลิตภัณฑ์ โดยทำการกำหนดระดับปัจจัย เป็น 3 ระดับ คือ 21 23 และ 25 รอบต่อนาที

4) ความดันสุญญากาศ เป็นความดันในการ Set ขึ้นรูปของผลิตภัณฑ์ท่อให้มีลักษณะปล่องเป็นรูปทรงกลม โดยการกำหนดระดับของความดันสุญญากาศ ทำการกำหนดเช่นเดียวกับความเร็วของรอบสกรู โดยขนาดแรงดันจะขึ้นอยู่กับขนาดของผลิตภัณฑ์ โดยทำการกำหนดระดับปัจจัย เป็น 3 ระดับ คือ 400 450 และ 500 mbar

5) ความเร็วเครื่องลาก เป็นความเร็วในการลากดึงผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปแล้วจากการผลิตเพื่อมาทำการตัดเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป ทำการกำหนดเช่นเดียวกับความเร็วของรอบสกรู และความดันสุญญากาศ โดยความเร็วเครื่องลากจะขึ้นอยู่กับขนาดของผลิตภัณฑ์ โดยทำการกำหนดระดับปัจจัย เป็น 3 ระดับ คือ 2,900 3,050 และ 3,200 รอบต่อนาที

5.6 ตัวแปรตอบสนอง

ตัวแปรตอบสนองในการทดลองนี้ ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะพิจารณาปัจจัยนำเข้าที่มีผลกระทบต่อน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ โดยต้องการลดความสูญเสียที่เกิดจากการผลิตสินค้าเกินน้ำหนักมาตรฐาน โดยทำการทดลองเพื่อหาค่าปรับตั้งของปัจจัย ให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ทีน้ำหนักต่ำที่สุด โดยยังคงผ่านมาตรฐานของการผลิตที่กำหนด คือ ความหนา โดยการตรวจสอบน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ ได้จากการนำไปชั่งที่เครื่องชั่งดิจิตอล และความหนาของผลิตภัณฑ์ ได้จากการวัดโดยไมโครมิเตอร์ชนิดดิจิตอล

ดังนั้นสรุปได้ว่าตัวแปรตอบสนองที่ทำการศึกษาจึงเป็น น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ท่อ (W) และความหนาเฉลี่ยของท่อ (T)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

5.7 การออกแบบการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อความผันแปรของน้ำหนักและความหนา

การออกแบบการทดลองนี้ ใช้การออกแบบการทดลองแบบบ๊อกซ์-เบห์นเคน โดยใช้โปรแกรม MINITAB ในการสร้างเมทริกซ์การออกแบบ โดยมีการสุ่มลำดับการทดลอง (Randomization) เพื่อให้ค่าสังเกตจากการทดลองมีความเป็นอิสระต่อกัน โดยการวิจัยนี้ทำการศึกษาจำนวนปัจจัย 5 ปัจจัย โดยทำการทดลองทั้งหมด 46 การทดลอง และการทดลองนี้ได้กำหนดจำนวนทำซ้ำ (Replication) อย่างน้อย 3 ซ้ำ ซึ่งรายละเอียดการออกแบบการทดลองและ เมทริกซ์การออกแบบแสดงในตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 การออกแบบการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อน้ำหนักและความหนาของท่อ

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	A	B	C	D	E
25	1	2	1	160	185	23	400	3050
39	2	2	1	165	175	23	500	3050
46	3	0	1	165	185	23	450	3050
38	4	2	1	165	195	23	400	3050
40	5	2	1	165	195	23	500	3050
6	6	2	1	165	185	25	400	3050
26	7	2	1	170	185	23	400	3050
23	8	2	1	165	175	25	450	3050
9	9	2	1	165	175	23	450	2900
43	10	0	1	165	185	23	450	3050
18	11	2	1	165	185	23	500	2900
4	12	2	1	170	195	23	450	3050
29	13	2	1	165	185	21	450	2900
16	14	2	1	170	185	25	450	3050
1	15	2	1	160	175	23	450	3050
28	16	2	1	170	185	23	500	3050
34	17	2	1	170	185	23	450	2900
44	18	0	1	165	185	23	450	3050
22	19	2	1	165	195	21	450	3050
41	20	0	1	165	185	23	450	3050
19	21	2	1	165	185	23	400	3200
42	22	0	1	165	185	23	450	3050

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 5.3 การออกแบบการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อน้ำหนักและความหนาของท่อ (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	A	B	C	D	E
37	23	2	1	165	175	23	400	3050
17	24	2	1	165	185	23	400	2900
21	25	2	1	165	175	21	450	3050
24	26	2	1	165	195	25	450	3050
13	27	2	1	160	185	21	450	3050
20	28	2	1	165	185	23	500	3200
8	29	2	1	165	185	25	500	3050
35	30	2	1	160	185	23	450	3200
3	31	2	1	160	195	23	450	3050
33	32	2	1	160	185	23	450	2900
30	33	2	1	165	185	25	450	2900
15	34	2	1	160	185	25	450	3050
45	35	0	1	165	185	23	450	3050
10	36	2	1	165	195	23	450	2900
27	37	2	1	160	185	23	500	3050
12	38	2	1	165	195	23	450	3200
31	39	2	1	165	185	21	450	3200
11	40	2	1	165	175	23	450	3200
36	41	2	1	170	185	23	450	3200
14	42	2	1	170	185	21	450	3050
7	43	2	1	165	185	21	500	3050
32	44	2	1	165	185	25	450	3200
2	45	2	1	170	175	23	450	3050
5	46	2	1	165	185	21	400	3050

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.8 การทำการทดลอง

5.8.1 ขั้นตอนการเตรียมการทดลอง

ทำการเตรียมการทดลองโดยเตรียมความพร้อมของอุปกรณ์ โดยเครื่องมือวัดทุกชนิดต้องผ่านการปรับเทียบ (Calibrate) จากนั้นทำการอบรมพนักงานที่เกี่ยวข้องให้เข้าใจถึงการปรับตั้งพารามิเตอร์ ให้ถูกต้องตามระดับที่จะทำการทดลอง

5.8.2 ขั้นตอนการทดลอง

- ทำการทดลองตาม Run Order ที่อยู่ในตารางออกแบบการทดลอง โดยการกำหนดปัจจัยให้เป็นไปตาม Run Order นั้น ๆ
- ทุก ๆ Run Order ให้ตัดผลิตภัณฑ์ต่อเนื่องจำนวน 3 ท่อน
- ทำการวัดน้ำหนักและขนาดความหนาของผลิตภัณฑ์ และทำการบันทึกค่าเฉลี่ยของแต่ละรัน
- ระหว่างเปลี่ยน Run Order ให้รอจนมั่นใจว่า Condition ของ Parameter ได้เปลี่ยนแล้ว Run Order ล่ะ 45 นาที
- ทำการทดลองจนครบ 46 รัน

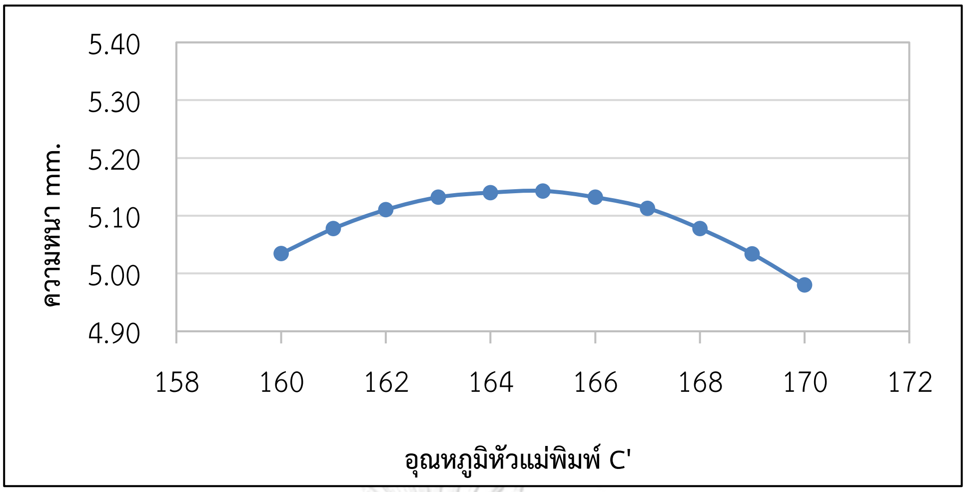
5.9 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับความหนาของผลิตภัณฑ์ท่อ

ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับความหนาของผลิตภัณฑ์ท่อ โดยทำการกำหนดปัจจัยอื่นให้คงที่ แล้วทำการปรับระดับปัจจัยที่จะพิจารณาความสัมพันธ์กับความหนา จากนั้นพิจารณาข้อมูลความสัมพันธ์ที่ได้กับพฤติกรรมของแต่ล่ะปัจจัย โดยการอภิปรายข้อมูลร่วมกับพนักงานที่เชี่ยวชาญในการผลิต โดยมีรายละเอียดดังนี้

5.9.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยอุณหภูมิหัวแม่พิมพ์กับความหนาของผลิตภัณฑ์ท่อ

สรุปผลจากข้อมูลที่เกิดขึ้นตามรูปที่ 5.1 ร่วมกับการอภิปรายร่วมกับทีมงาน สามารถอธิบายพฤติกรรมที่เกิดขึ้นได้ดังนี้ ที่อุณหภูมิหัวแม่พิมพ์เป็นปัจจัยที่ทำให้วัตถุดิบที่ไหลมาจากกระบอกฉีดเกิดการหลอมเหลว เพื่อ Set ตัวเป็นรูปร่างผ่านหัวแม่พิมพ์ ในระยะ 160-165 องศาเซลเซียส ความหนาท่อมีแนวโน้มสูงขึ้นเนื่องจากการหลอมเหลวของเนื้อวัตถุดิบมีความเหลวที่มากขึ้นตามระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ทำให้การไหลของเนื้อพีวีซีไหลสะดวกและรวดเร็ว ทำให้ท่อเกิดความหนาที่เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาที่ระดับอุณหภูมิ 165-170 องศาเซลเซียส ความหนาท่อเปลี่ยนแนวโน้มเป็นลดลง เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้เนื้อพีวีซีที่ไหลสะดวกเริ่มเปลี่ยนสภาพจากของเหลวแบบน้ำ เริ่มเหนียวจนถึงไหม้ตามระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เกิดการอั้นตัวของเนื้อพีวีซี ส่งผลให้เกิดการไหลที่ไม่คล่องตัวทำให้ความหนาท่อมีแนวโน้มลดลง

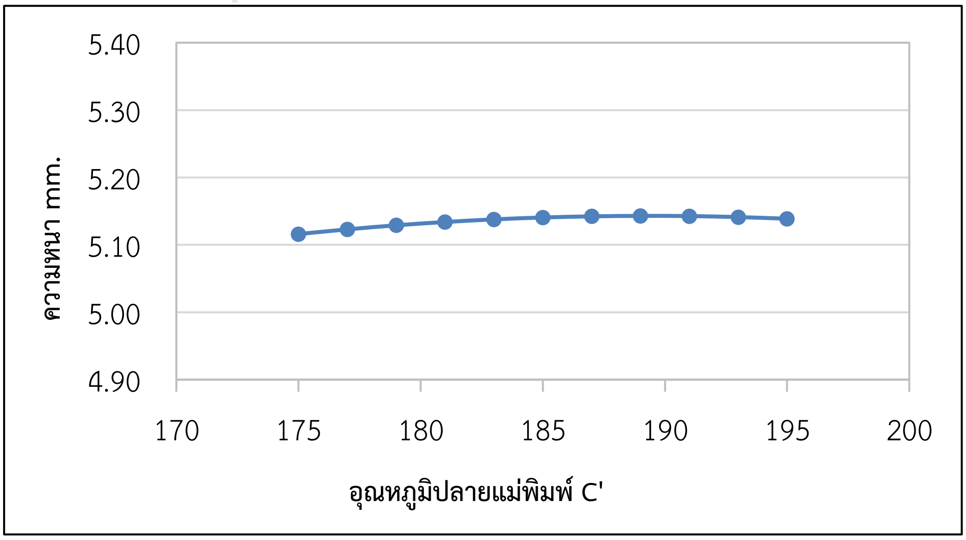
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 5.1 แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิหัวแม่พิมพ์กับความหนาท่อ

5.9.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยอุณหภูมิท้ายแม่พิมพ์กับความหนาของผลิตภัณฑ์ท่อ

สรุปผลจากข้อมูลที่เกิดขึ้นตามรูปที่ 5.2 ร่วมกับการอภิปรายร่วมกับทีมงาน สามารถอธิบายพฤติกรรมที่เกิดขึ้นได้ดังนี้ ที่อุณหภูมิปลายแม่พิมพ์เป็นปัจจัยที่ทำให้วัตถุดิบที่ไหลมาจากหัวแม่พิมพ์ก่อนออกไปสู่ ถัง Vacuum tank เพื่อขึ้นรูปตัวท่อให้คงรูปเป็นทรงกระบอก โดยจากการทดลองปรับอุณหภูมิปลายแม่พิมพ์ ที่ระดับต่างๆและทำการวัดผลความหนา พบว่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิแทบไม่มีผล แต่จะมีผลต่อคุณลักษณะด้านคุณภาพของเนื้อผิว โดยพบว่าที่ระดับ 170-180 องศาเซลเซียส เนื้อผิวมีลักษณะด้านไม่มันเงา และเมื่อพิจารณาอุณหภูมิที่ระดับ 180-190 องศาเซลเซียส ท่อพีวีซีมีเนื้อมันเงา สุดท้ายที่ระดับอุณหภูมิที่ 190 องศาเซลเซียส ขึ้นไป ท่อพีวีซีมีเนื้อมันเงาเหลืองออกไหม้ โดยแสดงดังรูปที่ 5.3

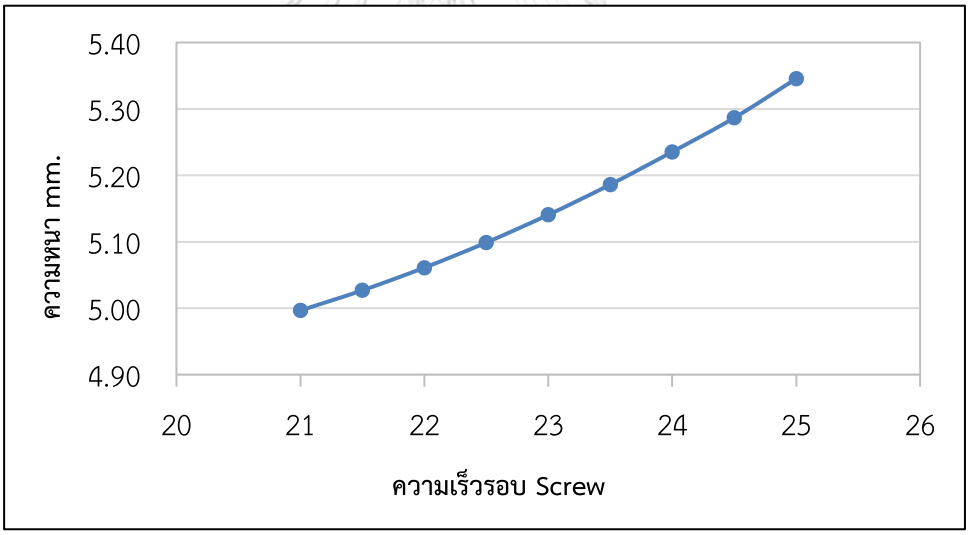


รูปที่ 5.2 แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิปลายแม่พิมพ์กับความหนาท่อ

รูปที่ 5.3 แสดงลักษณะผิวของท่อพีวีซีเมื่อปรับอุณหภูมิปลายแม่พิมพ์ไปที่ระดับต่างๆ

5.9.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยความเร็วรอบสกรูกับความหนาของผลิตภัณฑ์ท่อ

สรุปผลจากข้อมูลที่เกิดขึ้นตามรูปที่ 5.4 ร่วมกับการอภิปรายร่วมกับทีมงาน สามารถอธิบายพฤติกรรมที่เกิดขึ้นได้ดังนี้ เนื่องจากความเร็วรอบสกรูเป็นปัจจัยที่บดอัดเพื่อรีดเนื้อวัตถุดิบให้ไหลมาจากกระบอกฉีด ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของความเร็วรอบสกรูจากระดับต่ำไประดับสูง ส่งผลโดยตรงต่อความหนาของท่อพีวีซีในทิศทางเดียวกัน

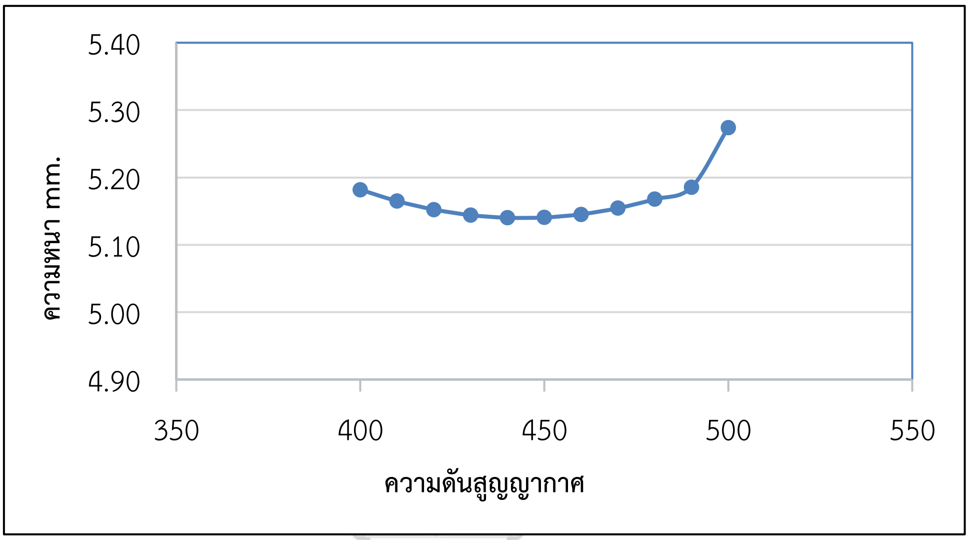


รูปที่ 5.4 แสดงความสัมพันธ์ของความเร็วรอบ Screw กับความหนาท่อ

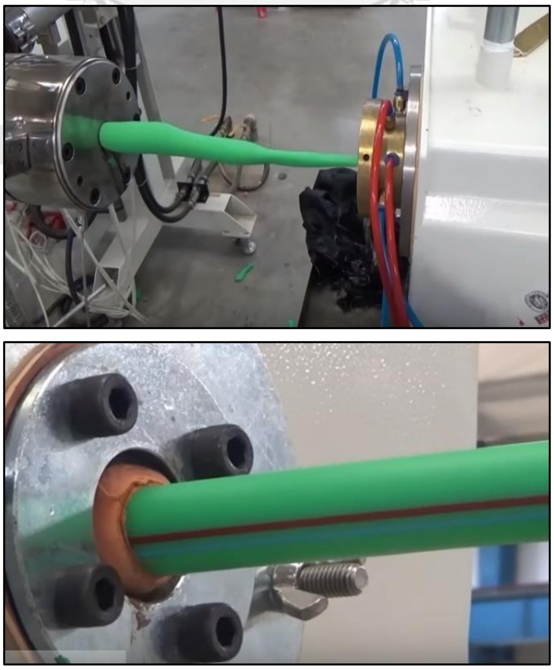
5.9.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยความดันสุญญากาศกับความหนาของผลิตภัณฑ์ท่อ

สรุปผลจากข้อมูลที่เกิดขึ้นตามรูปที่ 5.5 ร่วมกับการอภิปรายร่วมกับทีมงาน สามารถอธิบายพฤติกรรมที่เกิดขึ้นได้ดังนี้ เนื่องจากความดันสุญญากาศเป็นปัจจัยที่ช่วยในการขึ้นรูปท่อพลาสติกพีวีซีซึ่งไหลออกจากแม่พิมพ์ โดยมีลักษณะลีบแบนให้ป่องตัวเป็นทรงกระบอกตามรูปที่ 5.6 โดยทำการดูดอากาศออกจากถัง ซึ่งจากการทดลองปรับความดันสุญญากาศ ที่ระดับต่างๆ และทำการวัดผล

ความหนา พบว่าที่ระดับความดัน 400-450 mbar ท่อมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงความหนาจากมากไปน้อย เนื่องจากเป็นระดับแรงดันที่ทำให้ท่อป่องตัวและเคลื่อนที่ไปได้สะดวกเพื่อลดการอั้นของวัตถุดิบ และเมื่อที่ปรับความดันที่ระดับ 450-480 mbar ท่อมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงความหนาจากน้อยไปมาก เนื่องจากเป็นระดับแรงดันที่ทำให้เริ่มเคลื่อนตัวได้ช้าลงทำให้เกิดการอั้นของวัตถุดิบ และสุดท้ายที่ช่วงระดับความดัน 480-500 mbar ท่อมีความหนาเปลี่ยนแปลงเป็นลักษณะตั้งชัน เนื่องจากเป็นความดันที่ทำให้ท่อเริ่มไม่เคลื่อนที่ ทำให้เกิดการอั้นของวัตถุดิบอย่างชัดเจน



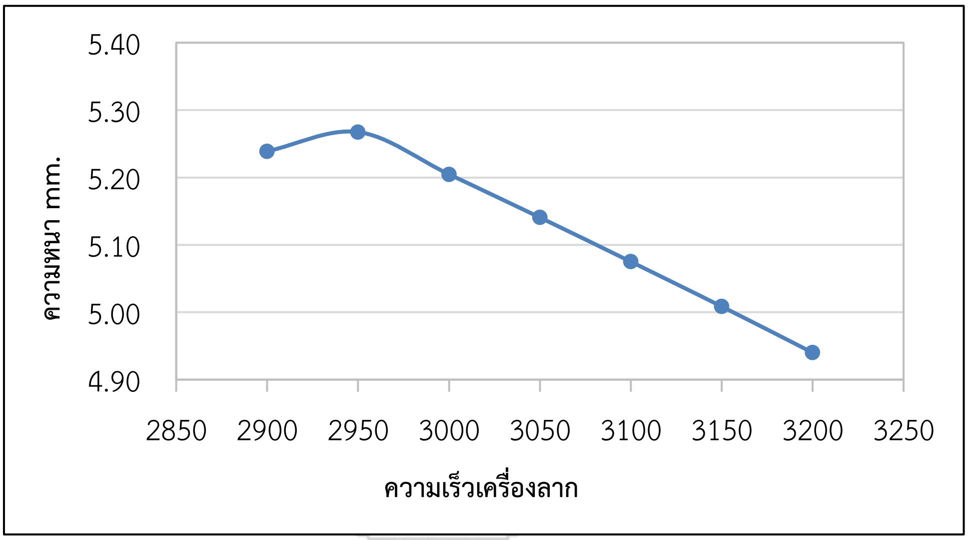
รูปที่ 5.5 แสดงความสัมพันธ์ของความดันสูญญากาศกับความหนาท่อ



รูปที่ 5.6 แสดงการทำงานของระบบสุญญากาศที่ขึ้นรูปให้ท่อป่องตัวเป็นทรงกระบอก

5.9.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยความเร็วเครื่องลากกับความหนาของผลิตภัณฑ์ท่อ

สรุปผลจากข้อมูลที่เกิดขึ้นตามรูปที่ 5.7 ร่วมกับการอภิปรายร่วมกับทีมงาน สามารถอธิบายพฤติกรรมที่เกิดขึ้นได้ดังนี้ เนื่องจากความเร็วเครื่องลากเป็นปัจจัยที่ดึงท่อออกมาจากเครื่องรีดพลาสติก ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของความเร็วรอบของเครื่องลากจากระดับต่ำไประดับสูง ส่งผลโดยตรงต่อความหนาของท่อพีวีซีในทิศทางเดียวกัน เนื่องจากถ้าทำการลากท่อเร็วจะทำให้ท่อมีความหนาที่บาง และทำการลากท่อช้าท่อจะมีความหนาที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 5.7 แสดงความสัมพันธ์ของความเร็วเครื่องลากกับความหนาท่อ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

5.10 ผลการทดลอง

จากการเก็บข้อมูลการทดลอง โดยนำผลิตภัณฑ์ท่อที่ตัดมาทำการชั่งเพื่อวัดน้ำหนัก และใช้ไมโครมิเตอร์เพื่อวัดความหนาของผลิตภัณฑ์ แล้วทำการบันทึกค่า ได้ผลดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 แสดงผลของการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อความหนาและน้ำหนักของผลิตภัณฑ์

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	A	B	C	D	E	T	W
25	1	2	1	160	185	23	400	3050	5.057	10.142
39	2	2	1	165	175	23	500	3050	5.191	10.397
46	3	0	1	165	185	23	450	3050	5.14	10.316
38	4	2	1	165	195	23	400	3050	5.175	10.368
40	5	2	1	165	195	23	500	3050	5.179	10.441
6	6	2	1	165	185	25	400	3050	5.389	10.805
26	7	2	1	170	185	23	400	3050	5.026	10.046
23	8	2	1	165	175	25	450	3050	5.335	10.757
9	9	2	1	165	175	23	450	2900	5.314	10.663
43	10	0	1	165	185	23	450	3050	5.139	10.314
18	11	2	1	165	185	23	500	2900	5.433	10.891
4	12	2	1	170	195	23	450	3050	4.976	10.061
29	13	2	1	165	185	21	450	2900	5.226	10.481
16	14	2	1	170	185	25	450	3050	5.117	10.272
1	15	2	1	160	175	23	450	3050	4.99	10.082
28	16	2	1	170	185	23	500	3050	5.059	10.151
34	17	2	1	170	185	23	450	2900	5.165	10.356
44	18	0	1	165	185	23	450	3050	5.142	10.319
22	19	2	1	165	195	21	450	3050	4.991	10.111
41	20	0	1	165	185	23	450	3050	5.14	10.316
19	21	2	1	165	185	23	400	3200	4.999	9.992
42	22	0	1	165	185	23	450	3050	5.142	10.319
37	23	2	1	165	175	23	400	3050	5.153	10.312
17	24	2	1	165	185	23	400	2900	5.361	10.717
21	25	2	1	165	175	21	450	3050	4.965	9.948
24	26	2	1	165	195	25	450	3050	5.319	10.694
13	27	2	1	160	185	21	450	3050	4.79	9.647
20	28	2	1	165	185	23	500	3200	4.999	10.046
8	29	2	1	165	185	25	500	3050	5.416	10.834
35	30	2	1	160	185	23	450	3200	4.8	9.677

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5.4 แสดงผลของการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อความหนาและน้ำหนักของผลิตภัณฑ์(ต่อ)

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	A	B	C	D	E	T	W
3	31	2	1	160	195	23	450	3050	5.122	10.326
33	32	2	1	160	185	23	450	2900	5.202	10.502
30	33	2	1	165	185	25	450	2900	5.503	11.082
15	34	2	1	160	185	25	450	3050	5.293	10.687
45	35	0	1	165	185	23	450	3050	5.141	10.318
10	36	2	1	165	195	23	450	2900	5.298	10.688
27	37	2	1	160	185	23	500	3050	5.066	10.196
12	38	2	1	165	195	23	450	3200	4.937	9.963
31	39	2	1	165	185	21	450	3200	4.761	9.606
11	40	2	1	165	175	23	450	3200	4.909	9.888
36	41	2	1	170	185	23	450	3200	4.8	9.681
14	42	2	1	170	185	21	450	3050	4.924	9.92
7	43	2	1	165	185	21	500	3050	5.069	10.188
32	44	2	1	165	185	25	450	3200	5.192	10.427
2	45	2	1	170	175	23	450	3050	4.957	9.948
5	46	2	1	165	185	21	400	3050	5.046	10.059

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

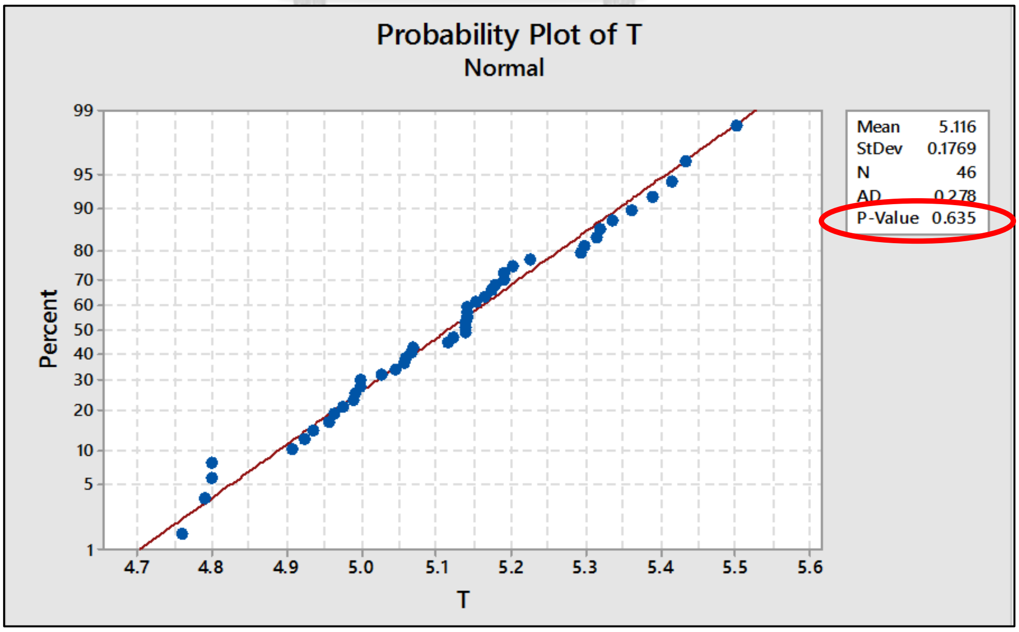
5.11 ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

ก่อนที่ทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง จะทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองก่อน ซึ่งหากข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์ผลเป็นไปตามสมมุติฐานที่กำหนด จึงจะทำการวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญและใช้เป็นข้อมูลในการกำหนดระดับของปัจจัยที่เหมาะสมในขั้นตอนต่อไป โดยจะเป็นการตรวจสอบว่าข้อมูลมีรูปแบบความผิดพลาดไปตามหลักการ ε_{μ} - NID (0, σ^2) หรือไม่ ด้วยการทดสอบข้อกำหนดเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อนของการทดลองตามสมมุติฐาน 3 ข้อ คือ สมมุติฐานการแจกแจงปกติ สมมุติฐานของความเป็นอิสระ และสมมุติฐานของความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน ก่อนที่จะนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์และสรุปผลของการออกแบบการทดลอง โดยนำข้อมูลของผลการวัดความหนาของผลิตภัณฑ์ (T) ตามตารางที่ 5.4 มาทำการวิเคราะห์ดังนี้

5.11.1 การทดสอบสมมุติฐานของการแจกแจงปกติ (Normality Assumption)

สามารถตรวจสอบได้โดยพิจารณาการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง (Residual) ของผลการวัดความหนาของผลิตภัณฑ์ (T) ว่ามีการแจกแจงปกติ (Normal Distribution) หรือไม่ หากพิจารณา Normal Probability Plot ควรกระจายตัวตามแนวเส้นตรงและหากทดสอบโดยการทดสอบความเป็นปกติ (Normality Test) จะมีค่า p-value มากกว่า 0.05

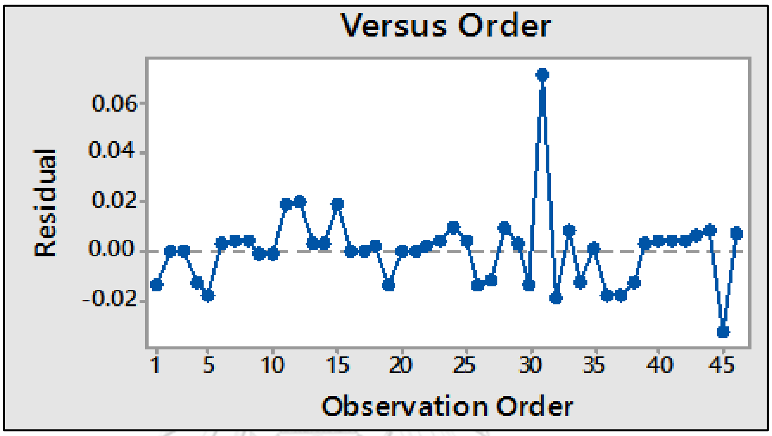
จากการทดสอบพบว่ามีการกระจายตัวแบบปกติ คือมีลักษณะเป็นเส้นตรง และมีค่า P-Value เท่ากับ 0.635 ซึ่งมากว่า 0.05 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ข้อมูลเป็นไปตามสมมุติฐานของการแจกแจงปกติ แสดงดังรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.8 ผลการทดสอบสมมุติฐานของการแจกแจงปกติของข้อมูลการวัดความหนาของผลิตภัณฑ์

5.11.2 การทดสอบสมมุติฐานของความเป็นอิสระ (Independence)

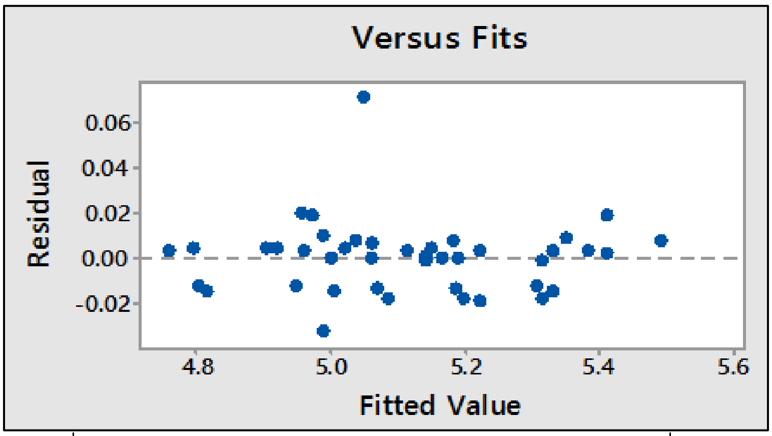
พิจารณาจากแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างควรมีรูปแบบที่เป็นอิสระต่อกัน (Residual) กับลำดับของการเก็บข้อมูล (Order of the data) โดยการกระจายตัวของส่วนตกค้างควรมีรูปแบบที่เป็นอิสระต่อกัน ไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้มหรือมีรูปแบบที่แน่นอน ซึ่งจากรูป 5.9 ค่าส่วนตกค้างของข้อมูลน้ำหนักมีรูปแบบการกระจายที่ไม่เป็นรูปแบบที่แน่นอน ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า ข้อมูลมีความอิสระต่อกัน



รูปที่ 5.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างและลำดับการเก็บข้อมูล

5.11.3 การทดสอบสมมุติฐานของค่าความแปรปรวน (Variance Stability)

สามารถตรวจสอบได้ โดยการสร้างแผนภาพการกระจาย ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับค่าผลวัดขนาดหน้ากว้างที่ได้จากตัวแบบถดถอย แสดงดังรูป 5.10 ซึ่งแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม หรือการกระจายที่เป็นรูปแบบของกรวยปากเปิด แค่ควรจะมีการกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบที่แน่นอน จากกราฟจะเห็นว่า ค่าส่วนตกค้าง มีลักษณะกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบ ไม่มีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม หรือเป็นการกระจายตัวที่เป็นรูปแบบของกรวยปากเปิด ดังนั้นสรุปได้ว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน



รูปที่ 5.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแปรตอบสนอง สรุปได้ว่าข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลอง เป็นไปตามสมมุติฐานที่กำหนดทั้ง 3 ข้อ คือมีการกระจายเป็นแบบปกติ มีความเป็นอิสระต่อกัน และมีความเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน จึงเป็นไปตามเงื่อนไข ε_{μ} - NID (0, σ^2) ของการออกแบบการทดลอง ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์ผลการทดลองในขั้นตอนต่อไป

5.12 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

5.12.1 การวิเคราะห์ผลการทดลองกรณีตัวแปรตอบสนอง ด้านความหนาของท่อ (T)

นำข้อมูลจากผลการทดลองในตารางที่ 5.4 มาวิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อความหนาของผลิตภัณฑ์ ด้วยโปรแกรม Minitab โดยแสดงผลวิเคราะห์ดังรูปที่ 5.11 แสดงผลการออกแบบการทดลองของผลหลักของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง (Main effect) ดังแสดงในรูปที่ 5.12 ผลของอันตรกิริยาของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง(Interaction) ดังแสดงในรูปที่ 5.13 และเส้นโครงร่าง (Contour plot) ดังรูปที่ 5.14 ดังนี้

Response Surface Regression: T versus A, B, C, D, E

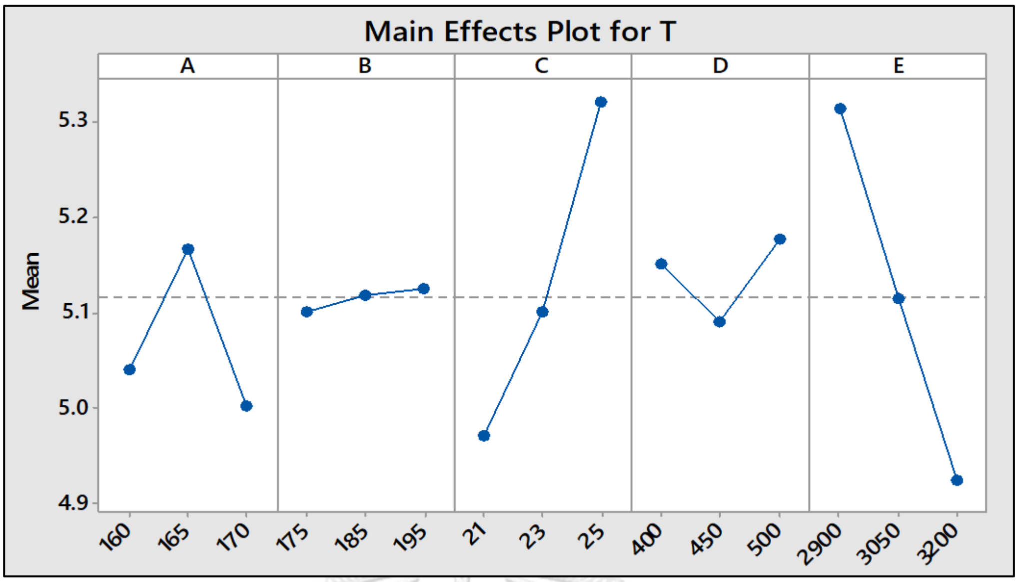
Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	20	1.39743	0.069872	162.04	0.000
Linear	5	1.09999	0.219998	510.19	0.000
A	1	0.00548	0.005476	12.70	0.002
B	1	0.00209	0.002093	4.85	0.037
C	1	0.48720	0.487204	1129.85	0.000
D	1	0.00265	0.002652	6.15	0.020
E	1	0.60256	0.602564	1397.37	0.000
Square	5	0.26130	0.052260	121.19	0.000
A*A	1	0.16023	0.160235	371.59	0.000
B*B	1	0.00153	0.001532	3.55	0.071
C*C	1	0.00812	0.008119	18.83	0.000
D*D	1	0.02545	0.025449	59.02	0.000
E*E	1	0.00031	0.000306	0.71	0.408
2-Way Interaction	10	0.03615	0.003615	8.38	0.000
A*B	1	0.00319	0.003192	7.40	0.012
A*C	1	0.02403	0.024025	55.72	0.000
A*D	1	0.00014	0.000144	0.33	0.569
A*E	1	0.00034	0.000342	0.79	0.381
B*C	1	0.00044	0.000441	1.02	0.322
B*D	1	0.00029	0.000289	0.67	0.421
B*E	1	0.00048	0.000484	1.12	0.300
C*D	1	0.00000	0.000004	0.01	0.924
C*E	1	0.00593	0.005929	13.75	0.001
D*E	1	0.00130	0.001296	3.01	0.095
Error	25	0.01078	0.000431		
Lack-of-Fit	20	0.01077	0.000539	367.26	0.000
Pure Error	5	0.00001	0.000001		
Total	45	1.40821			

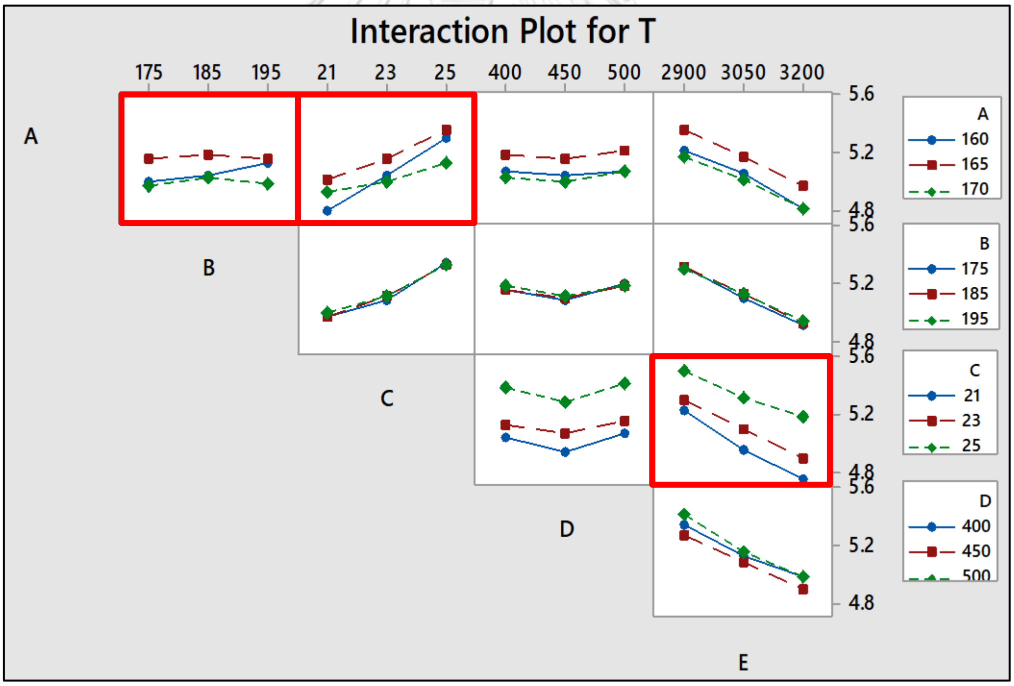
Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0207656	99.23%	98.62%	96.94%

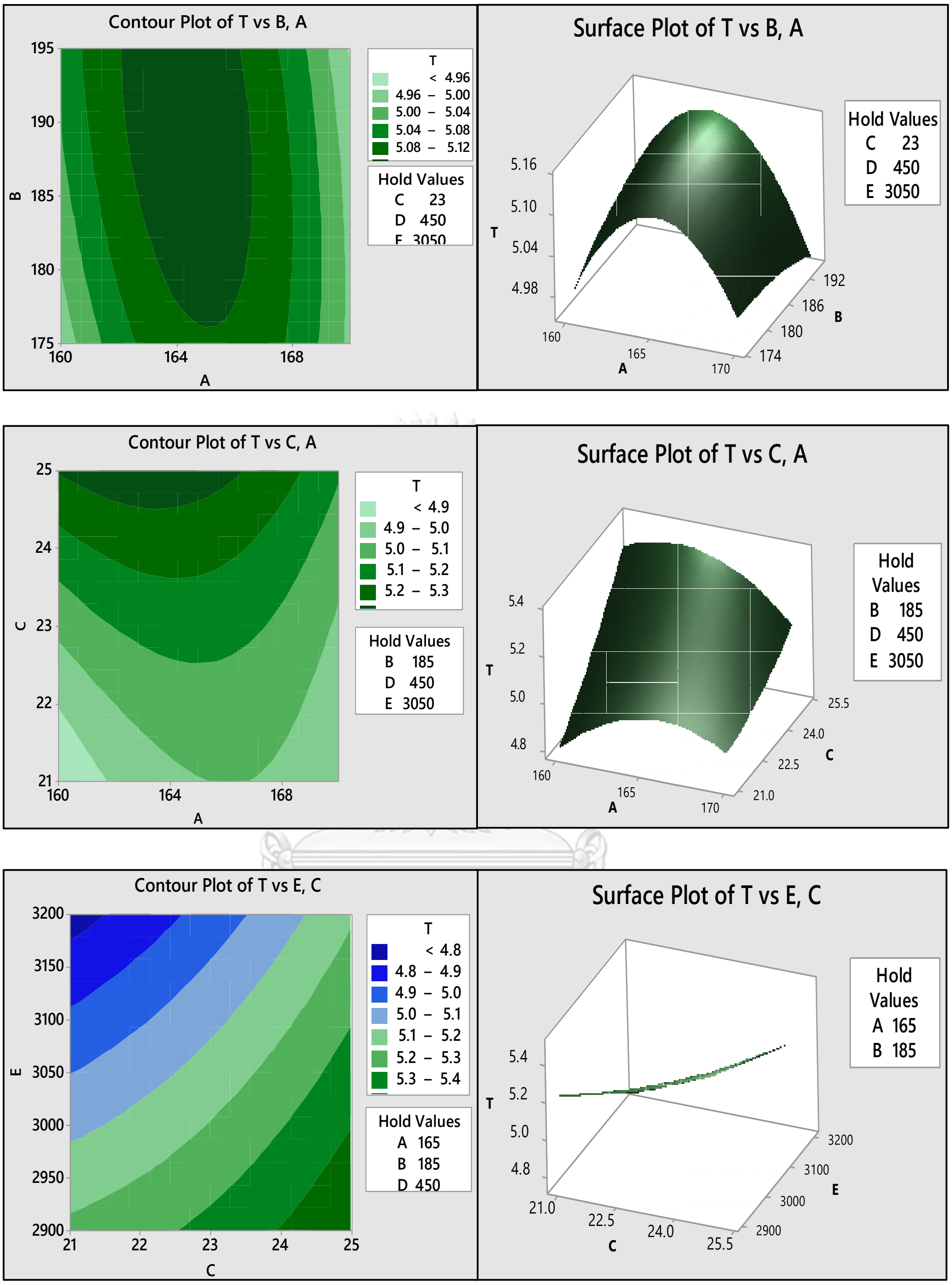
รูปที่ 5.11 ผลของการวิเคราะห์การทดลองเพื่อค้นหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อความหนาของผลิตภัณฑ์



รูปที่ 5.12 ผลหลักของปัจจัยที่มีผลต่อความหนา



รูปที่ 5.13 ผลของอิทธิพลร่วมที่มีผลต่อความหนา



รูปที่ 5.14 การวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบสนอง (Response surface) และเส้นโครงร่าง (Contour plot)

ผลจากการออกแบบการทดลองสามารถสรุปผลการวิเคราะห์ได้ดังนี้

1. เมื่อพิจารณาผลของปัจจัยร่วม (Interaction Effect) จากผลการทดลองรูปที่ 5.11 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัย ที่มีนัยสำคัญต่อความหนาของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากมีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 ซึ่งก็คือปัจจัยที่มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 จำนวน 3 ปัจจัย คือปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิหัวแม่พิมพ์กับอุณหภูมิท้ายแม่พิมพ์ (A*B) ,ปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิหัวแม่พิมพ์กับความเร็วรอบสกรู (A*C) และ ปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วรอบสกรูกับความเร็วเครื่องลาก (C*E) และเมื่อพิจารณาจากผลการทดลองดังรูปที่ 5.13 สามารถอธิบายผลปัจจัยร่วมแต่ละตัวได้ดังนี้

ปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิหัวแม่พิมพ์กับอุณหภูมิท้ายแม่พิมพ์ (A*B) พบว่าที่ระดับอุณหภูมิท้ายแม่พิมพ์ (B) อยู่ในระดับต่ำ ไม่ว่าจะทำการเปลี่ยนแปลงระดับอุณหภูมิหัวแม่พิมพ์ (A) ไประดับใดก็ไม่ส่งผลต่อความหนาของท่อ แต่เมื่อระดับอุณหภูมิท้ายแม่พิมพ์ (B) เปลี่ยนแปลงเป็นระดับสูงพบว่าเมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหัวแม่พิมพ์ (A) จากต่ำไปสูงส่งผลต่อความหนาอย่างชัดเจน โดยพบว่าที่อุณหภูมิหัวแม่พิมพ์ (A) ที่ระดับต่ำคือ 165 องศาเซลเซียส มีความหนาที่เป็นทิศทางที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากเป็นการถ่ายเทอุณหภูมิการหลอมเหลวของเนื้อพีวีซีที่เหมาะสมจากหัวแม่พิมพ์ไปท้ายแม่พิมพ์ ทำให้เกิดการไหลของเนื้อพีวีซีที่สะดวกขึ้น ส่วนที่ระดับอุณหภูมิหัวแม่พิมพ์ระดับอื่น พบว่ามีความหนาในทิศทางที่ลดลง เนื่องจากเกิดความร้อนสะสม ทำให้เนื้อพีวีซีเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพจากเนื้อเหลวใส เป็นข้นและเหนียวทำให้เกิดการเคลื่อนตัวที่ช้า

ปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิหัวแม่พิมพ์กับความเร็วรอบสกรู (A*C) พบว่าที่ความเร็วรอบสกรู (C) อยู่ในระดับต่ำ ไม่ว่าจะทำการเปลี่ยนแปลงระดับอุณหภูมิหัวแม่พิมพ์ (A) ไประดับใดก็ไม่ส่งผลต่อความหนาของท่อมากนัก แต่เมื่อระดับความเร็วรอบสกรู(C) เปลี่ยนแปลงเป็นระดับสูง พบว่าเมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหัวแม่พิมพ์ (A) จากต่ำไปสูงส่งผลต่อความหนาอย่างชัดเจน โดยมีทิศทางของความหนาที่เพิ่มสูงขึ้นเนื่องจาก เมื่อทำการเพิ่มรอบของสกรู (C) จะทำให้มีกำลังอัดเนื้อพีวีซีที่หลอมเหลวแล้วออกมามากจึงทำให้ท่อมีความหนาที่เพิ่มขึ้น

ปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วรอบสกรูกับความเร็วเครื่องลาก (C*E) พบว่าที่ความเร็วเครื่องลาก (E) อยู่ในระดับต่ำ ไม่ว่าจะทำการเปลี่ยนแปลงระดับความเร็วรอบสกรู (C) ไประดับใดก็ไม่ส่งผลต่อความหนาของท่อมากนัก แต่เมื่อระดับความเร็วเครื่องลาก (E) เปลี่ยนแปลงเป็นระดับสูง พบว่าเมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบสกรูจากต่ำไปสูงส่งผลต่อความหนาอย่างชัดเจน โดยมีทิศทางของความหนาที่ลดลง เนื่องจากเมื่อทำการเพิ่มระดับความเร็วเครื่องลาก (E) ที่ระดับเพิ่มขึ้นพบว่าแรงของเครื่องลาก สามารถชนะอัตราการอัดรีดเนื้อพีวีซีที่ออกมาจากกระบอกเครื่องอัดรีดได้ จึงทำให้ท่อที่ออกมาในระดับความเร็วเครื่องลากที่สูงขึ้นมีความหนาที่ลดลงอย่างชัดเจน

จึงสรุปได้ว่าปัจจัยร่วมทั้ง 3 ปัจจัยมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความหนาของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญ

2. เมื่อพิจารณาผลของปัจจัยหลัก (Main Effect) ตามผลการทดลองจากรูปที่ 5.11 พบว่าที่ระดับนัยสำคัญ ที่ 0.05 มีปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองต่อค่าความหนา (T) ซึ่งก็คือปัจจัยที่มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 จำนวน 5 ปัจจัย คือปัจจัยอุณหภูมิหัวแม่พิมพ์ (A), ปัจจัยอุณหภูมิหัวแม่พิมพ์ (B), ปัจจัยความเร็วรอบสกรู (C), ปัจจัยความดันสุญญากาศ (D) และปัจจัยความเร็วเครื่องลาก (E) จึงสรุปได้ว่า ปัจจัยทั้ง 5 ดังกล่าวมีผลต่อความหนาของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญ โดยอธิบายการเปลี่ยนแปลงของความหนาของผลิตภัณฑ์ดังรูปที่ 5.12

5.12.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองกรณีตัวแปรตอบสนอง ด้านน้ำหนักของท่อ (W)

นำข้อมูลจากผลการทดลองในตารางที่ 5.4 มาวิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ ด้วยโปรแกรม Minitab โดยแสดงผลวิเคราะห์ดังรูปที่ 5.15 และแสดงผลการออกแบบการทดลอง ของผลหลักของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง (Main effect) ดังแสดงในรูปที่ 5.16 และผลของอันตรกิริยาของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง (Interaction) ดังรูปที่ 5.17 และการวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบสนอง (Response surface) และเส้นโครงร่าง (Contour plot) ดังรูปที่ 5.18

Response Surface Regression: W versus A, B, C, D, E

Analysis of Variance

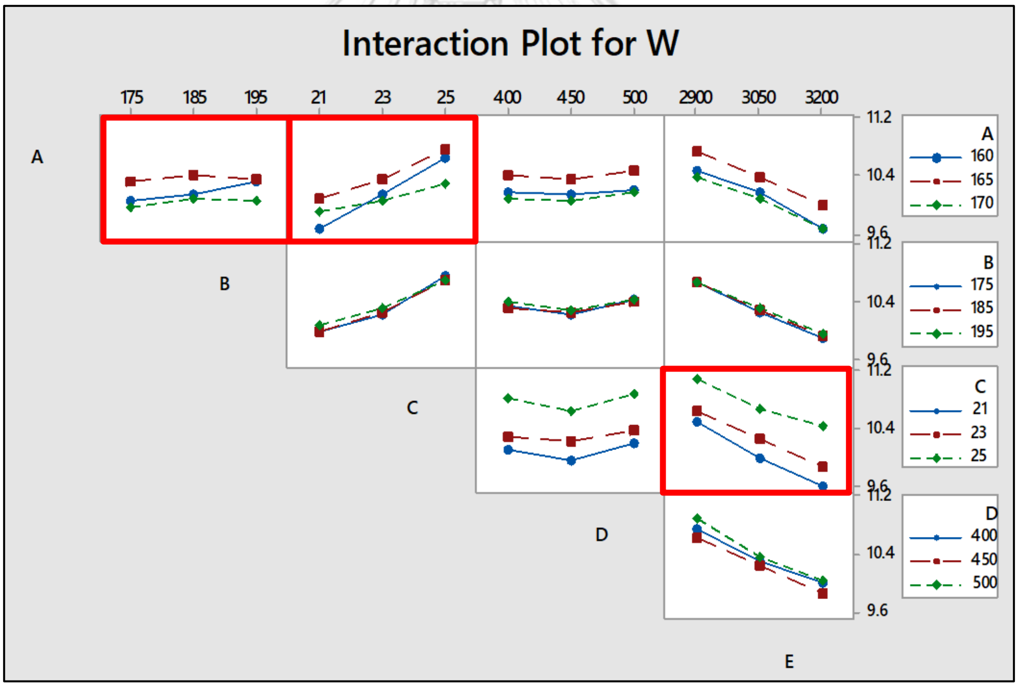
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	20	5.50496	0.27525	169.96	0.000
Linear	5	4.40966	0.88193	544.57	0.000
A	1	0.03145	0.03145	19.42	0.000
B	1	0.01641	0.01641	10.13	0.004
C	1	1.96308	1.96308	1212.14	0.000
D	1	0.01949	0.01949	12.04	0.002
E	1	2.37923	2.37923	1469.10	0.000
Square	5	0.94605	0.18921	116.83	0.000
A*A	1	0.58970	0.58970	364.12	0.000
B*B	1	0.00173	0.00173	1.07	0.312
C*C	1	0.03823	0.03823	23.61	0.000
D*D	1	0.07482	0.07482	46.20	0.000
E*E	1	0.00033	0.00033	0.20	0.655
2-Way Interaction	10	0.14924	0.01492	9.22	0.000
A*B	1	0.00801	0.00801	4.95	0.035
A*C	1	0.10742	0.10742	66.33	0.000
A*D	1	0.00062	0.00062	0.38	0.543
A*E	1	0.00315	0.00315	1.94	0.176
B*C	1	0.00602	0.00602	3.72	0.065
B*D	1	0.00040	0.00040	0.25	0.622
B*E	1	0.00120	0.00120	0.74	0.398
C*D	1	0.00053	0.00053	0.33	0.573
C*E	1	0.01752	0.01752	10.82	0.003
D*E	1	0.00438	0.00438	2.70	0.113
Error	25	0.04049	0.00162		
Lack-of-Fit	20	0.04046	0.00202	413.54	0.000
Pure Error	5	0.00002	0.00000		
Total	45	5.54544			

Model Summary

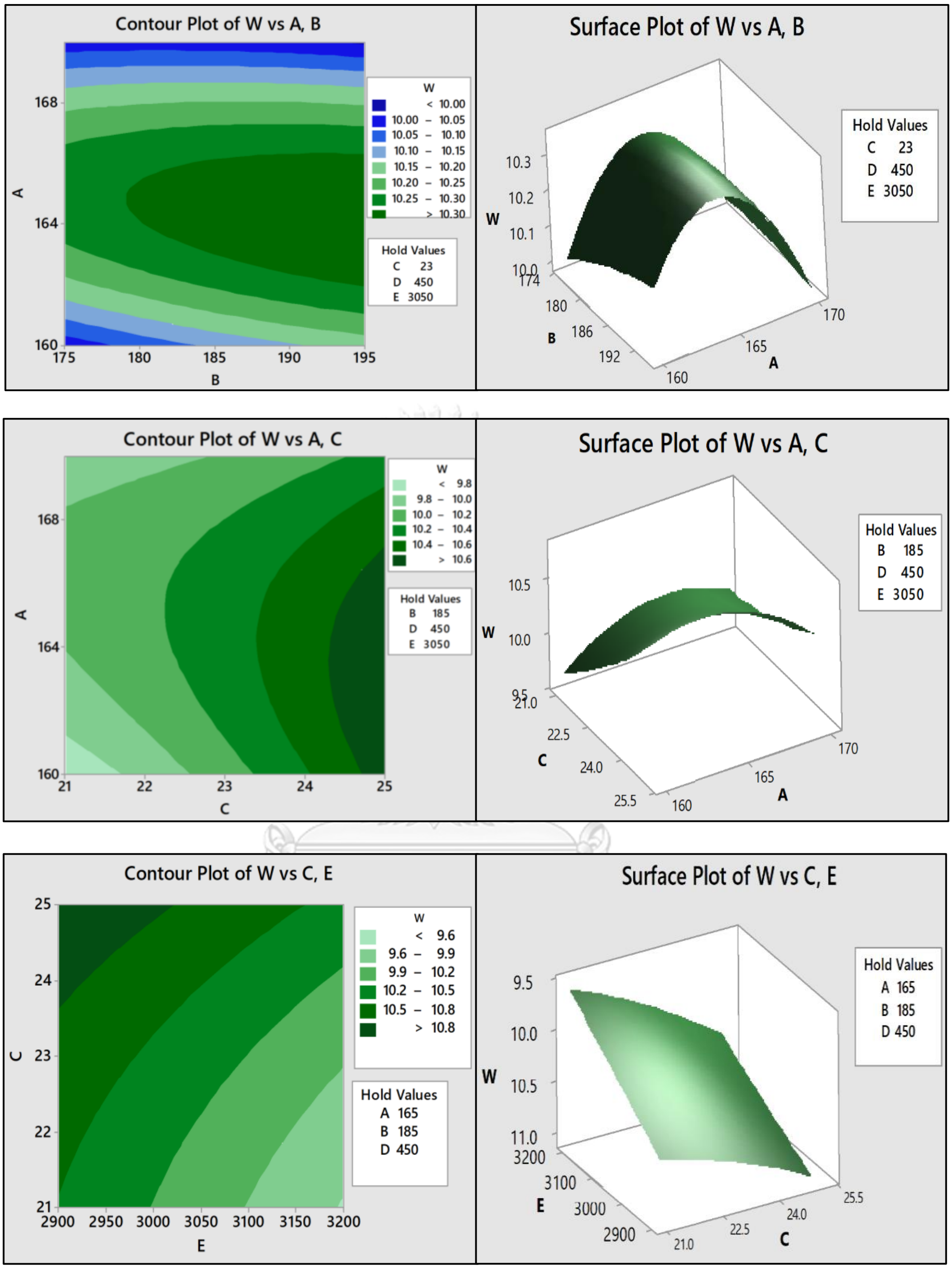
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0402431	99.27%	98.69%	97.08%

รูปที่ 5.15 ผลของการวิเคราะห์การทดลองเบื้องต้นเพื่อค้นหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อน้ำหนัก

รูปที่ 5.16 ผลหลักของปัจจัยที่มีผลต่อน้ำหนักของผลิตภัณฑ์



รูปที่ 5.17 ผลของอิทธิพลร่วมที่มีผลต่อน้ำหนักของผลิตภัณฑ์



รูปที่ 5.18 การวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบสนอง (Response surface) และเส้นโครงร่าง (Contour plot)

ผลจากการออกแบบการทดลองสามารถสรุปผลการวิเคราะห์ได้ดังนี้

1. เมื่อพิจารณาผลของปัจจัยร่วม (Interaction Effect) จากผลการทดลองรูปที่ 5.15 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัย ที่มีนัยสำคัญต่อความน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากมีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 ซึ่งก็คือปัจจัยที่มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 จำนวน 3 ปัจจัย คือปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิหัวแม่พิมพ์กับอุณหภูมิท้ายแม่พิมพ์ (A*B) ,ปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิหัวแม่พิมพ์กับความเร็วรอบสกรู (A*C) และ ปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วรอบสกรูกับความเร็วเครื่องลาก (C*E) และเมื่อพิจารณาจากผลการทดลองดังรูปที่ 5.17 สามารถอธิบายผลปัจจัยร่วมแต่ละตัวได้ดังนี้

<u>ปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิหัวแม่พิมพ์กับอุณหภูมิท้ายแม่พิมพ์ (A*B)</u> พบว่าที่ระดับอุณหภูมิท้ายแม่พิมพ์ (B) อยู่ในระดับต่ำ ไม่ว่าจะทำการเปลี่ยนแปลงระดับอุณหภูมิหัวแม่พิมพ์ (A) ไประดับใดก็ไม่ส่งผลต่อน้ำหนักของท่อ แต่เมื่อระดับอุณหภูมิท้ายแม่พิมพ์ (B) เปลี่ยนแปลงเป็นระดับสูงพบว่าเมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหัวแม่พิมพ์ (A) จากต่ำไปสูงส่งผลต่อน้ำหนักอย่างชัดเจน โดยพบว่าที่อุณหภูมิหัวแม่พิมพ์ (A) ที่ระดับต่ำคือ 165 องศาเซลเซียส น้ำหนักมีทิศทางที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการถ่ายเทอุณหภูมิหลอมเหลวของเนื้อพีวีซีที่เหมาะสมจากหัวแม่พิมพ์ไปท้ายแม่พิมพ์ ทำให้เกิดการไหลของเนื้อพีวีซีที่สะดวกขึ้น ส่วนที่ระดับอุณหภูมิหัวแม่พิมพ์ระดับอื่น พบว่าน้ำหนักมีทิศทางที่ลดลงเนื่องจากเกิดความร้อนสะสม ทำให้เนื้อพีวีซีเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพจากเนื้อเหลวใส เป็นข้นและเหนียวทำให้เกิดการเคลื่อนตัวที่ช้า

<u>ปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิหัวแม่พิมพ์กับความเร็วรอบสกรู (A*C)</u> พบว่าที่ความเร็วรอบสกรู (C) อยู่ในระดับต่ำ ไม่ว่าจะทำการเปลี่ยนแปลงระดับอุณหภูมิหัวแม่พิมพ์ (A) ไประดับใดก็ไม่ส่งผลต่อน้ำหนักของท่อมากนัก แต่เมื่อระดับความเร็วรอบสกรู(C) เปลี่ยนแปลงเป็นระดับสูง พบว่าเมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหัวแม่พิมพ์ (A) จากต่ำไปสูงส่งผลต่อน้ำหนักอย่างชัดเจน โดยมีทิศทางของน้ำหนักที่เพิ่มสูงขึ้นเนื่องจาก เมื่อทำการเพิ่มรอบของสกรู (C) จะทำให้มีกำลังอัดเนื้อพีวีซีที่หลอมเหลวแล้วออกมามากจึงทำให้ท่อมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น

<u>ปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วรอบสกรูกับความเร็วเครื่องลาก (C*E)</u> พบว่าที่ความเร็วเครื่องลาก (E) อยู่ในระดับต่ำ ไม่ว่าจะทำการเปลี่ยนแปลงระดับความเร็วรอบสกรู (C) ไประดับใดก็ไม่ส่งผลต่อน้ำหนักของท่อมากนัก แต่เมื่อระดับความเร็วเครื่องลาก (E) เปลี่ยนแปลงเป็นระดับสูง พบว่าเมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบสกรูจากต่ำไปสูงส่งผลต่อน้ำหนักอย่างชัดเจน โดยมีทิศทางของน้ำหนักที่ลดลง เนื่องจากเมื่อทำการเพิ่มระดับความเร็วเครื่องลาก (E) ที่ระดับเพิ่มขึ้นพบว่าแรงของเครื่องลากสามารถชนะอัตราการอัดรีดเนื้อพีวีซีที่ออกมาจากกระบอกเครื่องอัดรีดได้ จึงทำให้ท่อที่ออกมาในระดับความเร็วเครื่องลากที่สูงขึ้นมีน้ำหนักที่ลดลงอย่างชัดเจน

จึงสรุปได้ว่าปัจจัยร่วมทั้ง 3 ปัจจัยมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักของท่ออย่างมีนัยสำคัญ

2. เมื่อพิจารณาผลของปัจจัยหลัก (Main Effect) ตามผลการทดลองจากรูปที่ 5.16 พบว่าที่ระดับนัยสำคัญ ที่ 0.05 มีปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองต่อน้ำหนักของท่อ ซึ่งก็คือปัจจัยที่มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 จำนวน 5 ปัจจัย คือปัจจัยอุณหภูมิหัวแม่พิมพ์ (A), ปัจจัยอุณหภูมิหัวแม่พิมพ์ (B), ปัจจัยความเร็วรอบสกรู (C), ปัจจัยความดันสุญญากาศ (D) และปัจจัยความเร็วเครื่องลาก (E) จึงสรุปได้ว่า ปัจจัยทั้ง 5 ดังกล่าวมีผลต่อน้ำหนักของท่ออย่างมีนัยสำคัญ โดยอธิบายการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักของท่อดังรูปที่ 5.16

5.13 สรุประยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

ในขั้นตอนระยะแรกของการดำเนินงานในระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาจะเริ่มจากการเลือกแบบการทดลอง โดยได้เลือกแบบการออกแบบ การทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box Behnken) เนื่องจากมีจำนวนครั้งของการทดลองที่น้อยกว่า รวมถึงต้นทุนที่ถูกกว่า นอกจากนี้การปรับตั้งพารามิเตอร์ของเครื่องจักรในบริษัทกรณีศึกษายังทำการปรับตั้งได้ง่ายกว่า เมื่อเทียบกับการออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมกลาง (Central Composite Design,CCD) ซึ่งการออกแบบการทดลองนี้ใช้การทดลองทั้งหมด 46 รัน จากนั้นเมื่อได้ผลการทดลองแล้ว จึงมาทำการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง ซึ่งก่อนทำการวิเคราะห์ผลจะต้องทำการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) เมื่อพบว่าผลของการทดลองเป็นไปตามสมมุติฐานทั้ง 3 ข้อจึงทำการวิเคราะห์ผลการทดลองในขั้นถัดไป

ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองโดยโปรแกรม Minitab เพื่อพิจารณาเทอมของปัจจัยนำเข้าที่ผลต่อต่อค่าความหนาและน้ำหนักของของผลิตภัณฑ์ โดยแสดงดังตารางที่ 5.11-5.18 พบว่ามีปัจจัยที่เป็นปัจจัยหลัก (Main Effect) จำนวน 5 ปัจจัย เนื่องจากค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 คือปัจจัยอุณหภูมิหัวแม่พิมพ์ (A) ปัจจัยอุณหภูมิหัวแม่พิมพ์ (B) ปัจจัยความเร็วรอบสกรู (C) ปัจจัยความดันสุญญากาศ (D) และปัจจัยความเร็วเครื่องลาก (E) ส่วนผลของปัจจัยร่วม (Interaction Effect) มีจำนวน 3 ปัจจัย คือปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิหัวแม่พิมพ์กับอุณหภูมิท้ายแม่พิมพ์ (A*B) ปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิหัวแม่พิมพ์กับความเร็วรอบสกรู (A*C) และ ปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วรอบสกรูกับความเร็วเครื่องลาก (C*E) ตามลำดับ

บทที่ 6
ผลการดำเนินงานวิจัยระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

ระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการเป็นการนำปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญมาหาระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความหนาต่ำที่สุด

6.1 บทนำ

จากการทดสอบสมมุติฐานโดยการออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box Behnken) จำนวน 5 ปัจจัย ตามตารางที่ 6.1 เพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อความหนาของผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นตัวแปรหลักที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีน้ำหนักเกินมาตรฐานแล้ว จึงนำปัจจัยที่มีผลเหล่านี้มาทำการวิเคราะห์หาเงื่อนไขที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย ทั้งนี้เพื่อให้ได้ค่าปรับตั้งของแต่ละปัจจัยที่ดีที่สุด

ตารางที่ 6.1 ปัจจัยนำเข้าและระดับพารามิเตอร์ของปัจจัยนำเข้า

ปัจจัย	ปัจจัยนำเข้า	ระดับของปัจจัย			ตัวแปรในการออกแบบการทดลอง
		ระดับต่ำ (-1)	ระดับกลาง (0)	ระดับสูง (1)	
1	อุณหภูมิหัวแม่พิมพ์ (°C)	160	165	170	A
2	อุณหภูมิท้ายแม่พิมพ์ (°C)	175	185	195	B
3	ความเร็วรอบสกรู (RPM.)	21	23	25	C
4	ความดันสูญญากาศ (mbar)	400	450	500	D
5	ความเร็วเครื่องลาก(mm/minute)	2900	3050	3200	E

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ผลจากการวิเคราะห์จากโปรแกรม Minitab พบว่าปัจจัยหลักที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง ($\bar{y}$) อย่างมีนัยสำคัญ คือ ปัจจัยอุณหภูมิหัวแม่พิมพ์ (A), ปัจจัยอุณหภูมิท้ายแม่พิมพ์ (B), ปัจจัยความเร็วรอบสกรู (C), ปัจจัยความดันสุญญากาศ (D) และปัจจัยความเร็วเครื่องลาก (E) ตามลำดับ

นอกจากนี้ยังพบว่า มีผลของของปัจจัยร่วม (Interaction Effect) มีจำนวน 3 ปัจจัย คือ ปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิหัวแม่พิมพ์กับอุณหภูมิท้ายแม่พิมพ์ (A*B) ,ปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิหัวแม่พิมพ์กับความเร็วรอบสกรู (A*C) และ ปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วรอบสกรูกับความเร็วเครื่องลาก (C*E) ที่เกิดขึ้นกับตัวแบบนี้ สำหรับขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ จะเป็นการศึกษาถึงพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย ($\bar{y}$) คือความหนาของท่อ เพื่อกำหนดระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยเข้าใกล้เป้าหมายมากที่สุดโดยการวิเคราะห์ผลการทดลองจากข้อมูลที่มีอยู่

6.2 การหาสภาวะที่เหมาะสม

6.2.1 การตรวจสอบผลการวิเคราะห์การเลือกตัวแปรนำเข้าด้วย Stepwise Regression

เพื่อเป็นการตรวจสอบว่า การวิเคราะห์ปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญ ด้วยวิธีการออกแบบทดลองนี้สามารถเลือกปัจจัยนำเข้าได้อย่างถูกต้อง จึงได้ทำการตรวจสอบผลการวิเคราะห์ด้วยการเลือกตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับสมการถดถอย โดยใช้วิธี Stepwise Regression ซึ่งเป็นวิธีเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอย ป้องกันการเกิดปัญหาตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กันได้ ซึ่งการเกิดปัญหานี้ จะทำให้สมการถดถอย และการวิเคราะห์การถดถอยไม่ถูกต้อง วิธีการนี้มีหลักเกณฑ์คือ การนำตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอยครั้งล่ะ 1 ตัว ถ้าตัวแปรอิสระที่นำเข้า มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระที่มีอยู่แล้วในสมการถดถอย จะทำการตัดตัวแปรอิสระที่สัมพันธ์กันตัวใดตัวหนึ่งออกจากสมการถดถอย (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2545) โดยนำผลที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี Stepwise Regression ด้วยโปรแกรม Minitab ได้ผลดังรูปที่ 6.1

Regression Analysis: W versus A, B, C, D, E

```
Method
Continuous predictor standardization
Subtract the mean, then divide by the standard deviation

Predictor  Mean    StDev
A           165   2.9814
B           185   5.9628
C            23   1.1926
D           450  29.8142
E          3050  89.4427

Stepwise Selection of Terms
Candidate terms: A, B, C, D, E, A*A, C*C, D*D, A*B, A*C, C*E

             ------Step 1-----    ------Step 2-----    ------Step 3------
                Coef         P       Coef         P       Coef          P
Constant     10.2816              10.2816              10.3793
E            -0.2299     0.000    -0.2299     0.000    -0.2299      0.000
C                                  0.2089     0.000     0.2089      0.000
A                                                      -0.0264      0.062
A*A                                                    -0.0998      0.000
A*C
D
D*D
C*C
C*E
B
A*B

S                     0.268253             0.167272             0.0923080
R-sq                    42.90%               78.30%                93.70%
R-sq(adj)               41.61%               77.29%                93.09%
R-sq(pred)              37.91%               74.88%                91.54%
Mallows' Cp            1796.44               658.59                166.85
```

รูปที่ 6.1 ผลลัพธ์การหาตัวแบบถดถอยจากวิธีการ Stepwise โดยโปรแกรม Minitab

	Step 4 Coef	Step 4 P	Step 5 Coef	Step 5 P	Step 6 Coef	Step 6 P
Constant	10.3793		10.3455		10.3123	
E	-0.2299	0.000	-0.22994	0.000	-0.22994	0.000
C	0.2089	0.000	0.20886	0.000	0.20886	0.000
A	-0.0264	0.028	-0.02644	0.007	-0.02644	0.002
A*A	-0.0998	0.000	-0.09531	0.000	-0.09088	0.000
A*C	-0.0583	0.000	-0.0583	0.000	-0.05827	0.000
D			0.02081	0.032	0.02081	0.011
D*D			0.03004	0.000	0.03446	0.000
C*C					0.02507	0.000
C*E						
B						
A*B						
S		0.0777714		0.0627538		0.0521173
R-sq		95.64%		97.30%		98.19%
R-sq(adj)		95.09%		96.80%		97.80%
R-sq(pred)		94.38%		95.96%		97.35%
Mallows' Cp		106.48		56.89		30.35

	Step 7 Coef	Step 7 P	Step 8 Coef	Step 8 P	Step 9 Coef	Step 9 P
Constant	10.3123		10.3123		10.3123	
E	-0.22994	0.000	-0.22994	0.000	-0.22994	0.000
C	0.20886	0.000	0.20886	0.000	0.20886	0.000
A	-0.02644	0.001	-0.02644	0.000	-0.02644	0.000
A*A	-0.09088	0.000	-0.09088	0.000	-0.09088	0.000
A*C	-0.05827	0.000	-0.05827	0.000	-0.05827	0.000
D	0.02081	0.006	0.02081	0.003	0.02081	0.002
D*D	0.03446	0.000	0.03446	0.000	0.03446	0.000
C*C	0.02507	0.000	0.02507	0.000	0.02507	0.000
C*E	0.02353	0.009	0.02353	0.005	0.02353	0.003
B			0.01910	0.006	0.01910	0.004
A*B					-0.01591	0.038
S		0.0480099		0.0436119		0.0414998
R-sq		98.50%		98.80%		98.94%
R-sq(adj)		98.13%		98.46%		98.60%
R-sq(pred)		97.83%		98.04%		97.50%
Mallows' Cp		22.18		14.65		12.00

α to enter = 0.15, α to remove = 0.15

รูปที่ 6.1 ผลลัพธ์การหาตัวแบบถดถอยจากวิธีการ Stepwise โดยโปรแกรม Minitab (ต่อ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากผลลัพธ์ที่แสดงโดยใช้โปรแกรม Minitab โดยวิธีของ Stepwise ที่แสดงในรูปที่ 6.1 สามารถแสดงเป็นตัวแบบถดถอยได้ดังสมการที่ 6.1 ดังนี้

W = -320.5 + 3.908 A + 0.1509 B + 1.395 C - 0.03419 D - 0.00764 E- 0.010224 A*A +0.01763 C*C + 0.000039 D*D - 0.000895 A*B - 0.01639 A*C + 0.000221 C*E ...(6.1)

เมื่อ W คือ น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ท่อพลาสติกพีวีซี

A คือ อุณหภูมิหัวแม่พิมพ์

B คือ อุณหภูมิท้ายแม่พิมพ์

C คือ ความเร็วรอบสกรู

D คือ ความดันสุญญากาศ

E คือ ความเร็วเครื่องลาก

6.2.2 การทดสอบนัยสำคัญของตัวแบบถดถอย

เพื่อทำการทดสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรตาม (ค่าความหนาและน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ท่อ) และตัวแปรอิสระ (ประกอบด้วย อุณหภูมิหัวแม่พิมพ์ (A), อุณหภูมิท้ายแม่พิมพ์ (B), ความเร็วรอบสกรู (C), ความดันสุญญากาศ (D) และความเร็วเครื่องลาก(E) มีสมมติฐานดังนี้

$$H_0 : \beta_j = 0$$
$$H_1 : \beta_j \neq 0$$

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงผลดังนี้

Regression Analysis: W versus A, B, C, D, E

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	11	5.48689	0.49881	289.63	0.000
A	1	0.03145	0.03145	18.26	0.000
B	1	0.01641	0.01641	9.53	0.004
C	1	1.96308	1.96308	1139.84	0.000
D	1	0.01949	0.01949	11.32	0.002
E	1	2.37923	2.37923	1381.48	0.000
A*A	1	0.64568	0.64568	374.91	0.000
C*C	1	0.04915	0.04915	28.54	0.000
D*D	1	0.09284	0.09284	53.91	0.000
A*B	1	0.00801	0.00801	4.65	0.038
A*C	1	0.10742	0.10742	62.37	0.000
C*E	1	0.01752	0.01752	10.17	0.003
Error	34	0.05856	0.00172		
Lack-of-Fit	29	0.05853	0.00202	412.55	0.000
Pure Error	5	0.00002	0.00000		
Total	45	5.54544			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0414998	98.94%	98.60%	97.50%

Coded Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	10.3123	0.0111	929.76	0.000	
A	-0.02644	0.00619	-4.27	0.000	1.00
B	0.01910	0.00619	3.09	0.004	1.00
C	0.20886	0.00619	33.76	0.000	1.00
D	0.02081	0.00619	3.36	0.002	1.00
E	-0.22994	0.00619	-37.17	0.000	1.00
A*A	-0.09088	0.00469	-19.36	0.000	1.06
C*C	0.02507	0.00469	5.34	0.000	1.06
D*D	0.03446	0.00469	7.34	0.000	1.06
A*B	-0.01591	0.00738	-2.16	0.038	1.00
A*C	-0.05827	0.00738	-7.90	0.000	1.00
C*E	0.02353	0.00738	3.19	0.003	1.00

รูปที่ 6.2 ผลการวิเคราะห์การทดสอบความมีนัยสำคัญของตัวแบบถดถอย

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแบบถดถอย ตามรูปที่ 6.2 ที่ระดับการยอมรับความผิดพลาดที่ 5% แสดงให้เห็นว่าค่า P-Value ของตัวแปรอิสระทุกตัวมีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงทำการปฏิเสธสมมุติฐานหลัก (H_o) และสรุปได้ว่ามีตัวแปรอิสระในสมการสามารถใช้ในการทำนายตัวแปรตามได้ทุกตัวแปรอย่างมีนัยสำคัญ สมการถดถอยที่ได้จากการวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ในการประมาณค่าความหนาและน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ท่อที่เกิดขึ้นได้ และจากการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ หรือ R-Sq (adj) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 98.6 % คือ ความผันแปรจำนวน 98.6 เปอร์เซ็นต์ สามารถอธิบายด้วยตัวแปรแบบถดถอยที่ได้จากการวิเคราะห์ซึ่งเพียงพอที่จะนำไปใช้ในการพยากรณ์ต่างๆ ตามที่ต้องการ

ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรอิสระสามารถบอกได้ถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระนั้นๆ ต่อความหนาหรือน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ โดยเครื่องหมายบวกหรือลบของค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรอิสระจะแสดงถึงความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้น กล่าวคือค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่มีเครื่องหมายบวกแสดงถึงความสัมพันธ์แปรผันตรง และเครื่องหมายลบแสดงถึงความสัมพันธ์แบบแปรผันผกผัน ขนาดของค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยแสดงถึงอิทธิพลของตัวแปรอิสระในสมการที่มีผลต่อค่าตัวแปรตาม จากสมการที่ 6.1 สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรอิสระและค่าความหนาและน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ได้ดังนี้

1) **ปัจจัยอุณหภูมิหัวแม่พิมพ์ (A)** เครื่องหมายค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยบวก แสดงถึงความสัมพันธ์แบบแปรผันตรง สามารถอธิบายได้ว่าเมื่ออุณหภูมิหัวแม่พิมพ์เพิ่มมากขึ้น ค่าความหนาหรือน้ำหนักของท่อที่ได้จากสมการจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาจากความสัมพันธ์อุณหภูมิหัวแม่พิมพ์และค่าความหนาหรือน้ำหนักของท่อจะพบว่า เมื่ออุณหภูมิหัวแม่พิมพ์เพิ่มมากขึ้น จะทำให้เนื้อพีวีซีที่หัวแม่พิมพ์มีอัตราการหลอมเหลวของวัตถุดิบดีขึ้น ส่งผลอัตราการไหลของเนื้อวัตถุดิบออกมามากขึ้น ทำให้ท่อที่รีดออกมามีความหนาหรือน้ำหนักที่มากขึ้น แสดงความสัมพันธ์ดังรูปที่ 5.1

2) **ปัจจัยอุณหภูมิท้ายแม่พิมพ์ (B)** เครื่องหมายค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยบวก แสดงถึงความสัมพันธ์แปรผันตรง สามารถอธิบายได้ว่าเมื่ออุณหภูมิหัวแม่พิมพ์ท้ายเพิ่มมากขึ้น ทำให้เนื้อพีวีซีที่ท้ายแม่พิมพ์มีอัตราการหลอมเหลวของวัตถุดิบดีขึ้น ส่งผลอัตราการไหลของเนื้อวัตถุดิบออกมามากขึ้น ค่าความหนาหรือน้ำหนักของท่อที่ได้จากสมการจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับกรณีอุณหภูมิหัวแม่พิมพ์ โดยแสดงดังรูปที่ 5.2

3) **ปัจจัยความเร็วรอบสกรู (C)** เครื่องหมายค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยบวก แสดงถึงความสัมพันธ์แบบแปรผันตรง สามารถอธิบายได้ว่าเมื่อความเร็วรอบสกรูเพิ่มมากขึ้น ค่าความหนาหรือน้ำหนักของท่อที่ได้จากสมการจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาจากความสัมพันธ์ความเร็วรอบสกรูและค่าความหนาหรือน้ำหนักของท่อจะพบว่า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เมื่อความเร็วรอบสกรูเพิ่มมากขึ้น จะทำให้เกิดแรงบดอัดเพื่อรีดเนื้อวัตถุดิบให้หลอมเหลวเป็นเนื้อเดียวอัดผ่านแม่แบบ ส่งผลอัตราการไหลของเนื้อวัตถุดิบออกมามากขึ้น ทำให้ท่อที่รีดออกมามีความหนาหรือน้ำหนักที่มากขึ้น โดยแสดงความสัมพันธ์ดังรูปที่ 5.4

4) **ปัจจัยความดันสุญญากาศ (D)** เครื่องหมายค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยลบ แสดงถึงความสัมพันธ์แบบผกผัน สามารถอธิบายได้ว่าความดันสุญญากาศเพิ่มมากขึ้น ค่าความหนาหรือน้ำหนักของท่อที่ได้จากสมการจะมีแนวโน้มลดลง เมื่อพิจารณาจากความสัมพันธ์ความดันสุญญากาศและค่าความหนาหรือน้ำหนักของท่อจะพบว่า เมื่อความดันสุญญากาศที่ทำหน้าที่ดูดอากาศออกเพื่อขึ้นรูปท่อให้ปล่องเป็นรูปร่างมีค่าแรงดันในระดับที่เหมาะสม จะทำให้ท่อเคลื่อนตัวออกจากถังได้สะดวก ส่งผลอัตราการดึงท่อเร็วขึ้น ทำให้ท่อที่รีดออกมามีความหนาหรือน้ำหนักที่น้อยลง โดยแสดงความสัมพันธ์ดังรูปที่ 5.5

5) **ความเร็วเครื่องลาก (E)** เครื่องหมายค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยลบ แสดงถึงความสัมพันธ์แบบผกผัน สามารถอธิบายได้ว่าเมื่อความเร็วเครื่องลากเพิ่มมากขึ้น ค่าความหนาหรือน้ำหนักของท่อที่ได้จากสมการจะมีแนวโน้มลดลง เมื่อพิจารณาจากความสัมพันธ์ความเร็วเครื่องลากและค่าความหนาหรือน้ำหนักของท่อจะพบว่า เมื่อความเร็วเครื่องลากเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ท่อพีวีซีที่ดึงออกจากเครื่องรีดมีความหนาที่บางลง ส่งผลทำให้ท่อที่รีดออกมามีความหนาหรือน้ำหนักที่มาก ขึ้น โดยแสดงความสัมพันธ์ดังรูปที่ 5.7

6) **ปัจจัยกำลังสองของอุณหภูมิหัวแม่พิมพ์ (A*A)** เครื่องหมายค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยลบ แสดงถึงความสัมพันธ์แบบผกผัน สามารถอธิบายได้ว่าเมื่ออุณหภูมิหัวแม่พิมพ์เพิ่มมากขึ้นถึงค่าระดับนึง ค่าความหนาหรือน้ำหนักของท่อที่ได้จากสมการจะมีแนวโน้มลดลง เมื่อพิจารณาจากความสัมพันธ์อุณหภูมิหัวแม่พิมพ์และค่าความหนาหรือน้ำหนักของท่อจุดที่น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ลดลงจะพบว่า เนื้อวัตถุดิบมีการเปลี่ยนแปลงจากเหลวใสเริ่มออกเหนียวข้น ซึ่งทำให้มีอัตราการไหลที่ช้าลง ส่งผลทำให้ท่อที่รีดออกมามีความหนาหรือน้ำหนักที่ลดลง โดยแสดงความสัมพันธ์ดังรูปที่ 5.1

7) **ปัจจัยกำลังสองของความเร็วรอบสกรู (C*C)** เครื่องหมายค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยบวก แสดงถึงความสัมพันธ์แบบแปรผันตรง เมื่อความเร็วของรอบสกรูเพิ่มมากขึ้นถึงค่าระดับนึง ค่าความหนาหรือน้ำหนักของท่อที่ได้จากสมการจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาจากความสัมพันธ์ความเร็วรอบสกรู พบว่าเมื่อความเร็วรอบสกรูเพิ่มมากขึ้น จะทำให้เกิดแรงบดอัดเพื่อรีดเนื้อวัตถุดิบให้หลอมเหลวเป็นเนื้อเดียวอัดผ่านแม่แบบ ส่งผลอัตราการไหลดีขึ้นทำให้ท่อที่รีดออกมามีความหนาหรือน้ำหนักที่มากขึ้น โดยแสดงความสัมพันธ์ดังรูปที่ 5.4

8) **ปัจจัยกำลังสองของความดันสุญญากาศ (D*D)** เครื่องหมายค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยบวก แสดงถึงความสัมพันธ์แบบแปรผันตรง เมื่อความดันสุญญากาศเพิ่มมากขึ้นถึงค่าระดับนึง เมื่อความดันสุญญากาศเปลี่ยนแปลงจากน้อยเพิ่มไปมาก จะทำให้เกิดแรงดันสุญญากาศในถังหล่อเย็นที่ทำการขึ้นรูปเพื่อทำการดูดอากาศเพื่อขึ้นรูปท่อให้ปล่อง จากเกิดแรงต้านดึงผลิตภัณฑ์ให้เคลื่อนตัวออกจากถังช้าขึ้น จากเดิมที่ไหลสะดวก ส่งผลอัตราการรีดท่อช้าลง ทำให้ท่อที่รีดออกมามีความหนาหรือน้ำหนักที่น้อยลง โดยแสดงความสัมพันธ์ดังรูปที่ 5.5

9) **ปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิหัวแม่พิมพ์และอุณหภูมิท้ายแม่พิมพ์ (A*B)** เครื่องหมายค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยลบ แสดงถึงความสัมพันธ์แบบแบบผกผัน สามารถอธิบายได้ว่าเมื่ออุณหภูมิหัวแม่พิมพ์เพิ่มมากขึ้น ทำให้เนื้อวัตถุดิบหลอมเหลวสูง เมื่อไหลผ่านท้ายแม่พิมพ์ที่มีอุณหภูมิสูงเช่นเดียวกันทำให้เนื้อวัตถุดิบเกิดอาการเปลี่ยนสภาพจากอุณหภูมิหลอมเหลวที่มากขึ้นอาจทำให้เหนียวหรือไหม้ได้ ถ้าปรับอุณหภูมิทั้งคู่ที่ระดับสูงสุด ทำให้อัตราการไหลของวัตถุดิบช้าลง ส่งผลให้ค่าความหนาหรือน้ำหนักของท่อที่ได้จากสมการจะมีแนวโน้มลดลง

10) **ปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิหัวแม่พิมพ์และความเร็วรอบสกรู (A*C)** เครื่องหมายค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยลบ แสดงถึงความสัมพันธ์แบบแบบผกผัน สามารถอธิบายได้ว่าเมื่ออุณหภูมิหัวแม่พิมพ์เพิ่มมากขึ้น จนถึงระดับที่เนื้อวัตถุดิบเปลี่ยนสภาพ จะเกิดแรงต้านจากการดึงและอัดรีดจากสกรู ทำให้ค่าความหนาหรือน้ำหนักของท่อที่ได้จากสมการจะมีแนวโน้ม

11) **ปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วรอบสกรูและความเร็วเครื่องลาก (C*E)** เครื่องหมายค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยบวก แสดงถึงความสัมพันธ์แบบแปรผันตรง สามารถอธิบายได้ว่าเมื่อความเร็วรอบสกรูเพิ่มมากขึ้น ต้องทำการปรับตั้งเครื่องลากให้มีอัตราการลากให้เร็วขึ้นเพื่อตอบสนองต่อวัตถุดิบที่ไหลออกมามากขึ้น ถ้าทำการปรับตั้งไม่สมดุล โดยให้ความเร็วสกรูมีมากกว่าความเร็วของเครื่องลากจะทำให้ท่อเคลื่อนที่ช้า เกิดวัตถุดิบอั้นสะสมทำให้ท่อเกิดความหนา น้ำหนักของท่อที่ได้จากสมการจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย ตัวแปรอิสระที่มีอิทธิพลมาสุด คือ ปัจจัยอุณหภูมิหัวแม่พิมพ์ (A) และความเร็วรอบสกรู แต่อย่างไรก็ตาม ทุกตัวแปรสามารถใช้อธิบายความหนาและน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ได้อย่างมีนัยสำคัญ และสามารถทำนายความหนาและน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ได้ดีมากยิ่งขึ้นเมื่อพิจารณาปัจจัยต่างๆ อย่างรอบด้าน

6.2.3 ค่าเงื่อนไขที่เหมาะสมจากการทดลอง

จากตัวแบบถดถอยข้างต้นสามารถพยากรณ์ระดับที่เหมาะสมสำหรับการปรับค่าปัจจัยที่มีนัยสำคัญ เพื่อทำให้น้ำหนักท่อมีขนาดน้อยที่สุดเพื่อลดต้นทุนวัตถุดิบ โดยการใช้โปรแกรมย่อย Response Optimizer ของโปรแกรม Minitab ช่วยในการวิเคราะห์หาระดับปัจจัยที่เหมาะสม ของปัจจัยที่มีผลต่อความหนาของผลิตภัณฑ์ โดยจะพิจารณาที่ผลลัพธ์ของตัวแปรตอบสนองทั้งสองตัวคือ ค่าความหนาและน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ ซึ่งค่าปรับตั้งที่ได้ต้องไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพด้านอื่นๆของผลิตภัณฑ์ โดยอยู่ในค่าควบคุมมาตรฐานของ มาตรฐานอุตสาหกรรมไทย(มอก.) โดยแสดงรายละเอียดตามตารางที่ 6.2 ซึ่งได้ผลการทดลองดังรูปที่ 6.3 และ 6.4

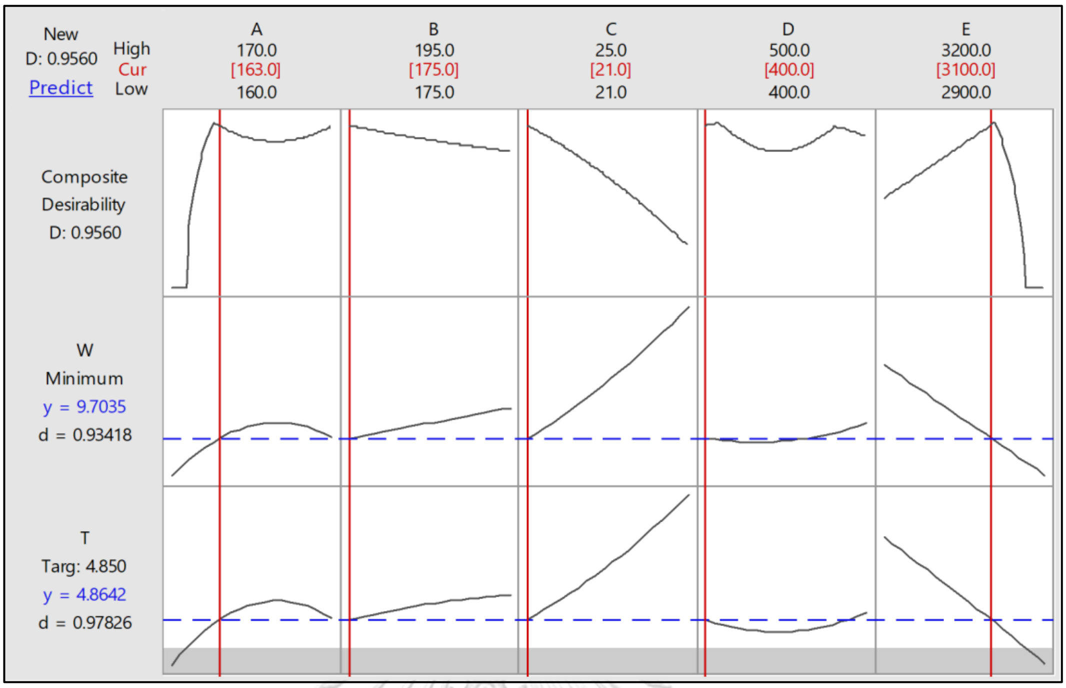
ตารางที่ 6.2 ค่าควบคุมมาตรฐานท่อพีวีซีตามมาตรฐานอุตสาหกรรมไทย(มอก.)

ชื่อขนาด มิลลิเมตร (นิ้ว)	OD มิลลิเมตร	ชั้นคุณภาพ	ความหนา มิลลิเมตร	น้ำหนัก กิโลกรัมต่อเมตร	น้ำหนักท่อ (กิโลกรัมต่อท่อน) 4 เมตร
100 (4")	114±0.3	5	3.2-0.25	1.644	6.578
		8.5	5.2-0.35	2.624	10.496
		13.5	8.2-0.55	3.978	15.914

Response Optimization: W, T

```
Parameters

Response  Goal      Lower  Target    Upper  Weight  Importance
W         Minimum          9.6064  11.0823       1           1
T         Target   4.7605  4.8500   5.5031       1           1


Solution

                                                   W        T    Composite
Solution  A        B    C   D    E              Fit      Fit  Desirability
1         163.131  175  21  400  3112.12   9.67761  4.85026      0.975385


Multiple Response Prediction

Variable  Setting
A         163.131
B         175
C         21
D         400
E         3112.12


Response     Fit  SE Fit       95% CI               95% PI
W         9.6776  0.0460  (9.5828, 9.7724)  (9.5536, 9.8016)
T         4.8503  0.0246  (4.7995, 4.9010)  (4.7839, 4.9166)
```

รูปที่ 6.3 ผลการวิเคราะห์การหาค่าผลตอบที่เหมาะสมที่สุด (Response Optimization)



รูปที่ 6.4 Optimization Plot จากโปรแกรม Minitab

จากผลการทดลองในรูปที่ 6.3 และ 6.4 สรุประดับที่เหมาะสมของแต่ล่ะปัจจัยนำเข้า ที่ทำให้ท่อพลาสติกพีวีซี มีความหนา และน้ำหนักที่ต่ำที่สุด โดยแสดงดังตารางที่ 6.3

ตารางที่ 6.3 ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้า ที่ทำให้ท่อมีความหนาและน้ำหนักที่ต่ำที่สุด

พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	หน่วย	ค่าที่เหมาะสม	ความหนา (mm.)	น้ำหนัก (Kg.)
อุณหภูมิหัวแม่พิมพ์	A	(°C)	163	4.862	9.7035
อุณหภูมิท้ายแม่พิมพ์	B	(°C)	175		
ความเร็วรอบสกรู	C	rpm.	21		
ความดันสุญญากาศ	D	m./bar	400		
ความเร็วเครื่องลาก	E	mm/minute	3100		

เนื่องจากค่าปรับตั้งที่พยากรณ์ได้ ส่งผลให้ท่อมีความหนา 4.862 มิลลิเมตร แต่ค่าควบคุมมาตรฐานของ มาตรฐานอุตสาหกรรมไทย(มอก.) โดยแสดงรายละเอียดตามตารางที่ 6.2 กำหนดไว้ว่าท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร ชั้นคุณภาพ 8.5 ต้องมีความหนาไม่ต่ำกว่า 4.85 มิลลิเมตร ซึ่งค่าที่พยากรณ์ได้มีความเสี่ยงที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์ตกมาตรฐานกลายเป็นของเสียเนื่องจากปัจจัยรบกวนด้านอื่นๆ ได้ จึงทำการนำค่าปรับตั้งที่พยากรณ์ได้ มาทำการทดสอบเพื่อยืนยันผล โดยเก็บข้อมูลทั้งสิ้น 30 ตัวอย่าง เพื่อดูทิศทางของการพยากรณ์ โดยได้ผลสรุปของการทดลองเพื่อยืนยันผลตามตารางที่ 6.4 ดังนี้

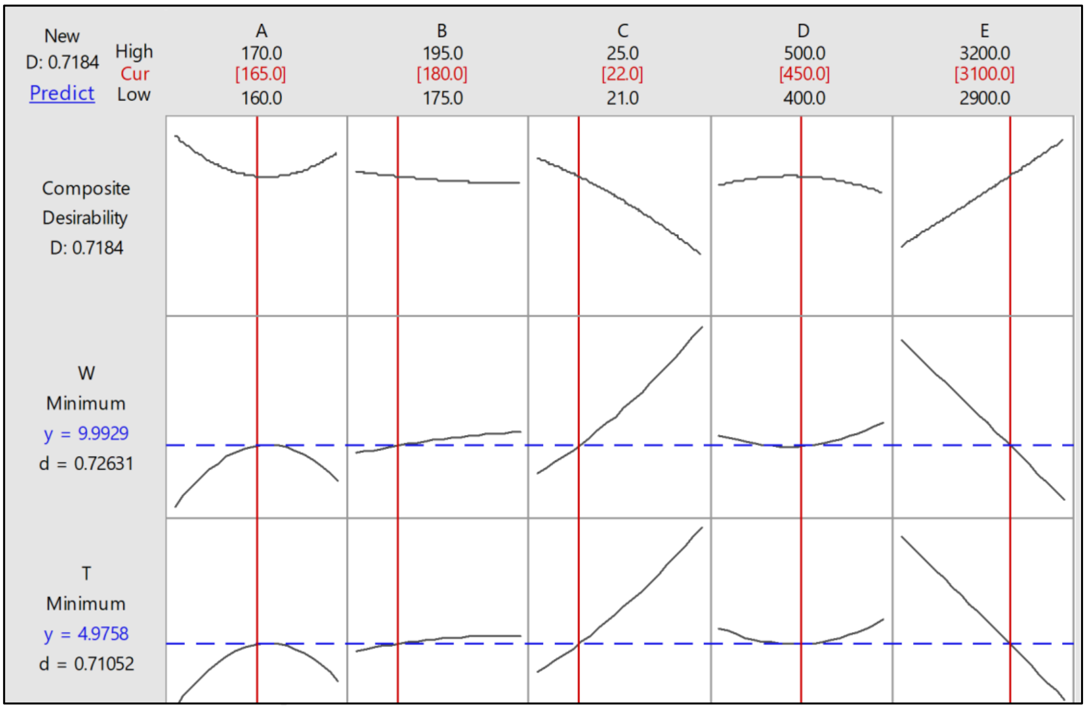
ตารางที่ 6.4 ผลการทดสอบเพื่อยืนยันผลการปรับตั้งปัจจัย

No.	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	ความหนา (มิลลิเมตร)	No.	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	ความหนา (มิลลิเมตร)
1	9.753	4.887	16	9.715	4.868
2	9.639	4.830	17	9.682	4.851
3	9.714	4.867	18	9.730	4.875
4	9.679	4.850	19	9.697	4.859
5	9.647	4.834	20	9.701	4.861
6	9.646	4.833	21	9.724	4.872
7	9.728	4.874	22	9.723	4.872
8	9.705	4.863	23	9.675	4.848
9	9.692	4.856	24	9.723	4.872
10	9.707	4.864	25	9.751	4.886
11	9.674	4.847	26	9.668	4.844
12	9.760	4.890	27	9.653	4.837
13	9.712	4.866	28	9.707	4.864
14	9.659	4.840	29	9.693	4.857
15	9.715	4.868	30	9.691	4.856

จากผลการทดลองเพื่อยืนยันผลการพยากรณ์ตามตารางที่ 6.4 พบว่ามีผลิตภัณฑ์ที่ตกมาตรฐานความหนาจำนวน 7 ท่อนจากทั้งหมด 30 ท่อน คิดเป็น 24% โดยพบว่าท่อนที่มีความหนาต่ำที่สุดคือหนา 4.83 มิลลิเมตร ซึ่งคลาดเคลื่อนจากค่าพยากรณ์จาก โปรแกรม Minitab คือ 4.862 อยู่ประมาณ 1 %

ดังนั้นเพื่อเป็นการลดความเสี่ยงที่จะเกิดกับปัญหาด้านคุณภาพทาง ผู้วิจัยจึงนัดประชุมเพื่อหาข้อสรุปกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง คือ หน่วยงานผลิตและหน่วยงานคุณภาพ โดยได้ผลสรุปคือทำการเผื่อค่าเป้าหมายจากค่าพยากรณ์เดิมคือ 4.862 มิลลิเมตร เป็น 4.975 มิลลิเมตร หรือ 2 %

จากระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้า ที่ทำให้ท่อพลาสติกพีวีซี มีความหนาและน้ำหนักที่ต่ำที่สุด ตามตารางที่ 6.3 เมื่อทำการเปรียบกับค่าควบคุมมาตรฐานท่อพีวีซีตามมาตรฐานอุตสาหกรรมไทย(มอก.) ตามตารางที่ 6.2 พบว่าท่อพลาสติกพีวีซีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร ที่ชั้นคุณภาพ 8.5 มีค่าความหนาควบคุมมาตรฐานคือ 5.2-0.35 มิลลิเมตร หรือค่าควบคุมด้านต่ำที่ 4.85 มิลลิเมตร โดยเป็นค่าควบคุมที่ถ้าทำความหนาได้ต่ำกว่านี้จะส่งผลต่ออัตราการทนแรงดันของท่อพลาสติกพีวีซี ซึ่งทำให้กรอบหรือแตกได้ จึงทำการปรับตั้งค่าที่เหมาะสมใหม่ โดยแสดงรายละเอียดดังรูปที่ 6.5



รูปที่ 6.5 Optimization Plot จากโปรแกรม Minitab โดยพิจารณามาตรฐาน มอก.

ตารางที่ 6.5 ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าทำให้ท่อมีน้ำหนักที่ต่ำที่สุดโดยพิจารณามาตรฐานมอก.

พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	หน่วย	ค่าที่เหมาะสม	ความหนา (mm.)	น้ำหนัก (Kg.)
อุณหภูมิหัวแม่พิมพ์	A	°C	165	4.975	9.993
อุณหภูมิท้ายแม่พิมพ์	B	°C	180		
ความเร็วรอบสกรู	C	rpm.	22		
ความดันสูญญากาศ	D	m./bar	450		
ความเร็วเครื่องลาก	E	mm/minute	3100		

6.3 สรุประยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

ในขั้นตอนนี้ได้ทำการวิเคราะห์ปัจจัยหลักที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งประกอบไปด้วย ปัจจัยอุณหภูมิหัวแม่พิมพ์ (A), ปัจจัยอุณหภูมิท้ายแม่พิมพ์ (B), ปัจจัยความเร็วรอบสกรู (C), ปัจจัยความดันสุญญากาศ (D) และปัจจัยความเร็วเครื่องลาก (E) จึงนำไปปรับปรุงหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสม โดยการคำนวณค่าทำนายของตัวแปรตอบสนอง จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ เพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ค่าตัวแปรตอบสนองดีที่สุด และปัจจัยที่ได้ต้องผลิตผลิตภัณฑ์ให้อยู่ในค่าควบคุมมาตรฐานของ มอก.โดยไม่ส่งผลกระทบต่อปัญหาคุณภาพอื่นๆ โดยได้ค่าปัจจัยที่เหมาะสมตามตารางที่ 6.5 เพื่อนำไปสู่การปรับปรุงกระบวนการผลิตให้ดีขึ้นและใช้งานจริงต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 7
ผลการดำเนินงานในระยะการติดตามควบคุม

ระยะการติดตามควบคุม เป็นขั้นตอนสุดท้ายของงานวิจัยนี้ และเป็นขั้นตอนสุดท้ายของแนวทางซิกซ์ ซิกม่า ประกอบไปด้วย การทดสอบเพื่อยืนยันผล และการจัดทำแผนภูมิควบคุม (Control Plan) เพื่อควบคุมกระบวนการให้รักษามาตรฐานหลังการปรับปรุง

7.1 บทนำ

เพื่อเป็นการยืนยันระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่ได้จากการทดลอง จึงทำการทดสอบเพื่อยืนยันผลเป็นระยะเวลา 1 เดือน โดยปรับตั้งระดับของปัจจัยนำเข้าทั้ง 5 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิหัวแม่พิมพ์ (A), อุณหภูมิท้ายแม่พิมพ์ (B), ความเร็วรอบสกรู (C), ความดันสุญญากาศ (D) และความเร็วเครื่องลาก (E) ตามค่าที่กำหนดไว้ เพื่อตรวจสอบความหนาและน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ ว่าเป็นไปตามผลการทดลองหรือไม่ จากนั้นจึงทำแผนควบคุม (Control Plan) และมาตรฐานในการปฏิบัติงานให้เป็นไปตามแผนที่วางไว้ ซึ่งเป็นผลให้กระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์ออกมามีน้ำหนักอยู่ในมาตรฐานที่กำหนด รวมทั้งทำการประเมินและสรุปผลการปรับปรุงด้วย

7.2 การทดสอบยืนยันผล

เป็นการทดสอบเพื่อยืนยันผลสรุปของค่าปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้งหมด โดยหาค่าเฉลี่ยของขนาดความหนาและน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ หลังจากการปรับปัจจัยนำเข้าตามค่าที่เหมาะสมที่ได้จากระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ ดังแสดงในตารางที่ 7.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

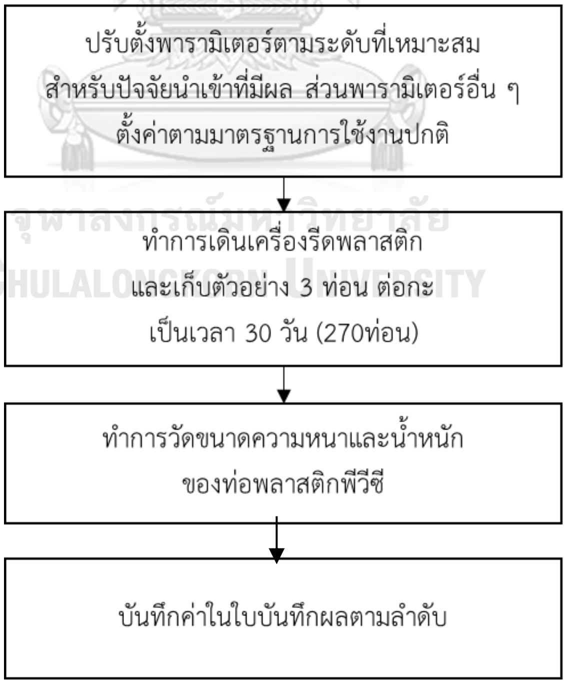
ตารางที่ 7.1 ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่เหมาะสมทั้ง 5 ปัจจัย เพื่อใช้ในการทดสอบเพื่อยืนยันผล

พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	หน่วย	ค่าที่เหมาะสม
อุณหภูมิหัวแม่พิมพ์	A	℃	165
อุณหภูมิท้ายแม่พิมพ์	B	℃	180
ความเร็วรอบสกรู	C	rpm.	22
ความดันสุญญากาศ	D	m./bar	450
ความเร็วเครื่องลาก	E	mm/minute	3100

7.2.1 การทำการทดลอง

ทำการเตรียมการทดลอง โดยการเตรียมเครื่องมือและเครื่องจักรที่จำเป็นต้องใช้ในการทำการทดลองให้พร้อม รวมทั้งทำการอบรมพนักงานที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง ให้เข้าใจถึงการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ วิธีการทำงาน รวมถึงการใช้เครื่องมือต่างๆ ในการทดลองให้ถูกต้องกับระดับที่ต้องการ รวมทั้งวิธีการเก็บข้อมูลด้วย โดยทำการทดลองกับท่อพลาสติกพีวีซี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร ชั้นคุณภาพ 8.5 ซึ่งขั้นตอนการทดลอง แสดงดังแผนภูมิการไหลรูปที่ 7.1 และมีรายละเอียดของการทดลองดังนี้

1. ทำการปรับตั้งพารามิเตอร์ของเครื่องรีดพลาสติก ตามระดับที่ได้จากขั้นตอนระยะการแก้ไขปรับปรุงกระบวนการ สำหรับพารามิเตอร์ที่เป็นปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อค่าเฉลี่ย ส่วนพารามิเตอร์อื่นๆ ให้ทำการตั้งค่าตามมาตรฐานการใช้งานปกติ
2. ทำการเดินเครื่องรีดพลาสติก และเก็บตัวอย่างการผลิต 3 กะต่อวัน โดยกำหนดจำนวน 3 ท่อนต่อกะ เป็นระยะเวลา 30 วัน (270 ท่อน)
3. ทำการวัดขนาดความหนาและน้ำหนักของท่อพลาสติกพีวีซี โดยวัดขนาดตามลำดับของการผลิต ผลิตภัณฑ์
4. บันทึกค่าในใบบันทึกผลตามลำดับ



รูปที่ 7.1 แผนภาพการไหลอย่างง่ายของการทดลองในขั้นตอนยืนยันผล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

7.2.2 การตรวจติดตามผลโดยใช้แผนควบคุม (Control Plan)

จากนั้นได้จัดแผนควบคุม (Control Plan) เพื่อใช้ควบคุมกระบวนการ โดยมีการควบคุมปัจจัยจำนวน 5 ปัจจัย โดยเพิ่มเติมเข้าไปในแผนควบคุมเดิม โดยมีรายละเอียดดังนี้

- **อุณหภูมิหัวแม่พิมพ์ (A)** จากขั้นตอนการปรับปรุงพบว่าค่าอุณหภูมิหัวแม่พิมพ์ ที่เหมาะสมที่ทำให้ท่อมีความหนาและน้ำหนักน้อยที่สุด คือ 165 องศาเซลเซียส โดยค่าอุณหภูมิสามารถปรับตั้งได้ที่ตัวเครื่องรีด และแสดงผลตัวเลขทางหน้าจอแสดงผล โดยแสดงดังรูปที่ 7.2 ดังนั้นแผนการตรวจสอบค่าอุณหภูมิจะทำโดยให้พนักงานควบคุมเครื่องรีด ทำการตรวจสอบค่าของอุณหภูมิที่แสดงผลทางหน้าจอและทำการบันทึกค่าลงในแผ่นรายการตรวจสอบ เป็นประจำทุก 4 ชั่วโมง

- อุณหภูมิท้ายแม่พิมพ์ (B) จากขั้นตอนการปรับปรุงพบว่าค่าอุณหภูมิท้ายแม่พิมพ์ ที่เหมาะสม ที่ทำให้ท่อมีความหนาและน้ำหนักน้อยที่สุด คือ 180 องศาเซลเซียส โดยค่าอุณหภูมิสามารถปรับตั้งได้ที่ตัวเครื่องรีด และแสดงผลตัวเลขทางหน้าจอแสดงผล ดังนั้นแผนการตรวจสอบค่าอุณหภูมิ จะทำโดยให้พนักงานควบคุมเครื่องรีด ทำการตรวจสอบค่าของอุณหภูมิที่แสดงผลทางหน้าจอและทำการบันทึกค่าลงในแผ่นรายการตรวจสอบ เป็นประจำทุก 4 ชั่วโมง

- ความเร็วรอบสกรู (C) จากขั้นตอนการปรับปรุงพบว่าค่าความเร็วรอบสกรู ที่เหมาะสมที่จะทำให้ท่อมีความหนาและน้ำหนักน้อยที่สุด คือ 22 rpm. โดยค่าความเร็วรอบสกรูสามารถปรับตั้งได้ที่ตัวเครื่องรีดและแสดงผลตัวเลขของความเร็วรอบสกรูทางหน้าจอแสดงผล โดยแสดงดังรูปที่ 7.3 ดังนั้นแผนการตรวจสอบของความเร็วรอบสกรู จะทำโดยให้พนักงานควบคุมเครื่องรีด ทำการตรวจสอบค่าความเร็วที่แสดงผลทางหน้าจอและทำการบันทึกค่าลงในแผ่นรายการตรวจสอบ เป็นประจำทุก 4 ชั่วโมง

-ความดันสุญญากาศ (D) จากขั้นตอนการปรับปรุงพบว่าค่าความดันสุญญากาศที่เหมาะสมที่จะทำให้ท่อมีความหนาและน้ำหนักน้อยที่สุด คือ 450 mbar โดยค่าความดันสุญญากาศสามารถปรับตั้งได้ที่ตัวเครื่องรีดและแสดงผลตัวเลขของความดันทางหน้าจอแสดงผลโดยแสดงดังรูปที่ 7.4 ดังนั้นแผนการตรวจสอบจะทำโดยให้พนักงานควบคุมเครื่องรีด ทำการตรวจสอบค่าระดับความดันที่แสดงผลทางหน้าจอและทำการบันทึกค่าลงในแผ่นรายการตรวจสอบ เป็นประจำทุก 4 ชั่วโมง

-ความเร็วเครื่องลาก (E) จากขั้นตอนการปรับปรุงพบว่าค่าความเร็วเครื่องลาก ที่เหมาะสมที่จะทำให้ท่อมีความหนาและน้ำหนักน้อยที่สุด คือ 3100 mm./Minute โดยค่าความเร็ว สามารถปรับตั้งได้ที่ตัวเครื่องรีดและแสดงผลตัวเลขผ่านทางหน้าจอแสดงผล โดยแสดงดังรูปที่ 7.5 ดังนั้นแผนการตรวจสอบค่าความเร็วของเครื่องลาก จะทำโดยให้พนักงานควบคุมเครื่องรีดทำการตรวจสอบค่าระดับของความเร็ว ที่แสดงผลทางหน้าจอและทำการบันทึกค่าลงในแผ่นรายการตรวจสอบ เป็นประจำทุก 4 ชั่วโมง

โดยแผนการควบคุมสำหรับกระบวนการรีดท่อพลาสติก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร ชั้นคุณภาพ 8.5 สูตร E100 ได้มีการปรับปรุงใหม่เพิ่มเติมจากแผนควบคุมเดิม แสดงดังตารางที่ 7.2

รูปที่ 7.2 หน้าจอแสดงผลควบคุมอุณหภูมิหัวและท้ายแม่พิมพ์

รูปที่ 7.3 หน้าจอแสดงผลควบคุมความเร็วรอบสกรู

รูปที่ 7.4 หน้าจอแสดงผลควบคุมแรงดันสุญญากาศ

รูปที่ 7.5 หน้าจอแสดงผลควบคุมความเร็วเครื่องลาก

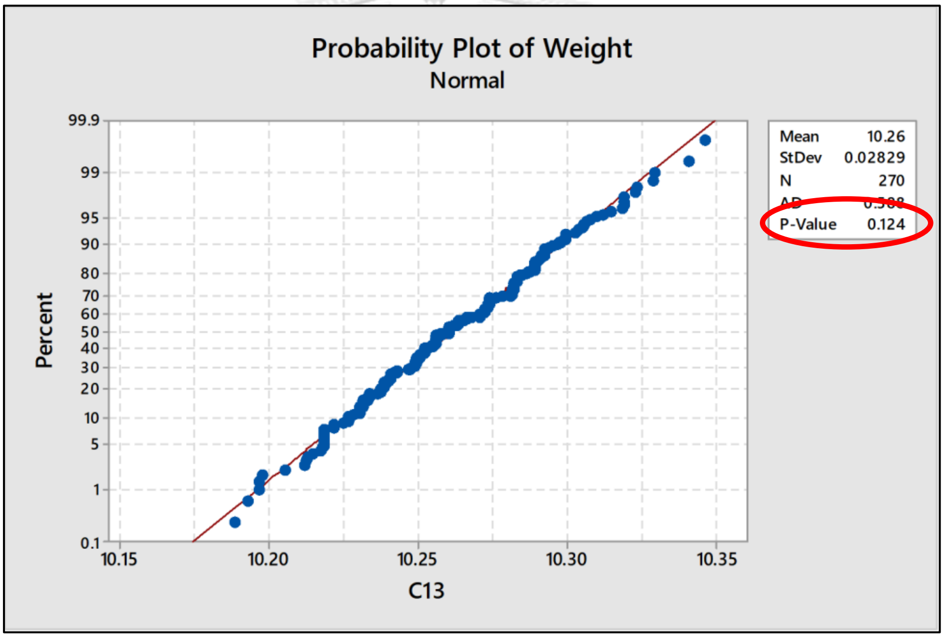
ตารางที่ 7.2 แผนการควบคุมปัจจัยนำเข้าเฉพาะปัจจัยที่มีนัยสำคัญ

ลำดับ	กระบวนการ	จุดควบคุม	หน่วย	มาตรฐาน	ความถี่	ผู้รับผิดชอบ	บันทึกคุณภาพ	แผนแก้ไข
1	ท่อ PVC ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร ชั้นคุณภาพ 8.5	อุณหภูมิหัวแม่พิมพ์	℃	165	4 ชั่วโมง	พนักงานควบคุมเครื่องรีด	ใบตรวจสอบพารามิเตอร์	แจ้งหัวหน้างาน
2		อุณหภูมิปลายแม่พิมพ์	℃	180	4 ชั่วโมง	พนักงานควบคุมเครื่องรีด	ใบตรวจสอบพารามิเตอร์	แจ้งหัวหน้างาน
3		ความเร็วรอบสกรู	RPM.	22	4 ชั่วโมง	พนักงานควบคุมเครื่องรีด	ใบตรวจสอบพารามิเตอร์	แจ้งหัวหน้างาน
4		ความดันสูญญากาศ	m.bar	450	4 ชั่วโมง	พนักงานควบคุมเครื่องรีด	ใบตรวจสอบพารามิเตอร์	แจ้งหัวหน้างาน
5		ความเร็วเครื่องลาก	mm/minute	3100	4 ชั่วโมง	พนักงานควบคุมเครื่องรีด	ใบตรวจสอบพารามิเตอร์	แจ้งหัวหน้างาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

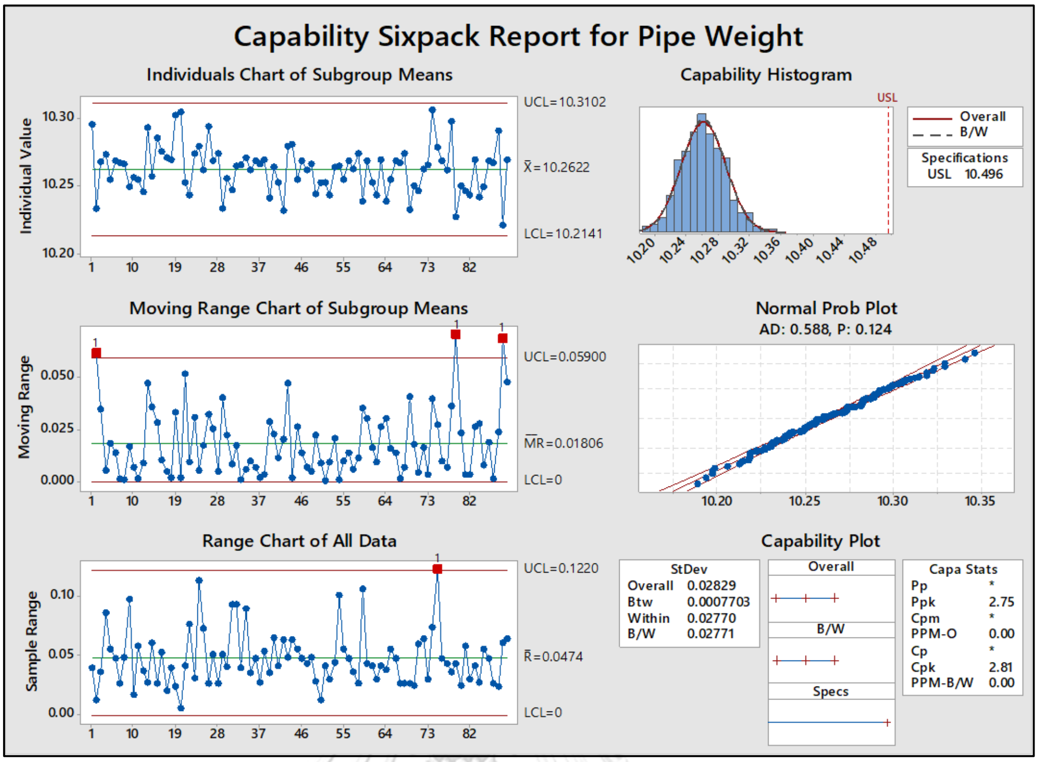
7.2.3 การวิเคราะห์ผลและสรุปการทดสอบยืนยันผล

ในการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการเพื่อยืนยันผลการทดลอง โดยการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ C_P และ C_{PK} ซึ่งผู้ทำการวิจัยได้กำหนดวิธีการเก็บข้อมูลในการทดสอบเพื่อยืนยันผล ให้ทีมงานของพนักงานวัดความหนาและน้ำหนักของชิ้นงาน เครื่องมือวัด และเครื่องรีดที่ทำการทดลอง เป็นชุดเดียวกันกับชุดที่ใช้ในการทดลอง เพื่อวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการก่อนการปรับปรุง โดยเก็บข้อมูลความหนาและน้ำหนักของกระบวนการรีดท่อพลาสติกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร ชั้นคุณภาพ 8.5 สูตร E100 จำนวน 3 ท่อนต่อกะ เป็นระยะเวลา 30 วัน โดยได้จำนวนของการวัดขนาดความหนาและน้ำหนักของท่อจำนวน 270 ข้อมูล เพื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความสามารถของกระบวนการ โดยแสดงผลการทำ Probability Plot ดังรูปที่ 7.6



รูปที่ 7.6 การตรวจสอบการกระจายตัวของข้อมูลน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ท่อ

จากการทำ Probability Plot พบว่า p-value = 0.124 ซึ่งมากกว่าค่าความเชื่อมั่น 0.05 ดังนั้นแสดงว่า ข้อมูลน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีการกระจายตัวอย่างปกติ โดยผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการจากโปรแกรม Minitab แสดงดังรูปที่ 7.7



รูปที่ 7.7 ผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการด้วยโปรแกรม Minitab

จากความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Analysis) จะเห็นว่าความสามารถของกระบวนการรีดท่อพลาสติกพีวีซีได้น้ำหนักของผลิตภัณฑ์เฉลี่ยที่ 10.262 กิโลกรัมต่อท่อน และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.028 กิโลกรัม ซึ่งดีกว่าค่าก่อนทำการปรับปรุงซึ่งค่าเฉลี่ยน้ำหนักอยู่ที่ 10.422 กิโลกรัม และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.086 กิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนค่า C_{PK} ที่ได้อยู่ที่ 2.81 จากก่อนการปรับปรุงกระบวนการซึ่งอยู่ที่ 0.29 ซึ่งดีกว่าค่ามาตรฐานที่ 1.33 โดยสรุปผลเปรียบเทียบดังตารางที่ 7.3

ตารางที่ 7.3 การเปรียบเทียบความสามารถของกระบวนการก่อนและหลังการปรับปรุง

ระยะ	น้ำหนัก (กก.)	ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน	C_{PK}
ค่าเป้าหมาย	ต่ำที่สุด	ต่ำที่สุด	1.33
ก่อนปรับปรุง (Baseline)	10.422	0.086	0.29
ค่าทำนายจาก โปรแกรม Minitab	9.993	-	-
หลังการปรับปรุง	10.262	0.028	2.81

7.2.4 การทดสอบค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน

ทำการทดสอบค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนจากสมการที่ 7.1 โดยได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 7.4

$$\text{ค่าความคลาดเคลื่อน} = \frac{(\text{ค่าวัดจริง} - \text{ค่าจากการทำนาย}) x 100}{\text{ค่าวัดจริง}} \quad .... \ (7.1)$$

ตารางที่ 7.4 ผลการทดลองเทียบกับผลจากการทำนาย

ความหนา (มิลลิเมตร)			น้ำหนัก(กิโลกรัม)		
ค่าวัดจริง	ค่าจากการทำนาย	ค่าความคลาดเคลื่อน(%)	ค่าวัดจริง	ค่าจากการทำนาย	ค่าความคลาดเคลื่อน(%)
5.112	4.975	2.68	10.262	9.993	2.62

เมื่อทำการคำนวณค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของสมการทำนายน้ำหนักและความหนาของผลิตภัณฑ์ ตามสมการที่ 7.1 พบว่าค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของความหนามีค่าเท่ากับ 2.68% นั่นคือสมการที่ได้มีความแม่นยำอยู่ที่ 97.32% และ ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักมีค่าเท่ากับ 2.62 % นั่นคือสมการที่ได้มีความแม่นยำอยู่ที่ 97.38% ซึ่งถือว่ามีความแม่นยำในระดับสูงและเป็นที่ยอมรับได้

7.3 ต้นทุนที่สามารถลดได้

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยฉบับนี้สนใจผลลัพธ์ของการปรับปรุงเพื่อลดต้นทุนที่เกิดจากวัตถุดิบ โดยพิจารณาเฉพาะต้นทุนวัตถุดิบของผลิตภัณฑ์ท่อพีวีซีขนาด 100 มิลลิเมตร ชั้นคุณภาพ 8.5 ที่เป็นต้นแบบในการปรับปรุงเท่านั้น โดยวิธีการคำนวณต้นทุนของวัตถุดิบอ้างอิงจากสมการที่ 7.2

$$\text{ประหยัดต้นทุน} = \frac{(\text{ค่าเฉลี่ยก่อนปรับปรุง} - \text{ค่าเฉลี่ยหลังปรับปรุง})}{(\text{ค่าเฉลี่ยก่อนปรับปรุง})} \times \text{จำนวนผลิต} \times \text{ราคาวัตถุดิบ} \quad .... \ (7.2)$$

$$= \frac{(10.422 - 10.262)}{(10.422)} \times 1{,}874 \text{ ตันต่อปี} \times 33{,}000 \text{ บาทต่อตัน}$$

= 945,253 บาท/ปี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

7.4 สรุปผลระยะติดตามการควบคุม

ระยะการติดตามควบคุม ในขั้นตอนแรกเป็นการทดสอบเพื่อยืนยันผล โดยการปรับค่าปัจจัยนำเข้าตามค่าที่กำหนดไว้ เพื่อเป็นการทดสอบว่าค่าความหนาและนำหนักของผลิตภัณฑ์ที่กำหนดไว้เป็นไปตามคำทำนายหรือไม่ โดยการทำทำแผนควบคุมปัจจัยเพิ่มเติมจากแผนการควบคุมเดิม

ผลจากการปรับปรุงหลังการกำหนดใช้แผนควบคุม หลังจากการทดสอบเพื่อยืนยันผลจากการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Analysis) พบว่าความสามารถของกระบวนการรีดท่อพลาสติกพีวีซี ได้น้ำหนักของผลิตภัณฑ์เฉลี่ยที่ 10.262 กิโลกรัมต่อท่อน และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.028 กิโลกรัม ซึ่งดีกว่าค่าก่อนทำการปรับปรุงซึ่งค่าเฉลี่ยน้ำหนักอยู่ที่ 10.422 กิโลกรัม และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.086 กิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนค่า C_{PK} ที่ได้อยู่ที่ 2.81 จากก่อนการปรับปรุงกระบวนการซึ่งอยู่ที่ 0.29 ซึ่งดีกว่าค่ามาตรฐานที่ 1.33

เมื่อทำการคำนวณค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของสมการทำนาย น้ำหนักและความหนาของผลิตภัณฑ์ ตามสมการที่ 7.1 พบว่าค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของความหนามีค่าเท่ากับ 2.68% นั่นคือสมการที่ได้มีความแม่นยำอยู่ที่ 97.32% และ ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักมีค่าเท่ากับ 2.62 % นั่นคือสมการที่ได้มีความแม่นยำอยู่ที่ 97.38% ซึ่งถือว่ามีความแม่นยำในระดับสูงและเป็นที่ยอมรับได้

มูลค่าความสูญเสียต้นทุนวัตถุดิบที่เกิดขึ้น จากการคำนวณต้นทุนพบว่าสามารถลดต้นทุนที่เกิดจากการเดินผลิตภัณฑ์เกินน้ำหนักมาตรฐานได้ 945,253 บาทต่อปี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 8
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

8.1 บทนำ

งานวิจัยฉบับนี้ได้ประยุกต์ใช้แนวคิดซิกซ์ ซิกม่า เข้ามาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตท่อพลาสติกพีวีซี โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนความสูญเสียวัตถุดิบที่เกิดจากการผลิต ผลิตภัณฑ์เกินน้ำหนักมาตรฐาน ซึ่งเป็นปัญหาด้านคุณภาพที่ส่งผลต่อต้นทุนของบริษัทที่สูงที่สุด โดยแนวคิดของซิกซ์ ซิกม่า จะประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอน เริ่มจากระยะนิยามปัญหา (Define Phase) ระยะการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา (Measure Phase) ระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase) ระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improvement Phase) และระยะการติดตามควบคุม (Control Phase) โดยนำมาประยุกต์ใช้เพื่อเป็นแนวทางในการดำเนินการปรับปรุงกระบวนการ เพื่อหาสาเหตุและควบคุมปัญหาที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีน้ำหนักเกินมาตรฐานที่กำหนด ซึ่งจะส่งผลทำให้ต้นทุนในการผลิตลดลงด้วย บทสรุปของการดำเนินงานและผลของการปรับปรุงแต่ละระยะ เป็นดังนี้

8.2 บทสรุปจากขั้นตอนการนิยามปัญหา

จากที่ได้กล่าวมาทั้งหมด ในส่วนของขั้นตอนการนิยามปัญหา ตั้งแต่การพิจารณาปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อต้นทุนการผลิตในส่วนของความสูญเสียที่เกิดจากวัตถุดิบ พบว่าปัญหาหลักของบริษัทกรณีศึกษาคือความสูญเสียที่เกิดจากการผลิตสินค้าน้ำหนักเกินมาตรฐานที่กำหนด ซึ่งกระทบต่อต้นทุนการผลิตสูงที่สุด โดยเป้าหมายในการปรับปรุงของงานวิจัยนี้คือควบคุมน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ให้อยู่ภายในค่าควบคุมที่กำหนด คือน้ำหนักสินค้าไม่เกิน 10.496 กิโลกรัม/ท่อน และความสามารถของกระบวนการ C_p และ C_{pk} ต้องมากกว่า 1.33 และต้องตรวจสอบกระบวนการหลังการปรับปรุงสำเร็จแล้ว ต้องไม่กระทบต่อข้อบกพร่องในด้านอื่นที่สัมพันธ์กัน เช่น การทดสอบความสามารถในการทนแรงดันของท่อพลาสติกพีวีซี หรือ มาตรฐานในด้านคุณภาพอื่นๆ ของผลิตภัณฑ์ โดยกำหนดคณะทำงาน โครงการซิกซ์ ซิกม่า ในการศึกษาและปรับปรุงกระบวนการให้เป็นไปตามเป้าหมายที่วางไว้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

8.3 บทสรุปจากขั้นตอนการวัดเพื่อระบุสาเหตุของปัญหา

ในขั้นตอนแรกของระยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา ได้ใช้เครื่องมือทางสถิติคือ แผนภูมิควบคุม X Bar-S chart และ Multi-Vari Chart เพื่อวิเคราะห์หาตัวแปรที่มีผลต่อน้ำหนัก 3 ส่วน คือ ความหนาแน่นของวัตถุดิบ, ความหนาของท่อ และความยาวของท่อ โดยพบว่าตัวแปรที่มีผลต่อน้ำหนักของผลิตภัณฑ์มากที่สุดของบริษัทกรณีศึกษาคือ ความหนาของท่อ จากนั้นได้ทำการวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) โดยใช้ GR&R ทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากค่าที่วัดโดยเครื่องมือวัดไมโครมิเตอร์ชนิดดิจิตอล ซึ่งใช้พนักงานวัด จำนวน 3 คน ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์ว่า ระบบการวัดมีคุณสมบัติผ่านเกณฑ์ และสามารถให้การยอมรับความผันแปรของกระบวนการวัดได้

ทำการศึกษาด้านความสามารถของกระบวนการ และทำการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งจากการเก็บข้อมูลความหนาของผลิตภัณฑ์ท่อจำนวน 105 ท่อน พบว่ากระบวนการรีดท่อพลาสติกในปัจจุบันมีความสามารถของกระบวนการค่อนข้างต่ำ คือ C_p และ C_{pk} ที่ได้คือ 1.3 และ -0.3 ตามลำดับ ซึ่งค่า C_p ที่ได้มีค่ามากกว่าเกณฑ์การยอมรับที่กำหนดคือ 1.33 ส่วนค่า C_{pk} มีค่าน้อยกว่าเกณฑ์ยอมรับ หมายความว่ากระบวนการนี้มีความผันแปรของกระบวนการมีค่าน้อยในระดับที่ยอมรับได้ แต่กระบวนการยังมีความสามารถในระดับที่ยอมรับไม่ได้เนื่องจากกระบวนการมีค่าเฉลี่ยเบี่ยงเบนจากค่าเป้าหมายอยู่มากเกินไป จึงควรพิจารณาปรับปรุงค่าเฉลี่ยให้เข้าใกล้เป้าหมายมากขึ้น

ทำการระดมความคิดจากทีมงานเพื่อค้นหาปัจจัยนำเข้า ที่มีผลต่อความหนาของผลิตภัณฑ์ท่อ โดยปัจจัยมาจากการระดมความคิดเห็นจากสมาชิก และจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในอดีต โดยได้ปัจจัยนำเข้าทั้งหมด 12 ปัจจัย จากนั้นจึงใช้ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause-and-Effect Matrix) เพื่อกรองปัจจัย โดยได้ปัจจัยหลัก 5 ปัจจัยคือ ความเร็วรอบสกรู ความเร็วเครื่องลาก อุณหภูมิหัวแม่พิมพ์ อุณหภูมิท้ายแม่พิมพ์ และความดันสุญญากาศ ซึ่งจะนำไปทดสอบและวิเคราะห์ในระยะต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

8.4 บทสรุปจากขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

ในขั้นตอนระยะแรกของการดำเนินงานในระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา จะเริ่มจากการเลือกแบบการทดลอง โดยได้เลือกการออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken) เนื่องจากมีจำนวนครั้งของการทดลองที่น้อยกว่า รวมถึงต้นทุนที่ถูกกว่า นอกจากนี้การปรับตั้งพารามิเตอร์ของเครื่องจักรในบริษัทกรณีศึกษายังทำการปรับตั้งได้ง่ายกว่า เมื่อเทียบกับการออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมกลาง (Central Composite Design, CCD) ซึ่งการออกแบบการทดลองนี้ใช้การทดลองทั้งหมด 46 รัน จากนั้นเมื่อได้ผลการทดลองแล้ว จึงมาทำการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง ซึ่งก่อนทำการวิเคราะห์ผลจะต้องทำการตรวจสอบความถูกต้องของตัว

แบบจำลอง (Model Adequacy Checking) เมื่อพบว่าผลของการทดลองเป็นไปตามสมมุติฐานทั้ง 3 ข้อจึงทำการวิเคราะห์ผลการทดลองในขั้นถัดไป

ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองโดยโปรแกรม Minitab เพื่อพิจารณาเทอมของปัจจัยนำเข้าที่ผลต่อค่าความหนาและน้ำหนักของของผลิตภัณฑ์ โดยแสดงดังตารางที่ 5.11-5.16 พบว่ามีปัจจัยที่เป็นปัจจัยหลัก (Main Effect) จำนวน 5 ปัจจัย เนื่องจากค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 คือปัจจัยอุณหภูมิหัวแม่พิมพ์ (A) ปัจจัยอุณหภูมิหัวแม่พิมพ์ (B) ปัจจัยความเร็วรอบสกรู (C) ปัจจัยความดันสุญญากาศ (D) และปัจจัยความเร็วเครื่องลาก (E) ส่วนผลของปัจจัยร่วม (Interaction Effect) มีจำนวน 3 ปัจจัย คือปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิหัวแม่พิมพ์กับอุณหภูมิท้ายแม่พิมพ์ (A*B) ปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิหัวแม่พิมพ์กับความเร็วรอบสกรู (A*C) และ ปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วรอบสกรูกับความเร็วเครื่องลาก (C*E) ตามลำดับ

ในการทดลองเพื่อหาปัจจัยปรับตั้งที่เหมาะสมในกรณี 5 ปัจจัยพบว่าการออกแบบการทดลองแบบ Central Composite half design มีการใช้ทรัพยากรที่น้อยกว่า โดยมีจำนวน 32 รัน เมื่อเทียบกับการออกแบบการทดลองชนิด Box-Behnken Design ที่มีจำนวน 46 รัน โดยแสดงดัง รูปที่ 8.1

8.5 บทสรุปจากขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

ในขั้นตอนนี้ได้ทำการวิเคราะห์ปัจจัยหลักที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งประกอบไปด้วย ปัจจัยอุณหภูมิหัวแม่พิมพ์ (A) ปัจจัยอุณหภูมิท้ายแม่พิมพ์ (B) ปัจจัยความเร็วรอบสกรู (C) ปัจจัยความดันสุญญากาศ (D) และปัจจัยความเร็วเครื่องลาก (E) จึงนำไปปรับปรุง หาระดับของปัจจัยที่เหมาะสม โดยการคำนวณค่าทำนายของตัวแปรตอบสนอง จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ เพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ค่าตัวแปรตอบสนองดีที่สุด และปัจจัยที่ได้ต้องผลิตผลิตภัณฑ์ให้อยู่ในค่าควบคุมมาตรฐานของ มอก.โดยไม่ส่งผลกระทบต่อปัญหาคุณภาพอื่นๆ โดยได้ค่าปัจจัยที่เหมาะสมตามตารางที่ 8.1 เพื่อนำไปสู่การปรับปรุงกระบวนการผลิตให้ดีขึ้นและใช้งานจริงต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 8.1 ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าทำให้ท่อมีน้ำหนักที่ต่ำที่สุดโดยพิจารณามาตรฐานมอก.

พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	หน่วย	ค่าที่เหมาะสม	ความหนา (mm.)	น้ำหนัก (Kg.)
อุณหภูมิหัวแม่พิมพ์	A	℃	165	4.975	9.993
อุณหภูมิท้ายแม่พิมพ์	B	℃	180		
ความเร็วรอบสกรู	C	rpm.	22		
ความดันสูญญากาศ	D	m./bar	450		
ความเร็วเครื่องลาก	E	mm/minute	3100		

8.6 บทสรุปจากขั้นตอนการติดตามควบคุม

ระยะการติดตามควบคุม ในขั้นตอนแรกเป็นการทดสอบเพื่อยืนยันผล โดยการปรับค่าปัจจัยนำเข้าตามค่าที่กำหนดไว้ เพื่อเป็นการทดสอบว่าค่าความหนาและน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่กำหนดไว้เป็นไปตามคำทำนายหรือไม่ โดยการทำทำแผนควบคุมปัจจัยเพิ่มเติมจากแผนการควบคุมเดิม

ผลจากการปรับปรุงหลังการกำหนดใช้แผนควบคุม หลังจากการทดสอบเพื่อยืนยันผลจากการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ กระบวนการ (Process Capability Analysis) พบว่าความสามารถของกระบวนการรีดท่อพลาสติกพีวีซีได้น้ำหนักของผลิตภัณฑ์เฉลี่ยที่ 10.262 กิโลกรัมต่อท่อน และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.028 กิโลกรัม ซึ่งดีกว่าค่าก่อนทำการปรับปรุงซึ่งค่าเฉลี่ยน้ำหนักอยู่ที่ 10.422 กิโลกรัม และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.086 กิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนค่า C_{PK} ที่ได้อยู่ที่ 2.81 จากก่อนการปรับปรุงกระบวนการซึ่งอยู่ที่ 0.29 ซึ่งดีกว่าค่ามาตรฐานที่ 1.33

เมื่อทำการคำนวณค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของสมการทำนายน้ำหนักและความหนาของผลิตภัณฑ์ ตามสมการที่ 7.1 พบว่าค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของความหนามีค่าเท่ากับ 2.68% นั่นคือสมการที่ได้มีความแม่นยำอยู่ที่ 97.32% และ ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักมีค่าเท่ากับ 2.62 % นั่นคือสมการที่ได้มีความแม่นยำอยู่ที่ 97.38% ซึ่งถือว่ามีความแม่นยำในระดับสูงและเป็นที่ยอมรับได้

มูลค่าความสูญเสียต้นทุนวัตถุดิบที่เกิดขึ้น จากการคำนวณต้นทุนพบว่าสามารถลดต้นทุนที่เกิดจากการเดินผลิตภัณฑ์เกินน้ำหนักมาตรฐานได้ 945,253 บาทต่อปี

8.7 ข้อจำกัดในงานวิจัย

1. วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองเป็นวัตถุดิบชนิดเดียวกับวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตจริง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องควบคุมจำนวนชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง เพื่อควบคุมค่าใช้จ่ายในการทดลองให้มีค่าต่ำที่สุด

2. การแก้ปัญหาการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักเกินมาตรฐาน ของสินค้าท่อ 100 ชั้นคุณภาพ 8.5 ของงานวิจัยฉบับนี้ ใช้ได้กับเฉพาะเครื่องจักรที่ทำการทดลองเท่านั้น เนื่องจากเครื่องจักรอื่นที่ใช้เดินผลิตภัณฑ์นี้ เป็นคนล่ะรุ่นกัน ทำมีค่าปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อน้ำหนักต่างกัน จึงต้องทำการทดลองใหม่ด้วย

8.8 ปัญหาและอุปสรรคในการทำวิจัย

1. การทดลองจะต้องอาศัยการร่วมมือจากฝ่ายผลิตเพื่อเก็บจำนวนตัวอย่าง ฝ่ายควบคุมคุณภาพ เพื่อทำการวัดขนาดตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ทำการทดสอบ แต่ปัจจุบันพบว่ายังไม่ได้รับความร่วมมือเท่าที่ควร เนื่องจากยังไม่เห็นถึงความสำคัญที่แท้จริงของการแก้ไขปัญหานี้และมีความกังวล ที่จะเกิดขึ้นกับปัญหาด้านคุณภาพ

2. เครื่องมือไมโครมิเตอร์ที่เป็นตัวใช้วัดขนาดความหนาของท่อ ต้องได้รับการปรับปรุงให้ทำงานง่ายขึ้นกว่านี้เนื่องจากใช้ระยะเวลาในการวัดต่อท่อนสูงมาก

8.9 ข้อเสนอแนะ

1. ให้ความรู้พนักงานระดับปฏิบัติการถึงความสำคัญของการใช้ข้อมูลทางสถิติ และความถูกต้องของการเก็บข้อมูล เพื่อให้ข้อมูลที่ทำการสุ่มเก็บเพื่อทดสอบคุณภาพของการผลิต สามารถมาทำการวิเคราะห์สภาพปัญหาปัจจุบันได้อย่างถูกต้อง โดยไม่ต้องเสียเวลาในการเก็บข้อมูลใหม่

2. ประยุกต์กระบวนการแก้ไขปัญหาการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักเกินมาตรฐานไปสู่ผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นๆของบริษัทต่อไป

3. ควรทำการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลใหม่ตลอดเวลา ถ้าเกิดการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขต่างๆ

8.9.1 ข้อเสนอแนะขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

ในการทดลองเพื่อหาปัจจัยปรับตั้งที่เหมาะสมในกรณี 5 ปัจจัยพบว่าการออกแบบการทดลองแบบ Central Composite half design มีการใช้ทรัพยากรที่น้อยกว่า โดยมีจำนวน 32 รัน เมื่อเทียบกับการออกแบบการทดลองชนิด Box-Behnken Design ที่มีจำนวน 46 รัน โดยแสดงดัง รูปที่ 8.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Available Response Surface Designs

Design		Continuous Factors								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
Central composite full	unblocked	13	20	31	52	90	152			
	blocked	14	20	30	54	90	160			
Central composite half	unblocked				32	53	88	154		
	blocked				33	54	90	160		
Central composite quarter	unblocked							90	156	
	blocked							90	160	
Central composite eighth	unblocked									158
	blocked									160
Box-Behnken	unblocked		15	27	46	54	62		130	170
	blocked			27	46	54	62		130	170

รูปที่ 8.1 จำนวนการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab

นอกจากนั้นการออกแบบการทดลองแบบ Central Composite half design ที่จำนวนปัจจัย 5-6 ปัจจัย จะมีการทดลองที่ส่วนของจุดแกนอยู่ที่ระดับ α =2 ซึ่งเหมาะสำหรับการปรับตั้งของเครื่องจักรที่ทำการปรับตั้งแบบละเอียดไม่ได้เมื่อเทียบกับ α ของระดับปัจจัยอื่นๆโดยที่ $\alpha=(2^k)^{1/4}$ ซึ่งแสดงดังตารางที่ 8.2

ตารางที่ 8.2 ค่า α กรณีของการทดลองแบบส่วนประสมกลางกรณีปัจจัย 2-6

จำนวนปัจจัย	ส่วนการทดลองแฟคทอเรียล	α
2	2^2	$2^{2/4}$=1.414
3	2^3	$2^{3/4}$=1.682
4	2^4	$2^{4/4}$=2.000
5	2^{5-1}	$2^{4/4}$=2.000
5	2^5	$2^{5/4}$=2.378
6	2^{6-1}	$2^{5/4}$=2.378
6	2^6	$2^{6/4}$=2.828

8.9.2 ข้อเสนอแนะขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

ข้อมูลเปรียบเทียบเพื่อพิจารณาเลือกลดรูปสมการ การทดลองหรือเลือกใช้สมการ การทดลองแบบ เต็มรูป จากผลการทดลองในขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยระยะการปรับปรุงแก้ไข ตามรูปที่ 8.2-8.3 และตารางที่ 8.3-8.4 โดยแสดงผลที่เกิดจากการทดลองเปรียบเทียบระหว่างก่อนลดรูปและหลังลดรูป พบว่ามีปัจจัยร่วมระหว่างปัจจัย A*D, A*E, B*C, B*D, B*E, C*D และ D*E ที่ค่า P-value <0.05 ซึ่งแสดงว่าไม่ส่งต่อความหนาของผลิตภัณฑ์

```
Response Surface Regression: T versus A, B, C, D, E

Analysis of Variance

Source                DF   Adj SS    Adj MS   F-Value  P-Value
Model                 20  1.39743  0.069872   162.04    0.000
  Linear               5  1.09999  0.219998   510.19    0.000
    A                  1  0.00548  0.005476    12.70    0.002
    B                  1  0.00209  0.002093     4.85    0.037
    C                  1  0.48720  0.487204  1129.85    0.000
    D                  1  0.00265  0.002652     6.15    0.020
    E                  1  0.60256  0.602564  1397.37    0.000
  Square               5  0.26130  0.052260   121.19    0.000
    A*A                1  0.16023  0.160235   371.59    0.000
    B*B                1  0.00153  0.001532     3.55    0.071
    C*C                1  0.00812  0.008119    18.83    0.000
    D*D                1  0.02545  0.025449    59.02    0.000
    E*E                1  0.00031  0.000306     0.71    0.408
  2-Way Interaction   10  0.03615  0.003615     8.38    0.000
    A*B                1  0.00319  0.003192     7.40    0.012
    A*C                1  0.02403  0.024025    55.72    0.000
    A*D                1  0.00014  0.000144     0.33    0.569
    A*E                1  0.00034  0.000342     0.79    0.381
    B*C                1  0.00044  0.000441     1.02    0.322
    B*D                1  0.00029  0.000289     0.67    0.421
    B*E                1  0.00048  0.000484     1.12    0.300
    C*D                1  0.00000  0.000004     0.01    0.924
    C*E                1  0.00593  0.005929    13.75    0.001
    D*E                1  0.00130  0.001296     3.01    0.095
Error                 25  0.01078  0.000431
  Lack-of-Fit         20  0.01077  0.000539   367.26    0.000
  Pure Error           5  0.00001  0.000001
Total                 45  1.40821

Model Summary
        S    R-sq  R-sq(adj)  R-sq(pred)
0.0207656  99.23%     98.62%      96.94%
```

รูปที่ 8.2 ผลของการวิเคราะห์การทดลองก่อนทำการลดรูป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 8.3 ผลการทดลองเทียบกับผลจากการทำนาย (ก่อนลดรูป)

ความหนา (มิลลิเมตร)			น้ำหนัก(กิโลกรัม)		
ค่าวัดจริง	ค่าจากการทำนาย	ค่าความคลาดเคลื่อน(%)	ค่าวัดจริง	ค่าจากการทำนาย	ค่าความคลาดเคลื่อน(%)
5.112	4.975	2.68	10.262	9.993	2.62

Response Surface Regression: T versus A, B, C, D, E

```
Analysis of Variance

Source                DF   Adj SS    Adj MS  F-Value  P-Value
Model                 11  1.39378  0.126707   281.10    0.000
  Linear               5  1.10092  0.220183   488.47    0.000
    A                  1  0.00552  0.005524    12.26    0.001
    B                  1  0.00206  0.002063     4.58    0.040
    C                  1  0.48713  0.487134  1080.70    0.000
    D                  1  0.00262  0.002621     5.82    0.021
    E                  1  0.60357  0.603574  1339.02    0.000
  Square               3  0.25966  0.086552   192.01    0.000
    A*A                1  0.17052  0.170525   378.31    0.000
    C*C                1  0.01182  0.011818    26.22    0.000
    D*D                1  0.03341  0.033414    74.13    0.000
  2-Way Interaction    3  0.03321  0.011070    24.56    0.000
    A*B                1  0.00319  0.003187     7.07    0.012
    A*C                1  0.02403  0.024025    53.30    0.000
    C*E                1  0.00600  0.005999    13.31    0.001
Error                 34  0.01533  0.000451
  Lack-of-Fit         29  0.01532  0.000528   476.08    0.000
  Pure Error           5  0.00001  0.000001
Total                 45  1.40911


Model Summary

        S    R-sq  R-sq(adj)  R-sq(pred)
0.0212311  98.91%     98.56%      97.46%
```

รูปที่ 8.3 ผลของการวิเคราะห์การทดลองหลังทำการลดรูป

ตารางที่ 8.4 ผลการทดลองเทียบกับผลจากการทำนาย (หลังลดรูป)

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ความหนา (มิลลิเมตร)			น้ำหนัก(กิโลกรัม)		
ค่าวัดจริง	ค่าจากการทำนาย	ค่าความคลาดเคลื่อน(%)	ค่าวัดจริง	ค่าจากการทำนาย	ค่าความคลาดเคลื่อน(%)
5.189	4.975	4.1	4.851	9.993	4.45

สรุปจากข้อมูลการเปรียบเทียบพบว่าสมการที่ทำการลดรูปมีค่า R-sq (adj) ที่ลดลงจาก 98.62 % เหลือ 98.56% และมีค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการเปรียบเทียบค่าที่วัดจริงและค่าทำนายจากการพยากรณ์ที่แย่กว่าผลการทดลองแบบเต็มรูปแบบ โดยมีความคลาดเคลื่อนของความหนา และน้ำหนักคือ 4.1% และ 4.45% เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความคลาดเคลื่อนของสมการแบบเต็มรูปจะมีความคลาดเคลื่อนเพียง 2.68% และ 2.62 % ซึ่งหมายความว่าปัจจัยร่วมทุกตัวมีผล แต่อาจจะไม่มากถึงแสดงค่าออก

รายการอ้างอิง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

1. สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. สรุปสภาวะเศรษฐกิจอุตสาหกรรม 2558 และแนวโน้มปี 2559. [ออนไลน์]. 2558. แหล่งที่มา: http://www.oie.go.th/academic/สรุปสภาวะเศรษฐกิจอุตสาหกรรมปี2558 และแนวโน้มปี 2559. [30 พฤษภาคม 2558]

2. สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์พลาสติก 2550. [ออนไลน์]. 2550. แหล่งที่มา: http://www.oie.go.th/articles/2008/08/บทวิเคราะห์เกี่ยวกับอุตสาหกรรมพลาสติกไทย.[30 กรกฎาคม 2550]

3. Steiner, S., Abraham B. and MacKay J. Understanding process capability indices (onlines). 2014. Available from: http://www.stats.uwaterloo.ca/~shsteine/papers/cap.pdf [2014,October 23].

4. Narasimha, M. and Rejikumar, R., Plastic Pipe Defects Minimization, pp.1337-1351. : International Conference on Technology and Business Management, 2013.

5. ธเนตร์ตรี รัตนเรืองยศ. การลดของเสียสำหรับกระบวนการฉีดท่อพลาสติก. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2557.

6. สุพลชัย ทองไชย. ศึกษาตัวแปรควบคุมเครื่อง Extruder ที่มีผลต่อคุณภาพด้านสีของผลิตภัณฑ์พีวีซีคอมเปาน์ด. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมระบบการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2548.

7. Gadekar, Sandip S., Analysis of Process Parameters for Optimization of Plastic Extrusion in Pipe Manufacturing. pp.71-74. : International Journal of Engineering Research and Applications, 2015.

8. เอกชัย โตสลุง. การศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการอัดรีดยาง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2533.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

9. Kerealme S. and N. Srirangarajalu. Parameter Optimization of Extrusion Machine Producing UPVC Pipes using Taguchi Method: A case of Amhara Pipe Factory. pp.65-75. : International Journal of Engineering Reserch & Technology, 2016.

10. วีรพจน์ ลือประสิทธิ์สกุล. ความรู้เกี่ยวกับอุตสาหกรรมปิโตรเคมีและการพัฒนาอุตสาหกรรมปิโตรเคมีในประเทศไทย. : บริษัทสามเสนการพิมพ์ จำกัด, 2535.

11. ชาญวุฒิ ตั้งจิตวิทยา และ สาโรช ฐิติเกียรติพงศ์. "พลาสติก" ใน วัสดุในงานวิศวกรรม. : บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, 2521.

12. เจริญ นาคะสรรค. กระบวนการแปรรูปพลาสติก (PLASTIC PROCESSING).พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์โฟร์เพซ, 2547.

13. Hemson, F. and Verlag C.H. Compounding lines. Plastics Extrusion Technology, pp.29-50. Munich: Hanser Publishers, 1988.

14. Breyfogle III, Forrest W. Implementing Six Sigma-Smarter Solution Using Statistical Methods, Reproduced from the Quality Management Forum, 1999.

15. กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, การวิเคราะห์ระบบการวัดสำหรับข้อมูลนับ. ใน การวิเคราะห์ระบบการวัด, หน้า 20-204. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) 2543.

16. อุรคินทร์ พลนิกร. การลดของเสียจากกระบวนการรีดขึ้นรูปเย็นในอุตสาหกรรมท่อสเตนเลสเกรด 304. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

17. ปราโมทย์ เลิศโกวิทย์. วิธีการลดปริมาณผลิตภัณฑ์บกพร่องในกระบวนการหล่อขึ้นรูปของมิเตอร์น้ำ GMK 15. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมระบบการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2547.

18. วราภรณ์ ขำสนิท. การปรับปรุงค่าพารามิเตอร์สำหรับกระบวนการฉีดพลาสติกกรณีที่มีข้อบกพร่องหลายชนิด. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

19. Dawkins, E., Horton, K. and Engelmann, P. The Effect of Injection Molding Parameter On Color and Gloss. In Coloring Technology for Plastic, pp.149-155. :Plastics Design Library a division of William Andrew Inc, 1999.

20. Kumar, S., Singh, D.S., Kumbhar, B.K. and Singh, D. Process parameter Optimization for textural properties of ready-to-eat extruded snack food from millet and legume pieces’ blends. In Journal of Texture Studies 40, pp.710-726. 2009.

21. Reshadat, R. and Balke, S.T., In-line Monitoring of Pigment Polyolefin during Extrusion I. Assessment. In Coloring Technology for Plastic, pp.141-148. :Plastics Design Library a division of William Andrew Inc, 1999.

22. ชัยยา ฉุยฉาย. การออกแบบการทดลองแก้ไขปัญหาการฉีดชิ้นงานพลาสติกในงานผลิตชิ้นส่วนรถจักรยานต์ยนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ และการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2552

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก

มาตรฐานในการผลิต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ก.1 มาตรฐานการตั้งค่าพารามิเตอร์เครื่องผลิตท่อพีวีซีปลายเรียบ

PI. No. 87			ท่อขนาด 80 - 150 มม.	
ตัวแปรควบคุม	หน่วย	ช่วงค่า (+/-)	ท่อตรา / สูตรผลิต	
			ช้าง (EBW)	เสือ (TBW)
อุณหภูมิ Barrel Zone C-1	'C	±15	175	180
อุณหภูมิ Barrel Zone C-2	'C	±15	175	180
อุณหภูมิ Barrel Zone C-3	'C	±15	165	170
อุณหภูมิ Barrel Zone C-4	'C	±15	160	165
อุณหภูมิ Barrel Zone C-5	'C	±15	155	165
อุณหภูมิ Adapter Zone	'C	±15	175	175
อุณหภูมิ Die Zone D-1	'C		165	165
อุณหภูมิ Die Zone D-2	'C		180	180
อุณหภูมิ Die Zone D-3	'C			
อุณหภูมิ Die Zone D-4	'C			
อุณหภูมิ Die Zone D-5	'C		-	-
อุณหภูมิ Die Zone D-6	'C		-	-
อุณหภูมิ Die Zone D-7	'C		-	-
อุณหภูมิ Die Zone D-8	'C		-	-
อุณหภูมิ Die Zone D-9	'C		-	-
อุณหภูมิ Die Zone D-10	'C		-	-
อุณหภูมิ Die Zone D-11	'C		-	-
อุณหภูมิ Die Zone D-12	'C		-	-
MELT TEMPERATURE	'C	-	170-210	
FEEDER	RPM	-	30-70	
SCREW	RPM	-	22	
ความเร็วเครื่องลาก	%	-	3,100	
แรงดูด VENTING	mbar	-	450	

หมายเหตุ

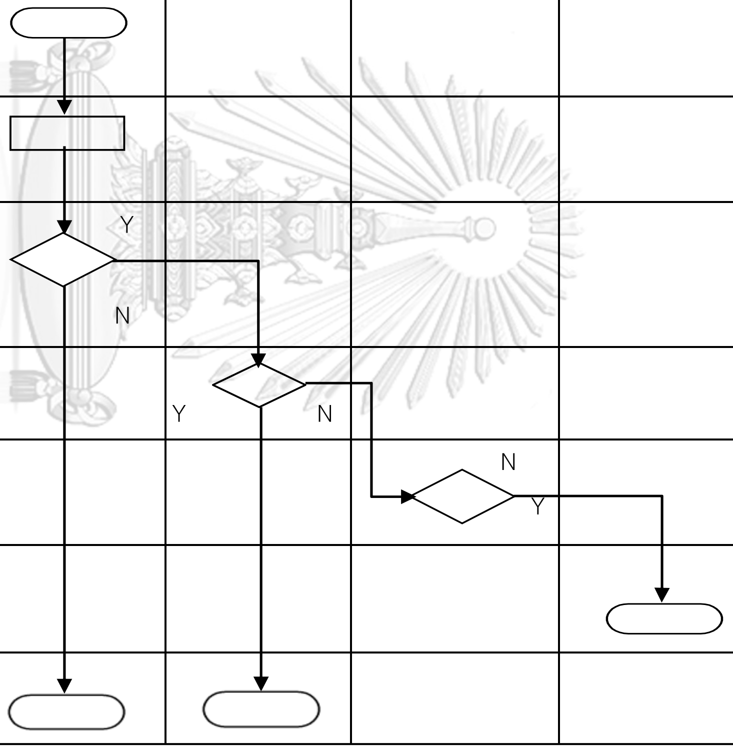
- กรณีไม่สามารถควบคุมพารามิเตอร์ให้เป็นไปตามข้อกำหนด ให้หัวหน้างานดำเนินการแจ้งซ่อม หรือ ปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์

-DIE 6ไม่ได้ใช้งาน

*** ตรวจเช็คตัวแปรควบคุม เนื่องจากส่งผลต่อการใช้พลังงานโดยตรง

ตารางที่ ก.2 มาตรฐานการบำรุงรักษาแบบผลิต

หัวข้อ	ขั้นตอนการดำเนินงาน	พ.ประกอบแบบผลิต	หง.แบบผลิต	ผผ.ผล.1	ผส.ผล.	พ.พัสดุ
6.1	การตรวจแบบผลิตและหัวแบบบานท่อ					
6.1.1	นำแบบผลิต หัวแบบบานท่อ ที่จะทำการตรวจวาง ในพื้นที่สำหรับบำรุงรักษา					
6.1.2	ตรวจสภาพผิว Hard Chrome และความเสียหาย และตรวจวัดขนาด แล้วบันทึกผล					
6.1.3	พิจารณาผลการตรวจวัด แล้วต้องดำเนินการส่งซ่อมแก้ไข / ชุบ Hard Chrome หรือไม่					
6.1.4	พิจารณาส่งซ่อมที่แผนกซ่อมบำรุงหรือไม่					
6.1.5	พิจารณาการส่งซ่อมและชุบ Hard Chrome กับผู้รับจ้าง					
6.1.6	พิจารณาอนุมัติการส่งซ่อมและชุบ Hard Chrome กับผู้รับจ้าง					
6.1.7	แจ้งซ่อมโดยใช้ใบสั่งงาน					



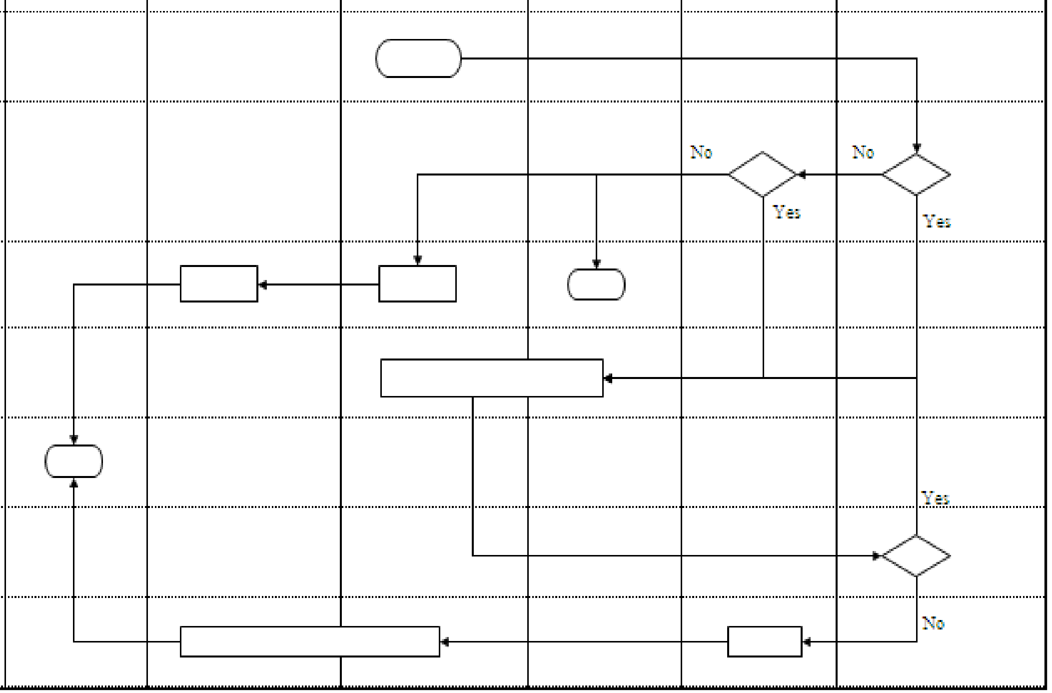
ตารางที่ ก.3 มาตรฐานการดำเนินงานเมื่อเครื่องมือวัดที่ใช้สอบเทียบไม่ผ่าน

หัวข้อ	ขั้นตอนการดำเนินงาน	ผผ.ผล.1/วศ.ผล. ผผ.ปค.	ผผ.ผล.1 / ผผ.ปค.	หง.ผลิต	หง.ควบคุมคุณภาพ	เอกสารอ้างอิง
6.4	**การดำเนินการเมื่อเครื่องมือวัดที่ใช้งานสอบเทียบไม่ผ่าน**					
6.4.1	รับรายงานการสอบเทียบเครื่องมือวัด					NS-SY-QA-F084, NS-SY-QA-F115, NS-SY-QA-F079, NS-SY-QA-F117 Certificate of Calibration (ผลิต+Lab)
6.4.2	พิจารณาผลสอบเทียบว่าผ่านหรือไม่	N Y				
6.4.3	จัดเก็บเครื่องมือวัดที่ผลสอบเทียบผ่าน เพื่อรอติดตั้งที่เครื่องจักรหรือใช้งานในกระบวนการผลิต/ตรวจสอบคุณภาพ					NS-SY-PI-S026 NS-SY-QA-W071,NS-SY-QA-W032
6.4.4	ยกเลิกเครื่องมือวัดที่ปรับแต่งใหม่แล้วผลสอบเทียบไม่ผ่าน และจัดหาเครื่องมือวัดใหม่เพื่อใช้งานทดแทน แล้วแจ้งให้ ผผ.ผล.1/ผผ.ผล.2/จนท.ทค. รับทราบ					
6.4.5	พิจารณาการดำเนินการกับท่อพีวีซีอ่อน/ท่อดูดน้ำที่ตรวจวัดโดยเครื่องมือวัดที่ผลสอบเทียบไม่ผ่าน	ท่อส่งเข้าคลังสินค้า		ท่ออยู่ในกระบวนการผลิต		NS-QS-PP-F011 NS-SY-PI-F021 NS-SY-PI-F022 NS-SY-PI-F023 NS-SY-PI-F024 SEN-F015,F017,F059,Certificate of Calibration (ผลิต+Lab)
6.4.6	กักผลิตภัณฑ์ที่ตรวจวัดโดยเครื่องมือวัดที่ผลสอบเทียบไม่ผ่าน และจัดเก็บในพาเลทสำหรับใส่ท่อรอแก้ไข แล้วแจ้ง หง.ควบคุมคุณภาพเพื่อดำเนินการตรวจสอบ					NS-SY-PI-S026
6.4.7	ดำเนินการตรวจสอบผลิตภัณฑ์โดยเครื่องมือวัดที่ผ่านการสอบเทียบแล้ว และแจ้งผลการตรวจสอบ					
			1		2	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ก.4 มาตรฐานการตรวจสอบวัตถดิบก่อนเตรียมการผลิต

หัวข้อ	กระบวนการ	Supplier	แผนก บริหารวัตถุดิบ/จัดซื้อ	แผนกบัญชีและพัสดุ (สระบุรี)	แผนกผลิต 1 , 2	ส่วน ประกันคุณภาพ	แผนก ประกันคุณภาพ สระบุรี
6.1	การตรวจรับวัตถุดิบ และวัสดุรายเดิม , Compound , Recycle						
6.1.1	แจ้งใบนำส่งเพื่อการตรวจสอบคุณภาพ						
6.1.2	รับใบแจ้งตรวจสอบวัตถุดิบ ทดสอบ และสรุปผล						
6.1.3	รับผลในกรณีที่ไม่ผ่านเพื่อดำเนินการต่อ / ขอใช้เป็นกรณีพิเศษ						
6.1.4	เปลี่ยนสถานะวัตถุดิบ จัดเก็บ/ กรณีที่ผลิตนำไปใช้งานแล้วพบปัญหาให้แจ้งผลกลับ						
6.1.5	รับผลกรณีไม่ผ่าน ดำเนินการแก้ไข						
6.1.6	ตรวจสอบคุณภาพ						
6.1.7	ระงับการใช้ / แจ้งผลให้ Supplier ทราบ						



ตารางที่ ก.5 มาตรฐานการตรวจสอบผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปพีวีซี

หัวข้อ	ขั้นตอนการดำเนินงาน	พ.ผลิต	พ.ควบคุมคุณภาพ	หง.ควบคุมคุณภาพ	ผผ.ผล. 1,2	เอกสารอ้างอิง
6.1 6.1.1	**<u>การทดสอบท่อพีวีซีที่มาจากหน่วยงานผลิต</u>** ผลิตท่อพีวีซีประจำวัน					
6.1.2	เก็บตัวอย่างและดำเนินการทดสอบ					NS-SY-QA - W021 ถึง W024 NS-SY-QA - F081 ถึง F083 NS-SY-QA - F085 NS-SY-QA - F027
6.1.3	พิจารณาผลการทดสอบ แขวนป้ายแสดงสถานะผลิตภัณฑ์ในกรณีที่ไม่ผ่านคุณภาพ แล้วสรุปผลลงใน"รายงานผลท่อพีวีซีที่ไม่ผ่านคุณภาพ การทดสอบ"และ / หรือ ใบแจ้งขอให้ปฏิบัติการแก้ไข			ผ่าน ไม่ผ่าน		NS-SY-QA- F081 ถึง F082 NS-SY-QA - F088 NS-SY-PI - S028 ป้ายแสดงสถานะผลิตภัณฑ์ - ผลทดสอบไม่ผ่าน แก้ไขได้ - ผลทดสอบไม่ผ่าน แก้ไขไม่ได้
6.1.4	รับทราบผลและดำเนินการแก้ไข					NS-SY-QA- F088 NS-SY-QA - F082 ถึง F083
				1	2	

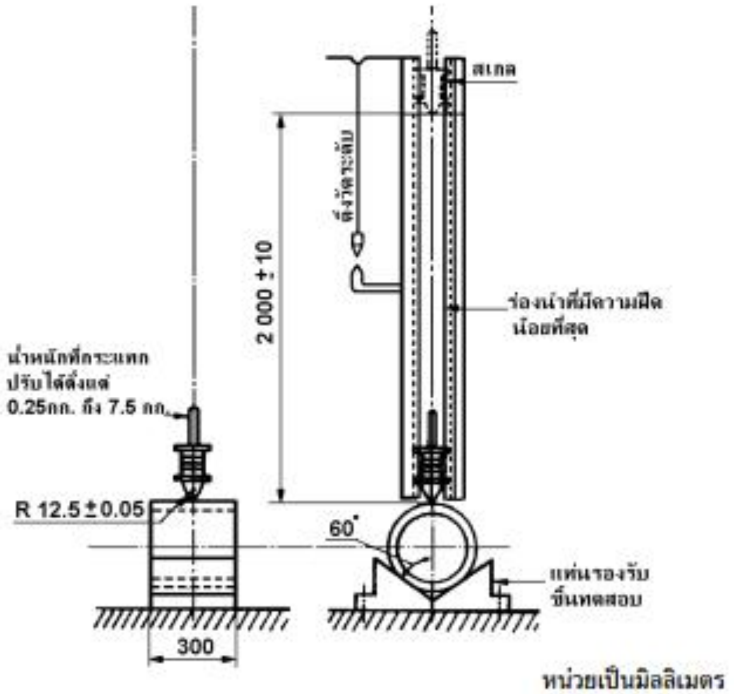
ตารางที่ ก.5 มาตรฐานการตรวจสอบผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปพีวีซี (ต่อ)

หัวข้อ	ขั้นตอนการดำเนินงาน	ผผ.ปค.SB	ผผ.คจ.SB	พ.ควบคุมคุณภาพ/ พ.วิเคราะห์และทดสอบ	หง.ควบคุมคุณภาพ	เอกสารอ้างอิง
6.2	**การทดสอบท่อพีวีซีตามหลักเกณฑ์ในการรับรองคุณภาพผลิตภัณฑ์ (เงื่อนไข)**					
6.2.1	พิจารณาท่อพีวีซีที่ทำการทดสอบ ในการออกใบอนุญาตทำท่อพีวีซีแข็งสำหรับใช้เป็นท่อน้ำดื่ม / ในการออกใบอนุญาตทำท่อพีวีซีแข็งสำหรับใช้ร้อยสายไฟฟ้าและสายโทรศัพท์และเก็บตัวอย่างท่อ					NS-SY-QA - E005 NS-SY-QA - E006 NS-SY-QA- W021
6.2.2	ดำเนินการทดสอบ					NS-SY-QA - F084 NS-SY-QA - W025 ถึง W030 NS-SY-QA - W034 ถึง W039
6.2.3	พิจารณาผลการทดสอบ				ผ่าน	NS-SY-QA - F084 NS-SY-QA-W021
6.2.4	ดำเนินการเก็บเข้าแฟ้ม				ไม่ผ่าน	NS-SY-QA - F084
6.2.5	ดำเนินการทดสอบซ้ำ					NS-SY-QA - F084 NS-SY-QA-W025 ถึง W030 NS-SY-QA- W034 ถึง W039
6.2.6	พิจารณาผลการทดสอบ				ไม่ผ่าน	NS-SY-QA- F084
6.2.7	ดำเนินการเก็บเข้าแฟ้ม				ผ่าน	NS-SY-QA - F084
6.2.8	ดำเนินการแจ้งคลังสินค้าให้ดำเนินการทำลายท่อพีวีซีที่ไม่ผ่านคุณภาพ					บันทึกภายใน NS-SY-QA - F084
6.2.9	รับทราบผลและดำเนินการต่อไป					บันทึกภายใน

ตารางที่ ก.6 มาตรฐานการตรวจสอบเครื่องจักรก่อนเดิน

รายการ		รายละเอียดการตรวจเช็ค
หัวเครื่อง	1. ตรวจเช็คจุดควบคุมความร้อนและสายวัดอุณภู Barrel, Die, Mandrel, Adaptor, Melt Temp., Melt Pressure	- อุณหภูมิที่ตั้งกับอุณหภูมิจริงต้องไม่แตกต่างกันเกิน ± 8 'C หากเกินกว่ากำหนดแสดงว่าชุดควบคุมไม่ปรกติให้แจ้งซ่อม
		- สายวัดต้องอยู่ในสภาพดีไม่มีรอยถลอกจนเห็นไส้ใน
	2. ตรวจเช็คพัดลมระบายความร้อนและแอร์	- พัดลมและแอร์ทำงานปกติ ไม่มีเสียงดัง
	3. ตรวจเช็คการทำงานของมอเตอร์ Main Drive และมอเตอร์ Feeder	- Start มอเตอร์ Main Drive , Feeder เพิ่มความเร็ว Screw และ Feeder ให้หมุนด้วยความเร็วช้าๆ สังเกตการหมุนด้วย-สายตาหรือจากจอมอนิเตอร์ ความเร็วต้องนิ่งไม่แกว่งไปมา
	4. ตรวจเช็คระบบ Venting (Gaugeวัด, ถัง, ท่อดูดผง, น้ำเข้าปั๊ม)	- อยู่ในตำแหน่งศูนย์เมื่อไม่มีการ Start มอเตอร์ Venting
		- Start มอเตอร์ Venting แล้วค่าแรงดูดของ Vacuum Gauge ต้องขึ้นเกิน-700mbar ถ้าขึ้นไม่ถึงให้แจ้งซ่อม
Vacuum และ spray tank	1. ตรวจเช็ค Calibrator	- ใช้งานตรงตามขนาดของท่อที่จะผลิต
	2. ตรวจเช็คยางรีดน้ำ	- ใช้งานตรงตามขนาดของท่อที่จะผลิต
		- สภาพภายนอกไม่ฉีกขาด
	3. ตรวจเช็คลูกกลิ้งรองท่อภายในถัง	- ตั้งระดับตามขนาดของท่อที่จะผลิต
	4. ตรวจเช็ค Seal ยางฝา Vacuum Tank	- Seal ยางไม่มีรอยฉีกขาดหรือเปื่อยยุ่ย
		- ฝาถัง Vacuum ปิดแนบสนิทกับ Seal,ไม่มีรอยรั่ว
	5. ตรวจเช็ค Vacuum Gauge	- อยู่ในตำแหน่งศูนย์เมื่อไม่มีการ Start มอเตอร์ Vacuum Tank
	6. ตรวจเช็คกล่องลูกลอยถัง Vacuum	- กล่องสะอาดไม่มีคราบตะกันติดที่ด้านในกล่อง เมื่อ Start มอเตอร์ Spray ลูกลอยทำงานปกติ , ขึ้นลงไม่ติดขัด
	7. ทำความสะอาด Filter Vacuum และ Spray tank	- ถอด Filter กรองน้ำมาทำความสะอาดด้วยน้ำเปล่า
	8. ตรวจสอบการทำงานของ Spray Pump	- ทดลอง Start-Stop มอเตอร์ Spray ว่าทำงานได้หรือไม่
		- มอเตอร์ Spray ต้องหมุนไม่ติดขัด และไม่มีเสียงดัง
Inkjet	1. ทำความสะอาดหัวพิมพ์ก่อนใช้งาน	- ทำความสะอาดหัวพิมพ์ ด้วยน้ำยาล้างหัวพิมพ์
	2. ตรวจเช็คแท่นยึดและชุดสไลด์หัวยิง	- แท่นยึดและชุดสไลด์ต้องยึดแน่น,ไม่หลวมหรือหลุดจากจุดยึด
	3. ตรวจเช็คตราประทับถูกต้องและคมชัด	- Set ให้ถูกต้องตามชนิด ขนาด และชั้นคุณภาพของท่อที่จะผลิต
เครื่องลาก	1. ตรวจเช็คการทำงานสูบยก - กด ของเครื่องลาก	- ลูกสูบกดและยกสายพานลากท่อทำงานโดยไม่ติดขัด
		- ยางสายพานลากท่อไม่ฉีกขาด
	2. ตรวจเช็คการทำงานเครื่องลาก	- ทดลองเดินเครื่องลากต้องทำงานโดยไม่ติดขัด
		- สายพานลากท่อไม่หย่อน
เครื่องตัด	1. ตรวจเช็คใบมีดตัด	- ลักษณะของใบมีดตัด ต้องไม่บิ่น, หัก, คด หรือ งอ
	2. ตรวจเช็คการทำงานเครื่องตัด	- ทดลองตัดตัวเปล่าต้องเคลื่อนที่โดยไม่ติดขัด
		- สูบยกใบมีดขึ้น-ลงปกติ ไม่กระแทก
	3. ถ่ายเศษตัด	- ถ่ายเศษตัดทิ้งเมื่อมีปริมาณเกินกว่าครึ่งถุง
โต๊ะเทท่อ	1. ตรวจเช็คโต๊ะเทท่อ(ชุดสูบเทท่อ,แขนเท,รางเทท่อ)	- ชุดสูบเทท่อขึ้น-ลงไม่ติดขัด
		- แขนเทท่อไม่คดงอ และอยู่ต่ำกว่ารางเทท่อ
	2. ตรวจเช็ค LIMIT SWITCH	- แขน LIMIT SWITCH ไม่หักหรือหลุด
		- ไฟฟ้าสั่งตัดหรือเทท่อเมื่อมีวัตถุมากระทบแขน LIMIT SWITCH

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



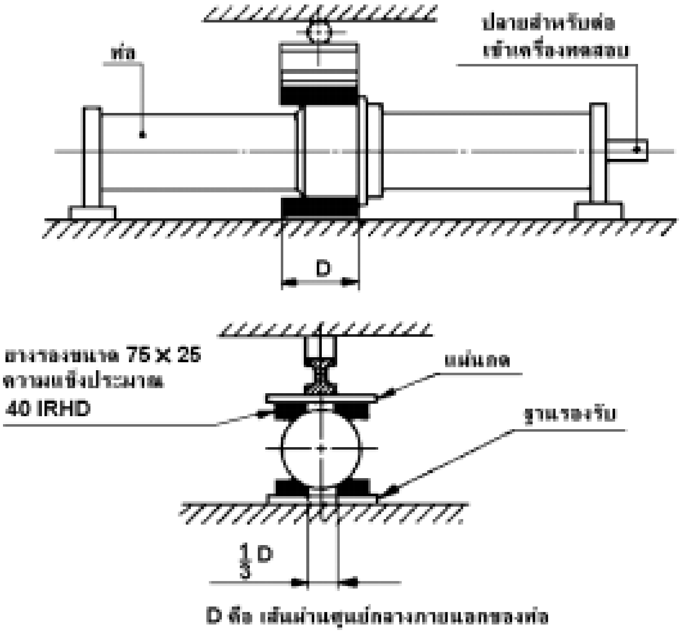
หน่วยเป็นมิลลิเมตร

รูปที่ 4 ตัวอย่างเครื่องทดสอบความทนแรงกระแทก
(ข้อ 8.7.1)

ตารางที่ 11 น้ำหนักตุ้มสำหรับกระแทก
(ข้อ 8.7.1.3 และข้อ 8.7.3.1)

เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก มิลลิเมตร	น้ำหนักตุ้ม กิโลกรัม	เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก มิลลิเมตร	น้ำหนักตุ้ม กิโลกรัม
22	0.75	89	2.25
26	1.00	114	2.75
34	1.25	140	3.25
42	1.38	165	3.75
48	1.50	216	5.00
60	1.75	267	6.25
76	2.00	เท่ากับหรือมากกว่า 318	7.50

รูปที่ ก.1 แสดงมาตรฐานการทดสอบการทนต่อแรงกระแทก



หน่วยเป็นมิลลิเมตร

รูปที่ 6 การทดสอบความทนทานต่อการรั่วซึมเมื่อท่ออยู่ในแนวระดับ
(ข้อ 8.9.3.1)

ตารางที่ 12 ความดันใช้งานที่อุณหภูมิต่าง ๆ
(ข้อ 8.9.3.1(2))

อุณหภูมิใช้งาน องศาเซลเซียส	ความดันใช้งาน เมกะพาสคัล		
	PVC 5	PVC 8.5	PVC 13.5
20	0.58	0.98	1.57
27	0.50	0.85	1.35
30	0.47	0.79	1.25
40	0.35	0.59	0.94
50	0.23	0.39	0.62
60	0.12	0.20	0.31

รูปที่ ก.2 แสดงการทดสอบความรั่วซึม

ภาคผนวก ข

แบบฟอร์ม

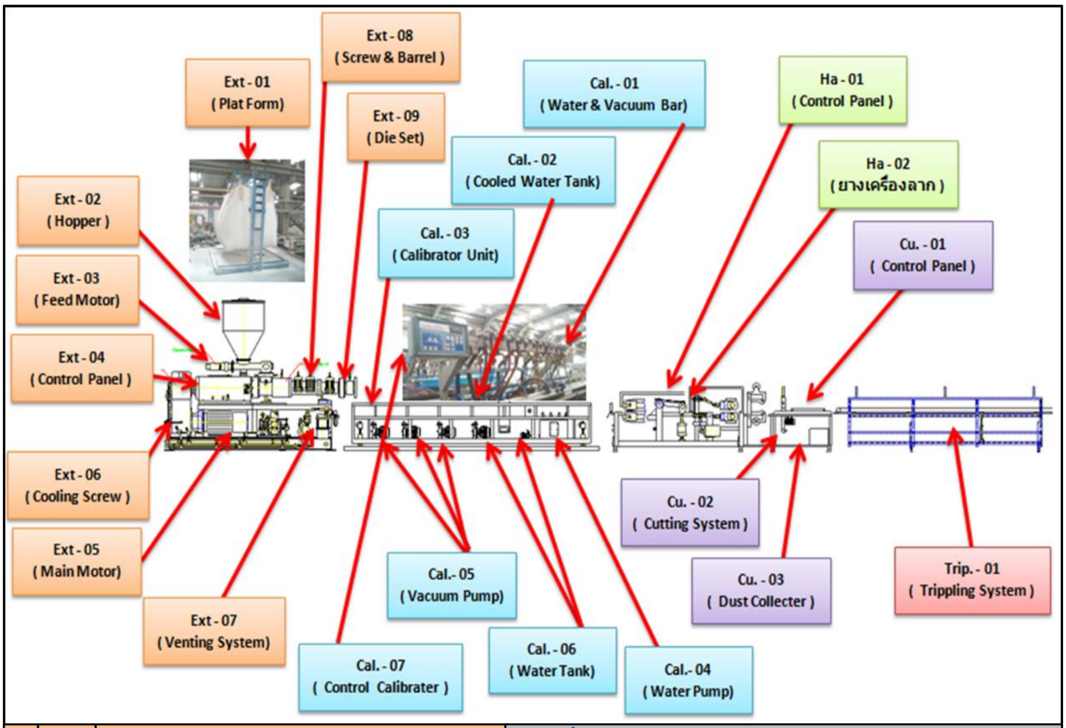
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Parameter Daily Check Sheet																							
Year	Parameter	Spec	Week............................																				
Machine No........			Mon			Tue			Wed			Thu			Fri			Sat			Sun		
			S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Process	อุณหภูมิหัวแม่พิมพ์	165																					
	อุณหภูมิท้ายแม่พิม์	180																					
	ความเร็วรอบสกรู	22																					
	ความดันสูญญากาศ	450																					
	ความเร็วเครื่องลาก	3100																					

Date	Shift	ID	Problem	Action	Response

รูปที่ ข.1 ใบตรวจสอบพารามิเตอร์ (Parameter Daily Check Sheet)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



1	Ext.-01	Plat Form - เป็นอุปกรณ์ช่วยจับยึดถุง Compound ให้ได้ตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับปล่อยผง Compound ลงใน Hopper
2	Ext.-02	Hopper เป็น ภาชนะ ทรงกรวย ใช้ในการ บรรจุ Compound ที่จะใช้ในการผลิต
3	Ext.-03	Feeder เป็น ตัวควบคุม อัตราการไหลของ Compound จาก hopper สู่ Barrel ซึ่ง มี Screw ที่หมุนด้วย Motor เป็นตัวขับผง ลงสู่ Barrel
4	Ext.-04	Control Panel - เป็นจุดที่ใช้ควบคุมค่า Parameter ต่างๆของเครื่อง Extrusion
5	Ext.-05	Main Motor (Motor Main drive) - มีหน้าที่หมุน screw ให้เคลื่อนที่โดยผ่าน Gear box ซึ่งจะช่วยทดกำลังการหมุนให้กับ Screw
6	Ext.-06	Cooling Screw - ช่วยถ่ายเทความร้อนและควบคุมอุณหภูมิของพลาสติกเหลว ณ แกนกลางให้เหมาะสม
7	Ext.-07	Venting System - ดูดไอน้ำและ Gas ออกจากเนื้อพลาสติกก่อนจะหลอมเหลว เพื่อไม่ให้เกิดฟองอากาศภายใน
8	Ext.-08	Screw & Barell - บดนวด Compound ให้หลอมด้วยการสร้าง Friction Heat และ คลุกเคล้าส่วนผสมใน Compound ให้หลอมเป็นเนื้อเดียวกัน โดยจะลำเลียงและอัดพลาสติกเหลวให้ไหลผ่าน Die
9	Ext.-09	Die Set - Die เป็น อุปกรณ์ ที่ใช้ขึ้นรูป พลาสติกที่หลอมเหลวแล้ว โดยรูปร่างของชิ้นงาน ขึ้นอยู่กับ Die ที่ออกแบบเอาไว้
10	Cal.-01	Water & Vacuum Bar - ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายน้ำเข้า Calibrater & Tank Unit / Vacuum ทำหน้าที่ดูดผนังของพลาสติกให้แนบกับผิวเหล็ก เพื่อให้ได้ขนาดและรูปทรงตามที่ต้องการ

Cal.-02	Cooled Water Tank - ลดอุณหภูมิของเนื้อพลาสติกเหลว เพื่อให้เริ่มเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็ง
Cal.-03	Calibrator Unit - กำหนดรูปทรงและขนาดของ Product ให้ได้ตามแบบที่ต้องการ
Cal.-04	Water Pump - ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายน้ำให้กับเครื่องรีด
Cal.-05	Vacuum Pump - ทำหน้าที่เป็นแหล่งสร้าง Vacuum ให้กำเครื่องรีด
Cal.-06	Water Tank - ลดอุณหภูมิของเนื้อพลาสติกเหลว เพื่อให้เริ่มเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็ง และภายในจะประกอบด้วยแผ่น Element Plate ที่จะช่วยควบคุมรูปทรงและขนาดของ Product ให้ได้ตามแบบที่ต้องการ
Cal.-07	Control Calibrator - เป็นจุดที่ใช้ควบคุมค่า Parameter ต่างๆของระบบ Calibrator Unit
Ha.-01	Control Panel - เป็นจุดที่ใช้ควบคุมค่า Parameter ต่างๆของระบบเครื่องลาก (Haul Off)
Ha.-02	ยางเครื่องลาก - ทำหน้าที่รับแรงกด/ต้าน ระหว่างชิ้นงาน Profiles กับเครื่องลาก ช่วยทำให้ชิ้นงาน Profiles ไม่เกิดความเสียหายในระหว่างที่เครื่องลากทำงาน
Cu.-01	Control Panel - เป็นจุดที่ใช้ควบคุมค่า Parameter ต่างๆของเครื่องตัด Profiles
Cu.-02	Cuting System - ระบบควบคุมการทำงานของเครื่องตัด Profiles
Cu.-03	Dust Collecter - ชุดระบบดูดเศษตัด Profiles
Trip.-01	Trippling System - ชุดระบบควบคุมการเทของ Tilting Table

รูปที่ ข.2 ตำแหน่งตรวจสอบเครื่องฉีดพลาสติกประจำวัน

ภาคผนวก ค
ข้อมูลอ้างอิงในการทำการวิจัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ค.1 ข้อมูลการออกแบบการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อน้ำหนักและความหนาของท่อ

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	A	B	C	D	E
25	1	2	1	160	185	23	400	3050
39	2	2	1	165	175	23	500	3050
46	3	0	1	165	185	23	450	3050
38	4	2	1	165	195	23	400	3050
40	5	2	1	165	195	23	500	3050
6	6	2	1	165	185	25	400	3050
26	7	2	1	170	185	23	400	3050
23	8	2	1	165	175	25	450	3050
9	9	2	1	165	175	23	450	2900
43	10	0	1	165	185	23	450	3050
18	11	2	1	165	185	23	500	2900
4	12	2	1	170	195	23	450	3050
29	13	2	1	165	185	21	450	2900
16	14	2	1	170	185	25	450	3050
1	15	2	1	160	175	23	450	3050
28	16	2	1	170	185	23	500	3050
34	17	2	1	170	185	23	450	2900
44	18	0	1	165	185	23	450	3050
22	19	2	1	165	195	21	450	3050
41	20	0	1	165	185	23	450	3050
19	21	2	1	165	185	23	400	3200
42	22	0	1	165	185	23	450	3050

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ค.1 ข้อมูลการออกแบบการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อน้ำหนักและความหนาของท่อ(ต่อ)

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	A	B	C	D	E
37	23	2	1	165	175	23	400	3050
17	24	2	1	165	185	23	400	2900
21	25	2	1	165	175	21	450	3050
24	26	2	1	165	195	25	450	3050
13	27	2	1	160	185	21	450	3050
20	28	2	1	165	185	23	500	3200
8	29	2	1	165	185	25	500	3050
35	30	2	1	160	185	23	450	3200
3	31	2	1	160	195	23	450	3050
33	32	2	1	160	185	23	450	2900
30	33	2	1	165	185	25	450	2900
15	34	2	1	160	185	25	450	3050
45	35	0	1	165	185	23	450	3050
10	36	2	1	165	195	23	450	2900
27	37	2	1	160	185	23	500	3050
12	38	2	1	165	195	23	450	3200
31	39	2	1	165	185	21	450	3200
11	40	2	1	165	175	23	450	3200
36	41	2	1	170	185	23	450	3200
14	42	2	1	170	185	21	450	3050
7	43	2	1	165	185	21	500	3050
32	44	2	1	165	185	25	450	3200
2	45	2	1	170	175	23	450	3050
5	46	2	1	165	185	21	400	3050

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ค.2 ข้อมูลผลของการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อความหนาและน้ำหนักของผลิตภัณฑ์

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	A	B	C	D	E	T	W
25	1	2	1	160	185	23	400	3050	5.057	10.142
39	2	2	1	165	175	23	500	3050	5.191	10.397
46	3	0	1	165	185	23	450	3050	5.14	10.316
38	4	2	1	165	195	23	400	3050	5.175	10.368
40	5	2	1	165	195	23	500	3050	5.179	10.441
6	6	2	1	165	185	25	400	3050	5.389	10.805
26	7	2	1	170	185	23	400	3050	5.026	10.046
23	8	2	1	165	175	25	450	3050	5.335	10.757
9	9	2	1	165	175	23	450	2900	5.314	10.663
43	10	0	1	165	185	23	450	3050	5.139	10.314
18	11	2	1	165	185	23	500	2900	5.433	10.891
4	12	2	1	170	195	23	450	3050	4.976	10.061
29	13	2	1	165	185	21	450	2900	5.226	10.481
16	14	2	1	170	185	25	450	3050	5.117	10.272
1	15	2	1	160	175	23	450	3050	4.99	10.082
28	16	2	1	170	185	23	500	3050	5.059	10.151
34	17	2	1	170	185	23	450	2900	5.165	10.356
44	18	0	1	165	185	23	450	3050	5.142	10.319
22	19	2	1	165	195	21	450	3050	4.991	10.111
41	20	0	1	165	185	23	450	3050	5.14	10.316
19	21	2	1	165	185	23	400	3200	4.999	9.992
42	22	0	1	165	185	23	450	3050	5.142	10.319
37	23	2	1	165	175	23	400	3050	5.153	10.312
17	24	2	1	165	185	23	400	2900	5.361	10.717
21	25	2	1	165	175	21	450	3050	4.965	9.948
24	26	2	1	165	195	25	450	3050	5.319	10.694
13	27	2	1	160	185	21	450	3050	4.79	9.647
20	28	2	1	165	185	23	500	3200	4.999	10.046
8	29	2	1	165	185	25	500	3050	5.416	10.834
35	30	2	1	160	185	23	450	3200	4.8	9.677

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ค.2 ข้อมูลผลของการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อความหนาและน้ำหนักของผลิตภัณฑ์(ต่อ)

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	A	B	C	D	E	T	W
3	31	2	1	160	195	23	450	3050	5.122	10.326
33	32	2	1	160	185	23	450	2900	5.202	10.502
30	33	2	1	165	185	25	450	2900	5.503	11.082
15	34	2	1	160	185	25	450	3050	5.293	10.687
45	35	0	1	165	185	23	450	3050	5.141	10.318
10	36	2	1	165	195	23	450	2900	5.298	10.688
27	37	2	1	160	185	23	500	3050	5.066	10.196
12	38	2	1	165	195	23	450	3200	4.937	9.963
31	39	2	1	165	185	21	450	3200	4.761	9.606
11	40	2	1	165	175	23	450	3200	4.909	9.888
36	41	2	1	170	185	23	450	3200	4.8	9.681
14	42	2	1	170	185	21	450	3050	4.924	9.92
7	43	2	1	165	185	21	500	3050	5.069	10.188
32	44	2	1	165	185	25	450	3200	5.192	10.427
2	45	2	1	170	175	23	450	3050	4.957	9.948
5	46	2	1	165	185	21	400	3050	5.046	10.059

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายศรัณย์พัชร สุวรรณโชติ เกิดวันที่ 7 เมษายน 2529 ที่จังหวัดอ่างทอง สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ในปีการศึกษา 2553 ภายหลังการศึกษาได้เข้าทำงานที่บริษัท อีซูซุ มอเตอร์ ประเทศไทย จำกัด ในตำแหน่งวิศวกรฝ่ายตัวถัง จากนั้นในปี 2554 ได้ย้ายมาทำงาน ที่บริษัท นวพลาสติกอุตสาหกรรม จำกัด ในตำแหน่ง วิศวกรปรับปรุงงาน และได้ศึกษาต่อ ในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2558

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University