การปรับปรุงค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ในกระบวนการผสมเม็ดพลาสติกกับสารเติมแต่งและการบรรจุภัณฑ์โดยใช้แนวทางซิกซ์ซิกม่า

นางสาวรุจิรา อุไรพงษ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MOISTURE CONTENT IMPROVEMENT OF PLASTIC COMPOUND IN COMPOUNDING AND PACKAGING PROCESSES BY SIX SIGMA APPROACH

Miss Rujira Uraipong

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 2009

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ในกระบวนการผสมเม็ดพลาสติกกับสารเติมแต่งและการบรรจุภัณฑ์โดยใช้แนวทางซิกซ์ซิกม่า
โดย	นางสาวรุจิรา อุไรพงษ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุติมา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประเสริฐ อัครประถมพงศ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุติมา)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ ไรจนไรวรรณ)

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รุจิรา อุไรพงษ์ : การปรับปรุงค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ในกระบวนการผสมเม็ดพลาสติกกับสารเติมแต่งและการบรรจุภัณฑ์โดยใช้แนวทางซิกซ์ซิกม่า. (MOISTURE CONTENT IMPROVEMENT OF PLASTIC COMPOUND IN COMPOUNDING AND PACKAGING PROCESSES BY SIX SIGMA APPROACH) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ดร.ปารเมศ ชุติมา, 135 หน้า.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ที่ใช้สำหรับผลิตงานท่อที่เกิดจากกระบวนการผสมเม็ดพลาสติกกับสารเติมแต่งและการบรรจุภัณฑ์ โดยนำวิธีการตามแนวทางซิกซ์ ซิกม่า มาประยุกต์ใช้ปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อศึกษาหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความชื้นดังกล่าว และหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยในการผลิตที่จะทำให้ปริมาณค่าความชื้นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่เหมาะสม โดยหน่วยวัดผลระดับการปรับปรุงของการวิจัยที่กำหนดคือ ปริมาณค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ที่ลดลง ซึ่งก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิตค่าเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 440 PPM หรือ 440 mg^3/kg หรือ 0.044%

สำหรับขั้นตอนการวิจัยจะดำเนินตามขั้นตอนตามวิธีการทางซิกซ์ ซิกม่า ซึ่งประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ได้แก่ การนิยามปัญหา การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ และการควบคุมกระบวนการผลิตตามลำดับ ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ของกระบวนการ คือ สามารถกำหนดค่าของระดับของปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลต่อค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ ในกระบวนการผสมเม็ดพลาสติกกับสารเติมแต่งและการบรรจุภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญ

จากการดำเนินโครงการการนำระดับของแต่ละปัจจัยมาทำการออกแบบการทดลอง ในขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ แล้วนำไปวิเคราะห์หาระดับที่เหมาะสมของการปรับค่าปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อทำให้ได้ค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์เข้าใกล้ค่าของข้อกำหนดมากที่สุดที่สามารถทำได้ ผลจากการปรับปรุง พบว่า ค่าเฉลี่ยของค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ลดลงเหลือเพียง 334.15 PPM หรือ 334.15 mg^3/kg หรือ 0.033% ซึ่งบรรลุตามเป้าหมายที่กำหนดไว้

ภาควิชา.....วิศวกรรมอุตสาหการ..... ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมอุตสาหการ..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา....2552.....

5071513721 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS : SIX SIGMA / MOISTURE CONTENT / PART PER MILLION / DEFINE PHASE / MEASURE PHASE / ANALYZE PHASE / IMPROVE PHASE / CONTROL PHASE

RUJIRA URAIPONG : MOISTURE CONTENT IMPROVEMENT OF PLASTIC COMPOUND IN COMPOUNDING AND PACKAGING PROCESSES BY SIX SIGMA APPROACH. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. PARAMES CHUTIMA, Ph.D., 135 pp.

The objective of this research is to improve the moisture content for pipe product in compounding and packaging processes by Six Sigma Approach. Six Sigma Approach is applied not only to study the factors influencing the moisture content of plastic compounding and the product specification limit, but also to identify the appropriate operative conditions for improvement. The efficient improvement is measure by the reduction of moisture content in Part Per Million (PPM) unit. The current process has 440 PPM or 440 mg^3/kg or 0.044 percent.

The study has been proceeded according to the five-phase improvement models of Six Sigma methodology. The process begins with defining phase, measuring phase, analyzing phase, improving phase and controlling phase respectively. The results of the process is to determine KPIVs that significantly effect to decrease moisture content in compounding and packaging process.

The KPIVs have been used to perform and experiment with response surface in improvement phase. It was found that the average rate of moisture content was decreased to 334.15 PPM or 334.15 mg^3/kg or 0.033 and improvement was achieved.

Department : Industrial Engineering Student's Signature Rujira Uraipong

Field of Study : Industrial Engineering Advisor's Signature

Academic Year : 2009

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้ทำวิจัยขอกราบขอบพระคุณต่อ รองศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุติมา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งเป็นผู้ที่ให้ความรู้ทางทฤษฎี หลักการ ตลอดจนคำแนะนำแก้ไขและชี้แนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ด้วยดี และขอกราบขอบพร ะคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประเสริฐ อัครประถมพงศ์ ประธานกรรมการ รองศาสตราจารย์ ดร .วันชัย ริจิรวนิช และ ผู้ช่วยศาสตราจาย์ ดร.นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ พร้อมทั้งตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องภายในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

นอกจากนี้ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ คุณวสันต์ พุกผาสุข คุณเฉลิมพล วงษ์ดิษฐ์นันท์ ดร.วาสนา แจ่มศักดิ์ คุณวิระพงษ์ คูสกุลคณากร และคุณเสาวนีย์ กิจเจริญ ที่ได้ให้การสนับสนุนในด้านความรู้ต่างๆ ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจในการทำงานวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดียิ่ง

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคุณบิดา มารดา ผู้เห็นประโยชน์ของการศึกษาและอยู่เคียงข้างผู้วิจัยโดยตลอด รวมถึงขอขอบคุณความช่วยเหลือและกำลังใจที่ได้รับจากเพื่อนนิสิตของผู้วิจัยทุกท่าน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญรูป ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 4

1.3 ขอบเขตของการดำเนินงานวิจัย 5

1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย 5

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย 6

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma) 7

2.2 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 39

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 43

บทที่ 4 การนิยามปัญหา

4.1 การกำหนดคณะทำงาน 48

4.2 การศึกษาผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิต 50

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3 สภาพปัญหาในปัจจุบัน 53
4.4 บทสรุป 57

บทที่ 5 การวัดเพื่อกำหนดหาสาเหตุของปัญหา
5.1 การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (Gauge R&R) 58
5.2 แผนที่กระบวนการผลิต (Process Map) 63
5.3 การวิเคราะห์แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) 64
5.4 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่อง และผลกระทบ (FMEA) 68
5.5 บทสรุป 75

บทที่ 6 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา
6.1 แนวทางการวิเคราะห์ 76
6.2 บทสรุป 86

บทที่ 7 การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ
7.1 ปัจจัยและคุณลักษณะของปัจจัยนำเข้า 87
7.2 การหาพื้นผิวตอบสนองกำลังสอง (Second-Order Response Surface Model) 97
7.3 บทสรุป 110

บทที่ 8 การควบคุมกระบวนการผลิต
8.1 การดำเนินงานการควบคุมตัวแปรต่างๆ 111
8.2 สรุปผลการดำเนินงานตามวิธีการซิกซ์ ซิกม่า 121
8.3 บทสรุป 122

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 9 มูลค่าความสูญเสียหลังการปรับปรุง

9.1 มูลค่าความสูญเสียที่ลดลง 123

9.2 บทสรุป 124

บทที่ 10 บทสรุปและข้อเสนอแนะ

10.1 การกำหนดปัญหาที่เกิดขึ้น (Define Phase) 125

10.2 การวัดเพื่อกำหนดหาสาเหตุของปัญหา (Measure Phase) 125

10.3 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase) 126

10.4 การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase) 126

10.5 การควบคุมตัวแปรต่างๆ (Control Phase) 127

10.6 สรุปผลการดำเนินงานวิธีการซิกซ์ ซิกม่า..... 127

10.7 ปัญหาและอุปสรรคในงานวิจัย 127

10.8 ข้อแสนอแนะ 128

รายการอ้างอิง 129

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก แบบฟอร์มการให้คะแนนเพื่อทำการวิเคราะห์ปัญหาจากการหาความสัมพันธ์สาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix) 132

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 135

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 เกณฑ์การให้ลำดับขั้นผลกระทบของความรุนแรง 22
2.2 การให้ลำดับโอกาสเกิดความผิดพลาด 22
2.3 โอกาสจะตรวจจับโดยการควบคุมกระบวนการ 23
2.4 สูตรในการคำนวณขอบเขตควบคุม 31
2.5 คาคงสำหรับการคำนวณขอบเขตควบคุม 31
4.1 คุณสมบัติของเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงใช้สำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์งานท่อ 51
4.2 การเปรียบเทียบดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการ 55
5.1 ผลลัพท์ของการตรวจวัด 59
5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผล 66
5.3 ลำดับของ KPIV 11 อันดับ 67
5.4 เกณฑ์การให้คะแนนระดับความถี่ของการเกิดปัญหา 68
5.5 เกณฑ์การให้คะแนนระดับความรุนแรงของผลกระทบ 69
5.6 เกณฑ์การให้คะแนนระดับความสามารถในการตรวจจับปัญหา 70
5.7 การวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการ 72
5.8 สาเหตุของปัญหา และค่า RPN 74
6.1 ปัจจัยและคุณลักษณะของปัจจัยนำเข้า..... 78
6.2 ผลการทดลองแบบ 2^k แฟคทอเรียล 81
7.1 ปัจจัยและคุณลักษณะของปัจจัยป้อนเข้า..... 88
7.2 ผลการทดลองแบบ 3^4 แฟคทอเรียล 91
7.3 เปรียบเทียบการออกแบบการทดลองสำหรับพื้นผิวตอบสนอง 97
7.4 ผลการทดลองด้วยวิธีการหาพื้นผิวตอบสนองกำลังสอง 99
8.1 วิธีปฏิบัติงานการควบคุมกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ 113

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

8.2 การเปรียบเทียบดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการก่อน – หลังปรับปรุง 120
9.1 ข้อมูลต้นทุนด้านบรรจุภัณฑ์ 123

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

1.1 ผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติกคอมพาวด์ 3
1.2 ผลิตภัณฑ์งานท่อที่ได้จากวัตถุดิบเม็ดพลาสติกคอมพาวด์เกรดหนึ่ง 3
1.3 ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability) 4
2.1 เส้นโค้งการกระจายตัวตามปกติ 8
2.2 การกระจายตัวที่มีผลจากปัจจัยรบกวน 9
2.3 ลักษณะการกระจายตัวแบบปกติ และระดับของเสีย (Breyfogle, 1999) 10
2.4 การแจกแจงปกติเปรียบเทียบระดับมาตรฐาน ±3 และ ±6 (Breyfogle, 1999)..... 11
2.5 การเปลี่ยนแปลงค่าตั้งโดยธรรมชาติ ±1.5 (Breyfogle, 1999) 12
2.6 องค์ประกอบพื้นฐาน 3 ส่วนของ ซิกซ์ ซิกม่า 13
2.7 การกระจายของจุดบนแผนภูมิควบคุมแสดงความผิดปกติในกระบวนการผลิต..... 33
3.1 รายละเอียดของขั้นตอนการดำเนินงาน 47
4.1 เครื่องเอกซ์ทรูดแบบสกรูคู่ซึ่งใช้ในการคอมพาวด์พลาสติก 52
4.2 การตัดคอมพาวด์พลาสติกแผ่น 52
4.3 ค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์สำหรับผลิตงานท่อเดือนกันยายน 2551 – กรกฎาคม 2552 54
4.4 ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability) 55
4.5 ข้อมูลยอดขายและแนวโน้มราคาเม็ดพลาสติกส่งออกต่างประเทศระหว่างเดือนกันยายน 2551-กรกฎาคม 2552 56
5.1 ผลการวิเคราะห์การประเมินความผันแปรของการวัดด้วยเครื่อง Moisture Analyzer 60
5.2 การประเมินความผันแปรของการวัดด้วยเครื่อง Moisture Analyzer..... 61
5.3 แผนที่กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ 63
5.4 แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) 65
5.5 แผนภูมิพาเรโต้เรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยต่างๆ จากการวิเคราะห์ด้วย Cause & Effect Matrix 67

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.6 แผนผังพาเรโตจัดลำดับความสำคัญของค่า RPN..... 74
6.1 เครื่องวิเคราะห์ความชื้น (Moisture Analyzer) 77
6.2 ผลลัพธ์การคำนวนจำนวนสิ่งตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวน 80
6.3 ผลลัพธ์การทดสอบสมมติฐานการกระจายแบบปกติ..... 84
6.4 ผลลัพธ์การทดสอบสมมติฐานความเป็นอิสระของข้อมูล..... 84
6.5 ผลลัพธ์การทดสอบความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของข้อมูล..... 85
6.6 ผลลัพธ์การทดลองแบบ 2^4 แฟคทอเรียล..... 85
7.1 ผลลัพธ์การทดสอบสมมติฐานการกระจายแบบปกติ..... 94
7.2 ผลลัพธ์การทดสอบสมมติฐานความเป็นอิสระของข้อมูล..... 95
7.3 ผลลัพธ์การทดสอบความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของข้อมูล..... 95
7.4 ผลลัพธ์การทดลองแบบ 3^4 แฟคทอเรียล..... 96
7.5 ผลลัพธ์การทดสอบสมมติฐานการกระจายแบบปกติ..... 100
7.6 ผลลัพธ์การทดสอบสมมติฐานความเป็นอิสระของข้อมูล..... 100
7.7 ผลลัพธ์การทดสอบความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของข้อมูล..... 101
7.8 ผลลัพธ์การทดลองหาพื้นผิวตอบสนองกำลังสอง..... 102
7.9 โครงร่างระหว่างปัจจัยอัตราการป้อนเข้าวัตถุดิบและความเร็วของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติก 103
7.10 พื้นผิวตอบสนองระหว่างปัจจัยอัตราการป้อนเข้าวัตถุดิบและความเร็วของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติก..... 103
7.11 โครงร่างระหว่างปัจจัยอัตราการป้อนเข้าวัตถุดิบและชนิด Carbon Black..... 104
7.12 พื้นผิวตอบสนองระหว่างปัจจัยอัตราการป้อนเข้าวัตถุดิบและชนิด Carbon Black..... 104
7.13 โครงร่างระหว่างปัจจัยอัตราการป้อนเข้าวัตถุดิบและชนิดและประเภทบรรจุภัณฑ์..... 105
7.14 พื้นผิวตอบสนองระหว่างปัจจัยอัตราการป้อนเข้าวัตถุดิบและชนิดและประเภทบรรจุภัณฑ์..... 105

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

7.15 โครงร่างระหว่างปัจจัยความเร็วของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติกและชนิด Carbon Black..... 106
7.16 พื้นผิวตอบสนองระหว่างปัจจัยความเร็วของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติกและชนิด Carbon Black 106
7.17 โครงร่างระหว่างปัจจัยความเร็วของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติกและชนิดและประเภทบรรจุภัณฑ์ 107
7.18 พื้นผิวตอบสนองระหว่างปัจจัยความเร็วของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติกและชนิดและประเภทบรรจุภัณฑ์ 107
7.19 โครงร่างระหว่างปัจจัยชนิด Carbon Black และชนิดและประเภทบรรจุภัณฑ์ 108
7.20 พื้นผิวตอบสนองระหว่างปัจจัยชนิด Carbon Black และชนิดและประเภทบรรจุภัณฑ์ 108
7.21 ผลการวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสม 109
7.22 ผลการวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสม เมื่อกำหนดชนิดของ Carbon Black ที่ระดับ 0 109
8.1 แผนภูมิควบคุมของค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์หลังการปรับปรุง 119
8.2 ความสามารถกระบวนการหลังปรับปรุงกระบวนการ 120
8.3 สรุปผลการดำเนินงานแก้ไข 122
9.1 ข้อมูลยอดขายและแนวโน้มราคาเม็ดพลาสติกส่งออกต่างประเทศระหว่าง เดือนธันวาคม 2552-เดือนมีนาคม 2553 123

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

เมื่อกล่าวถึงคำว่า “พลาสติก” ย่อมไม่มีใครปฏิเสธได้ว่าไม่รู้จัก พลาสติกเป็นวัสดุสังเคราะห์ที่เกิดจากการนำวัตถุดิบที่ได้จากธรรมชาติ เช่น น้ำมันปิโตรเลียมมาแยกเป็นสารประกอบบริสุทธิ์หลายชนิดและนำสารประกอบแต่ละชนิดมาทำปฏิกิริยาให้มีลักษณะต่อๆ กันเป็นเส้นสายยาวมากๆ เราจะพบเห็นพลาสติกในรูปของผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย บริษัทผู้ผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกจึงต้องผลิตสินค้าให้สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ และด้วยเหตุนี้ทำให้สภาวะการแข่งขันของอุตสาหกรรมการผลิตเม็ดพลาสติกในปัจจุบันมีแนวโน้มการแข่งขันที่สูงขึ้น จึงเป็นอีกเหตุผลหนึ่งที่องค์กรหรือบริษัทผู้ผลิตเม็ดพลาสติกหันมามุ่งเน้นกลยุทธ์การพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อเพิ่มศักยภาพการแข่งขันในอุตสาหกรรมพลาสติกและเศรษฐกิจของประเทศ พร้อมด้วยคุณภาพที่ได้มาตรฐานเป็นที่ยอมรับจากนานาประเทศทั่วโลก เพื่อให้ลูกค้าเกิดความพึงพอใจสูงสุด

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

จากข้อมูลด้านมูลค่าการส่งออกผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติกในไตรมาสที่ 4 ของปี 2551 ไตรมาสที่ 1 และ 2 ของปี 2552 มีการขยายตัวลดลง เมื่อเทียบกับไตรมาสที่ 1-3 ของปี 2551 โดยสาเหตุหลักที่ทำให้การส่งออกผลิตภัณฑ์พลาสติกหดตัวลงคือยอดคำสั่งซื้อที่ลดลง และเหตุผลที่ทำให้ยอดคำสั่งซื้อลดลงนั้นเกิดจากการที่ผลิตสินค้าไม่ตรงตามความต้องการของลูกค้า ด้วยเหตุนี้จึงทำการศึกษาข้อมูลการผลิตเม็ดพลาสติกภายในโรงงานตัวอย่างที่ทำการวิจัย โดยพบว่าเม็ดพลาสติกคอมพาวด์เกรดหนึ่ง ซึ่งเกิดจากกระบวนการผสมเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับสารเติมแต่งที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์งานท่อนั้น ประสบปัญหาเกี่ยวกับปริมาณค่าความชื้นในเม็ดพลาสติกที่สูงเกินค่ามาตรฐานที่กำหนด ทั้งนี้สำหรับค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกดังกล่าวนี้ถือเป็นองค์ประกอบที่สำคัญสำหรับคุณภาพของผลิตภัณฑ์พลาสติกขึ้นรูปที่ดีที่สุด และเป็นสิ่งที่ลูกค้าให้ความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง โดยมาตรฐานค่าความชื้นที่ยอมรับได้จะต้องไม่เกิน 350 PPM หรือ 350 mg^3/kg (อ้างอิงมาตรฐาน ISO 4427-1:2007 (Plastic piping system-Polyethylene pipes and fitting for water supply-part 1:Gerneral)) ซึ่งมาตรฐานดังกล่าวจะใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาและตัดสินใจว่าจะขึ้นรูปเม็ดพลาสติกเหล่านั้นหรือไม่ เนื่องจากค่าความชื้นที่มากเกินไปในเม็ดพลาสติกจะ

ระเหยออกไปเมื่ออุณหภูมิถึงจุดหนึ่งในขณะที่ทำการขึ้นรูป ซึ่งจะส่งผลให้ชิ้นส่วนขึ้นรูปที่เสร็จแล้วจะมีรูปร่างไม่สมบูรณ์และมีผิวไม่เรียบ ด้วยเหตุนี้ผู้ผลิตจึงมักหลีกเลี่ยงค่าความชื้นในเม็ดพลาสติกที่มากเกินไป เพราะกระบวนการขึ้นรูปนั้นมีความสำคัญมากสำหรับการผลิตที่มีประสิทธิภาพและคุณภาพของผลิตภัณฑ์สูงสุด

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ผู้ทำการวิจัยพิจารณาว่าการที่บริษัทจะประสบความสำเร็จในอุตสาหกรรมที่มีการแข่งขันค่อนข้างสูงนี้ สิ่งที่จะทำให้ยอดขายของบริษัทเพิ่มขึ้นและนำไปสู่กำไรของบริษัท นั่นคือการสร้างความพึงพอใจสูงสุดของลูกค้า โดยอาศัยปัจจัยการพัฒนาและปรับปรุงทั้งด้านคุณภาพตลอดจนการลดต้นทุนการผลิต การวางแผนเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์และการยกระดับคุณภาพอย่างรวดเร็วนั้นควรที่จะมีการวัดคุณภาพโดยอาศัยวิธีทางสถิติคือ แนวทางแบบซิกซ์ซิกม่า (Six Sigma Approach) เพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น เนื่องจากวิธีการดังกล่าวเป็นการใช้เครื่องมือทางการควบคุมคุณภาพและหลักทางสถิติในการแก้ไขปัญหาอย่างมีขั้นตอน ทั้งนี้ผู้ทำการวิจัยจึงได้ทำการศึกษาถึงแนวทางแบบซิกซ์ซิกม่าเพื่อปรับปรุง แก้ไขและลดจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้คุณภาพหรือของเสียลดน้อยลงให้มากที่สุดหรือแทบไม่มีเลย (Zero Defect) ทั้งนี้โดยจะอาศัยข้อมูลของสภาพการผลิต ณ ปัจจุบันเป็นข้อมูลพื้นฐานในการนำเข้ามาวิเคราะห์สภาพของปัญหาในปัจจุบันที่ดีที่สุด

1.1.1 ข้อมูลโรงงานกรณีศึกษา

โรงงานกรณีศึกษาตั้งอยู่ที่นิคมอุตสาหกรรมมาบตามพุด อำเภอเมืองระยอง จังหวัดระยอง โรงงานดังกล่าวเป็นผู้ดำเนินธุรกิจปิโตรเคมี โดยมีผลิตภัณฑ์หลัก คือ โอเลฟินส์ และผลิตภัณฑ์ต่อเนื่องจากโอเลฟินส์ เช่น พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE)

เม็ดพลาสติกคอมพาวด์หรือเม็ดพลาสติกที่ผสมกับสารเติมแต่งซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตงานท่อนั้น เป็นอีกหนึ่งผลิตภัณฑ์ที่สร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตภัณฑ์ของโรงงาน ซึ่งแสดงตัวอย่างผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติกคอมพาวด์ดังรูปที่ 1.1 และผลิตภัณฑ์งานท่อที่ผลิตจากเม็ดพลาสติกคอมพาวด์เกรดหนึ่งแสดงดังรูปที่ 1.2

รูปที่ 1.1 ผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติกคอมพาวด์

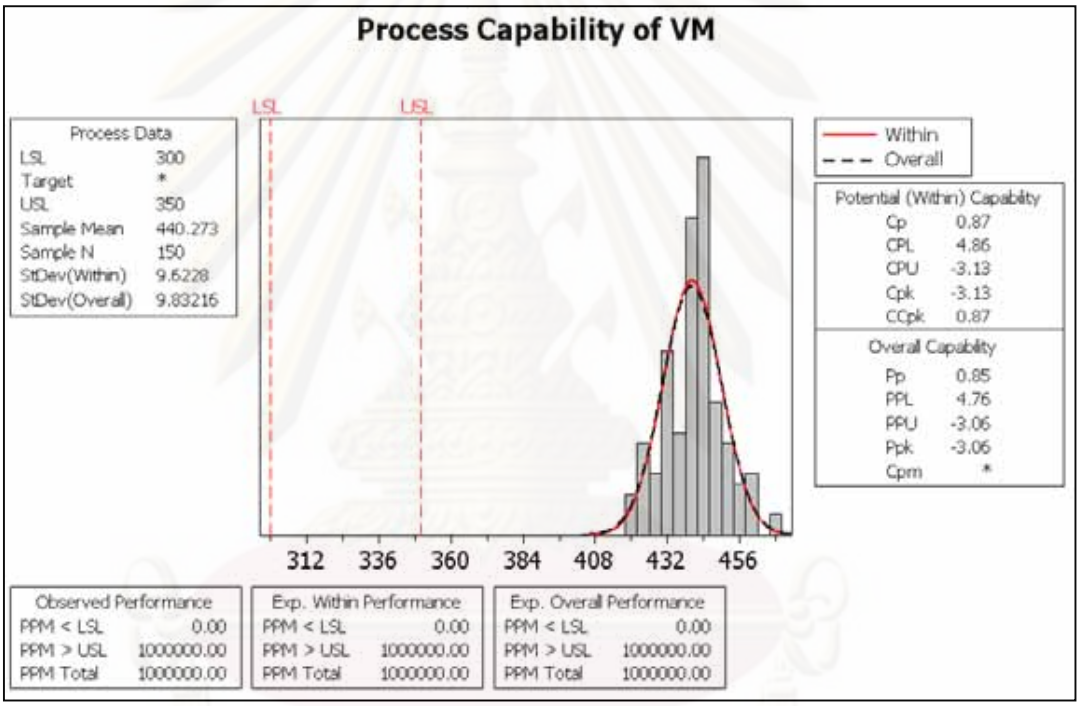
รูปที่ 1.2 ผลิตภัณฑ์งานท่อที่ได้จากวัตถุดิบเม็ดพลาสติกคอมพาวด์เกรดหนึ่ง

1.1.2 การศึกษาสภาพปัญหาปัจจุบัน

จากสภาพปัญหาในปัจจุบันสามารถศึกษาด้วยการวัดความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการสะท้อนด้วยค่า Process Capability (C_{pk}) ดังรูปที่ 1.3 และแสดงถึงค่าการเลื่อนไปจากค่ากลางของข้อกำหนด ในการศึกษาถึงข้อบกพร่อง (Defect) ของการผลิตเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ โดยมีลักษณะข้อบกพร่องที่เกิดจากค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์

โดยปัจจุบันเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ที่ผลิตได้นั้นมีค่าความชื้นโดยเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างสูง โดยประมาณ 440 PPM หรือ 0.044 เปอร์เซ็นต์ ด้วยเหตุนี้ผู้ผลิตจึงต้องการควบคุมค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ที่ผ่านจากกระบวนการผลิต โดยมีข้อกำหนด (Specification) สำหรับขอบเขตควบคุมด้านสูง (Upper Control Limit: UCL) และ ขอบเขตควบคุมด้านต่ำ (Lower Control Limit: LCL) คือ 350 PPM และ 300 PPM ตามลำดับ และเมื่อได้ทำการวิเคราะห์

ความสามารถของกระบวนการ (C_{pk}) แสดงดังรูปที่ 1.3 พบว่า C_p และ C_{pk} มีค่าเท่ากับ 0.87 และ -3.13 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1.33 หมายความว่า ความสามารถของกระบวนการ ในระยะสั้นมีความผันแปรสูงและมีความมั่นคงต่ำในระดับคุณภาพระดับ 3σ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่ากระบวนการการผลิตดังกล่าวมีความสามารถที่จะให้ค่าของผลิตภัณฑ์ถูกต้องตรงตามค่าจริง (True Value) ค่อนข้างต่ำ และการเลื่อนไปจากค่ากลางของข้อกำหนดเฉพาะของตำแหน่งกระบวนการมีความผันแปรค่อนข้างสูงในระดับคุณภาพระดับ 3σ กล่าวโดยสรุปคือความสามารถของกระบวนการนั้นยังไม่ดี



รูปที่ 1.3 ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability)

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อปรับปรุงค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกเม็ดคอมพาวด์ที่ใช้สำหรับผลิตงานท่อที่เกิดจากกระบวนการผสมเม็ดพลาสติกกับสารเติมแต่งและการบรรจุภัณฑ์ โดยใช้แนวคิดซิกซ์ ซิกม่า

1.3 ขอบเขตของการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้ทำการศึกษาเฉพาะการปรับปรุงค่าเฉลี่ยความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ที่ใช้สำหรับการผลิตงานท่อที่เกิดจากกระบวนการผสมเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับสารเติมแต่งและกระบวนการบรรจุภัณฑ์

1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนในการดำเนินงานสามารถแบ่งออกได้เป็น 10 ขั้นตอนหลัก ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนต่อไปนี้

1. การศึกษาสภาพการผลิตและปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน โดยการสำรวจและศึกษากระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกคอมพาวด์เกรดหนึ่ง ซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตงานท่อ ตลอดจนปัญหาที่มีผลกระทบต่อของเสีย

2. ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง โดยศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจัดการแบบซิกซ์ซิกม่า (Six Sigma) ตลอดจนผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับทฤษฎีดังกล่าว เพื่อใช้เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้แนวคิดและทฤษฎีมาปรับปรุงและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นเพื่อตอบสนองความพึงพอใจของลูกค้า

3. การนิยามปัญหาที่เกิดขึ้น (Define Phase) โดยจะเริ่มต้นจากการระบุหัวข้อปัญหาที่จะทำการแก้ไข โดยจะพิจารณาถึงปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อองค์กรมากที่สุด ซึ่งจะทำให้สามารถวิเคราะห์และดำเนินการแก้ไขได้อย่างมีประสิทธิภาพและลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นได้

4. การวัดสภาพของปัญหา (Measure Phase) เพื่อเข้าใจขอบเขตและสภาพของระบบและกระบวนการที่มีหรือใช้อยู่ในปัจจุบัน เพื่อหาช่องทางที่จะทำการปรับปรุง

5. การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase) ในขั้นตอนนี้จะอาศัยวิธีการทางสถิติซึ่งแนวทางการวิเคราะห์เพื่อกลั่นกรองปัจจัยทั้งหมด จนกระทั่งได้ปัจจัยที่มีผลต่อตัวชี้วัดของงานวิจัยอย่างมีนัยสำคัญ

6. การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase) เป็นการพัฒนาหรือการปรับปรุงสมรรถนะและประสิทธิภาพของกระบวนการ โดยการแสวงหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปัญหาที่เกิดขึ้นเพื่อหาค่าที่เหมาะสมสำหรับแต่ละปัจจัยที่มีผลต่อตัวชี้วัดของงานวิจัย เพื่อให้ได้ผลตามเป้าหมายที่ตั้งไว้

7. การควบคุมตัวแปรต่างๆ (Control Phase) มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบและควบคุมปัจจัยนำเข้าที่ได้จากขั้นตอนของการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการให้อยู่ในระดับสมรรถนะของกระบวนการที่ได้รับการปรับปรุงแล้วจะยังคงอยู่ต่อไปอย่างต่อเนื่อง

8. การเปรียบเทียบมูลค่าสูญเสียทางเศรษฐศาสตร์ก่อนและหลังปรับปรุง

9. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

10. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1. เพื่อปรับปรุงปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณค่าความชื้นเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ที่เกิดจากกระบวนการผสมเม็ดพลาสติกกับสารเติมแต่งและการบรรจุภัณฑ์

2. ลดความสูญเสียอันเนื่องมาจากการคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไม่ผ่านเกณฑ์ตามความต้องการของลูกค้า

3. สามารถเพิ่มคุณภาพของกระบวนการผลิตให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สร้างความพึงพอใจแก่ลูกค้าได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยครั้งนี้ เป็นการศึกษาการปรับปรุงค่าเฉลี่ยความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ จากกระบวนการผสมเม็ดพลาสติกกับสารเติมแต่งและการบรรจุภัณฑ์ ที่ใช้สำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์งานท่อ โดยนำกรรมวิธีทางซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma) มาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุง ทั้งนี้เนื่องจากซิกซ์ ซิกม่า คือระบบที่จะทำให้องค์กรสามารถนำความรู้และประยุกต์ใช้เครื่องมือทางสถิติต่างๆ ได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุด ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาค้นคว้า แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่างๆ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษา ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.1 ทฤษฎีซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma)

ซิกซ์ ซิกม่า เป็นแนวคิดในการประกันคุณภาพที่มีวัตถุประสงค์เพื่อลดค่าใช้จ่ายและลดความสูญเสีย ตลอดจนสามารถปรับปรุงผลิตภาพและการผลิตสินค้าที่มีคุณภาพที่สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าด้วยต้นทุนที่สามารถแข่งขันได้

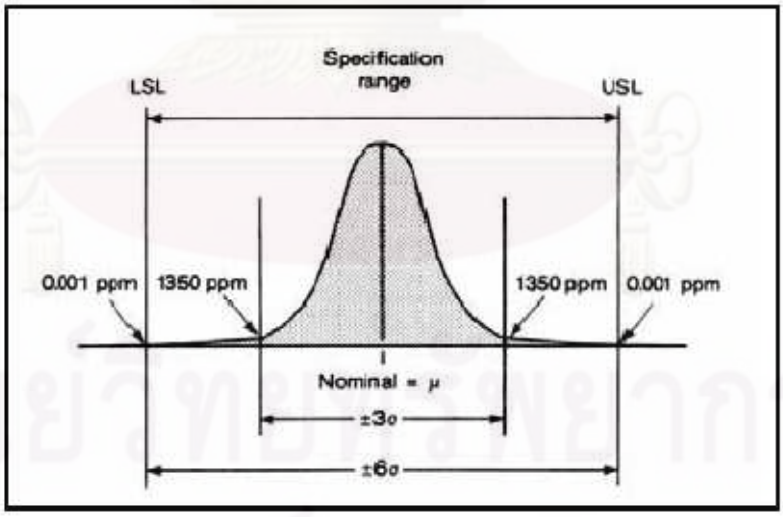
ปัจจุบัน กรรมวิธีทางซิกซ์ ซิกม่า ได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ไม่เฉพาะแต่ในวงการของการปรับปรุงและรักษาคุณภาพเท่านั้น แม้แต่ใจวงการบริหารและการจัดการธุรกิจ กรรมวิธี ทางซิกซ์ ซิกม่า ก็มีบทบาทเพิ่มมากขึ้น โดยมีหลายองค์กรทางธุรกิจและอุตสาหกรรม ที่ประสบความสำเร็จจากการนำเอากรรมวิธีทางซิกซ์ ซิกม่า มาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของการบริการและผลิตภัณฑ์อย่างต่อเนื่อง (Harry and Schroeder,2543) ทั้งนี้เนื่องจากกรรมวิธีทางซิกซ์ ซิกม่า เป็นวิธีที่มีรากฐานมาจากวิทยาศาสตร์และสถิติซึ่งสามารถพิสูจน์ได้ พร้อมทั้งมีหลักการและวิธีทำที่แน่นอน ดังนั้น ซิกซ์ ซิกม่า จึงเป็นวิธีที่ไม่ได้วัดจากความรู้สึก แต่เป็นวิธีที่เหมาะสมกับองค์กรที่ให้ความสำคัญแก่ข้อมูล สารสนเทศ และความรู้ (Park, 2003) บริษัทต่างๆ เริ่มที่จะนำกลยุทธ์ซิกซ์ ซิกม่า มาใช้กับองค์กรตนเองกันอย่างแพร่หลาย จนปัจจุบันสามารถกล่าวได้ว่า ซิกซ์ ซิกม่า เป็นกลยุทธ์ตัวหนึ่งที่องค์กรหรือบริษัทต่างๆ ทั่วโลกนำมาใช้เพื่อสร้างความสามารถในการแข่งขันทางธุรกิจ

2.1.1 ประวัติความเป็นมาของ ซิกซ์ ซิกม่า

การควบคุมคุณภาพของกรรมวิธี ซิกซ์ ซิกม่า ได้ถูกพัฒนาจนเป็นวิธีการจัดการคุณภาพโดยบริษัท โมโตโลร่า คอร์ปอเรชั่น เป็นผู้นำในการนำมาปฏิบัติใช้ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1980 ผู้ที่มีบทบาทสำคัญคือ นายมิเกล เจ แฮรี่ (Mikel J. Harry) และนายบ็อบ แกลวิน (Bob Galvin) โดยมุ่งเน้นการพัฒนาและปรับปรุงคุณภาพสินค้า ตลอดจนพยายามลดของเสียและความแปรปรวน (Variance) ในกระบวนการผลิตให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด จนประสบความสำเร็จ สามารถลดต้นทุนในการผลิต และขณะเดียวกันระดับความพึงพอใจของลูกค้าก็เพิ่มมากขึ้น

2.1.2 ความหมายของ ซิกซ์ ซิกม่า

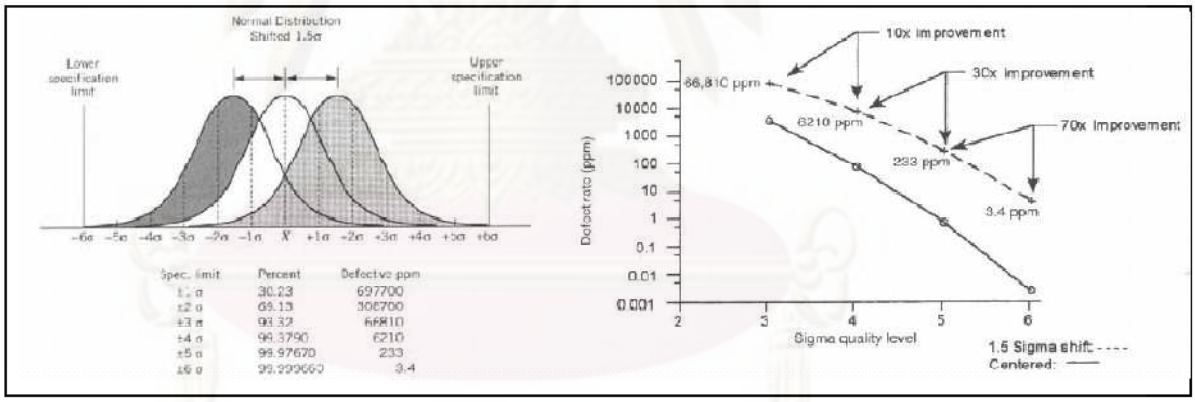
คำว่า ซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma) จะอ้างถึงเป้าหมายเฉพาะของการลดของเสียให้เข้าใกล้ศูนย์ ซิกม่า (Sigma) คือ ตัวอักษรกรีกตัวหนึ่งซึ่งในทางสถิติ สัญลักษณ์ σ ใช้แทนส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร (Standard deviation) ซิกม่าหรือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็นตัวเลขที่ใช้ในการบ่งบอกถึงการกระจายของข้อมูลหรือความแปรปรวนภายในของกลุ่มประชากร ดังนั้นความแปรปรวนมาก ก็หมายถึงมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมาก ทำให้มีพื้นที่ที่อยู่นอกเหนือพื้นที่ในการยอมรับหรือในสเปคน้อยลง นั่นคือมีของเสียที่อยู่นอกเหนือขอบเขตที่ยอมรับได้น้อยลง ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 เส้นโค้งการกระจายตัวตามปกติ

จากรูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นว่าในระดับ 6σ นั้นจะยอมรับให้เกิดของเสียได้ที่ปริมาณ 3.4 ชิ้นในการผลิต 1 ล้านชิ้น หรือที่เรียกว่า 3.4 PPM (Parts Per Million) ซึ่งหากเป็นไปตามเส้นโค้งการกระจายตัวตามปกติ (Normal Distribution Curve) จริงๆ ทางสถิตินั้น ที่ระดับ 6σ จะมีของเสีย

ที่อยู่นอกขอบเขตของการยอมรับเท่ากับ 0.002 ชิ้น ต่อ 1 ล้านชิ้นเท่านั้น แต่เหตุผลที่หลักการซิกซ์ ซิกม่า ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีการยอมรับของเสียที่ 3.4 PPM ก็เพราะว่าในขณะที่ทำการเก็บรวบรวมข้อมูล และวิเคราะห์ความแปรปรวนในบริษัทโมโตโรล่านั้น ได้พบว่าไม่มีระบบการผลิตใดเลยที่จะไม่ถูกรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอก นั่นก็คือเราไม่สามารถควบคุมปัจจัยภายนอกเพื่อไม่ให้ส่งผลถึงความเบี่ยงเบนของข้อมูลได้ ซึ่งระบบที่ไม่มีความแปรปรวนเลยจึงเป็นเพียงระบบในอุดมคติ (Ideal System) ดังนั้นโมโตโรล่าจึงทำการเก็บรวบรวมข้อมูลใหม่ในกระบวนการผลิต เพื่อหาความแปรปรวนที่เกิดจากปัจจัยภายนอกอันส่งผลถึงการคลาดเคลื่อนของค่ากึ่งกลาง ซึ่งได้ข้อสรุปจากการวิเคราะห์คือ ค่าเบี่ยงเบนของข้อมูลอันเนื่องจากปัจจัยภายนอกมีค่าอยู่ในช่วง 1.4-1.6 เท่าของซิกม่า จึงนำค่าเฉลี่ยคือ 1.5 เท่าของซิกม่า เป็นค่าความเบี่ยงเบนของค่ากึ่งกลางข้อมูลที่ยอมรับได้นำมาใช้ในทฤษฎี ซิกซ์ ซิกม่า ซึ่งค่า 3.4 PPM จึงเป็นค่าความผิดพลาดที่ 4.5 เท่าของซิกม่าตามหลักสถิตินั่นเอง แสดงภาพประกอบคำอธิบายดังรูปที่ 2.2 ซึ่งโมโตโรล่าได้นำหลักการนี้มาใช้เพื่อตั้งเป็นเป้าหมายในระบบการผลิตของบริษัท และพัฒนาวิธีการต่างๆ เพื่อนำไปสู่เป้าหมายนั้นจนกลายเป็นระบบการจัดการที่มีประสิทธิภาพระบบหนึ่งในปัจจุบันและเป็นที่รู้จักไปทั่วโลก



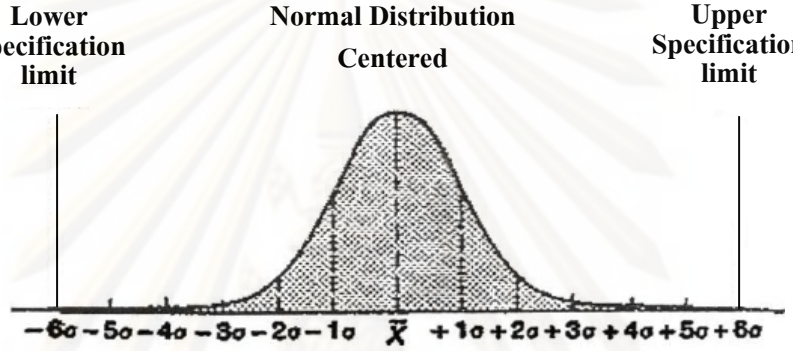
รูปที่ 2.2 การกระจายตัวที่มีผลจากปัจจัยรบกวน

ในมุมมองของสถิตินั้น เป้าหมายของ ซิกซ์ ซิกม่า ก็คือการลดความแปรปรวนเพื่อให้เกิดส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่น้อยที่สุด ทำให้ผลิตภัณฑ์หรือบริการของคุณเกือบทั้งหมดจะมีคุณค่าเท่ากับหรือเหนือกว่าความคาดหวังของลูกค้า

2.1.3 เป้าหมายของ ซิกซ์ ซิกม่า

Breyfogle (1999) กล่าวว่าในกระบวนการผลิตหรือบริการโดยทั่วๆไป ลักษณะของผลิตภัณฑ์มักจะกระจายตัวแบบปกติ คือ มีระดับของความเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ระดับ $\pm 3\sigma$ ซึ่ง

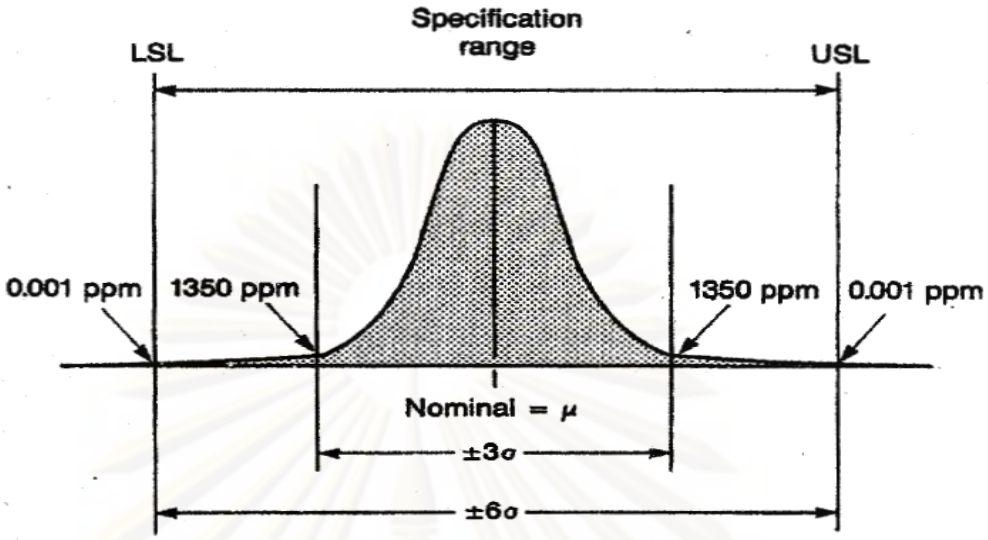
สามารถคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของผลิตภัณฑ์ที่จะได้รับการยอมรับ (เปอร์เซ็นต์ของความแน่นอน) ซึ่งจะได้เท่ากับ 99.73% ซึ่งที่ระดับความเบี่ยงเบนมาตรฐาน $\pm 3\sigma$ นี้จะทำให้โอกาสที่จะเกิดของเสียถึง 2,700 PPM นั่นคือ ในผลิตภัณฑ์หนึ่งล้านหน่วยจะมีโอกาสเป็นของเสียเท่ากับ 2,700 หน่วย โดยยังถือได้ว่าไม่เป็นระดับที่ลูกค้าพอใจ เพราะลูกค้ามีความต้องการให้โอกาสในการเกิดของเสียใกล้เคียงศูนย์มากที่สุด ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งแสดงลักษณะการกระจายตัวแบบปกติ และระดับของเสียที่ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลระดับต่างๆ



Spec Limit	Percent	Defective ppm
±1σ	68.27	317300
±2σ	95.45	45500
±3σ	99.73	2700
±4σ	99.9937	63
±5σ	99.999943	0.57
±6σ	99.9999998	0.002

รูปที่ 2.3 ลักษณะการกระจายตัวแบบปกติ และระดับของเสีย (Breyfogle, 1999)

จากความพยายามพัฒนาคุณภาพของกระบวนการผลิตโดยมีเป้าหมายให้ของเสียใกล้เคียงจำนวนศูนย์มากที่สุดนับตั้งแต่ปี ค.ศ 1985 โดยบริษัท โมโตโลล่า ได้นำซิกซ์ ซิกม่ามาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตหรือบริการ โดยมีเป้าหมายที่ระดับของความเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ระดับ $\pm 6\sigma$ ซึ่งถ้าพิจารณาจากค่าความสามารถของกระบวนการในระยะสั้น (Process Capability: C_p) นั้น จะได้ค่า C_p เท่ากับ 2 ซึ่งความหมายคือ มีโอกาสในการเกิดของเสียเพียงแค่ 0.002 PPM สามารถอธิบายดังสมการที่ (2.1) และสามารถเปรียบเทียบระดับความเบี่ยงเบนมาตรฐานระดับ $\pm 3\sigma$ และ $\pm 6\sigma$ ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การแจกแจงปกติเปรียบเทียบระดับมาตรฐาน $\pm 3\sigma$ และ $\pm 6\sigma$ (Breyfogle, 1999)

สำหรับค่าความสามารถของกระบวนการในระยะสั้นนั้น คือ การเอาลักษณะของความผันแปรของกระบวนการอันเนื่องมาจากสาเหตุทางธรรมชาติภายใต้การควบคุม โดยทำการศึกษาในระยะสั้นมาอธิบายความมีประสิทธิภาพของกระบวนการว่ามีความสามารถในการผลิตให้ได้อยู่ในช่วงข้อกำหนดเฉพาะมากน้อยเพียงใด โดยหาค่าได้จากสมการที่ 2.1

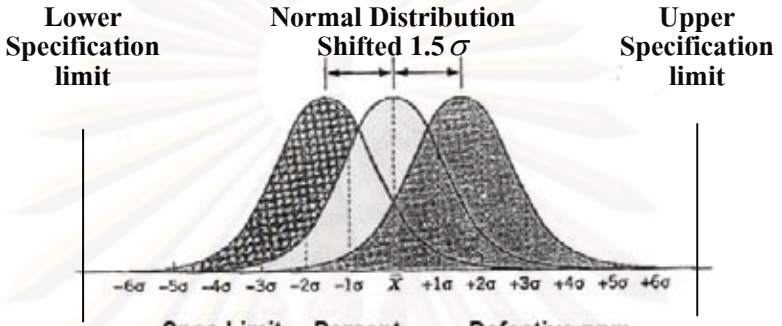
$$C_p = \frac{\text{ความต้องการของลูกค้า}}{\text{ความสามารถของกระบวนการ}} = \frac{USL - LSL}{6\sigma} = 2 \qquad (2.1)$$

ความสามารถกระบวนการระยะยาว (Long Term Process Capability : C_{pk}) คือ การศึกษาถึงประสิทธิภาพของกระบวนการในระยะยาว เพื่อทำการประเมินล่วงหน้าถึงความสามารถของกระบวนการและแนวทางในการควบคุมกระบวนการตลอดช่วงระยะเวลาที่ยาวนาน โดยหาได้ค่าจากสมการที่ 2.2

$$C_{pk} = \frac{\text{ความต้องการของลูกค้า}}{\text{ความสามารถของกระบวนการ}} = \min\left[\frac{USL - \bar{X}}{3\sigma} . \frac{\bar{X} - LSL}{3\sigma}\right] = 2 \qquad (2.2)$$

จากสมการที่ 2.2 เมื่อการกระจายของข้อมูลอยู่กึ่งกลางมาตรฐานตามรูปที่ 2.4 ค่า C_{pk} จะเท่ากับ 2 เหมือนกับ C_p ซึ่งหมายถึง โอกาสเกิดของเสียเท่ากับ 0.002 PPM แต่เมื่อมาพิจารณาจากค่าความสามารถของกระบวนการในระยะยาวนั้น จะพบว่าในกระบวนการใดๆ ค่ากลางของข้อมูลมักมีการเปลี่ยนแปลงไปจากค่าที่ตั้งไว้ในตอนแรก (Setting Value) โดยมักจะเปลี่ยนแปลงเท่ากับ

$\pm 1.5\sigma$ โดยปรากฏการณ์นี้เรียกว่า “Shifts and Drifts” เมื่อกระบวนการได้มีการปรับปรุงคุณภาพโดยใช้วิธีการซิกซ์ ซิกม่าแล้ว จะทำให้มีโอกาสในการเกิดของเสียเท่ากับ 3.4 PPM พบว่าโอกาสในการเกิดของเสียนั้นน้อยมาก ดังรูปที่ 2.5 ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าตั้งโดยธรรมชาติ $\pm 1.5\sigma$



Spec Limit	Percent	Defective ppm
±1σ	30.23	667700
±2σ	69.13	308700
±3σ	93.32	66810
±4σ	99.3890	6210
±5σ	99.97670	233
±6σ	99.999660	3.4

รูปที่ 2.5 การเปลี่ยนแปลงค่าตั้งโดยธรรมชาติ $\pm 1.5\sigma$ (Breyfogle, 1999)

จากการริเริ่มของบริษัทโมโตโรล่าในการใช้วิธีการซิกซ์ ซิกม่าพัฒนากระบวนการทุกๆ ด้านของบริษัทโดยการตั้งเป้าหมายที่ $\pm 6\sigma$ นี้ ทำให้คุณภาพของกระบวนการผลิตดีขึ้นอย่างมาก ซึ่งส่งผลให้สามารถลดต้นทุนลงได้จากความสำเร็จทำให้เป้าหมายเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ ซึ่งองค์กรมากมายต่างให้ความสนใจและนำวิธีการซิกซ์ ซิกม่ามาพัฒนาองค์กรเพื่อสามารถแข่งขัน และเป็นผู้นำทางธุรกิจ

2.1.4 องค์ประกอบของซิกซ์ ซิกม่า

องค์ประกอบหลักที่สำคัญสำหรับซิกซ์ ซิกม่า เพื่อให้บรรลุถึงความสามารถภายในองค์กรประกอบด้วย

1. การให้ความสนใจลูกค้าอย่างจริงจัง

การให้ความสำคัญกับลูกค้าถือว่าเป็นสิ่งที่สำคัญสูงสุดของซิกซ์ ซิกม่า การวัดสมรรถนะจะเริ่มต้นและจบลงด้วยเสียงของลูกค้า (Voice of the Customer:VOC) “ของเสีย” คือความล้มเหลวที่พบได้จากการวัดความต้องการของลูกค้า ดังนั้นการปรับปรุงของซิกซ์ ซิกม่า สามารถถูกนิยามได้จากผลกระทบที่มีต่อความพึงพอใจของลูกค้า และมูลค่าที่ใส่ให้กับลูกค้า หนึ่งในงานแรกของ

ทีมการปรับปรุงซิกซ์ ซิกม่า คือ การกำหนดความต้องการของลูกค้าและกระบวนการที่ต้องการให้ตอบสนองนั้น

2. การใช้ข้อมูลและข้อเท็จจริงเป็นตัวผลักดันในการบริหาร

ทีมซิกซ์ ซิกม่า ควรมีตัวชี้วัดที่ชัดเจนที่จะเป็นกุญแจสำคัญในการวัดผลประกอบการธุรกิจที่แท้จริง หลังจากนั้นจะเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อให้เข้าถึงความผันแปรและตัวผลักดันกระบวนการหลัก

3. มุ่งให้ความสนใจในกระบวนการการจัดการและการปรับปรุง

ซิกซ์ ซิกม่าจะให้ความสำคัญบนกระบวนการที่เป็นกุญแจสำคัญที่จะนำไปสู่การตอบสนองความต้องการของลูกค้า ไม่ว่าจะออกแบบผลิตภัณฑ์หรือบริการใหม่ วัดสมรรถนะในปัจจุบันปรับปรุงประสิทธิภาพหรือความพึงพอใจของลูกค้า

4. การจัดการเชิงรุก

คำว่า “เชิงรุก (Proactive)” หมายความว่าการปฏิบัติก่อนที่เหตุการณ์ใดๆ จะเกิดขึ้น ซึ่งตรงข้ามกับคำว่า “เชิงรับ (Reactive)” ที่จะแสดงถึงความล้าหลัง ในโลกของธุรกิจ เชิงรุกจะหมายถึงการทำให้เกิดเป็นนิสัยในการตั้งและปฏิบัติการ เพื่อให้บรรลุถึงเป้าหมายที่แฝงไว้ด้วยความทะเยอทะยาน จึงควรมีการกำหนดลำดับความสำคัญที่แน่นอน ให้รางวัลตอบแทนกับผู้ช่วยป้องกันการเกิดปัญหาอย่างน้อยเท่ากับผู้ที่ช่วยแก้ปัญหา และการมีแนวทางใหม่ที่ท้าทายกว่าแนวทางแบบเดิม

5. ความร่วมมือและประสานงานกันอย่างไร้ขอบเขต

คำว่า “ไร้ขอบเขต” ในบริษัท เจเนอรัลอิเล็กทริก หมายถึง งานที่ช่วยทำลายสิ่งกีดขวางที่สกัดการไหลของแนวคิดและการปฏิบัติทั้งจากระดับบน ระดับล่าง และระหว่างภายในองค์กร ที่ก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายนับล้านที่สูญเสียไปเป็นประจำกับความขัดแย้งภายในบริษัท แทนที่จะทำงานร่วมกันเพื่อสร้างคุณค่าส่งมอบให้ลูกค้าหลัก ซิกซ์ ซิกม่า ต้องอาศัยความร่วมมือกันของคนในการเรียนรู้บทบาทหน้าที่ของตนเองในภาพรวมของกระบวนการและความสัมพันธ์กับลูกค้าภายนอก โดยมุ่งให้ลูกค้าเป็นศูนย์กลาง ซึ่ง ซิกซ์ ซิกม่า มีมุมมองที่ใช้กระบวนการเพื่อสร้างผลประโยชน์ให้กับทุกคน

6. ผลักดันไปสู่ความสมบูรณ์แบบและอดทนต่อความล้มเหลว

ซิกซ์ ซิกม่า จะมุ่งเน้นการผลักดันเพื่อความสมบูรณ์แบบ และสร้างผลลัพธ์ทางธุรกิจภายในกรอบเวลา โดยการหยุดยั้งการสูญเสียหรือไม่ให้เกิดของเสียและข้อบกพร่องในการผลิตและการบริการ ผลที่ตามมาคือ ทีม ซิกซ์ ซิกม่า จะค้นพบด้วยตัวเองในการทำให้ความเสี่ยงต่างๆ เกิดความสมดุล อันจะส่งผลให้ลูกค้าเกิดความประทับใจ

2.1.5 แนวทาง 3 ประการสู่ ซิกซ์ ซิกม่า

ความรู้เกี่ยวกับลูกค้าและตัววัดที่มีประสิทธิผล ถือว่าเป็นเชื้อเพลิงที่สำคัญของเครื่องยนต์แบบซิกซ์ ซิกม่า ที่ประกอบด้วยองค์ประกอบพื้นฐาน 3 ส่วน แสดงดังรูปที่ 2.6 ซึ่งการเชื่อมโยงทั้ง 3 ส่วนนี้เข้าด้วยกัน เป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญที่สุดของนวัตกรรมในซิกซ์ ซิกม่า โดยทั้ง 3 ส่วนนี้ คือ การปรับปรุงกระบวนการ การออกแบบกระบวนการ (การทบทวนการออกแบบใหม่) และการจัดการกระบวนการ เนื่องจากการทำงานของทีมจะเกี่ยวข้องอย่างน้อยหนึ่งส่วน ซึ่งกล่าวโดยสรุปรวมๆ ดังนี้

รูปที่ 2.6 แสดงองค์ประกอบพื้นฐาน 3 ส่วนของ ซิกซ์ ซิกม่า

1. การปรับปรุงกระบวนการ: การค้นหาคำตอบของปัญหา

การปรับปรุงกระบวนการ (Process Improvement) หมายถึง กลยุทธ์ในการหาแนวทางแก้ไขปัญหาเพื่อขจัดสาเหตุที่แท้จริงที่เกิดขึ้นในกระบวนการที่ยังคงอยู่ในองค์กร การปรับปรุงกระบวนการจะพยายามมองหาทางเพื่อระบุปัญหาที่แน่นอน ด้วยการขจัดสาเหตุของความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในกระบวนการ โดยไม่ทำให้กระบวนการพื้นฐานเปลี่ยนแปลง ทีมปรับปรุงกระบวนการจะใช้กระบวนการ 5 ขั้นตอนในการจัดการกับปัญหาหรือเรียกว่า “ดีเมอิก (DMAIC)” ได้แก่

กำหนด (Define)	การระบุปัญหาและอะไรคือสิ่งที่ลูกค้าต้องการ
วัด (Measure)	การวัดของเสียและการดำเนินกระบวนการ
วิเคราะห์ (Analysis)	การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อค้นหาสาเหตุของปัญหา
ปรับปรุง (Improve)	การปรับปรุงกระบวนการเพื่อขจัดสาเหตุการเกิดของเสีย
ควบคุม (Control)	การควบคุมกระบวนการเพื่อมั่นใจได้ว่าของเสียนั้นจะไม่เกิดขึ้นมาอีก

2. การออกแบบกระบวนการ (การทบทวนการออกแบบใหม่)

การออกแบบกระบวนการใหม่ บ่อยครั้งที่ขั้นตอน DMAIC จะถูกดัดแปลงให้ความสำคัญด้วยการระบุถึงนวัตกรรมใหม่ และแนวทางที่มีประสิทธิผลเพื่อการปฏิบัติงานที่ดีกว่า ซึ่งแสดงไว้ดังนี้

กำหนด (Define)	กำหนดความต้องการของลูกค้าและเป้าหมายของกระบวนการ/ผลิตภัณฑ์/บริการ
วัด (Measure)	การวัดสมรรถนะเพื่อให้ตรงกับความต้องการของลูกค้า
วิเคราะห์ (Analysis)	การวิเคราะห์และประเมินกระบวนการ/ผลิตภัณฑ์/บริการ
ออกแบบ (Design)	การออกแบบการนำเสนอกระบวนการใหม่/ผลิตภัณฑ์/บริการ
ตรวจสอบ (Verity)	ตรวจสอบผลและรักษาไว้ซึ่งสมรรถนะ

การออกแบบกระบวนการโดยปกตินั้นจะใช้เวลานานกว่าการปรับปรุงกระบวนการ เพราะจะเกี่ยวข้องกับการสร้างและการนำเสนอตราใหม่ของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการ ความเสี่ยงที่จะเกิดความล้มเหลวก็จะมากกว่าการปรับปรุงกระบวนการที่มีอยู่ ผลลัพธ์และเป้าหมายของการออกแบบกระบวนการ จะแตกต่างจากการปรับปรุงกระบวนการในหลายๆ โครงการที่มีความคล้ายคลึงกัน

3. การจัดการกระบวนการสำหรับผู้นำซิกซ์ ซิกม่า

การจัดการกระบวนการ (Process Management) คือการให้ความสำคัญกับการจัดการกระบวนการข้ามฝ่ายขององค์กร แทนที่จะจัดการเฉพาะแต่ละฝ่ายงาน (Individual Function) ซึ่งบางครั้งถือว่าเป็นการแข่งขันระหว่างแผนก โดยทั่วไปการจัดการกระบวนการจะรวมถึง การกำหนดกระบวนการ ความต้องการหลักของลูกค้าและเจ้าของกระบวนการ การวัดสมรรถนะสู่ความต้องการของลูกค้าและดัชนีชี้วัดกระบวนการหลัก การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อส่งเสริมการวัดและการปรับกลไกสำหรับการจัดการกระบวนการ และการควบคุมสมรรถนะโดยการติดตามตรวจสอบปัจจัยนำเข้า/กระบวนการผลิต/ผลิตผล และการตอบสนองอย่างรวดเร็วต่อปัญหาและความผันแปรของกระบวนการ

2.1.6 แบบจำลองการแก้ปัญหาของซิกซ์ ซิกม่า

วิธีการของ ซิกซ์ ซิกม่า จะเป็นตัวกำหนดจำนวนของพฤติกรรม (Behavior) หรือปรากฏการณ์ (Phenomena) และจะดำเนินตามแบบจำลองการแก้ปัญหา (Problem-Solving Model) ของ ซิกซ์ ซิกม่า โดยแสดงขั้นตอนของ DMAIC ดังนี้

2.1.6.1 การกำหนดปัญหาที่เกิดขึ้น (Define Phase)

ในขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนแรกของกระบวนการทางซิกซ์ ซิม่า และเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญในการกำหนดจุดเริ่มต้นและทิศทางของการวิจัย โดยจะเริ่มจากการศึกษาความต้องการของลูกค้า การให้คำจำกัดความของปัญหาและเป้าหมายอย่างชัดเจน ว่าส่วนไหนที่จำเป็นต้องปรับปรุงและจะปรับปรุงให้ถึงระดับไหนสิ่งสำคัญที่จะได้จากขั้นตอนนี้ ประกอบด้วยหัวข้อโครงการ รายละเอียดของปัญหา ขอบเขตการดำเนินงาน เป้าหมายโครงการ แผนการดำเนินงานตลอดจนคณะทำงานและหน้าที่ความรับผิดชอบต่างๆ ของผู้มีส่วนร่วมโครงการ นอกจากนี้ยังพิจารณาความสามารถของกระบวนการผลิตเทียบกับความต้องการของลูกค้าต่อผลิตภัณฑ์ของบริษัท ซึ่งจะทำให้ทราบถึงปัญหาที่เกิดขึ้น และได้ข้อมูลสนับสนุนในการพิจารณาคัดเลือกถึงปัญหาที่จะทำการแก้ไขและขีดความสามารถในการปรับปรุงกระบวนการที่สามารถปฏิบัติได้จริง

2.1.6.2. การวัดเพื่อกำหนดหาสาเหตุของปัญหา (Measure Phase)

การวัดเป็นสิ่งจำเป็นที่จะทำให้เข้าใจสภาพของระบบและกระบวนการที่มี หรือใช้อยู่ในปัจจุบัน ต้องมีความเข้าใจว่าจะวัดอะไร วัดอย่างไร วัดที่ไหน เมื่อไหร่ จึงจะเป็นประโยชน์ต่อการวิเคราะห์หลังจากที่ได้กำหนดประเด็นปัญหาไว้อย่างชัดเจน ในขั้นตอนนี้ถือเป็นการกำหนดแนวทางในการวัดประสิทธิภาพของกระบวนการ โดยจะทำการศึกษากระบวนการอย่างละเอียด กำหนดปัจจัยที่ได้รับจากกระบวนการหรือตัวแปรตอบสนองกระบวนการ (Key Process Output Variables : KPOVs : Ys) และปัจจัยนำเข้า (Key Process Input Variables : Xs) ต่างๆ ของกระบวนการที่ส่งผลต่อ KPOVs ตามสมการ $Y = f(X1, X2, \ldots, Xn)$ กำหนดแนวทางในการวัดปัจจัยต่างๆ ทำการวิเคราะห์ระบบการวัดหากผลการวิเคราะห์ระบบการวัดมีความผันแปรมากเกินกว่าที่กำหนด จะต้องทำการปรับปรุงระบบการวัดให้ดีเสียก่อน เมื่อยอมรับได้แล้วจึงทำการศึกษาประสิทธิภาพการดำเนินงานในปัจจุบัน กำหนดปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่น่าจะส่งผลกระทบต่อระดับคุณภาพของผลลัพท์ของกระบวนการ เพื่อจะดำเนินการศึกษาและวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป โดยมีเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA)

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงสถิติของระบบการวัดจากค่าที่วัดได้ เพื่อแยกแหล่งผันแปรออกเป็นชิ้นงาน (Part - to – Part Variation : PV) พนักงานวัด (Appraiser-Variation: AV) ความผันแปรร่วม (Interaction Variation: IV) และแหล่งผันแปรอื่นที่ไม่สามารถควบคุมได้โดยธรรมชาติซึ่งโดยปกติจะมีความผันแปรหลักๆมาจากอุปกรณ์วัด (Equipment Variation: EV) เมื่อมีการวิเคราะห์ถึงระบบความผันแปรจากระบบการวัดจะทำการประเมินเทียบกับข้อกำหนดเฉพาะ(Specification) หรือความผันแปรจากกระบวนการผลิต (Manufacturing-

Process Variation -MPV) แล้วต้องพยายามทำให้ความผันแปรจากระบบการวัดน้อยกว่าข้อกำหนดเฉพาะ และความผันแปรจากกระบวนการผลิต สำหรับความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้นได้แบ่งออกเป็น 3 ประเภท โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ความคลาดเคลื่อนจากการผิดพลาด เป็นความคลาดเคลื่อนจากความผิดพลาดของระบบการวัด ซึ่งอาจมาจากการขาดความรู้ ความเข้าใจ เกี่ยวกับเครื่องมือวัดและวิธีการวัดของพนักงานที่ทำหน้าที่วัด โดยสามารถจำกัดได้ด้วยการทำระบบการวัดให้ได้มาตรฐาน คือ กำหนดขั้นตอนและวิธีการที่แน่นอน การฝึกอบรมพนักงานวัด การบำรุงรักษาเครื่องมือวัดให้เป็นมาตรฐานอย่างแม่นยำและถูกต้อง

2. ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ เป็นความเบี่ยงเบนจากค่าจริงหรือค่าความเอนเอียงซึ่งจะมีสาเหตุมาหลักมาจากโครงสร้างของเครื่องมือวัด นอกจากนี้ยังอาจมีผลมาจากปัจจัยภายนอก ดังนั้นจึงกำจัดได้ด้วยการสอบเทียบ (Calibration) สำหรับโครงสร้างของเครื่องมือวัด และควบคุมปริมาณที่มีผลต่อค่าวัดด้วยการควบคุมสภาพแวดล้อมของระบบการวัด

3. ความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม เป็นค่าความเบี่ยงเบนของค่าวัดซึ่งจะมีลักษณะเป็นตัวแปรสุ่มโดยมีสาเหตุมาจากสาเหตุโดยธรรมชาติ (Common causes) ของระบบการวัดและไม่สามารถกำจัดทิ้งได้ แต่สามารถปรับค่าให้ลดลงได้ด้วยการดำเนินการแก้ไขระบบการวัด

การวิเคราะห์ระบบการวัดนั้น เริ่มต้นจากการกำจัดความผันแปรจากสาเหตุความผิดพลาดด้วยการทำให้ระบบการวัดเป็นมาตรฐาน จากนั้นให้ลดความคลาดเคลื่อนเชิงระบบด้วยการสอบเทียบและลดการคลาดเคลื่อนแบบสุ่มด้วยการวิเคราะห์ถึงแหล่งความผันแปรก่อน โดยปกติแล้วจะต้องพยายามทำให้ความผันแปรจากระบบมีค่าต่ำกว่าความผันแปรจากกระบวนการผลิตและทำให้ค่าความผันแปรโดยรวมของระบบการวัดและกระบวนการผลิตมีค่าต่ำกว่าค่าความคลาดเคลื่อนอนุโลมของค่าผันแปรโดยรวมของระบบการวัดและกระบวนการผลิตมีค่าต่ำกว่าค่าความคลาดเคลื่อนอนุโลมของค่ากำหนด

สำหรับการวิเคราะห์ความถูกต้องของระบบการวัดนั้น มีการพิจารณาใน 3 ประเด็น คือ คุณสมบัติด้านไบอัส ซึ่งเป็นการกำหนดถึงความถูกต้องของค่าวัดของค่าวัดที่ได้ อันเนื่องมาจากปัจจัยภายในของระบบการวัด คุณสมบัติด้านความมีเสถียรภาพของระบบการวัด หมายถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าไบอัสเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไปอันเนื่องมาจากสาเหตุความเสื่อมต่างๆ ภายในระบบการวัด ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ดีด้วยแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$–R และคุณสมบัติเชิงเส้นตรง หมายถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าไบอัสเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงย่านวัดไป ซึ่งต้องวิเคราะห์ด้วยการวิเคราะห์ถดถอย โดยการวิเคราะห์คุณสมบัติทั้งสามประการนี้มีความจำเป็นต้องกำหนดค่าอ้างอิงหรือ

ค่ามาสเตอร์ให้กับงานมาตรฐาน โดยการพิจารณาปริมาณทั้งค่าไบอัส ค่าความมีเสถียรภาพ และดัชนีเชิงเส้นตรง มีดังนี้

	% คุณสมบัติ < 5 %	อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้โดยไม่ต้องแก้ไข
5 % ≤	% คุณสมบัติ < 10 %	อาจจะยอมรับได้ (ให้พิจารณาจากปัจจัยอื่นๆ อาทิ การประยุกต์ใช้ ค่าใช้จ่าย ฯลฯ)
	% คุณสมบัติ ≥10 %	ไม่สามารถยอมรับได้ ต้องค้นหาสาเหตุแล้วทำการแก้ไข

นอกจากการวิเคราะห์ความถูกต้องของระบบการวัดแล้ว ยังต้องวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดควบคู่กันด้วย โดยการวิเคราะห์ความแม่นยำนี้ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ รีพีททะบิลิตี้ (Repeatability) หมายถึง ความแตกต่างของระบบการวัดภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน และ รีโปรดิวซิบิลิตี้ (Reproducibility) หมายถึง ความแตกต่างของระบบการวัดที่เงื่อนไขแตกต่างกัน ซึ่งมีเกณฑ์การพิจารณาการยอมรับค่ารีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้ไว้ดังนี้

	P/T หรือ P/TV < 10 %	สามารถยอมรับความสามารถของระบบการวัดได้
10 % ≤	P/T หรือ P/TV < 30 %	อาจจะยอมรับได้ซึ่งขึ้นอยู่กับความสำคัญในสิ่งประยุกต์ใช้ค่าใช้จ่ายในการวัด ตลอดจนปัจจัยอื่นๆ ฯลฯ
	P/T หรือ P/TV > 30 %	ไม่สามารถยอมรับความสามารถของระบบการวัดได้มีความจำเป็นต้องระบุถึงสาเหตุความผันแปร แล้วทำการลดหรือกำจัดทิ้ง

- แผนภาพกระบวนการผลิต (Process Map)

ส่วนนี้เป็นส่วนที่สำคัญอย่างยิ่งในการที่จะหาสาเหตุของปัญหา ซึ่งในการสร้างแผนภาพของกระบวนการผลิตนั้น จะต้องทำอย่างละเอียดทุกขั้นตอนในการประกอบผลิตภัณฑ์ เพื่อที่จะได้สามารถระบุถึงตัวแปรที่สำคัญในกระบวนการผลิต (Process Input) รวมทั้งผลลัพธ์ในกระบวนการผลิต (Process Output) ซึ่งขั้นตอนนี้จึงเป็นการตรวจวิเคราะห์ของกระบวนการผลิต ซึ่งอาจจะทำให้เราทราบถึงสิ่งผิดปกติหรือทราบสาเหตุที่แท้จริงของความบกพร่องในการผลิตที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งขั้นตอนนี้อาจเป็นขั้นตอนที่จะนำไปสู่การวิเคราะห์ปัญหาโดยการทดลองและการตั้งสมมติฐาน หรือโดยการใช้ข้อมูลทางด้านสถิติที่มีการเก็บรวบรวมอย่างถูกวิธี การสร้างแผนการไหลของผลิตภัณฑ์ต้องใช้การระดมสมอง และทีมงานที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์เพื่อที่จะได้รายละเอียดที่สำคัญและครบถ้วนของกระบวนการผลิต ซึ่งแผนภาพการไหลนั้นจะต้องสามารถบอกถึงสาเหตุแห่งความบกพร่องของผลิตภัณฑ์ (Cause of Poor Quality : COPQ) เพื่อนำมาสร้างแผนการไหลของผลิตภัณฑ์จำเป็นอย่างยิ่งในการระบุที่มาของข้อบกพร่องและสิ่งที่ซ่อน

ในกระบวนการผลิต (Hidden Factory) ซึ่งสิ่งเหล่านี้ส่งผลให้สูญเสียเวลา เงิน ทรัพยากร และพื้นที่ในการจัดเก็บ

- ผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

วีระพงษ์ (2542: 31) ผังแสดงเหตุและผล คือ ผังที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะทางคุณภาพกับปัจจัยต่างๆ ที่มีความเกี่ยวข้อง กล่าวคือคุณลักษณะทางคุณภาพคือผลที่เกิดขึ้นจากเหตุ คือ ปัจจัยต่างๆ ที่เป็นต้นตอของคุณลักษณะอันนั้น การสร้างผังแสดงเหตุและผลที่จะเอื้อประโยชน์ต่อการแก้ปัญหาได้จริงๆ ไม่ใช่เรื่องง่ายผู้ที่สามารถสร้างผังแสดงเหตุและผลได้ถูกต้อง คือ ผู้ที่มีโอกาสจะแก้ปัญหาทางคุณภาพได้ถูกต้องเช่นเดียวกัน ข้อสังเกตเกี่ยวกับกับผังแสดงเหตุและผลจะต้องทำการแยกแยะและเลือกสรรเพื่อหาปัจจัยอันเป็นสาเหตุแห่งปัญหานั้น ควรใช้การปรึกษาหารือในกลุ่มคนหลายๆ ความคิดมาร่วมกันเพราะการละเว้นหรือมองข้ามปัจจัยบางอย่างไปจะก่อผลเสียภายหลังได้ (อาจทำให้การแก้ปัญหาผิดจุดได้) เลือกคุณลักษณะของปัญหาและปัจจัยสาเหตุในรูปของขนาดหรือปริมาณที่สามารถใส่หน่วยวัดลงไปได้ เพราะในที่สุดแล้วผลสรุปจากผังก้างปลาจะต้องนำไปแก้ไขปรับปรุงตัวแปรต่างๆ ก่อนสรุปปัญหาควรใส่น้ำหนักหรือคะแนนให้กับปัจจัยสาเหตุแต่ละตัวเพื่อจะได้ใช้การจัดลำดับความสำคัญของปัญหา ซึ่งแนวทางเสนอแนะนี้จะนำไปผังแสดงเหตุและผลที่ได้ไปเชื่อมโยงกับ FMEA

- การวิเคราะห์ภาวะความผิดพลาดและการวิเคราะห์ผลกระทบในกระบวนการ (FMEA Process)

อรรถกร (2547: 170) การวิเคราะห์ภาวะความผิดพลาดและการวิเคราะห์ผลกระทบในกระบวนการหรือ FMEA Process เพื่อช่วยเพิ่มความเที่ยงตรง (Reliability) ของกระบวนการเพื่อการผลิตหรือการออกแบบการควบคุมกระบวนการ

1. วัตถุประสงค์ของ FMEA ซึ่ง ธนากร (2543: 22) ได้กล่าวไว้ดังนี้

1) สามารถที่จะพิจารณาและประเมินโอกาสที่จะเกิดภาวะความผิดพลาดของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการและผลกระทบต่างๆ

2) แบ่งแยกกิจกรรมซึ่งสามารถที่จะกำจัดหรือลดโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาด

3) กระบวนการเตรียมเอกสารต่างๆ เพื่อส่งเสริมกิจกรรมดังที่กล่าวมาข้างต้น

2. ประโยชน์ในการประยุกต์ใช้วิเคราะห์ภาวะความผิดพลาดและการวิเคราะห์ผลกระทบ Fox (1993) ได้กล่าวไว้ว่า เมื่อมีการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ภาวะความผิดพลาดและการวิเคราะห์ผลกระทบอย่างเหมาะสม ประโยชน์ของการใช้จะมีดังต่อไปนี้

1) ทำให้มีความรู้เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์มากยิ่งขึ้น เนื่องมาจากวิธีการต่างๆ ของการทำงานของภาวะความผิดพลาดและการวิเคราะห์ผลกระทบจะใช้ผู้เชี่ยวชาญจากหลายหน่วยงาน ดังนั้น ความ

เข้าใจที่ดีขึ้นร่วมกันในการออกแบบและใช้งานจะเป็นสิ่งที่ทำให้การพัฒนาผลิตภัณฑ์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

2) ลดเวลาการทำงานหากภาวะความผิดพลาดและสาเหตุได้ถูกค้นพบก่อนที่จะมีการสร้างชิ้นงานต้นแบบหรือประกอบชิ้นงาน จะสามารถลดเวลาในการทดสอบชิ้นงานที่ได้รับการออกแบบอย่างไม่เหมาะสมไปได้มาก

3) ลดต้นทุนการออกแบบผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่ไม่เหมาะสม มักจะถูกออกแบบใหม่ที่ดีกว่าอยู่บ่อยครั้ง ดังนั้นหากมีการพบความผิดพลาดอย่างรวดเร็วก็จะสามารถลดจุดด้อยได้ก่อน อันจะทำให้มีการสร้างผลิตภัณฑ์ต้นแบบน้อยครั้ง เป็นผลให้ต้นทุนการผลิตลดลง

4) ลดต้นทุนการรับประกันการซ่อม และเรียกกลับมาซ่อมหรือปรับปรุง การปรับปรุงให้การออกแบบและผลิตมีประสิทธิภาพจะสามารถลดปริมาณความเสียหาย ซึ่งเกี่ยวเนื่องโดยตรงกับต้นทุนการรับประกันการซ่อมและเรียกกลับมาซ่อม ซึ่งจะลดต้นทุนโดยรวมของผลิตภัณฑ์ และเป็นการส่งเสริมภาพลักษณ์ของบริษัทให้ดียิ่งขึ้น

5) คุณภาพสูงขึ้น สิ่งที่กล่าวมาข้างต้นทั้งหมดล้วนแต่เป็นองค์ประกอบที่ช่วยให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ดียิ่งขึ้น ซึ่งจะเป็นผลให้ผู้ใช้มีความพึงพอใจมากยิ่งขึ้น

6) สามารถเก็บข้อมูลดียิ่งขึ้น การสร้างและการเก็บข้อมูลที่เหมาะสมของภาวะผิดพลาดและการวิเคราะห์ผลกระทบจะเป็นสิ่งที่ต้องมีการเก็บข้อมูลในการออกแบบผลิตภัณฑ์ไว้ทั้งหมด ซึ่งจะป้องกันความผิดพลาดซึ่งจะเคยเกิดขึ้นในอดีตอันเกิดจากความตั้งใจที่ดี นอกเหนือจากนั้นการเก็บข้อมูลการปรับปรุงและวิเคราะห์ต่างๆ จะช่วยให้การออกแบบขั้นต่อไปในอนาคตมีความสะดวกยิ่งขึ้น

3. ชนิดของวิเคราะห์ภาวะความผิดพลาดและการวิเคราะห์ผลกระทบนั้น ธนากร (2543: 23) ได้กล่าวไว้ว่า เป็นวิธีการวิเคราะห์ปัญหาหรือความล้มเหลวอย่างเป็นระบบมีขั้นตอนสำหรับการค้นหาสาเหตุของความผิดพลาดก่อนที่จะเกิดขึ้นจริง เพื่อเป็นการป้องกันก่อนที่จะเกิดปัญหาร้ายแรงขึ้นมาภายหลังและเป็นการลดความเสี่ยงของการเกิดปัญหา โดยทั่วไปแล้ว FMEA สามารถแบ่งตามวิธีการนำไปใช้งานได้หลายอย่าง คือ

1) System FMEA จะใช้สำหรับการออกแบบหรือปรับปรุงระบบการทำงานในการใช้งานมักจะรวมอยู่ในขั้นตอนของ FMEA ชนิดอื่น ได้แก่ การสร้างแนวความคิดในการออกแบบและกำหนดรายละเอียดของระบบงาน การออกแบบ การพัฒนา การทดสอบ และการประเมินผลระบบ

2) Design FMEA ซึ่งนิยมใช้สำหรับการวิเคราะห์ผลและการแก้ไขงานที่มีการทดลอง หรือปฏิบัติเป็นครั้งแรกมักจะพิจารณาเกี่ยวข้องกับกลุ่มของการรวมส่วนประกอบต่างๆ หรือส่วนย่อยๆ เข้าด้วยกันและส่วนของผลิตภัณฑ์ว่ามีหน้าที่การใช้งานตามที่ออกแบบเหมาะสมแล้วหรือไม่ และส่วนใดจะมีปัญหาจะป้องกันหรือลดระดับความเสี่ยงได้มากน้อยแค่ไหน

3) Process FMEA ซึ่งนิยมใช้สำหรับกระบวนการผลิตมีลักษณะเหมือนกับ Design FMEA แต่จะทำการพิจารณาเกี่ยวกับปัจจัยการผลิตที่สำคัญ คือ พนักงาน เครื่องจักร วัสดุวิธีการ การวัดและสภาพแวดล้อมของการผลิต โดยทั่วไปแล้วเครื่องจักรจะเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดเมื่อจัดทำ Process FMEA

4) Service FMEA เกี่ยวข้องกับการให้บริการเป็นหลัก โดยนิยมให้คนเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดเมื่อจัดทำ Service FMEA

5) Machinery FMEA ซึ่งนิยมใช้สำหรับการวิเคราะห์เครื่องจักรอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่ใช้โดยแบ่งเป็นส่วนประกอบต่างๆ

4. งานเอกสารของ FMEA การวิเคราะห์ปัญหาหรือความล้มเหลวที่เกิดขึ้นโดยวิธีการ FMEA ซึ่งถือว่าเป็นการวางระบบเตือนภัยล่วงหน้าและเป็นเทคนิคการป้องกันปัญหาชนิดหนึ่ง ซึ่งมีส่วนช่วยวิศวกรกระบวนการในการศึกษาสาเหตุและผลกระทบต่างๆ ก่อนที่การออกแบบหรือวิธีการกระบวนการผลิตจะสรุปผลขั้นสุดท้ายทุกเรื่องทุกด้านที่มีการวิเคราะห์ร่วมกันจะถูกบันทึกลงแบบฟอร์มมาตรฐานของ FMEA โดยมักจะเริ่มต้นจากหน้าที่อย่างใดอย่างหนึ่งของกระบวนการผลิตจะถูกนำมาพิจารณาอย่างละเอียดว่ามีชนิดหรือรูปแบบของปัญหาและความล้มเหลวที่อาจเกิดขึ้นหรือเคยเกิดขึ้นมาแล้วมีอะไรบ้าง มีสาเหตุมาจากเรื่องใด และจะมีผลกระทบอย่างไรหลังจากนั้นจะมีการประมาณตัวเลขระดับความเสี่ยงหรือที่เรียกกันว่าค่า RPN ซึ่งมาจาก คำว่า Risk Priority Number ให้กับแต่ละปัญหา

5. การคำนวณค่า RPN มาจากผลคูณค่าพารามิเตอร์ 3 ตัว คือ O×S×D เมื่อ

S = Severity คือ เกณฑ์การให้ลำดับขั้นผลกระทบของความรุนแรง

O = Occurrence คือ การให้ลำดับโอกาสเกิดความผิดพลาด

D = Detection คือ โอกาสที่จะตรวจจับโดยการควบคุมกระบวนการ

ค่า S ,O และ D นิยมใช้เป็นตัวเลขจำนวนเต็มมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 10 ดังนั้นเมื่อค่าระดับความเสี่ยงต่ำสุดของการเกิดปัญหา คือ ค่า RPN = 1 ซึ่งมาจาก 1×1×1 หมายความว่า ความถี่ของการเกิดปัญหานี้มีน้อยมาก และความรุนแรงของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหานี้มีน้อยมากเช่นกัน และสามารถตรวจจับปัญหานี้ได้ก่อนส่งมอบให้แก่ลูกค้าอย่างสมบูรณ์ส่วนค่าระดับความเสี่ยงสูงสุดของการเกิดปัญหา คือ ค่า RPN = 1,000 ซึ่งมาจาก 10×10×10 หมายความว่าความถี่ของการเกิดปัญหานี้มีมาก เช่น พบทุกวันและระดับความรุนแรงของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหานี้ก็มีมาก เช่น กระบวนการผลิตต้องหยุดทั้งหมด หรือลูกค้า ต้องยกเลิกสัญญาสั่งซื้อ เป็นต้น และยังไม่มีวิธีการตรวจจับปัญหานี้ได้ก่อนส่งมอบให้แก่ลูกค้าเลย สำหรับการให้คะแนนค่า S , O และ D ซึ่งประเมินค่าโดยมีการลำดับความสำคัญ ดังตารางที่ 2.1 , 2.2 และ 2.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.1 เกณฑ์การให้ลำดับขั้นผลกระทบของความรุนแรง

เกณฑ์ (ผลกระทบของระดับความรุนแรง)	ลำดับที่
อาจจะทำให้เกิดอันตรายกับเครื่องจักรอื่นหรือกับผู้ปฏิบัติงานอย่างสูง	10
อาจทำให้เกิดอันตรายกับเครื่องจักรอื่นหรือกับผู้ปฏิบัติงาน	9
ทำให้การผลิตหยุดชะงักอย่างมาก และผลิตจำนวน 100% อาจจะต้องกลายเป็นผลิตภัณฑ์เสีย (Scrapped 100%)	8
ทำให้การผลิตหยุดชะงักบ้าง ผลิตภัณฑ์อาจจะต้องมีการนำมาเลือกบางส่วนที่เสียออก (<100% เป็นผลิตภัณฑ์เสีย)	7
ทำให้การผลิตหยุดชะงักบ้าง ผลิตภัณฑ์มีเสีย <100% แต่อาจไม่ต้องนำมาเลือกบางส่วนออก	6
ทำให้การผลิตหยุดชะงักบ้าง ผลิตภัณฑ์จำนวน <100% อาจจะต้องมาผลิตอีกครั้ง (Reworked 100%)	5
ทำให้การผลิตหยุดชะงักบ้าง ผลิตภัณฑ์อาจจะต้องมีการนำมาเลือกบางส่วนที่เสียออก แล้วนำส่วนที่เหลือมาทำอีกครั้ง (Reworked <100%)	4
ทำให้การผลิตหยุดชะงักบ้าง ผลิตภัณฑ์จำนวนน้อยกว่า 100% อาจจะต้องนำมาทำใหม่ในสายการผลิต แต่ภายนอกสถานีการผลิต	3
ทำให้กรผลิตหยุดชะงักบ้าง ผลิตภัณฑ์จำนวนน้อยกว่า 100% อาจจะต้องนำมาทำใหม่ในสายการผลิต และภายในสถานีการผลิต	2
ไม่มีผลกระทบ	1

ตารางที่ 2.2 การให้ลำดับโอกาสเกิดความผิดพลาด

โอกาสในกรเกิดความผิดพลาด (Occurrence Opportunity of Failure)	อัตราความเป็นไปได้ในการเกิดความผิดพลาด (Possible Failure Rate)	ลำดับที่ (Rank)
สูงมาก (ความผิดพลาดเกิดขึ้นเกือบแน่นอน)	มากกว่าหรือเท่ากับ 1 ใน 2	10
	1 ใน 3 ถึง 1 ใน 2	9
สูง (ความผิดพลาดมีบ่อยครั้ง)	1 ใน 8 ถึง 1 ใน 3	8
	1 ใน 20 ถึง 1 ใน 8	7
ปานกลาง (ความผิดพลาดเกิดขึ้นบ้าง)	1 ใน 80 ถึง 1 ใน 20	6
	1 ใน 400 ถึง 1 ใน 80	5
	1 ใน 2,000 ถึง 1 ใน 400	4
ต่ำ (ความผิดพลาดมีเกิดขึ้นน้อยครั้ง)	1 ใน 15,000 ถึง 1 ใน 2000	3
	1 ใน 150,000 ถึง 1 ใน 15,000	2
ต่ำมาก (ความผิดพลาดมีโอกาสกิดได้น้อยมาก)	มากกว่า 1 ใน 1,500,000 ถึง 1 ใน 150,000	1

ตารางที่ 2.3 โอกาสที่จะตรวจจับโดยการควบคุมกระบวนการ

โอกาสการตรวจ (Detection Opportunity)	**โอกาสที่จะตรวจจับโดยการควบคุมกระบวนการ (Opportunity of Detection by Process Control)**	**ลำดับที่ (Rank)**
ไม่สามารถตรวจจับได้อย่างแน่นอน	การควบคุมการออกแบบไม่สามารถตรวจจับโอกาสที่จะเป็นสาเหตุหรือกลไกการเกิดความผิดพลาด (หรือไม่มีการควบคุมการออกแบบเลย)	10
มีโอกาสตรวจจับได้เล็กน้อยที่สุด	การควบคุมการออกแบบมีโอกาสตรวจจับที่จะเป็นสาเหตุหรือกลไกการเกิดความผิดพลาดได้เล็กน้อยที่สุด	9
มีโอกาสตรวจจับได้เล็กน้อยมาก	การควบคุมการออกแบบมีโอกาสตรวจจับโอกาสที่เป็นสาเหตุหรือกลไกการเกิดความผิดพลาดได้เล็กน้อยมาก	8
มีโอกาสตรวจจับได้ต่ำมาก	การควบคุมการออกแบบมีโอกาสตรวจจับโอกาสที่เป็นสาเหตุหรือกลไกการเกิดความผิดพลาดได้ต่ำมาก	7
มีโอกาสตรวจจับได้ต่ำ	การควบคุมการออกแบบมีโอกาสตรวจจับโอกาสที่เป็นสาเหตุหรือกลไกการเกิดความผิดพลาดได้ต่ำ	6
มีโอกาสตรวจจับได้ปานกลาง	การควบคุมการออกแบบมีโอกาสตรวจจับโอกาสที่เป็นสาเหตุหรือกลไกการเกิดความผิดพลาดได้ปานกลาง	5
มีโอกาสตรวจจับได้ค่อนข้างสูง	การควบคุมการออกแบบมีโอกาสตรวจจับโอกาสที่เป็นสาเหตุหรือกลไกการเกิดความผิดพลาดได้ค่อนข้างสูง	4
มีโอกาสตรวจจับได้สูง	การควบคุมการออกแบบมีโอกาสตรวจจับโอกาสที่เป็นสาเหตุหรือกลไกการเกิดความผิดพลาดได้สูง	3
มีโอกาสตรวจจับได้สูงมาก	การควบคุมการออกแบบมีโอกาสตรวจจับโอกาสที่เป็นสาเหตุหรือกลไกการเกิดความผิดพลาดได้สูงมาก	2
มีโอกาสตรวจจับได้ค่อนข้างแน่นอน	การควบคุมการออกแบบมีโอกาสตรวจจับโอกาสที่เป็นสาเหตุหรือกลไกการเกิดความผิดพลาดได้ค่อนข้างแน่นอน	1

2.1.6.3 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase)

ในขั้นตอนนี้จะนำเข้าปัจจัยที่สำคัญของกระบวนการมาทำการวิเคราะห์ผ่านวิธีการทางสถิติเพื่อหาสาเหตุในการที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อน และความสามารถที่แปรเปลี่ยนในกระบวนการและการทดสอบสมมติฐานเพื่อหาทางขจัดปัญหา เพื่อดูว่าปัจจัยต่างๆ เหล่านี้มีผลกระทบต่อกระบวนการอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่เป็นการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา หากปัจจัยใดที่ทดสอบแล้วพบว่ามีนัยสำคัญก็จะนำไปดำเนินการปรับปรุงในขั้นตอนต่อไป

จากการดำเนินงานในขั้นตอนนี้ทำให้เข้าใจในกระบวนการมากขึ้น และมาตรฐานการทำงานต่างๆ จะถูกทบทวนและปรับปรุงใหม่ ตัวแปรต่างๆ จะถูกกำหนดและศึกษาและทำให้ทราบว่าปัจจัยใดมีผลต่อปัญหาจริง และนำปัจจัยเหล่านี้ไปทำการปรับปรุงอย่างเหมาะสม ด้วยเหตุนี้การตั้งสมมติฐานในการตรวจสอบ (Hypothesis Testing) จึงเป็นเครื่องมือหนึ่งที่จะช่วยวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

การตั้งสมมติฐานในการตรวจสอบจะตั้งสมมติฐานใน 2 ทางเลือก คือ

Ho : ระดับของปัจจัยไม่มีผลต่อกระบวนการผลิต

H1 : ระดับของปัจจัยมีผลต่อกระบวนการผลิต

ทั้งนี้ภายใต้ความเสี่ยง 2 ตัวคือ α และ β โดยที่ α คือ ความเสี่ยงในการที่จะไม่ยอมรับสมมุติฐานหลัก (Null Hypothesis) ทั้งที่สมมติฐานหลักเป็นจริง หมายถึง ความเสี่ยงในการยอมรับสมมติฐานหลักทั้งที่สมมติฐานหลักไม่เป็นจริงจากความเสี่ยงของทั้ง 2 แบบนี้เอง จึงต้องมีการกำหนดจำนวนซ้ำที่ใช้ในการทดลองเพื่อให้มีความเชื่อมั่น หรือมีความเสี่ยงตามที่กำหนดไว้ และในการทำการวิเคราะห์ก็มักจะให้ค่าของ α คงที่ และให้ค่า β น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ ในทางปฏิบัติเมื่อตั้งสมมุติฐานได้แล้วจะทำการออกแบบการทดลองตามความเหมาะสมโดยอาศัยหลักการของ Design of Experiment (DOE) ซึ่งจะกล่าวในขั้นตอนต่อไป

2.1.6.4 การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase)

ในขั้นตอนนี้ถือเป็นการพัฒนาหรือการปรับปรุงสมรรถนะและประสิทธิภาพของกระบวนการ เป็นการแสวงหาและพัฒนาวิธีที่จะมาขจัดปัญหา รวมถึงการสร้างระเบียบและแผนผังของการจัดการเพื่อลดปัญหา เป็นการออกแบบและทำการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ที่แท้จริงระหว่าง KPOVs กับปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อ KPOV นั้นๆ และหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัยที่จะทำให้ระดับ KPOVs ที่ดีที่สุด จากนั้นจะดำเนินการวิเคราะห์ระบบการวัดของแต่ละปัจจัย เพื่อทำให้การดำเนินการควบคุมในขั้นตอนต่อไปเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ สิ่งสำคัญที่จะได้รับจากการดำเนินงานขั้นตอนนี้ คือ แนวทางการปรับปรุงกระบวนการที่ดีที่สุดกระบวนการที่ได้รับการปรับปรุงจนเหมาะสม และปัจจัยสำหรับการดำเนินการควบคุม

สำหรับขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการนั้น จะอาศัยเครื่องมือการออกแบบการทดลอง (Design of Experiments) เพื่อวิเคราะห์ว่าปัจจัยใดที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์หรือไม่ต้องทำการเปลี่ยนแปลง ระดับของปัจจัยอย่างน้อย 2 ระดับ แล้วจะทำการทดลองจากนั้นจึงวิเคราะห์ผลการทดลอง

- วัตถุประสงค์ของการออกแบบการทดลอง มีดังนี้

1) เพื่อยืนยันข้อเท็จจริง (Confirmation) คือ การพิสูจน์ข้อเท็จจริง หรือความเชื่อจากประสบการณ์ หรือทฤษฎีบางอย่างที่อธิบายเกี่ยวกับกระบวนการผลิต

2) เพื่อค้นหาข้อเท็จจริง (Exploration) คือ การศึกษาถึงอิทธิพลของเงื่อนไขใหม่ที่มีผลต่อกระบวนการ

- คำจำกัดความ (Definition) ประกอบด้วย 4 คำดังนี้

1) อิทธิพลหรือผล (Effect) คือ ผลของตัวแปรต้นที่มีต่อตัวแปรตาม

2) ปัจจัย (Factor) คือ สิ่งที่คิดว่ามีอิทธิพลต่อผลการทดลองของคุณสมบัติในตัวผลิตภัณฑ์

3) ระดับของปัจจัย (Level of Factor) คือ สภาวะต่างๆ ของปัจจัยหนึ่งๆ ที่ทำการกำหนดในการทดลอง

4) ปัจจัยรบกวน (Noise Factor) คือ ปัจจัยที่ก่อให้เกิดผลกระทบเล็กๆ น้อย และไม่สามารถควบคุมได้

- หลักในการออกแบบการทดลอง สามารถแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะดังนี้

1) การทำแบบสุ่ม (Randomization) คือ การให้โอกาสในการเก็บข้อมูลของข้อมูลแต่ละตัวเท่าๆ กัน เพื่อกระจายผลของปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ให้กับทุกระดับที่ศึกษาให้เท่าๆ กัน การทำแบบสุ่มยังสามารถแบ่งออกได้อีกเป็น 3 วิธี คือ แบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomization) แบบสุ่มอย่างง่าย (Simple Randomization) และแบบสุ่มแบบสมบูรณ์ภายในบล็อก (Complete Randomization within Blocks)

2) การทำซ้ำ (Replication) คือ การทำการทดลองซ้ำในแต่ละข้อมูลเพื่อกำจัดเอาผลของปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ออก

3) การบล็อก (Blocking) คือ การจัดกลุ่มทำการเก็บข้อมูลเป็นช่วงเพื่อลดผลจากปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ แต่ไม่จำเป็นที่จะต้องมีการทำเสมอไป อะไรบ้างในการผลิต ซึ่งการนิยามปัญหานี้จะเกี่ยวโยงไปถึงวัตถุประสงค์ของการทดลองการเลือก

- ขั้นตอนการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง ประกอบด้วยการนิยามปัญหา การเลือกตัวแปรตอบสนอง และการเลือกแบบทดลอง โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. สำหรับขั้นตอนนี้จะเป็นการนิยามปัญหา โดยการระบุว่าความต้องการในการผลิตคืออะไร และต้องการรู้อะไรบ้างในการผลิต ซึ่งการนิยามปัญหานี้จะเกี่ยวโยงไปถึงวัตถุประสงค์ของการทดลองการเลือกปัจจัยที่มีผลและระดับปัจจัยเป็นการใช้หลักการทางทฤษฎีและประสบการณ์ที่เคยปฏิบัติมาในการผลิต เพื่อระบุว่ามีปัจจัยใดบ้างที่น่าจะมีผลต่อการทดลอง และในแต่ละปัจจัยนั้นควรจะมีช่วงในการทดลองเป็นอย่างไร เพื่อระบุระดับของปัจจัยในการทดลองสุดท้าย คือ การระบุ

ว่าระดับที่ใช้เป็นแบบกำหนด (Fixed Levels) แบบสุ่ม (Random Levels) หรือแบบผสม (Mixed Levels) ซึ่งสามารถกล่าวโดยสังเขปได้ ดังต่อไปนี้

1) แบบกำหนด (Fixed Levels) หมายถึง ระดับของปัจจัยที่สามารถควบคุมหรือกำหนดค่าได้แน่นอน

2) แบบสุ่ม (Random Levels) หมายถึง ระดับของปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมหรือกำหนดค่าของปัจจัยได้แน่นอน

3) แบบผสม (Mixed Levels) หมายถึง การผสมผสานระดับของปัจจัยที่เป็นทั้งแบบกำหนดได้และแบบสุ่ม

2. การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Response Variables) ผู้ทำการทดลองจะต้องเลือกตัวแปรที่สามารถให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการศึกษาและการวัดค่านั้นจะต้องแม่นยำ รวมทั้งความถูกต้องของเครื่องวัดด้วย

3. การเลือกแบบทดลองจะต้องพิจารณาถึงจำนวนข้อมูลที่ทำซ้ำในการทดลองความเหมาะสมข้อจำกัดในการสุ่ม (Randomization) และการบล็อก (Blocking) ที่เกี่ยวข้องทั้งนี้ต้องนำมาเกี่ยวโยงกันในด้านความเสี่ยง และต้นทุนที่ใช้ในการทดลองสำหรับการเลือกปัจจัย

ในขณะทำการทดลองจะต้องปฏิบัติตามหลักการที่ได้ทำออกแบบไว้ นั่นคือต้องมีการสุ่ม การทำซ้ำ ข้อควรระวังในขณะทำการทดลอง คือ ความถูกต้องของเครื่องมือวัดและความสม่ำเสมอในการทดลอง เพื่อให้ความผิดพลาด (Error) ที่ออกมามีน้อยที่สุดการวิเคราะห์ข้อมูลในการวิเคราะห์ข้อมูลจะใช้ความรู้ทางด้านสถิติเข้ามาวิเคราะห์และสรุปผลรวมทั้งตัดสินความถูกต้องของข้อมูลที่เกิดขึ้น ก่อนที่จะตีความข้อมูลวิธีทางสถิติไม่อาจบอกได้ว่าปัจจัยใดมีผล (Effect) เท่าใดได้แน่นอน แต่เป็นเพียงเครื่องมือที่ให้แนวทางในการวิเคราะห์ภายใต้ความเชื่อมั่นเป็นเปอร์เซ็นต์ในการสรุปผล และข้อเสนอแนะเมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลแล้วจะต้องสรุปผลของการวิเคราะห์ ซึ่งอาจแสดงในรูปกราฟ ตาราง แผนภูมิ ฯลฯ

- การเลือกแบบการทดลอง โดยประกอบด้วยแผนการทดลอง 2 รูปแบบ ดังนี้

1. แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomize Design) ซึ่งใช้กับการทดลองปัจจัยเดี่ยว (Single Factor Experiment) เป็นปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้มีขนาดไม่โตนักและไม่มีปัจจัยรบกวนการทดลอง ซึ่งจะทำโดยยึดหลักการทำแบบสุ่ม (Randomization) และการทำซ้ำ (Replication) โดยมีขั้นตอนในการทำการทดลอง ดังต่อไปนี้

1) การกำหนดตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) และปัจจัยที่สามารถทำการควบคุมได้ (Controllable Factor) ที่สนใจ

2) ทำการทดลองโดยสุ่มแบบสมบูรณ์ (Complete Random) ในการวัดค่า

3) วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

2. แผนการทดลองแบบบล็อกสุ่ม (Randomize Block Design) นั้นจะใช้กับการทดลองปัจจัยเดียว และมีปัจจัยรบกวน (Noise Factor) หลักการของแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มคือ ต้องทำการสุ่มทุกครั้งและจะต้องทำซ้ำทุกการทดลองต้องทำการบล็อก (Blocking) สามารถลดปัจจัยรบกวนการบล็อก (Blocking) โดยอาจจะทำมากกว่า 1 บล็อก ก็ได้ซึ่งขึ้นกับจำนวนของปัจจัยรบกวน โดยมีขั้นตอนในการทำการทดลองดังนี้

1) ออกแบบและวางแผนการทดลอง

2) เก็บข้อมูล

3) การวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA Table) ซึ่งจะต้องมีผลของบล็อก (Block Effect) ด้วย

4) แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Design) จะใช้กับการทดลองที่มีปัจจัยตั้งแต่ 2 ปัจจัย ซึ่งเป็นการทดลองที่มีหลายปัจจัย (Multiple Factor Experiment) และเนื่องจากปัจจัย (Factor) มีมากกว่า 1 ปัจจัย ดังนั้น นอกจากการเกิดอิทธิพลของปัจจัยหลัก (Main-Effect) ที่สนใจแล้วยังอาจเกิดอิทธิพลของปัจจัยร่วม (Interaction Effect) ได้ด้วยอิทธิพลของปัจจัยร่วม (Interaction Effect) คือ ผลที่เกิดขึ้นจากการที่ปัจจัยหนึ่งเปลี่ยนแปลงไปแล้วมีผลทำให้อิทธิพล (Effect) ของอีกปัจจัยหนึ่งเปลี่ยนแปลงด้วย

- แนวทางการวิเคราะห์ผลการทดลอง

สำหรับการวิเคราะห์ผลการทดลองนี้จะใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเป็นเครื่องมือในการช่วยคำนวนซึ่งทำให้ได้ค่าของ P Values (Probability Values) ที่สัมพันธ์โดยตรงกับ α อันจะหมายถึงโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดหากทำการปฏิเสธสมมุติฐานหลัก ซึ่งเมื่อเราให้ค่า α=0.05 จะหมายถึงว่าเรายอมรับความผิดพลาดแบบที่ 1 เท่ากับ 0.05 หรือมีโอกาสผิดพลาดได้หนึ่งใน 20 ของการตัดสินใจทั้งหมด ดังนั้นในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อพิสูจน์สมมุติฐานนั้น หากพบว่าค่า P Values มีค่ามากกว่า 0.05 หมายถึงโอกาสที่การปฏิเสธสมมุติฐานหลักแล้วกระทำความผิดพลาดแบบที่ 1 ได้มากกว่า 0.05 ซึ่งก็ไม่สามารถที่จะปฏิเสธสมมุติฐานหลักและต้องยอมรับสมมุติฐานหลักนั้น แต่หากค่า P Values มีค่าน้อยกว่า 0.05 จะทำการปฏิเสธสมมุติฐานหลักแล้วทำการยอมรับสมมุติฐานอื่นๆ แทน

2.1.6.5 การควบคุมตัวแปรต่างๆ (Control Phase)

หลังจากการปรับปรุงกระบวนการแล้ว จะต้องควบคุมปัจจัยต่างๆ ให้อยู่ภายใต้ขอบเขตการควบคุม และป้องกันข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต ถ้าหากกระบวนการยังไม่ได้ตามเป้าหมายที่กำหนด ก็จะต้องย้อนกลับไปทำตามขั้นตอนก่อนหน้านี้อีกครั้ง นอกจากนี้แล้วจะต้องมีการประเมินผลการดำเนินงานโดยวัดจากระดับคุณรูปที่เปลี่ยนไป และประเมินความสามารถในการ ลดต้นทุน หรือความพึงพอใจของลูกค้าที่เปลี่ยนไปหลังจากการปรับปรุงกระบวนการ สิ่งสำคัญที่ได้รับจากขั้นตอนนี้ คือ แผนการควบคุมกระบวนการ หลักฐานการปรับปรุงกระบวนการ บทสรุปการดำเนินงาน และกระบวนการที่ดีขึ้น ทั้งนี้อาจใช้แผนภูมิควบคุมเป็นเทคนิคในการควบคุมตัวแปรต่างๆ

แผนภูมิควบคุม คือ แผนภูมิหรือกราฟที่จัดทำขึ้นล่วงหน้า โดยอาศัยข้อมูลจากขอบเขตที่กำหนด (Specification) สามารถระบุคุณสมบัติทางคุณภาพข้อใดข้อหนึ่งของชิ้นงานที่ดำเนินการผลิตและต้องการจะควบคุม เพื่อใช้เป็นแนวทางในการติดตามผลการผลิตจากกระบวนการผลิตขั้นตอนใดตอนหนึ่ง โดยการตรวจวัดคุณภาพของชิ้นงาน จากนั้นเขียนบันทึกลงในแผนภูมินั้นๆ ซึ่งโดยปกติจะมีเส้นควบคุม 3 เส้น ได้แก่ เส้นขอบเขตกลาง คือ เส้นที่แสดงขนาดหรือจำนวนที่เป็นข้อกำหนดหรือเป้าหมายในการผลิต เส้นขอบเขตควบคุมบน และเส้นขอบเขตควบคุมล่างเป็นค่าที่อนุญาตให้มีความคลาดเคลื่อนในการผลิตเกิดขึ้นได้ และหากอยู่ในขอบเขตนี้ก็ถือว่าผลการผลิตยอมรับได้ แต่ถ้าค่าที่ได้อยู่นอกเหนือขอบเขตควบคุม ถือว่าการผลิตผลิตในขณะนั้นยอมรับไม่ได้ จะต้องมีการปรับปรุงแก้ไขจุดบกพร่องโดยทันที

- วัตถุประสงค์การใช้เทคนิคของแผนภูมิควบคุม คือ

1. เพื่อหาเป้าหมายหรือมาตรฐานของการผลิต
2. เพื่อใช้เป็นเครื่องมือตรวจสอบว่าการผลิตอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานหรือไม่
3. เพื่อใช้เป็นเครื่องมือเพื่อให้ได้เป้าหมายที่วางแผนล่วงหน้าไว้แล้ว

โดยธรรมชาติของกระบวนการผลิตย่อมมีความผันแปร (Variation) ที่จะเกิดขึ้นกับชิ้นงานหรือผลผลิต โดยความผันแปรบางชนิดเป็นเรื่องปกติและอนุญาติหรือยอมให้เกิดขึ้นได้ในการผลิตโดยไม่ก่อความเสียหายต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ แต่ความผันแปรบางชนิดมีผลกระทบมากและมีผลเสียหายต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เพราะทำให้ขนาดของชิ้นงานหรือคุณสมบัติบางประการผิดไปจากมาตรฐานที่กำหนด ดังนั้นการเข้าใจในสาเหตุแห่งความผันแปรจึงเป็นสิ่งสำคัญ

- สาเหตุของความผันแปร แบ่งออกเป็นสาเหตุที่เป็นปกติวิสัย และ สาเหตุที่ระบุได้ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. สาเหตุที่เป็นปกติวิสัย หรือเป็นธรรมชาติของการผลิต (Chance Cause) เป็นลักษณะสาเหตุของความผันแปรที่ไม่มีความรุนแรง และไม่มีผลต่อคุณภาพของสินค้าที่ผลิตได้เกิดจากความผันแปรหรือความแตกต่างเล็กน้อยของวัตถุดิบและปัจจัยการผลิตต่างๆ ด้วยเหตุนี้ความผันแปรในคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากสาเหตุที่เป็นปกติวิสัยของการผลิตจึงเป็นสิ่งที่ยอมรับได้ในการควบคุมคุณภาพด้วยแผนภูมินี้ นั่นคือ กระบวนการผลิตที่เขียนแสดงด้วยแผนภูมิควบคุมแล้วไม่มีจุดใดจุดหนึ่งอยู่นอกเส้นขอบเขตควบคุม (The Process is in Control)

2. สาเหตุที่ระบุได้หรือสาเหตุที่กำจัดได้ (Assignable Cause) เป็นลักษณะสาเหตุของความผันแปรที่เกิดจากความผิดพลาด ความผิดปกติ ความไม่ได้เกณฑ์ ฯลฯ ของปัจจัยการผลิตต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์และไม่ใช่เป็นปกติวิสัยหรือธรรมชาติของการผลิตนั้นๆ ซึ่งจำเป็นจะต้องได้รับการกำจัดหรือแก้ไขจึงจะทำให้คุณภาพของงานผลิตกลับเข้าสู่สภาวะปกติอีกครั้งได้

ในแผนภูมิควบคุมเมื่อมีจุดใดจุดหนึ่ง ซึ่งได้จากการเก็บข้อมูล และวัดค่าชิ้นงานตัวอย่างจากการผลิต ปรากฏอยู่นอกเส้นขอบเขตควบคุม นั่นแสดงได้ว่ามีสาเหตุที่ระบุได้เกิดขึ้นมาในกระบวนผลิตนั้นแล้ว และเรียกสภาวะการผลิตนั้นว่ากระบวนการผลิตอยู่นอกควบคุม (The Process is Out of Control)

การนำแผนภูมิควบคุมมาใช้งาน จำเป็นต้องเข้าใจถึงลักษณะของเส้นควบคุมข้อกำหนด (Specification Limit) โดยเส้นควบคุมดังกล่าว หมายถึง ค่าขอบเขตข้อกำหนดของสินค้าหรือชิ้นงานที่โรงงานหรือรัฐบาลเป็นผู้กำหนดขึ้น ทั้งนี้เส้นควบคุมข้อกำหนดขึ้นอยู่กับดุลพินิจของผู้ออกแบบว่าต้องการเสี่ยงหรือความปลอดภัย (Safety Factor) ไว้ที่ระดับเท่าใด

เส้นควบคุมขีดความสามารถ (Process Capability Limit) หมายถึง ค่าขอบเขตจริงของความสามารถกระบวนการโดยทั่วไปคำนวณจากค่าพารามิเตอร์ของประชากรหรือคำนวณจากกลุ่มตัวอย่างที่จำนวนมาก เส้นควบคุมขีดความสามารถมีขนาดความกว้างเท่ากับค่าห่างจากค่าเฉลี่ยของประชากร $\pm 3\sigma$ และกำหนดเส้นขอบเขตควบคุมสำหรับเป็นสัญญาณเตือนว่าการผลิตเริ่มออกจากการควบคุม หรือยังกำหนดในช่วงค่าเฉลี่ย $\pm 2\sigma$

การใช้งานแผนภูมิควบคุมการใช้แผนภูมิควบคุมในกระบวนการผลิตควรมีเทคนิคต่อไปนี้ เลือกบริเวณที่จะควบคุมก่อนอื่นก็คือปัญหาอะไรที่จะต้องทำและเรามีจุดมุ่งหมายอะไรจากการตัดสินใจในปัญหาทำให้ทราบทันทีอย่างชัดแจ้งว่าต้องการข้อมูลอะไรพิจารณาการใช้แผนภูมิควบคุมแบบไหนอาจจะเป็นแผนภูมิ แบบ $\overline{X}$ -R, x, pn, p, c หรือ u Chart ก็ได้ขึ้นอยู่กับโรงงานและผลิตภัณฑ์แต่ละแห่งทำแผนภูมิควบคุม

สำหรับการวิเคราะห์เก็บข้อมูลในช่วงเวลาที่เหมาะสมแล้วใช้ข้อมูลที่ผ่านมาทำแผนภูมิถ้ามีจุดใดๆ ผิดปกติต้องทำการค้นหาเหตุผลที่ทำให้คุณภาพเปลี่ยนไปทันที แล้วทำการแก้ไขโดยการสร้างแผนภูมิควบคุมสำหรับการควบคุมในโรงงาน หากว่าต้นเหตุที่ทำให้คุณภาพเปลี่ยนได้ขจัดหมดสิ้นแล้ และกระบวนการผลิตก็คงที่ ให้พิจารณาดูอีกครั้งว่าผลิตภัณฑ์ได้มาตรฐานตามที่กำหนดไว้หรือไม่หลังจากนั้นถ้าทุกอย่างเรียบร้อยก็ให้สรุปผลทั้งหมด เพื่อทำมาตรฐานวิธีการทำงาน (Standardize Working Procedure)

- ขั้นตอนในการประยุกต์ใช้แผนควบคุม ประกอบด้วย 9 ขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดคุณลักษณะทางคุณภาพที่ต้องการควบคุม เพื่อต้องการทราบชนิดของข้อมูล

2. เลือกแผนภูมิควบคุมที่มีความเหมาะสมกับคุณลักษณะนั้นๆ ทำเมื่อทราบถึงชนิดแผนภูมิควบคุมแล้ว

3. กำหนดแผนการสุ่มหรือจากข้อกำหนดของแผนควบคุม และคำนวนจำนวนตัวอย่างหรือขนาดตัวอย่าง และความถี่ในการตรวจ/วัด

4. เก็บรวบรวมข้อมูลแล้วกำหนดจุดลงบนแผนภูมิควบคุม

5. คำนวณขอบเขตควบคุม (Control Limits) ตามสูตรที่ได้แจงไว้ดังตารางที่ 2.4 และค่าคงที่ที่ได้ ดังตารางที่ 2.5

6. ลากเส้นขอบเขตควบคุมบนแผนภูมิควบคุมเพื่อดูว่ามีจุดใดที่อยู่นอกขอบเขตควบคุมบ้างให้ทำการสืบสวนหาสาเหตุและปฏิบัติการแก้ไขในบางกรณีอาจคำนวณขอบเขตควบคุมใหม่

7. นำขอบเขตควบคุมที่ได้ไปกำหนดคุณภาพต่อไปจนกว่าจะได้มีการเสนอเปลี่ยนแปลงโดยวิศวกรคุณภาพหรือวิศวกรกระบวนการ

8. แปลความหมายของจุดที่กำหนดใหม่ทุกครั้งตามวิธีการทดสอบความผิดปกติ 6 ข้อ

9. ทำการปรับปรุงความสามารถของกระบวนการอย่างต่อเนื่อง โดยในการปรับปรุงแผนภูมิควบคุมที่ส่อความผิดปกติจะถูกตัดออกแล้วนำจุดที่เหลือไปคำนวณขีดจำกัดควบคุมและสร้างแผนภูมิควบคุมใหม่ ซึ่งโดยทั่วไปจะได้แผนภูมิควบคุมที่แคบลงแผนภูมิควบคุมที่ปรับปรุงแล้วนี้อาจนำไปใช้ เพื่อควบคุมกระบวนการผลิตในอนาคตได้

ตารางที่ 2.4 สูตรในการคำนวณขอบเขตควบคุม

แผนภูมิควบคุม		CL	ขอบเขตควบคุม		สิ่งที่ต้องควบคุม
			UCL	LCL	
$\bar{X}$-R	$\bar{X}$ Chart	$\bar{\bar{X}}$	$\bar{\bar{X}}+A_2\bar{R}$	$\bar{\bar{X}}-A_2\bar{R}$	$\bar{X}$ (ค่าเฉลี่ย)
	R Chart	$\bar{R}$	$D_4\bar{R}$	$D_3\bar{R}$	$\bar{R}$ (พิสัย)
$\bar{X}$-s	$\bar{X}$ Chart	$\bar{\bar{X}}$	$\bar{\bar{X}}+A_3\bar{R}$	$\bar{\bar{X}}-A_3\bar{R}$	$\bar{X}$ (ค่าเฉลี่ย)
	s Chart	$\bar{s}$	$D_4\bar{R}$	$D_3\bar{R}$	$\bar{s}$ (ค่าเบนเบี่ยนมาตรฐาน)
X-MR	X Chart	$\bar{X}$	$\bar{X}+2.66\overline{MR}$	$\bar{X}-2.66\overline{MR}$	X (ค่าใดๆ)
	MR Chart	$\overline{MR}$	$D_4\bar{R}$	$D_3\bar{R}$	MR (การเคลื่อนไหวของพิสัย)
$\bar{M}$-R	$\bar{M}$ Chart	$\bar{\bar{M}}$	$\bar{\bar{M}}+A_4\bar{R}$	$\bar{\bar{M}}-A_4\bar{R}$	$\bar{M}$ (ต่ามัธยฐาน)
	R Chart	R	$D_4\bar{R}$	$D_3\bar{R}$	R (พิสัย)
P	p Chart	$\bar{p}$	$\bar{p}+3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{\bar{n}}}$	$\bar{p}-3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{\bar{n}}}$	p (สัดส่วนของเสีย)
Np	np Chart	$\overline{np}$	$np+3\sqrt{np(1-\frac{\overline{np}}{n})}$	$np-3\sqrt{np(1-\frac{\overline{np}}{n})}$	Np (จำนวนของเสีย)
C	c Chart	$\bar{c}$	$\bar{c}+3\sqrt{\bar{c}}$	$\bar{c}-3\sqrt{\bar{c}}$	c (จำนวนตำหนิ)
U	u Chart	$\bar{u}$	$\bar{u}+3\sqrt{\bar{u}}$	$\bar{u}-3\sqrt{\bar{u}}$	n (จำนวนตำหนิต่อชิ้นงาน)

ตารางที่ 2.5 ค่าคงที่สำหรับการคำนวณขอบเขตควบคุม

จำนวนตัวอย่างหรือจำนวนค่าที่วัดได้ในแต่ละครั้ง (n)	A_2	D_2	A_4	D_3	D_4	A_3	B_3	B_4
2	1.880	1.128	1.880	0	3.67	2.659	0	3.267
3	1.023	1.693	1.187	0	2.574	1.954	0	2.568
4	0.729	2.056	0.796	0	2.282	1.628	0	2.266
5	0.577	2.326	0.691	0	2.114	1.427	0	2.089
6	0.483	2.534	0.549	0	2.004	1.287	0.030	1.970
7	0.419	2.704	0.509	0.076	1.924	1.182	0.118	1.882
8	0.373	2.847	0.434	0.136	1.864	1.099	0.185	1.815

ตารางที่ 2.5 ค่าคงที่สำหรับการคำนวณขอบเขตควบคุม (ต่อ)

จำนวนตัวอย่างหรือจำนวนค่าที่วัดได้ในแต่ละครั้ง (n)	A_2	D_2	A_4	D_3	D_4	A_3	B_3	B_4
9	0.337	2.970	0.412	0.184	1.816	1.032	0.239	1.761
10	0.308	3.078	0.365	0.223	1.777	0.975	0.284	1.716
11	0.285	3.173	0.350	0.256	1.744	0.927	0.321	1.676
12	0.266	3.258	0.317	0.283	1.717	0.886	0.354	1.646
13	0.249	3.336	0.306	0.307	1.693	0.850	0.382	1.618
14	0.235	3.407	0.282	0.328	1.672	0.817	0.406	1.594
15	0.223	3.472	0.274	0.347	1.653	0.789	0.428	1.572

- แนวทางในการกำหนดจำนวนตัวอย่าง ประกอบด้วย

1. ถ้าจำนวนตัวอย่างที่มากจะทำให้ขีดจำกัดควบคุมบนและขีดจำกัดควบคุมล่างอยู่ใกล้เส้นกึ่งกลาง ทำให้แผนควบคุมแคบจึงสามารถบอกเหตุการณ์เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงไปของกระบวนการผลิตได้ดีกว่า

2. จำนวนตัวอย่างมากทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการตรวจสอบสูง

3. ถ้าการทดสอบตัวอย่างเป็นการทดสอบที่ทำให้ชิ้นงานถูกทำลายไปจำนวนตัวอย่างไม่ควรใช้มากการรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้สร้างแผนภูมิควบคุมจะใช้ตารางบันทึกผลแตกต่างกันไปตามแต่ประเภทของแผนภูมิ

4. การคำนวณขีดจำกัดควบคุมและสร้างแผนภูมิควบคุมข้อมูลจากตัวอย่างที่เก็บไว้นั้นจะถูกนำไปใช้คำนวณขีดจำกัดควบคุมเพื่อสร้างแผนภูมิควบคุมต่อไปขีดจำกัดควบคุมประกอบด้วยขีดจำกัดควบคุมบน (UCL) เส้นกึ่งกลาง (CL) และขีดจำกัดควบคุมล่าง (LCL)

5. เขียนจุดและวิเคราะห์แผนภูมิควบคุม เมื่อได้แผนภูมิควบคุมแล้วเขียนจุดของตัวอย่างลงในแผนภูมิควบคุมจะได้จุดแสดงสภาพการผลิตว่าอยู่ในการควบคุมหรือไม่และสมควรหยุดกระบวนการผลิต เพื่อปรับตั้งกระบวนการผลิตใหม่หรือยัง

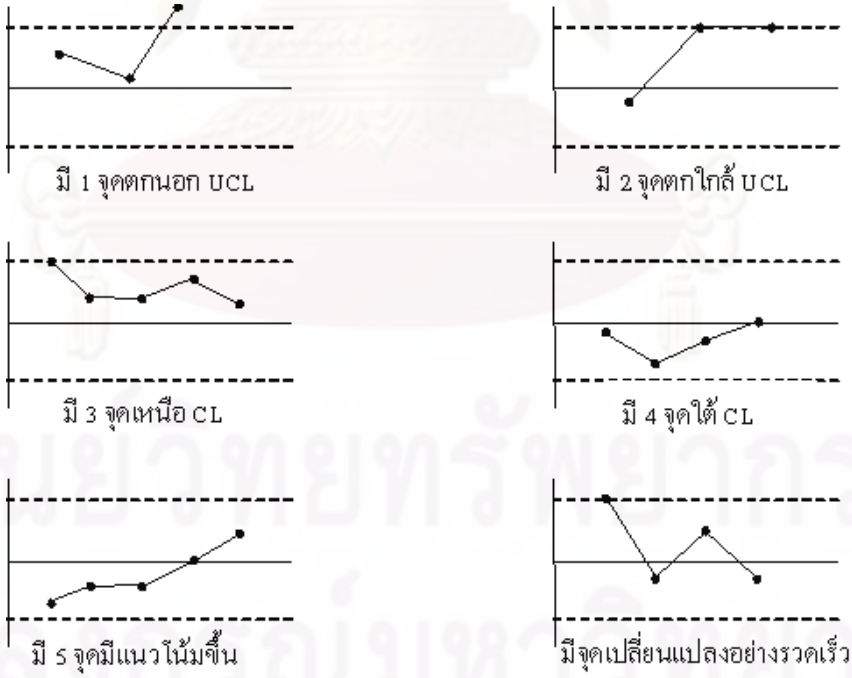
6. ปรับปรุงแผนภูมิควบคุม จุดที่เขียนแสดงในแผนภูมิที่ส่อความผิดปกติจะถูกตัดออกแล้วนำจุดที่เหลือไปคำนวณขีดจำกัดควบคุมและสร้างแผนภูมิควบคุมใหม่ซึ่งโดยทั่วไปจะได้แผนภูมิควบคุมที่แคบลงซึ่งอาจนำไปใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิตในอนาคต หรือนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นเช่นนำไปใช้คำนวณสมรรถภาพกระบวนการ

7. แผนควบคุมจะนำไปใช้ เพื่อการพัฒนาคุณภาพสินค้าเป้าหมายสำคัญของการใช้แผนภูมิควบคุม เพื่อให้ผู้ผลิตสามารถปรับปรุงและพัฒนาคุณภาพของสินค้าอย่างต่อเนื่องตลอดไป

การควบคุมคุณภาพ คือ การควบคุมให้ลักษณะคุณภาพมีค่าเฉลี่ยและการกระจายตามที่กำหนดค่าที่กำหนดนี้จะเรียกว่าขีดจำกัดข้อกำหนด (Specification Limit) โดยขีดจำกัดข้อกำหนดนี้ประกอบด้วย ขีดจำกัดข้อกำหนดบน (Upper Specification Limit) หรือที่เขียนย่อว่า USL และขีดจำกัดข้อกำหนดล่าง (Lower Specification Limit) หรือที่เขียนย่อว่า LSL ลักษณะคุณภาพบางชนิดอาจกำหนดเฉพาะขีดจำกัดข้อกำหนดล่างเพียงอย่างเดียว เช่น ความสามารถในการทนแรงดึงของเหล็กเส้น เป็นต้น ทั้งนี้ควรให้ความสำคัญกับลักษณะของจุดต่างๆ ดังนี้

1) มี 1 จุดตกนอก ULC และ LCL
2) มี 2 จุดติดต่อกันเกาะอยู่ใกล้ขีดจำกัดควบคุมบนหรือขีดจำกัดควบคุมล่าง
3) มี 5 จุดติดต่อกันที่อยู่ด้านใดด้านหนึ่งของเส้นกึ่งกลาง
4) มี 5 จุดติดต่อกันที่แสดงแนวโน้มขึ้นหรือลงตลอด
5) มีจุดที่เปลี่ยนระดับอย่างรวดเร็ว
6) มีจุดที่แสดงวัฏจักร

โดยสามารถสรุปรูปแบบการแสดงลักษณะของจุดต่างๆ ที่ควรให้ความสำคัญ เพื่อใช้พิจารณาการควบคุมคุณภาพได้ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การกระจายของจุดบนแผนภูมิควบคุมแสดงความผิดปกติในกระบวนการผลิต

- วิธีการอ่านแผนภูมิควบคุม

สิ่งที่สำคัญที่สุดของการควบคุมคุณภาพโดยใช้แผนภูมิ คือ การอ่านหรือตีความหมายจากภาพที่ปรากฏบนแผนภูมิเพื่อโยงเหตุผลไปที่สภาวะของกระบวนการผลิต และเมื่อเราตรวจพบความผิดปกติของกระบวนการผลิตโดยอ่านจากแผนภูมิควบคุมนี้แล้วเราจะได้ไปทำการแก้ไขที่สาเหตุของความผันแปรใดๆ ในกระบวนการผลิตนั้น เพื่อปรับสภาวะการผลิตให้กลับสู่สภาวะที่อยู่ในควบคุม (In-Controlled) ได้ต่อไป

ข้อแนะนำเกี่ยวกับ 5 ลักษณะอาการสำคัญ เพื่อการอ่านแผนภูมิควบคุมอยู่นอกควบคุมพบได้ชัดเจน คือ มีจุดในแผนภูมิปรากฏอยู่นอกเส้นขอบเขตควบคุม เรียกว่า จุดอยู่นอกควบคุม (Out of Control) โดยอาจอยู่นอกค่าสูงหรือค่าต่ำก็ได้ โดยมีลักษณะอาการดังนี้

1. การรัน (Run) เมื่อปรากฏในขั้นตอนการวัดเพื่อระบุสาเหตุของปัญหา (Measure Phase) ติดต่อกันบนซีกใดซีกหนึ่งของเส้นค่ากลางเราเรียกว่า “เกิดรัน” ความยาวของรันแต่ละชุดนับจากจำนวนจุดในชุดนั้นและรันที่มีความยาวตั้งแต่ 7 จุดขึ้นไปเราตีความได้ว่าได้เกิดความผิดปกติขึ้นแล้วในการผลิตช่วงที่เกิดรันนั้น

2. การเกิดแนวโน้ม คือ การที่มีจุดต่อเนื่องกันไปในทิศทางเดียวกันอย่างต่อเนื่องโดยไม่มีการสลับฟันปลาเลยมีผลทำให้เส้นต่อจุดเหล่านั้นคล้ายๆ เส้นตรงพาดขึ้นหรือพาดลงเช่นนี้เราเรียกว่ามีการเกิดแนวโน้ม (Trend) ขึ้นในแผนภูมิควบคุม แนวโน้มที่ว่านี้คือ แนวโน้มที่กำลังบอกเราว่าค่าเฉลี่ยของขนาดควบคุมที่ผลิตได้จากกระบวนการผลิตนั้นกำลังมีปัญหาหรือมีแนวโน้มจะเคลื่อนไปจากขนาดกำหนดที่ได้ตั้งเอาไว้แต่แรก

3. การเกิดการเข้าใกล้เส้นขอบเขตควบคุม ถ้าหากเราแบ่งระยะ 3 ซิกม่า (3σ) จากเส้นค่ากลางออกเป็นเส้น 2σ แล้วพบว่ามี 2 จุดใน 3 จุดที่ต่อเนื่องกันในแต่ละช่วงได้ตกไปอยู่ในพื้นที่ระหว่างเส้น 2σ กับเส้นขอบเขตควบคุม 3σ ถือได้ว่าเกิดการเข้าใกล้เส้นขอบเขตควบคุม (Approach to the Control Limits) และเป็นการบอกว่ามีความผิดปกติขึ้นในกระบวนการผลิตแล้ว

4. การเกิดการเข้าใกล้เส้นค่ากลาง หากพบว่าเส้นกราฟทั้งหมดตกอยู่ในระหว่างเส้น 1.5σ นับจากเส้นค่ากลางขึ้นไปและลงมาแล้วไม่ได้หมายความว่ากระบวนการผลิตนั้นอยู่ในควบคุมแต่กลับแสดงว่า คงจะมีความผิดพลาดเกิดขึ้นในการกำหนดขนาดของกลุ่มย่อยข้อมูลอาจมีการปะปนกันของข้อมูลที่นำมาจากต่างประชากรกันและเกิดการปะปนกัน

5. การเกิดวัฏจักรมีลักษณะ คือ ค่าในเส้นกราฟจะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นๆ ลงๆ มีลักษณะเป็นวงจรวงรอบ หรือวัฏจักรที่เกือบจะทำนายลักษณะเส้นกราฟในช่วงต่อๆ ไปได้ลักษณะเช่นนี้เรียกว่าเกิดวัฏจักร (Periodicity)

- ดัชนีแสดงความสามารถของกระบวนการ

เป็นตัวบ่งชี้ความสามารถของกระบวนการซึ่งเน้นในเรื่องของความผันแปรที่เกิดขึ้นในกระบวนการและความเข้าใกล้ค่าเป้าหมายที่ต้องการ โดยจะช่วยให้เจ้าของกระบวนการผู้บริหารและลูกค้าได้ว่า

1. กระบวนการที่มีส่วนเกี่ยวข้องอยู่นั้นจะมีความสามารถในการให้ผลลัพธ์ได้ตามที่ต้องการหรือออกแบบไว้หรือไม่ ซึ่งเป็นการสะท้อนให้เห็นถึงความอยู่ตัวของความผันแปรที่เกิดจากสาเหตุชนิดสามัญ (Common Cause)

2. มีความสามารถในการควบคุมความผันแปรที่มีอยู่ในกระบวนการเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามที่เราหรือลูกค้าต้องการได้ดีแค่ไหน อย่างไร

3. ชิ้นงานที่ผลิตออกมามีแนวโน้มของการเกิดของเสียที่มีขนาดโตเกินไป (เข้าใกล้หรืออยู่นอกขอบเขตกำหนดด้านบน) หรือมีขนาดที่เล็กเกินไป (เข้าใกล้หรืออยู่นอกขอบเขตกำหนดด้านล่าง) เพื่อที่จะสามารถช่วยให้เจ้าของกระบวนการสามารถปรับกระบวนการเข้าหาจุดที่มีความเหมาะสมได้อย่างถูกทิศทาง และมีความเหมาะสมในเชิงเศรษฐกิจ

สำหรับการคำนวณค่าดัชนีแสดงความสามารถของกระบวนการนั้นขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของการวัด คุณภาพของกระบวนการ ดังนี้

- การประเมินความสามารถกระบวนการของกระบวนการที่มีข้อมูลวัด

สำหรับการวัดความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการนั้น เพื่อพิจารณากระบวนการนั้นว่ามีความสามารถแค่ไหน (Potential Capability Indices) โดยมีดัชนีเป็น C_p (C ย่อมาจาก Capability หรือความสามารถส่วน p Process หรือกระบวนการ) ซึ่งจะไม่สนใจว่าค่าเฉลี่ยหรือตำแหน่งของกระบวนการ (x) จะตั้งอยู่ตรงกลาง (Centering) ของเขตกำหนดหรือไม่ โดยหาได้จากสมการที่ 2.3

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \qquad (2.3)$$

โดยที่ USL : Upper Specification Limit หรือขอบเขตกำหนดด้านบน

LSL : Lower Specification Limit หรือขอบเขตกำหนดด้านล่าง

σ : Standard Deviation หรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

การวัดความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการพร้อมด้วยตำแหน่งของค่าเฉลี่ยของกระบวนการว่าตั้งอยู่ตรงกลางของขอบเขตกำหนดหรือไม่สำหรับกระบวนการที่กำลังดำเนินอยู่ โดยวัดค่าดัชนีอยู่ในรูป C_{pk} โดยค่าที่น้อยที่สุดของดัชนีแสดงความสามารถของกระบวนการที่เป็น

ขอบเขตกำหนดด้านบน (C_{pu}) หรือดัชนีแสดงความสามารถของกระบวนการที่จะเป็นขอบเขตกำหนดด้านล่าง (C_{pl}) โดยหาได้จากสมการที่ 2.4, 2.5 และ 2.6 ตามลำดับ

$$C_{pk} = C_p (1-k) \quad (2.4)$$

$$C_{pu} = \frac{USL - \bar{x}}{3\sigma} \quad (2.5)$$

$$C_{pl} = \frac{\bar{x} - LSL}{3\sigma} \quad (2.6)$$

โดยที่ k : ระยะที่ค่าเฉลี่ยของกระบวนการอยู่ห่างจากตรงกลางของขอบเขตกำหนด

อัตราส่วนความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ ในการศึกษาอัตราส่วนความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการแบบระยะสั้น (C_R) จะสนใจเฉพาะความผันแปรของกระบวนการที่ถือว่าค่าเซตติ้งของกระบวนการอยู่กับที่ และในการศึกษาความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการนี้จะถือว่าค่าเฉลี่ยของกระบวนการที่แสดงถึงผลจากค่าเซตติ้งของ กระบวนการจะอยู่ตรงกลางข้อกำหนดเฉพาะ โดยหาได้จากสมการที่ 2.7

$$C_R = \frac{6\sigma}{USL - LSL} \quad (2.7)$$

- การประเมินความสามารถของกระบวนการที่มีข้อมูลแบบนับ ซึ่งจากที่ได้กล่าวมาทั้งหมดข้างต้นจะสามารถทำการประเมินความสามารรถของกระบวนการได้ก็ต่อเมื่อข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลวัดหรือข้อมูลที่มีลักษณะเชิงผันแปร แต่ถ้าข้อมูลที่สนใจเป็นแบบข้อมูลนับหรือข้อมูลที่มีลักษณะเชิงคุณภาพก็สามารถทำการประเมินความสามารถของกระบวนการได้เช่นเดียวกัน

ในการประเมินดัชนีความสามารถของกระบวนการของข้อมูลแบบนับนี้จะอาศัยแนวความคิดเดียวกับการประเมินความสามารถของกระบวนการสำหรับข้อมูลวัด กล่าวคือให้ทำการประเมินความผันแปรของกระบวนการเปรียบเทียบกับความคลาดเคลื่อนอนุโลมของข้อกำหนดเฉพาะเพื่อทำการกำหนดสัดส่วนของเสียจากกระบวนการที่ศึกษาแต่เนื่องจากข้อมูลแบบนับเป็นข้อมูลที่ไม่มีคุณสมบัติอธิบายความผันแปรจึงมีความจำเป็นต้องกำหนดข้อมูลนับให้อยู่ในรูปของจำนวนของเสียเพื่อการเทียบเคียงให้อยู่ในรูปของสเกลของการแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน (Z) อาจจะเรียกว่า

$Z_{quivalent}$ หรือ $B_{enchmark}$ สำหรับการแปลงให้เป็นดัชนีความสามารถของกระบวนการ

อย่างไรก็ตามในการกำนหนดค่าความสามารถของกระบวนการในกรณีข้อมูลแบบนับนี้จะขึ้นอยู่กับเกณฑ์การตัดสินใจของผู้วิเคราะห์เป็นสำคัญ เช่น ถ้าหากต้องการประเมินถึงความสามารถของกระบวนการในรูปแบบสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นแล้วก็สามารถใช้ค่าสัดส่วนโดยเฉลี่ยของเสีย ($\bar{p}$) เป็นตัววัดความสามารถของกระบวนการได้แต่ถ้าหากต้องการประเมินในรูปดัชนีแสดงความสามารถของกระบวนการเพื่อการเปรียบเทียบผลการปรับปรุงกระบวนการก็จะสามารถแสดงอยู่ในรูปของดัชนี P_p, P_{pk} ดังนั้น ในการประเมินความสามารถของกระบวนการสำหรับข้อมูลแบบนับนี้จะต้องเริ่มต้นจากการหาค่า $\bar{p}$ ก่อนเสมอ ซึ่งค่า $\bar{p}$ ดังกล่าวหาได้จากสมการที่ 2.8

$$\bar{p} = \frac{\text{จำนวนผลิตภัณฑ์บกพร่องโดยรวม } (\sum np)}{\text{จำนวนตรวจสอบโดยรวม } (\sum n)} \qquad (2.8)$$

ดังนั้น ในการประเมินค่า $\bar{p}$ จะต้องประเมินจากข้อมูลโดยรวม ค่าดัชนีประเมินจากค่า $\bar{p}$ จึงถือเป็นดัชนีความสามารถของกระบวนการแบบระยะยาวเสมอ โดยความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการอาจจะประเมินได้ในรูปอัตราส่วนความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการแบบระยะยาว (P_R) หรือดัชนีความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการแบบระยะยาว (P_p) สำหรับความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการจะประเมินได้ในรูปดัชนีความสามารถด้านสมรรนะของกระบวนการแบบระยะยาว (P_{pk})

$$P_{p\,Bench} = \frac{1}{3}Z_{Bench} \qquad (2.9)$$

โดยที่ Z_{Bench} จะได้จากกรณีกำหนดให้สัดส่วนเสียมีค่าเท่ากันทั้งสองด้าน

$$P_{R\,Bench} = \frac{1}{P_{p\ Bench}} \qquad (2.10)$$

$$P_{pk\ Bench} = \frac{1}{3}Z_{Bench} \qquad (2.11)$$

โดยที่ Z_{Bench} ได้จากการกำหนดให้สัดส่วนของเสียอยู่ที่ด้านใดด้านหนึ่งของค่ากลางเพียงด้านเดียว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การประเมินความสามารถกระบวนการจากแผนภูมิควบคุม p และ np ด้วยแผนภูมิควบคุม p และ np ที่ใช้ควบคุมสัดส่วนและจำนวนของเสียโดยลำดับ จะสามารถประมาณค่าสัดส่วนโดยเฉลี่ยของเสีย ($\bar{p}$) ได้จากค่ากลางของแผนภูมิควบคุม p และในกรณีแผนภูมิควบคุม np จะสามารถหา $\bar{p}$ ได้จากสมการ 2.4 และเมื่อได้ค่า $\bar{p}$ แล้วจะสามารถหา Z_{Bench} จากตารางแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน จากนั้นสามารถหาค่าอัตราส่วนความสามารถกระบวนการ และดัชนีความสามารถกระบวนการจากสมการ 2.9 , 2.10 และ2.11 ซึ่งหากแผนภูมิควบคุม p มีจุดออกนอกพิกัดควบคุมต้องทำการตัดออกและคำนวนค่า $\bar{p}$ ใหม่เสมอ และการประเมินความสามารถกระบวนการจากแผนภูมิควบคุม u และ c แผนภูมควบคุม u และ c จะเป็นแผนภูมิควบคุมข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ โดยจะมีการแจกแจงเป็นแบบปัวซอง (Poisson) ที่มีฟังก์ชันความน่าจะเป็น คือ

$$P\ (\text{จำนวนข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์}) = \frac{u^x e^{-u}}{x!} \qquad (2.12)$$

โดยมีการแจกแจงแบบปัวซอง และนิยามให้

$$\bar{u} \quad = \quad \frac{\text{จำนวนรวมข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ } (\sum c)}{\text{จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ตรวจสอบ } (\sum n)} \qquad (2.13)$$

เมื่อได้ $\bar{p}$ แล้วจะสามารถคำนวนดัชนีแสดงความสามารถของกระบวนการเหมือนกรณีแผนภูมิควบคุม p ทุกประการ

- ความหมายของค่าดัชนีแสดงความสามารถของกระบวนการ ประกอบด้วย อัตราส่วนความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ ดัชนีความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ และดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. อัตราส่วนความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ (C_R และ P_R) ยิ่งมีค่าน้อยกว่า 0.88 ซึ่งแสดงว่าความสามารถของกระบวนการยิ่งสูง ซึ่งหมายถึงความผันแปรจากสาเหตุที่ไม่สามารถควบคุมได้ของกระบวนการในการดำเนินงานภายใต้การควบคุมระยะสั้นมีค่าไม่เกิน 88 เปอร์เซ็นต์ของช่วงความคาดเคลื่อนอนุโลมทั้งหมดจะเป็น “ช่วงเผื่อ (Safety Zone)” สำหรับปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ของค่าเซตติ้งของกระบวนการ

2. ดัชนีความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ (C_p และ P_p) ถ้ายิ่งมีค่ามากกว่า 1.33 แสดงว่า กระบวนการมีความผันแปรน้อยหรือมีความมั่นคงสูง

3. ดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ (C_{pk} และ P_{pk}) ถ้ายิ่งมีค่ามากกว่า 1.33 แสดงว่า การเลื่อนไปจากค่ากลางของข้อกำหนดเฉพาะของตำแหน่งกระบวนการมีความผันแปรน้อยหรือมีความมั่นคงสูง

สำหรับการพิจารณาค่าดัชนี C_p และ C_{pk} นั้น ถ้ายิ่งมีค่ามากกว่า 1.33 แสดงว่า กระบวนการมีความผันแปรน้อยหรือมีความมั่นคงสูง และถ้าค่าดัชนี C_p กับค่า C_{pk} มีค่าที่ไม่เท่ากัน แสดงว่าค่าเฉลี่ยของกระบวนการไม่อยู่ตรงกลางของขอบเขตกำหนด หากค่า C_{pk} มีค่าเท่ากับ C_{pu} ก็แสดงว่า ค่าเฉลี่ยของกระบวนการเข้าใกล้ด้าน USL มากกว่าหรือหนีห่างจากด้าน LSL มากเกินไป

2.2 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Dose, et al. (2002) ได้ทำการศึกษาวิจัยเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการนำแนวคิดซิกซ์ ซิกม่านำไปประยุกต์ใช้ในงานการผลิต กับงานที่ไม่ใช่การผลิต โดยได้จัดทำโครงการซิกซ์ซิกม่า ซึ่งใช้กลุ่มตัวอย่างที่ดำเนินงานการผลิต 3 โครงการ แล้วทำการเปรียบเทียบแบบขั้นตอนต่อขั้นตอน (Phase by Phase) กับงานที่ไม่ใช่การผลิต 5 โครงการ พบว่าในการจัดทำผังกระบวนการในขั้นตอนนิยามปัญหาในงานที่ไม่ใช่การผลิตจะมีผังกระบวนการที่ไม่ชัดเจน ซึ่งต่างจากในงานการผลิตที่ผังกระบวนการจะมีความชัดเจน และในขั้นตอนการวัดสภาพของปัญหาซึ่งต้องมีการวิเคราะห์ความสามารถกระบวนการ ในงานการผลิตจะมีตัวชี้วัดที่ชัดเจน แต่ในงานที่ไม่ใช่การผลิตไม่มีตัววัดที่ชัดเจนจึงนิยมวัดในรูปแบบค่าเฉลี่ย และความแปรปรวนของข้อมูล และยังพบว่าการกระจายตัวของข้อมูลมีลักษณะกองไปทางด้านเดียว ส่วนในขั้นตอนการปรับปรุง ในงานที่ไม่ใช่การผลิตจะไม่ค่อยนำการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) เข้ามาเกี่ยวข้อง แต่จะเป็นการกำจัดปัจจัยที่ก่อให้เกิดผลเสียโดยวิธีการทั่วไป

Hua, et al. (2002) ได้ทำการจำลองสถานการณ์ (Simulation) Value Stream Mapping เพื่อให้เห็นผลกระทบต่างๆก่อนที่จะดำเนินการจริง และได้เปรียบเทียบให้เห็นถึงข้อแตกต่างระหว่างระบบการผลิตแบบเดิมที่เป็นแบบ push system กับ ระบบการผลิตแบบใหม่ที่เป็นแบบ Pull System ผ่านการจำลองสถานการณ์ (Simulation)

Brian et al. (2001) ใช้กระบวนการปรับปรุงแบบ ซิกซ์ ซิกม่า พร้อมทั้งทำการจำลองสถานการณ์ (Simulation) ซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายและเวลาในการทำโครงการได้ โดยมีบริษัท Xaytronix Corporation เป็นบริษัท case study

Coronado and Antony (2002) ได้ทำการศึกษาถึงปัจจัยที่นำไปสู่ความสำเร็จในการนำซิกซ์ซิกม่าประยุกต์ใช้ขององค์การต่างๆ เพื่อใช้ในการปรับปรุงกลยุทธ์ทางธุรกิจโดยการเพิ่มกำไรจากการขจัดความแปรปรวนและลดของเสียในกระบวนรวมถึงการลดค่าใช้จ่ายด้านคุณภาพ ทั้งนี้โดยการนำเทคนิคและเครื่องมือทางสถิติมาวิเคราะห์ ซึ่งพบว่าปัจจัยที่นำไปสู่ความสำเร็จ คือ การประกาศเจตนารมณ์และความมุ่งมั่นของผู้บริหารระดับสูง , การเปลี่ยนแปลงวัฒนธรรมองค์กร โดยการขจัดความกลัวของพนักงานที่จะซ่อนเร้นข้อผิดพลาด , การติดต่อสื่อสาร ที่ให้ความสำคัญกับการแสดงข้อมูลต่างๆ ,การเชื่อมโยงซิกซ์ ซิกม่าสู่กลยุทธ์ทางธุรกิจ ,การเชื่อมโยงซิกซ์ ซิกม่าสู่ลูกค้าเพื่อช่วยลดช่องว่างระหว่างความคาดหวังของลูกค้ากับความสามารถของการทำงานที่ทำได้จริง , การเชื่อมโยงซิกซ์ ซิกม่าสู่ผู้ส่งมอบ, การใช้เครื่องมือและเทคนิคต่างๆ ตามหลักสถิติ เช่น เครื่องมือคุณภาพการทดสอบสมมติฐานและอื่นๆ ตลอดจนการเลือกโครงการตามความสำคัญ

ศิรศักย เทพจิต (2549) ได้ศึกษาการประเมินการนำ Lean ซิกซ์ ซิกม่า ไปใช้งานด้วยการสร้างแบบจำลองพลวัตของระบบ กรณีศึกษา : โรงพยาบาล โดยได้ศึกษาพฤติกรรมของระบบของกระบวนการให้บริการตรวจรักษาของโรงพยาบาล โดยใช้นโยบาย Lean ซิกซ์ ซิกม่า ในการปรับปรุงกระบวนการ ซึ่งได้ใช้วิธีพลวัตของระบบจำลองสถานการณ์เพื่อศึกษาพฤติกรรมดังกล่าว และนำเครื่องมือของ Lean ซิกซ์ ซิกม่า มาใช้ในการดำเนินนโยบาย ได้แก่ การปฏิบัติงานในสภาพปัจจุบัน , ระบบการผลิตแบบลีน , การจัดการคุณภาพของ ซิกซ์ ซิกม่า และวิธีการ Lean ซิกซ์ ซิกม่า มาปฏิบัติใช้ในกระบวนการ โดยประเมินผลของกระบวนการด้านอัตราการไหล ตัววัดผลคือระยะรอบการทำงานและ สัดส่วนอัตราการไหล , ด้านประสิทธิภาพของพนักงาน มีตัววัดผลคือ การเพิ่มผลผลิตและด้านคุณภาพของกระบวนการ มีตัววัดผล คือคุณภาพของกระบวนการและคุณรูปที่คนไข้ได้รับจากการบริการ เปลี่ยนแปลงของพฤติกรรมของระบบ

พัชรินทร์ อุ่นเอมใจ (2548) ได้ศึกษาการบูรณาการลีนซิกซ์ซิกมาและซีเอ็มเอ็มไอเข้าสู่วิสาหกิจโดยใช้แบบจำลองพลวัต กรณีศึกษา : บริษัท สแปนชั่น (ไทยแลนด์) จำกัด เพื่อประเมินวัดระดับความสามารถขององค์กรในปัจจุบันว่าอยู่ในระดับใดตามมาตรฐานซีเอ็มเอ็มไอ โดยประยุกต์ใช้ลีนซิกซ์ซิกมา ทั้งนี้จากการวิเคราะห์พบว่าเวลาสูญเปล่าที่ควรปรับปรุงมากที่สุดคือเวลาสูญเปล่าที่เกิดจากเครื่องจักร 30.6 เปอร์เซ็นต์ และจากพนักงาน 29.98 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ด้วยเหตุนี้จึงได้จัดทำแผนการปรับปรุงที่จะช่วยลดเวลาสูญเปล่าลง รวมถึงการเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักหรือกระบวนการด้วย

นภดล เฟื่องเด่นขจร (2547) ทำงานวิจัยเกี่ยวกับการปรับปรุงความพร้อมในการตอบสนองในอุตสาหกรรมบริการทันตกรรม โดยใช้แนวคิดลีน ซิกซ์ ซิกม่า กรณีศึกษา คลินิกบริการทันตกรรมพิเศษ คณะทันตแพทย์ศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยพิจารณาการแก้ไขปัญหาด้านเวลา

การรอคอยของผู้ป่วยในการเข้ารับการรักษายาวนาน ทั้งนี้ได้ใช้ขั้นตอน DMAIC ของ ซิกซ์ ซิกม่า และวิเคราะห์การไหล (Flow) ของกระบวนการการให้บริการ ในการช่วยปรับเพิ่มและจัดสรรจำนวนชั่วโมงทำงานของทันตแพทย์ใหม่ให้สอดคล้องกับความต้องการของการเข้ารับบริการของผู้ป่วย ตลอดจนการสร้างระบบการจัดเรียงและค้นหาแฟ้มใหม่โดยใช้รหัสเอกสารและป้ายดัชนี

กฤษดา ตันฮะเส็ง , ยุวดี ป้อมเสมาพิทักษ์, นันทกฤษณ์ ยอดพิจิตร (2547) ได้ศึกษาแนวทางการประยุกต์ใช้เทคนิค ซิกซ์ ซิกม่า เพื่อค้นหาสาเหตุหลักที่มีผลต่อตัวแปรคุณภาพ และลดของเสียในโรงงานผลิตอุปกรณ์กึ่งตัวนำ ซึ่งสาเหตุหลักของการเกิดของเสียเกิดจากการปรับแต่งปัจจัยควบคุมภายในเครื่องจักรของกระบวนการเชื่อมลวดทองที่ไม่เหมาะสม ทั้งนี้ได้ประยุกต์ใช้ขั้นตอนของ ซิกซ์ ซิกม่า และเครื่องมือของลีนมาวิเคราะห์ ซึ่งจากผลการวิจัยพบว่าการปรับแต่ง Bond Force และ US Power ที่เหมาะสมมีผลกระทบต่อการเกิด Non stick on Pad และการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งแรงของจุดเชื่อมต่อแรงเฉือน และเมื่อมีการปรับ Bond force และ US Power ให้อยู่ที่ระดับที่เหมาะสมสามารถลดจำนวนของเสียที่เกิดจากปัญหา Non Stick on Pad โดยลดลงเหลือเพียง 70 เปอร์เซ็นต์

อรรถพล เฉลิมพลประภา (2547) ได้ศึกษาการปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยใช้เทคนิค ลีน และ ซิกส์ ซิกม่าในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ โดยใช้เทคนิคระบบการผลิตที่มีประสิทธิภาพ (Lean Manufacturing) ที่ช่วยลดความสูญเปล่า และระบบซิกส์ ซิกมา (ซิกซ์ ซิกม่า) ที่ช่วยลดความผันแปรของกระบวนการผลิต โดยอาศัยวิธีการทางสถิติ เริ่มตั้งแต่การคัดเลือกปัญหา การวัด การวิเคราะห์ การปรับปรุงและการควบคุม จากผลการวิจัยพบว่าการประยุกต์ใช้เทคนิคดังกล่าวช่วยลดขั้นตอนการผลิตที่ไม่เกิดมูลค่าออก และปรับปรุงผลผลิตต่อชั่วโมงให้มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น

อุษณีย์ ถิ่นเกาะแก้ว (2545) ได้เสนอแนวทางการควบคุมคุณภาพโดยใช้แนวทางของซิกซ์ ซิกม่า เพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตกระป๋อง ที่เกิดจากข้อบกพร่องต่างๆ ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนหลักคือ การวัดเพื่อกำหนดหาสาเหตุของปัญหา การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ และการควบคุมตัวแปรต่างๆ โดยจากการปรับปรุงสาเหตุที่ก่อให้เกิดของเสียมาแก้ไขเพียง 60% แรกของทั้งหมด สามารถลดของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตกระป๋องลดลงมากถึง 50%

จรัสพงศ์ (2543) ได้ศึกษาแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีการซิกซ์ ซิกม่า และทำการประยุกต์ใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการเคลือบสีรถกระบะ ซึ่งจากการสำรวจสภาพปัญหาของผลิตภัณฑ์รถกระบะภายในกระบวนการเคลือบผิวชั้นบนสุดของแผนกสี โดยวิธีการซิกซ์ ซิกมา พบปัญหาประเภทสีหยด ซึ่งเกิดจากการซ่อมบำรุงของอุปกรณ์ Bell Cup ในสถานีพ่นอัตโนมัติที่ 3 การเสียหายจากการใช้งานผิดวิธีของ Air Cap สำหรับปืนพ่นโดยใช้คน และการ

ขาดมาตรฐานในการทำความสะอาดปืนพ่นสีโดยใช้คน ทั้งนี้ได้สั่งซื้ออุปกรณ์ที่จำเป็นเพื่อปรับปรุงกระบวนการดังกล่าว

บุญสม ประเสริฐอัครกุล (2539) ได้ศึกษาหาวิธีการที่เหมาะสมในการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติของโรงงานตัวอย่าง จากการศึกษาพบว่าบางจุดงานมีการใช้การควบคุมกระบวนการเชิงสถิติอย่างไม่ถูกต้องและไม่เหมาะสม โดยวัดจากความสามารถของเครื่องจักรเพื่อออกแบบวิธีการควบคุมกระบวนการผลิตเชิงสถิติที่เหมาะสม ซึ่งจากผลการวิจัยได้ปรับปรุงวิธีการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ 2 ลักษณะ คือ การใช้แผนภูมิควบคุมเฉลี่ยและพิสัย การใช้แผนการสุ่มตัวอย่างแบบต่อเนื่อง และได้ประเมินผลลัพธ์จาก ค่า Cp และ Cpk ที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ค่าความเที่ยงตรง ปอร์เซ็นต์ของเสียของชิ้นงานที่เกิดขึ้น และจำนวนการผลิตที่เกิดขึ้น พบว่าปริมาณการผลิตลดลงก่อนที่มีการปรับปรุง และค่าความเที่ยงตรงในการตรวจสอบของจุดตรวจสอบเพิ่มขึ้นจากก่อนการปรับปรุง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการนำเอาหลักการซิกซ์ซิกม่ามาใช้เป็นเครื่องมือที่จะช่วยลดความผันแปรในกระบวนการ โดยมีเป้าหมายในการปรับปรุงคุณภาพกระบวนการ และการตอบสนองความพึงพอใจของลูกค้า อีกทั้งยังเป็นการช่วยลดต้นทุนภายในองค์กรลง สำหรับในบทที่ 3 นี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการดำเนินการวิจัยมาประยุกต์ใช้กับการแก้ปัญหาและสภาพการผลิตและปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน ซึ่งจะมีรายละเอียดดังนี้

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยโดยใช้แนวทางซิกซ์ ซิกม่า มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหานั้นประกอบด้วย

1. การศึกษาสภาพการผลิตและปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบันโดยการศึกษาสภาพปัญหาเบื้องต้น

2. ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3. การนิยามปัญหาที่เกิดขึ้น (Define Phase) ในขั้นตอนการกำหนดปัญหาที่เกิดขึ้นนี้จะเริ่มต้นจากการระบุหัวข้อปัญหาที่จะทำการแก้ไข โดยจะพิจารณาถึงปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อองค์กรมากที่สุด

4. การวัดสภาพของปัญหา (Measure Phase) ในขั้นตอนนี้จะทำการศึกษาถึงปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กันของแต่ละงานโดยอาศัยการสร้างแผนที่กระบวนการผลิต จากนั้นจะทำการวิเคราะห์สาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหาด้วยการวิเคราะห์แผนภาพแสดงสาเหตุและผล แต่เนื่องจากการวิเคราะห์แผนภาพแสดงสาเหตุและผลจะไม่สามารถ ระบุได้ว่าสาเหตุใดมีความสำคัญมากที่สุดที่จะต้องได้รับการแก้ไขเป็นอันดับแรก ด้วยเหตุนี้การวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการจึงเป็นเครื่องมือเสริมที่จะช่วยระบุความสำคัญของสาเหตุด้วยตัวเลขความเสี่ยงที่จะก่อให้เกิดปัญหา และจากข้อมูลตัวเลขดังกล่าวนำมาสร้างแผนภาพพาเรโต ซึ่งจะทำให้ทราบสาเหตุที่มีความสำคัญมากที่สุดที่จะต้องได้รับการแก้ไข โดยมีขั้นตอนดังนี้

- การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (Gauge R&R) เพื่อวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของระบบการวัดในกระบวนการผลิต ว่าอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้หรือไม่ โดยการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงสถิติ ของระบบการวัด เพื่อทำการแยกแหล่งความผันแปรออกเป็น ชิ้นงาน (Part - to - Part -Variation) พนักงานวัด (Appraiser Variation) และความผันแปรร่วม (Interaction Variation)
- แผนภาพกระบวนการผลิต (Process Map) เป็นแผนภาพที่แสดงให้ทราบถึงความสัมพันธ์ของงานในกระบวนการผลิตที่ทำการศึกษา ซึ่งการแบ่งย่อยงานเพื่อนำมาสร้างแผนภาพนั้น จะต้องมีความละเอียดเพียงพอที่จะสามารถนำไปวิเคราะห์ถึงปัญหาในกระบวนการที่สนใจได้
- แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) เป็นแผนภาพที่แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผลสำหรับปัญหาที่ทำการศึกษา ซึ่งแผนภาพนี้มีส่วนช่วยให้การวิเคราะห์ปัญหามีความง่ายและเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ โดยอาศัยการระดมสมองของผู้มีส่วนเกี่ยวข้องร่วมกันแสดงความคิดเห็นเพื่อค้นหาสาเหตุที่เป็นไปได้ทั้งหมด ซึ่งในความคิดเห็นนี้จะไม่จำกัดปริมาณและคุณภาพของความคิด เพื่อป้องกันการตกหล่นของสาเหตุที่อาจมีผลกระทบต่อปัญหา
- การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis : FMEA) เป็นเครื่องมือที่ใช้ช่วยในการวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการที่ศึกษา โดยแปลงความผิดพลาดนั้นๆ ให้อยู่ในรูปของสาเหตุ ซึ่งจุดเด่นของการวิเคราะห์ด้วย FMEA นี้จะอยู่ที่การคิดอย่างเป็นระบบและมีการคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ เช่น ความรุนแรงของผลกระทบ อัตราการเกิดของอาการของปัญหาเนื่องจากสาเหตุต่างๆ และความสามารถในการป้องกันของวิธีการควบคุม
- แผนภาพพาเรโต (Pareto Diagram) เป็นแผนภาพที่สามารถบ่งบอกได้ถึงความมีเสถียรภาพของข้อมูล โดยอาศัยการคัดเลือกสาเหตุที่สำคัญ และพิจารณาว่าสาเหตุใดบ้างที่เป็นสาเหตุที่ควรนำมาทำการแก้ไขปัญหา การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase) ขั้นตอนนี้จะนำข้อมูลที่ได้มาจากการวัดหรือตรวจสอบ เพื่อมาวิเคราะห์ทางสถิติว่ามีผลหรือไม่ กับปัญหาที่เกิดขึ้น ผลลัพธ์จากขั้นตอนนี้ คือ ปัจจัยที่มีผลทำให้เกิดปัญหาค่าความชื้นสูง ซึ่งจะขอกล่าวถึงเครื่องมือพื้นฐานที่ถูกนำมาใช้ในการวิจัยเพื่อช่วยในการวิเคราะห์หาสาเหตุเบื้องต้นของปัญหา

5. การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase) จากขั้นตอนการวัดผลนั้นเป็นการศึกษาหาสาเหตุเบื้องต้นที่ได้มาจากการวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการเพื่อกำหนดทิศทางในการปรับปรุงแก้ไขได้อย่างถูกต้อง จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของ

ปัญหา โดยอาศัยวิธีการทางสถิติ ซึ่งแนวทางการวิเคราะห์จะเริ่มทำการวิเคราะห์ทีละสาเหตุทีละปัจจัย (One Factor at a Time) โดยการดำเนินการทดลองเพื่อหาข้อมูลสนับสนุนสมมติฐานที่ตั้งไว้ เพื่อเป็นการยืนยันว่าสาเหตุที่สงสัยนั้นก็คือสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาหรือความบกพร่องด้านคุณภาพ นอกจากนี้เมื่อมีการยืนยันว่าสาเหตุเหล่านั้นมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และสามารถสรุปได้ต่อไปว่าสาเหตุดังกล่าวมีผลกระทบมากน้อยเพียงใด โดยมีขั้นตอนดังนี้

- การทดสอบสมมุติฐาน (Hypothesis Test) หลังการพิจารณาสาเหตุที่ควรนำมาแก้ไขปัญหาโดยใช้แผนผังพาเรโตแล้ว ในขั้นตอนนี้จะทำกลั่นกรองปัจจัยต่างๆ (Screening Factors) โดยอาศัยการออกแบบการทดลองแบบ 2^k Factorial Design ซึ่งปัจจัยดังกล่าวจะนำเข้าสู่ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการต่อไป
- การวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อเลือกปัจจัยที่สำคัญที่ต้องนำไปทำการทดลองในขั้นตอนต่อไป

6. การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase) เป็นขั้นตอนเป็นการหาทางปรับปรุงแก้ไข รวมถึงการวัดประสิทธิภาพและประสิทธิผล การปรับปรุงจะต้องเป็นแบบถาวร เพื่อลดโอกาสของความผิดพลาดในอนาคต

- การออกแบบการทดลองแบบ 3^k Factorial Design เป็นขั้นตอนการหาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนที่ทำการศึกษา
- วิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology: RSM) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยแต่ละระดับปัจจัยกับผลตอบสนองอันก็คือค่าความชื้นที่เกิดขึ้น
- การหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการผลิต (Optimal Factor)

7. การควบคุมตัวแปรต่างๆ (Control Phase) จากขั้นตอนของการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการที่ผ่านมา ทำให้ทราบถึงปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญต่อผลลัพธ์ของกระบวนการ และค่าระดับของปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสม ซึ่งการควบคุมตัวแปรต่างๆ โดยเริ่มต้นจากการพิจารณาเลือกแผนภูมิควบคุมที่เหมาะสมกับตัวแปรนั้นๆ การกำหนดวิธีการวัด ขนาดตัวอย่าง และความถี่ในการวัด และสุดท้ายคือการเก็บข้อมูลหลังการปรับปรุงและวิเคราะห์ผล

8. การเปรียบเทียบมูลค่าสูญเสียทางเศรษฐศาสตร์ก่อนและหลังปรับปรุง ซึ่งหลังจากการควบคุมตัวแปรต่างๆ ในกระบวนการแล้วจะทำการวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบมูลค่าด้านการเงินก่อนและหลังการทำงานวิจัย

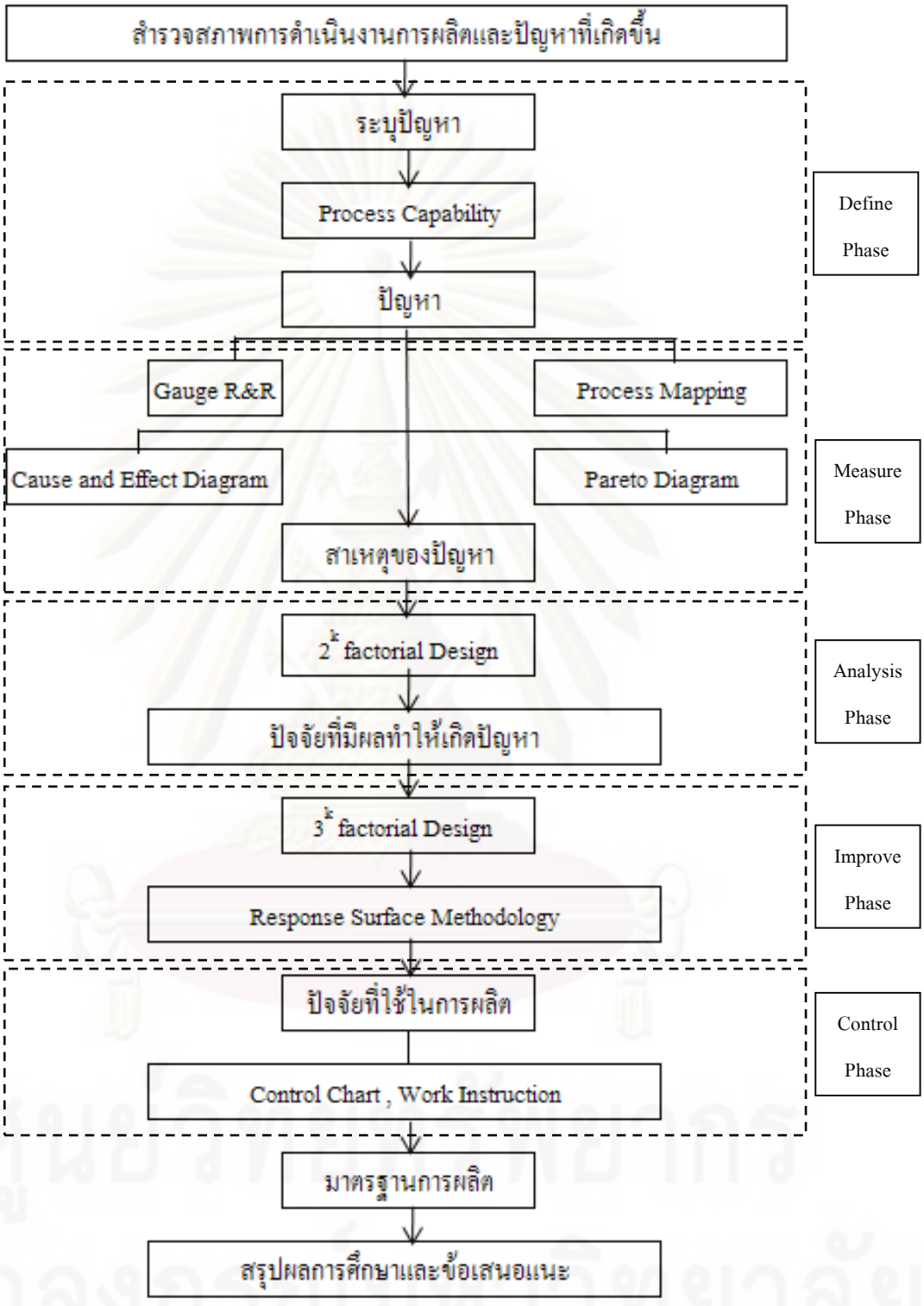
9. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ จากวัตถุประสงค์ในการทำการวิจัยฉบับนี้ คือเพื่อลดค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ที่ใช้ผลิตงานท่อ ที่เกิดจากกระบวนการผสมเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับสารเติมแต่ง และกระบวนการบรรจุภัณฑ์ โดยใช้แนวทาง

ซิกซ์ซิกม่า ซึ่งหลังจากการดำเนินการแก้ไขปัญหาด้วยแนวทางดังกล่าวแล้วนั้น จะสรุปความสามารถของกระบวนการหลังปรับปรุงเพื่อแสดงให้เห็นถึงผลประโยชน์ที่ได้รับจากการปรับปรุงกระบวนโดยใช้แนวทางซิกซ์ซิม่าดังกล่าว

10. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

จากขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย สามารถสรุปเครื่องมือต่างๆ ในแต่ละขั้นตอน เพื่อแสดงถึงความสัมพันธ์ดังรูปที่ 3.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.1 รายละเอียดของขั้นตอนการดำเนินงาน

บทที่ 4

การนิยามปัญหา

จากความมุ่งมั่นในการผลิตผลิตภัณฑ์เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า และให้ความสำคัญต่อความพึงพอใจของลูกค้านั้น ปัจจุบันทางบริษัทได้รับข้อร้องเรียนจากลูกค้าในการรับซื้อเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ที่ใช้ผลิตงานท่อไม่เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด ส่งผลให้บริษัทต้องสูญเสียรายได้จากยอดขาย นอกจากนี้ยังสูญเสียความน่าเชื่อถือและความไว้วางใจที่ไม่สามารถประเมินค่าได้อีก ด้วยเหตุนี้ ผู้จัดทำงานวิจัยจึงได้นำปัญหาดังกล่าวมาศึกษาเพื่อหาแนวทางในการแก้ไขปัญหาและป้องกันไม่ให้เกิดความผิดพลาดอันจะนำมาซึ่งความสูญเสียต่อไป

สำหรับขั้นตอนของการเลือกปัญหาจะเริ่มจากการกำหนดตัวลูกค้า และศึกษาความต้องการของลูกค้า อาจได้จากการทำการสำรวจความต้องการ หรือความพึงพอใจของลูกค้า หรือจากข้อมูลการร้องเรียนของลูกค้า ศึกษากระบวนการทำงานหลักขององค์กร ผู้ที่รับผิดชอบในระดับบริหารของ แต่ละกระบวนการนั้นๆ อาทิเช่น ปัจจัยคุณภาพที่สำคัญของแต่ละกระบวนการ ปัญหาคุณภาพต่างๆ ที่สำคัญ และตรงกับความต้องการของลูกค้า รวมถึงปัญหาที่ไม่สามารถแก้ไขได้ในหน่วยงานปกติ ก็จะถูกจัดเรียงลำดับความสำคัญ และถูกเลือกให้ดำเนินการแก้ไขปรับปรุง

ในการนิยามปัญหาจะเริ่มตั้งแต่การกำหนดทีมงานเพื่อทำการระดมความคิดเพื่อวิเคราะห์สภาพของปัญหาในปัจจุบันของกระบวนการผลิต เพื่อเป็นการบ่งชี้ให้เห็นถึงลักษณะของปัญหานำไปสู่การกำหนดปัญหา ด้วยการวิเคราะห์ช่วงอายุของผลิตภัณฑ์ ปริมาณของเสียเฉลี่ย สัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ โดยการกำหนดเทคนิคและเครื่องมือต่างๆ เพื่อความเหมาะสมที่จะไปประยุกต์ใช้กับขั้นตอนของกรรมวิธีทางซิกซ์ ซิกม่า ซึ่งในขั้นตอนของการนิยามปัญหานี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่ง โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 การกำหนดคณะทำงาน

การกำหนดคณะทำงานในการดำเนินงาน ได้คัดเลือกจากผู้ที่มีความรู้ ความชำนาญในส่วนต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ เพื่อช่วยในการสนับสนุนการทดลองและระดมความคิดด้วยเครื่องมือและเทคนิคต่างๆ ที่ใช้ในการดำนเนงานเพื่อให้บรรลุเป้าหมาย ซึ่งมีมงานดำเนินงานประกอบด้วยบุคคลจากหน่วยงานต่างๆ ดังนี้

1. รองกรรมการผู้จัดการใหญ่ สายงานพัฒนาตลาดกลุ่มธุรกิจโพลิเมอร์ เป็นผู้บริหารระดับสูง ที่มีความเชี่ยวชาญในผลิตภัณฑ์กลุ่มธุรกิจโพลิเมอร์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นผู้ให้ปฏิญญา (Commitment) ที่มีต่อโครงการเพื่อให้เกิดความเข้าใจร่วมกันถึงแนวทางในการนำซิกซ์ ซิกม่า มาเป็นเครื่องมือที่สำคัญในการปรับปรุงค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ ตลอดจนกำหนดบทบาท และนโยบายให้กับผู้ปฏิบัติและติดตามตรวจสอบถึงผลของนโยบายนั้นๆ

2. ผู้จัดการฝ่าย หน่วยงานพัฒนาตลาดสารประกอบโพลิเมอร์ เป็นผู้ที่มีความรู้ความเชี่ยวชาญด้านการตลาดในกลุ่มธุรกิจสารประกอบโพลิเมอร์ ตลอดจนมีความรู้ ความเข้าใจในหลักการและทฤษฎีของซิกซ์ ซิกม่าเป็นอย่างดี โดยผู้จัดการฝ่ายดังกล่าว จะมีหน้าที่ในการติดตามผลการทำงานของคณะทำงานตลอดจนกำหนดและประเมินผลโครงการ

3. ผู้ชำนาญการ หน่วยงานเทคนิคพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง เป็นผู้ที่มีความรู้ความเชี่ยวชาญ ตลอดจนมีประสบการณ์ในการแก้ไขปัญหาด้านเทคนิคที่ใช้ในการผลิตเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง โดยมีหน้าที่หลักในการควบคุมการทำงานของคณะทำงาน และการประสานการทำงานร่วมกับคณะทำงานในการนำกรรมวิธีทางซิกซ์ ซิกม่ามาใช้ในการดำเนินโครงการให้ประสบความสำเร็จตามเป้าหมาย และตรงตามความต้องการของบริษัท

4. วิศวกร หน่วยงานเทคนิคพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง เป็นผู้มีความรู้ ความเข้าใจในกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ และเป็นตัวกลางในการรับข้อร้องเรียนของลูกค้าจากหน่วยงานการตลาด เพื่อหาแนวทางในการแก้ไขต่อไป ทั้งนี้โดยวิศวกรดังกล่าว จะมีหน้าที่หลักในการประยุกต์ใช้ความรู้ หลักการ แนวคิด ตลอดจนเครื่องมือทางสถิติมาใช้ในการแก้ไขปัญหาของโครงการดังกล่าว โดยจะทำงานภายใต้การดูแลของผู้ชำนาญการ หน่วยงานเทคนิคพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ในการประสานงานระหว่างหน่วยงานด้านการบริหารและหน่วยงานด้านการปฏิบัติการอีกด้วย

5. วิศวกร หน่วยงานพัฒนาตลาดพอลิเอทิลีน เป็นผู้มีความรู้ ความเข้าใจในผลิตภัณฑ์พอลิเอทิลีน และเข้าใจด้านการพัฒนาตลาดในกลุ่มผลิตภัณฑ์ของพอลิเอลีน มีทักษะในการวิเคราะห์แนวโน้มการตลาดที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ตลอดจนการวิเคราะห์คู่แข่งที่อยู่ในตลาดเดียวกันได้ ทั้งนี้โดยมีหน้าที่ที่รับผิดชอบคือทำงานร่วมกับวิศวกร หน่วยงานเทคนิคพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ในการประยุกต์ใช้ความรู้ หลักการ แนวคิด ตลอดจนเครื่องมือทางสถิติมาใช้ในการแก้ไขปัญหาของโครงการงาน และประสานงานระหว่างหน่วยงานด้านการบริหารและหน่วยงานด้านการปฏิบัติการ เพื่อให้การดำเนินโครงการเป็นไปตามวัตถุประสงค์

6. วิศวกร หน่วยงานวางแผนปฏิบัติการ เป็นผู้มีความรู้ ความเข้าใจในผลิตภัณฑ์ และกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ โดย

จะมีหน้าที่ในการประยุกต์ใช้ความรู้ หลักการ แนวคิด ตลอดจนเครื่องมือทางสถิติมาใช้ในการแก้ไขปัญหาของโครงการงาน และประสานงานระหว่างหน่วยงานด้านการบริหารและหน่วยงานด้านการปฏิบัติการ เพื่อให้การดำเนินโครงการเป็นไปตามวัตถุประสงค์

7. วิศวกร หน่วยงานสนับสนุนเทคนิค เป็นผู้มีความรู้ ความเข้าใจในผลิตภัณฑ์ และกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ โดยจะมีหน้าที่ในการประยุกต์ใช้ความรู้ หลักการ แนวคิด ตลอดจนเครื่องมือทางสถิติมาใช้ในการแก้ไขปัญหาของโครงการงาน และประสานงานระหว่างหน่วยงานด้านการบริหารและหน่วยงานด้านการปฏิบัติการ เพื่อให้การดำเนินโครงการเป็นไปตามวัตถุประสงค์

8. พนักงานบริหาร หน่วยงานปฏิบัติการผลิต เป็นผู้มีความรู้ ความเข้าใจในกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ ซึ่งจะมีหน้าที่ในการเป็นผู้ช่วย ของวิศวกร หน่วยงานเทคนิคพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และหน่วยงานพัฒนาตลาดพอลิเอทิลีน เพื่อให้การทำงานดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพและบรรลุเป้าหมาย

4.2 การศึกษาผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิต

4.2.1 ลักษณะผลิตภัณฑ์

เม็ดพลาสติกคอมพาวด์สำหรับผลิตงานท่อที่ศึกษานี้ เกิดขึ้นจากกระบวนการผสมเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene : HDPE) กับสารเติมแต่ง โดย HDPE นี้ ผลิตจากกระบวนการโพลิเมอร์ไรเซชั่นภายใต้ความดันต่ำ สามารถผลิต HDPE ที่มีช่วงของอัตราการไหลเมื่อหลอมเหลว และความหนาแน่นที่กว้าง ทำให้ HDPE มีคุณสมบัติ ในการขึ้นรูปที่ดีเยี่ยม พร้อมๆ กับคุณสมบัติเชิงกลที่แข็งแรง จึงทำให้เหมาะสำหรับการนำไปใช้งานในหลายๆ ด้าน

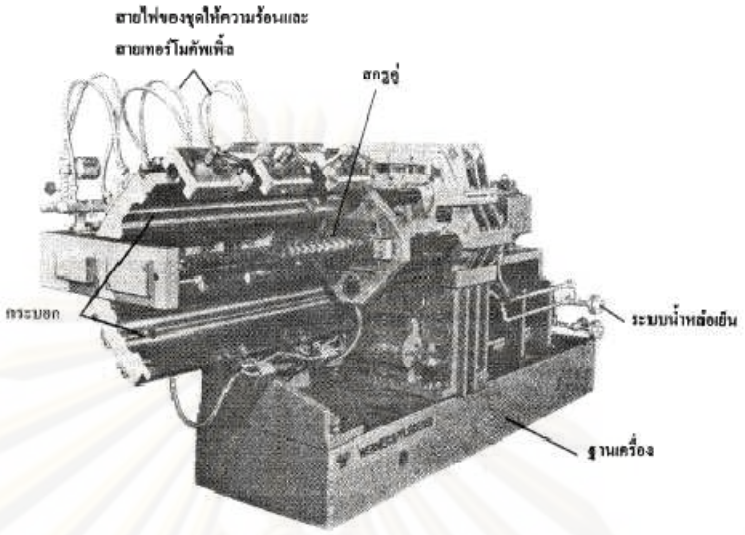
เม็ดพลาสติกคอมพาวด์ดังกล่าว มีคุณสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงและสารเคมีได้ดี เหมาะสำหรับการผลิตท่อที่ต้องทนความดันสูง เช่น ท่อน้ำดื่ม , ท่อที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม และท่อน้ำทิ้ง เป็นต้น ทั้งนี้สำหรับคุณสมบัติทั่วไปของเม็ดพลาสติกโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ศึกษานั้น แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติของเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ใช้สำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์งานท่อ

อัตราการหลอมไหลเมื่อหลอมเหลว (g/10 min)	ความหนาแน่น (g/cm3)	สมบัติเด่น	การใช้งาน
0.03	0.962	มีความต้านทานต่อแรงดึงและสารเคมีได้ดีมาก	ท่อน้ำดื่ม,ท่อที่ใช้ในอุตสาหกรรม และท่อน้ำทิ้ง

4.2.2 กระบวนการแปรรูปพลาสติก

พลาสติกที่ใช้ในกระบวนการแปรรูป จะต้องมีการผสมสารเคมี ที่เรียกว่าสารเติมแต่ง (Additives) หลายชนิด เพื่อปรับปรุงสมบัติของชิ้นงานพลาสติกที่ได้ และปรับปรุงความสามารถในการแปรรูปพลาสติก เพื่อให้แปรรูปได้ง่ายขึ้น เรียกเทคนิคการผสมสารเคมีเข้ากับพลาสติกว่า การผสม หรือการคอมพาวด์พลาสติก (Mixing หรือ Compounding) โดยในกระบวนการแปรรูปพลาสติกที่ศึกษานี้ เป็นการผสมสารเติมแต่งชนิดต่างๆ กับพลาสติก โดยการหลอมพลาสติกและทำการนวดผสมองค์ประกอบต่างๆ เข้าด้วยกัน โดยใช้เทคนิคการคอมพาวด์แบบต่อเนื่อง (Continuous Compounding) ซึ่งเป็นการคอมพาวด์พลาสติกโดยใช้เครื่องเอกซ์ทรูด สำหรับเครื่องเอกซ์ทรูดดังกล่าวมี 3 ชนิด คือ เอกซ์ทรูดแบบสกรูเดี่ยว (Single Screw Extruder) เครื่องเอกซ์ทรูดแบบสกรูคู่ (Twin Screw Extruder) และเครื่องเอกซ์ทรูดหรายสกรู (Multi Screw Extruder) โดยในที่นี้การเตรียมคอมพาวด์พลาสติกจะใช้เครื่องเอกซ์ทรูดแบบสกรูคู่เป็นหลัก แสดงดังรูปที่ 4.1 เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการผสมสูงกว่ามากและมีแรงเฉือนที่เกิดขึ้นจากการหมุนของสกรูคู่สูงกว่าสกรูเดี่ยว และหลายสกรู สำหรับการคอมพาวด์โดยใช้เครื่องเอกซ์ทรูดแบบสกรูเดี่ยว มีสกรูแบบธรรมดา ไม่สามารถผสมสารเติมแต่งให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกับพลาสติกได้ ถึงแม้ว่าสารเคมีเหล่านี้และพลาสติกได้รับการผสมมาก่อนหน้านี้แล้ว ทั้งนี้เนื่องจากการหมุนจากสกรูชนิดนี้ไม่ก่อให้เกิดแรงเฉือนมากพอที่จะทำให้สารเคมีชนิดต่างๆ เกิดการกระจายตัวเข้ากันได้ดีถึงระดับโมเลกุล ดังนั้นการใช้เครื่องเอกซ์ทรูดแบบสกรูเดี่ยวในการเตรียมคอมพาวด์พลาสติก จะต้องปรับปรุงลักษณะของสกรู ซึ่งทำโดยการเพิ่มส่วนที่เพิ่มแรงเฉือนของสกรู



รูปที่ 4.1 เครื่องเอกซ์ทรูดแบบสกรูคู่ซึ่งใช้ในการคอมพาวด์พลาสติก

4.2.3 การผลิตเม็ดพลาสติก (Pelletizing)

หลังจากคอมพาวด์พลาสติก มีความจำเป็นที่จะต้องทำให้พลาสติกอยู่ในรูปเม็ดหรือผล เพื่อให้สามารถป้อนเข้าเครื่องแปรรูปได้ เทคนิคการผลิตเม็ดพลาสติก ขึ้นอยู่กับลักษณะของคอมพาวด์พลาสติก ซึ่งอาจอยู่ในรูปแผ่น (Sheet) จากการใช้เครื่องผสมสองลูกกลิ้งหรือจากดายของเครื่องเอกซ์ทรูดแผ่นพลาสตกิก และมีลักษณะเป็นเส้น (Stand) ซึ่งได้จากการคอมพาวด์โดยการใช้เครื่องเอกซ์ทรูด

การผลิตเม็ดพลาสติกจากแผ่นคอมพาวด์ ทำได้โดยการนำแผ่นพลาสติกเข้าตัดในเครื่องตัดที่มีใบมีดแบบซิกแซ็ก หรือผ่าแผ่นพลาสติกออกเป็นเส้นเล็กๆ ก่อนแล้วตัดด้วยใบมีดที่ติดตั้งบนลูกกลิ้ง ซึ่งแสดงลักษณะการตัดดังรูปที่ 4.2

รูปที่ 4.2 การตัดคอมพาวด์พลาสติกแผ่น

การผลิตเม็ดพลาสติจากคอมพาวด์ที่เป็นเส้น ทำได้โดยการตัดเส้นพลาสติกให้มีขนาดเล็ก ซึ่งกระทำได้ 2 วิธี คือ การผลิตเม็ดพลาสติกแบบเย็น (Cold Pelletizing) และการผลิตเม็ดพลาสติกแบบร้อน (Hot Pelletizing) สำหรับการเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ศึกษานั้น จะผลิตเม็ดพลาสติกแบบเย็น โดยการตัดเส้นพลาสติกที่ผลิตจากเอกซ์ทรูดโดยให้เส้นพลาสติกผ่านการหล่อเย็นและทำให้แห้งก่อนที่จะป้อนเข้าเครื่องตัดเม็ด โดยเม็ดพลาสติกที่ได้มีลักษณะเป็นทรงกระบอกขนาดเล็กมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3 มิลลิเมตร ยาว 3 มิลลิเมตร

4.2.4 กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกคอมพาวด์

กระบวนการผลิตเม็ดคอมพาวด์ เป็นการผลิตแบบต่อเนื่อง โดยการใช้เครื่องจักรและแรงงานคนร่วมกัน ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1) เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE granulate) ผสมกับสารเติมแต่ง (Carbon black) ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

2) นำเข้าสู่กระบวนการแปรรูป โดยนำมาเข้าเครื่องอัดรีดพลาสติก (Extruder) เพื่อหลอมเหลวให้เข้ากันด้วยความร้อนประมาณ 240 – 260 องศาเซลเซียส

3) ทำให้พลาสติกเกิดการหลอมเป็นเนื้อเดียว โดยการนำเข้าเครื่องอัดรีดพลาสติก (Extruder) ด้วยความร้อนประมาณ 240-260 องศาเซลเซียส

4) อัดผ่าน Screen Pack เพื่อกรองสิ่งสกปรกออก

5) ผ่านหัว Die Plate เพื่อรีดให้เป็นเส้น และทำให้เม็ดพลาสติกเย็นโดยการใช้น้ำหล่อเย็น

6) เข้าสู่กระบวนการตัดเป็นเม็ดด้วยชุดตัดเม็ดพลาสติก (Pelletizer)

7) นำเข้าสู่เครื่องคัดแยกเม็ดพลาสติก (Vibration Screen) เพื่อคัดแยกขนาดของเม็ดให้ได้ตามขนาดที่ต้องการ

8) ส่งเข้าสู่ STORAGE SILO เพื่อนำเม็ดไปเก็บไว้เพื่อเตรียมบรรจุ โดยส่งเม็ดจาก STORAGE SILO ไปที่ BAGGING/ PACKING SILO เพื่อทำการบรรจุต่อไป

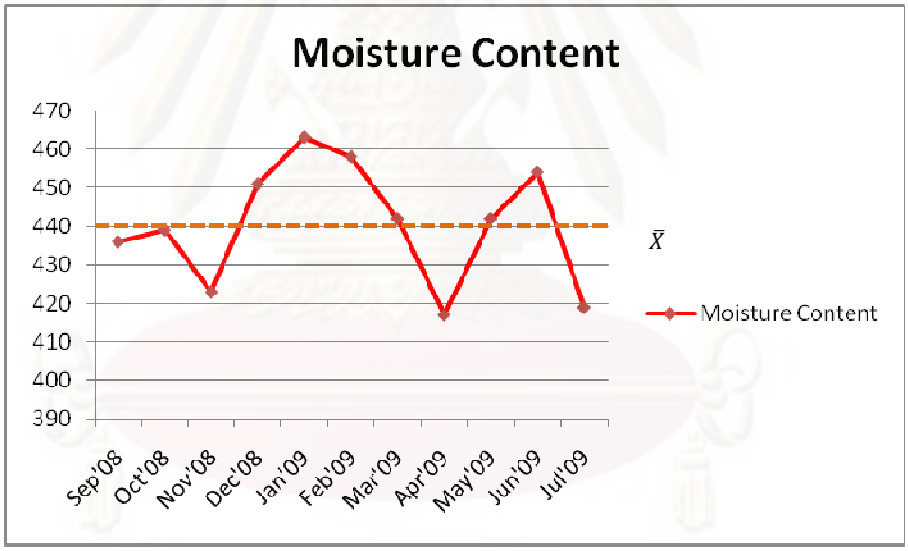
4.3 สภาพปัญหาในปัจจุบัน

ค่าความชื้นของเม็ดพลาสติก ถือเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อคุณภาพของชิ้นส่วนขึ้นรูปที่ดีที่สุด และเป็นสิ่งที่ลูกค้าให้ความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง โดยมาตรฐานค่าความชื้นที่ยอมรับได้จะต้องไม่เกิน 350 PPM หรือประมาณ 0.035 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของพลาสติกและสารเติมแต่งที่ใช้ (อ้างอิงมาตรฐาน ISO 4427-1 : 2007 (Plastics piping system-Polyethylene pipes and fittings for water supply – part 1 :General)) ซึ่งมาตรฐานดังกล่าวจะใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาและตัดสินใจ

ว่าจะขึ้นรูปเม็ดพลาสติกเหล่านั้นหรือไม่ เนื่องจากค่าความชื้นที่มากเกินไปในเม็ดพลาสติกจะระเหยออกไปเมื่ออุณหภูมิถึงจุดหนึ่งในขณะที่ทำการขึ้นรูป และส่งผลให้ชิ้นส่วนขึ้นรูปที่เสร็จแล้วมีรูปร่างไม่สมบูรณ์และมีพื้นผิวไม่เรียบ ด้วยเหตุนี้ผู้ผลิตจึงมักหลีกเลี่ยงความชื้นที่มากเกินไป เพราะกระบวนการขึ้นรูปนั้นมีความสำคัญมากสำหรับการผลิตที่มีประสิทธิภาพและคุณภาพของผลิตภัณฑ์สูงสุด

ผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติกคอมพาวด์ สำหรับผลิตงานท่อนั้น จักต้องควบคุมปริมาณค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกให้อยู่ในเกณฑ์คุณภาพที่ลูกค้ากำหนดก่อนส่งมอบสินค้าให้กับลูกค้า ทั้งนี้เนื่องมาจากเงื่อนไขทางการค้า

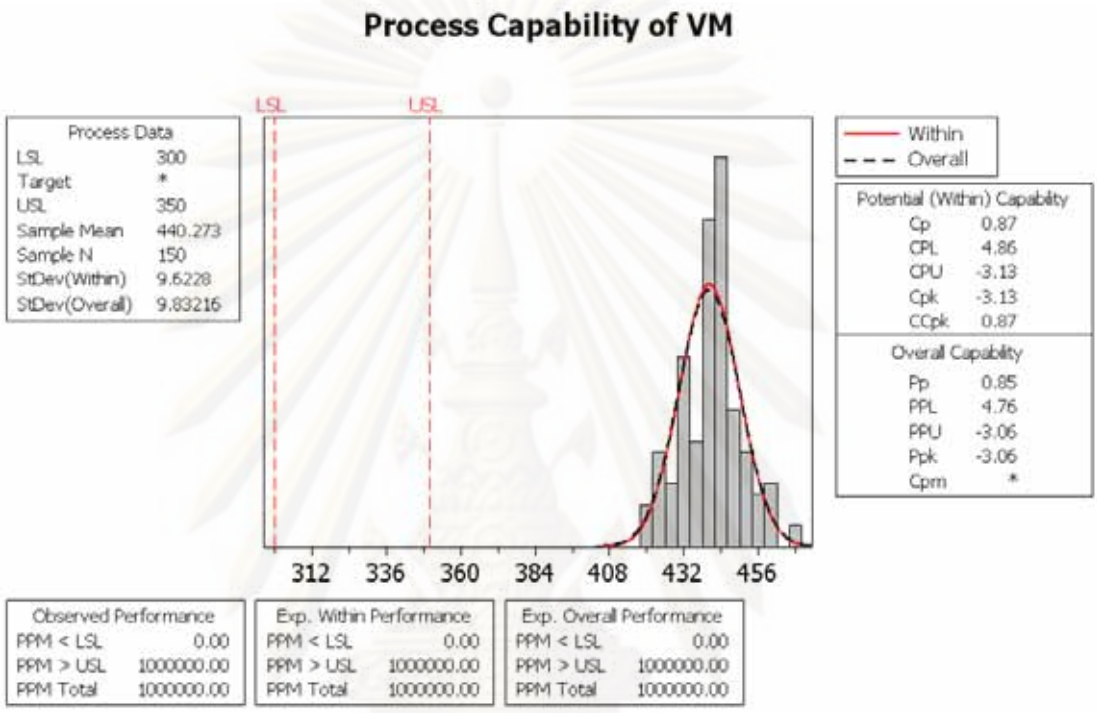
จากการตรวจสอบข้อมูลจากฐานข้อมูลของบริษัท ระหว่างเดือนกันยายน 2551 ถึงเดือนกรกฎาคม 2552 ที่ผ่านมา พบว่าผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติกคอมพาวด์สำหรับผลิตงานท่อนั้น มีค่าความชื้นโดยเฉลี่ยในแต่ละเดือนสูงเกินเกณฑ์มาตรฐาน แสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์สำหรับผลิตงานท่อ
เดือนกันยายน 2551 – กรกฎาคม 2552

ด้วยเหตุนี้ จึงได้ทำการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ โดยมีวัตถุประสงค์ของการทำการวิเคราะห์เพื่อประเมินความผันแปรของกระบวนการและวิเคราะห์ความผันแปรที่เกิดขึ้น รวมถึงแหล่งความผันแปรต่างๆ เพื่อหาแนวทางการลดความผันแปรที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการ วิธีการดำเนินการเก็บข้อมูลเพื่อนำมาศึกษาความสามารถของกระบวนการเริ่มด้วยการสุ่มตัวอย่างจากกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ จำนวน 30 กลุ่มตัวอย่าง ขนาด

กลุ่มตัวอย่างละ 5 ครั้ง โดยมีปริมาณการสุ่มแต่ละครั้งเท่ากับ 20 กรัม จากนั้นนำไปทดสอบด้วยเครื่อง Moisturizer Analyzer โดยมีผลการผลการวิเคราะห์จากการเก็บข้อมูลแสดงถึงความสามารถของกระบวนการได้แสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability)

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการ

	C_p	C_{pk}	P_p	P_{pk}
ค่ามาตราฐาน	มากกว่า 1.33	มากกว่า 1.33	มากกว่า 1.33	มากกว่า 1.33
ค่าที่คำนวนได้	0.87	-3.13	0.85	-3.06

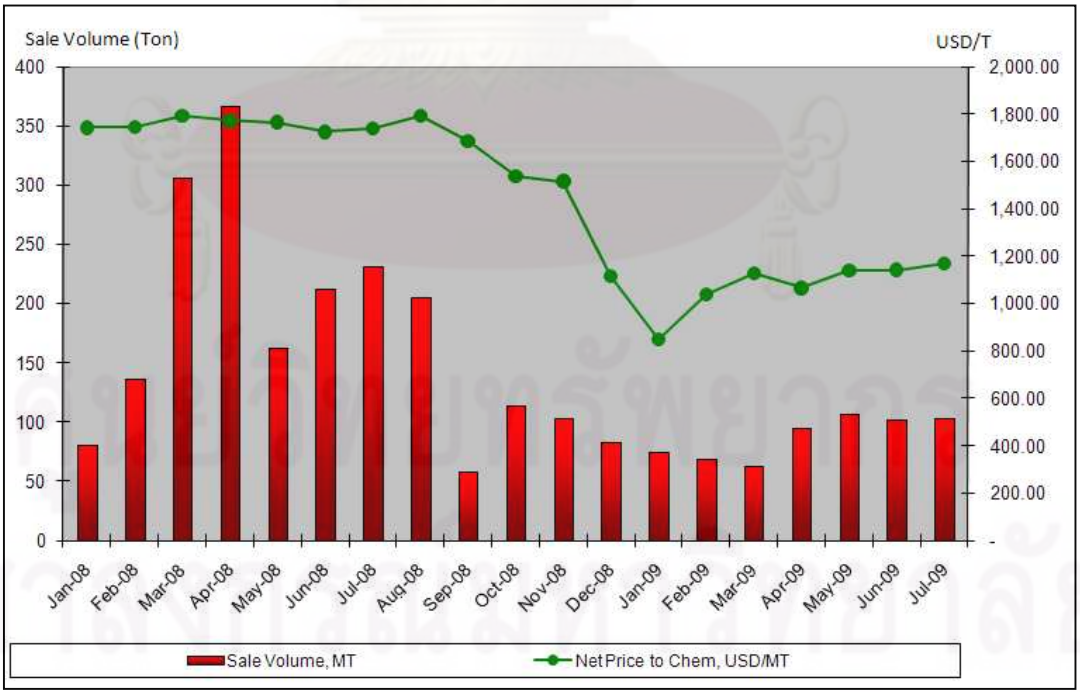
จากตารางที่ 4.2 พบว่า ค่าความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการระยะสั้น (C_p) มีค่า 0.87 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1.33 หมายความว่า ความสามารถของกระบวนการ ในระยะสั้นนั้นมีความผันแปรสูงและมีความมั่นคงต่ำในระดับคุณภาพระดับ 3σ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่ากระบวนการการผลิตดังกล่าวมีความสามารถที่จะให้ค่าของผลิตภัณฑ์ถูกต้องตรงตามค่าจริง (True Value) ค่อนข้างต่ำ ส่วนความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการระยะสั้น (C_{pk}) มีค่า -3.13 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1.33 แสดงว่าการเลื่อนไปจากค่ากลางของข้อกำหนดเฉพาะของตำแหน่งกระบวนการมีความผันแปรค่อนข้างสูงในระดับคุณภาพระดับ 3σ ซึ่งส่งผลมาจากในกระบวนการดังกล่าวมีความสามารถของ

ระบบการวัด ในการวัด เพื่อให้ได้ค่าที่ตรงกันต่ำ และค่าความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการระยะยาว (P_p) มีค่า 0.85 หมายความว่า ความสามารถของกระบวนการระยะยาวนั้นมีความผันแปรค่อนข้างสูงและมีความมั่นคงต่ำ ในระดับคุณภาพระดับ 3σ สุดท้ายคือ ความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการระยะยาว (P_{pk}) มีค่า -3.06 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1.33 แสดงว่าการเลื่อนไปจากค่ากลางของข้อกำหนดเฉพาะของตำแหน่งกระบวนการมีความผันแปรค่อนข้างสูง ในระดับคุณภาพระดับ 3σ

โดยสรุปจากค่า P_{pk} มีค่า -3.06 ซึ่งมีค่าเท่ากับค่า C_{pk} ที่มีค่า -3.13 ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่ากระบวนการทดสอบค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์พบปัญหาเรื่องการควบคุมกระบวนการ กล่าวคือการเลื่อนไปจากค่ากลางของข้อกำหนดเฉพาะของตำแหน่งกระบวนการมีความผันแปรสูง โดยค่าเฉลี่ยของกระบวนกาหนีห่างจากด้าน USL มากเกินไป โดยกระบวนการนี้มีค่าเฉลี่ยของค่าความชื้น เท่ากับ 440.27 PPM และส่วนเบี่ยงเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 9.62

4.3.1 ข้อมูลมูลค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้น

จากปัญหาค่าความชื้นที่สูงของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์สำหรับผลิตงานท่อ ในช่วงเดือนกันยายน 2551 ถึง เดือนกรกฎาคม 2552 นั้น พบว่ายอดขายมีแนวโน้มลดลง แสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ข้อมูลยอดขายและแนวโน้มราคาเม็ดพลาสติกส่งออกต่างประเทศ ระหว่าง เดือนกันยายน 2551-กรกฎาคม 2552

จากยอดขายเม็ดพลาสติกคอมพาวด์สำหรับผลิตงานท่อมีแนวโน้มลงลง ด้วยเหตุนี้สามารถสรุปประเด็นความสูญเสียดังนี้

1) บริษัทฯ ต้องรับผิดชอบค่าใช้จ่าย โดยการรับซื้อผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้คุณภาพซึ่งเกิดจากคุณภาพของเม็ดพลาสติกไม่ได้มาตรฐาน โดยคิดเป็นมูลค่าความเสีย $ 10,695 หรือประมาณ 374,325 บาทต่อเดือน

2) ยอดขายตั้งแต่เดือนกันยายน 2551 ถึง เดือนกรกฎาคม 2552 ลดลงอย่างรวดเร็ว จากกำลังการผลิตเฉลี่ยต่อเดือนเท่ากับ 213 ตัน ลดลงเหลือประมาณ 88 ตันต่อเดือนโดยเฉลี่ย คิดเป็นมูลค่าการเสียโอกาสในการขายโดยเฉลี่ย 125 ตันต่อเดือน หรือคิดเป็นเงิน 220,000 USD (อ้างอิงราคาเฉลี่ย 1,760 USD ต่อตัน) หรือประมาณ 7.7 ล้านบาทต่อเดือน (คำนวณอัตราแลกเปลี่ยน 35 บาทต่อ USD)

3) รวมมูลค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นโดยประมาณ 8,074,325 บาทต่อเดือน

จากข้อมูลข้างต้นมีโอกาสค่อนข้างสูงที่ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้คุณภาพจะส่งไปถึงมือลูกค้า ซึ่งเป็นผลเสียต่อบริษัทในระยะยาว ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการปรับปรุงกระบวนการผลิตตลอดจนปัจจัยที่มีผลต่อค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ ทั้งนี้เพื่อที่จะลดค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ให้อยู่ในเกณฑ์คุณภาพที่ลูกค้าพึงพอใจ ด้วยเหตุนี้จึงทำการศึกษาถึงสาเหตุที่แท้จริงที่ทำให้เกิดค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ที่สูง และทำการแก้ไขป้องกัน เพื่อลดความสูญเสียที่เกิดขึ้น

4.4 บทสรุป

จากที่ได้กล่าวมาทั้งหมดในส่วนของขั้นตอนของการนิยามปัญหานั้น พบมูลค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นของบริษัทมากกว่า 8 ล้านบาทต่อเดือน ซึ่งเกิดขึ้นจากการผลิตผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติกคอมพาวด์ที่ใช้ผลิตงานท่อมีคุณภาพไม่ตรงตามความต้องการของลูกค้านั้น เป็นเหตุผลหนึ่งที่บริษัทต้องศึกษาข้อมูลทางสถิติ ซึ่งพบว่าในช่วงเดือนกันยายน 2551 - กรกฎาคม 2552 นั้น ผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติกคอมพาวด์ มีค่าความชื้นเฉลี่ยเท่ากับ 440.27 PPM ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ซึ่งส่งผลกระทบด้านธุรกิจของบริษัท โดยการทำโครงงานวิจัยนี้ จึงพิจารณาปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อความพึงพอใจของลูกค้า คือ ปัญหาลูกค้าร้องเรียน ซึ่งปัญหาที่ลูกค้าร้องเรียนคือค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ที่สูงเกินมาตรฐาน และการนิยามปัญหานี้จะทำการวัดความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการสะท้อนด้วยค่าความสามารถกระบวนการ เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างแผนงานในการแก้ไขเป็นลำดับต่อไป

บทที่ 5

การวัดเพื่อกำหนดหาสาเหตุของปัญหา

จากขั้นตอนการนิยามปัญหาเพื่อกำหนดแนวทางต่างๆ ในการแก้ไขปัญหาแล้ว สำหรับในขั้นตอนนี้จะจะเริ่มต้นจากการวิเคราะห์ระบบการวัด โดยการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (Gauge R&R) การศึกษากระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกคอมพาวด์โดยจัดทำแผนที่กระบวนการ (Process Map) และใช้การระดมสมองเพื่อหาสาเหตุที่เป็นไปได้ทั้งหมด จากนั้นทำการจัดลำดับความสัมพันธ์ของสาเหตุแต่ละสาเหตุให้อยู่ในรูปแบบที่ง่ายต่อการวิเคราะห์ โดยการวิเคราะห์ผ่านแผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) แต่เนื่องจากการวิเคราะห์แผนภาพแสดงสาเหตุและผลจะไม่สามารถระบุได้ว่าสาเหตุใดมีความสำคัญมากที่สุด ที่จะต้องได้รับการแก้ไขเป็นอันดับแรก ดังนั้นจึงต้องอาศัยการวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการหรือ FMEA โดยจะช่วยระบุความสำคัญของสาเหตุด้วยตัวเลขความเสี่ยงที่จะก่อให้เกิดปัญหา ของกระบวนการ (Risk Priority Number : RPN) จากข้อมูลตัวเลขดังกล่าวเมื่อนำมาทำการสร้างแผนภาพพาเรโตก็จะช่วยทำให้ทราบถึงสาเหตุที่มีความสำคัญมากที่สุด ที่จะต้องได้รับการแก้ไข โดยมีรายละเอียดในขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้

5.1 การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (Gauge R&R)

วัตถุประสงค์สำคัญในการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด คือ การวิเคราะห์ถึงแหล่งของความคลาดเคลื่อนในระบบการวัด ด้วยการจำแนกค่าที่ได้จากการวัดออกเป็นค่าจริง ค่าคลาดเคลื่อนเชิงระบบ ค่าคลาดเคลื่อนจากเครื่องมือวัด และค่าคลาดเคลื่อนอื่นๆ ซึ่งพบว่าความคลาดเคลื่อนของค่าวัดจะประกอบด้วย เครื่องมือวัด พนักงานวัด ชิ้นงานที่วัด สิ่งแวดล้อมในการวัด ด้วยเหตุนี้จึงอาจเกิดความผันแปรในระบบการวัดได้

การวิเคราะห์ระบบความแม่นยำของเครื่องมือวัดจึงมีความสำคัญมาก เนื่องจากการแก้ปัญหาทางด้านคุณภาพหรือการป้องกันปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพนั้นต้องมีความมั่นใจในเรื่องเสถียรภาพของเครื่องมือวัด ซึ่งการวิเคราะห์ระบบการวัดมีจุดประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของระบบการวัดในกระบวนการผลิตว่าอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้หรือไม่ โดยการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงสถิติของระบบการวัดเพื่อทำการแยกแหล่งความผันแปรที่เกิดขึ้นบนชิ้นงาน (Part-to-Part Variation) พนักงานวัด (Apprasier Veriation) ความผันแปรร่วม (Interaction Variation) ด้วยเหตุนี้

จึงมีความจำเป็นที่จะต้องดำเนินการกำจัดปริมาณที่สามารถควบคุมได้เสียก่อน ได้แก่ ความคลาดเคลื่อนจากความผิดพลาด ด้วยการทำให้ระบบการวัดเป็นมาตรฐาน แล้วจึงค่อยดำเนินการสอบเทียบเครื่องมือเพื่อกำจัดความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ โดยการศึกษาในครั้งนี้ ตัวแปรที่ทำการศึกษา คือ ค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ที่ผ่านกระบวนการผสมระหว่างเม็ดพลาสติกและสารเติมแต่ง

5.1.1 การออกแบบการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด

สำหรับในขั้นตอนการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดนี้ อ้างอิงจากการปฏิบัติจริงของโรงงานตัวอย่างที่ปฏิบัติอยู่ในปัจจุบัน โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. คัดเลือกพนักงานที่มีทักษะและได้รับการฝึกอบรมมากเป็นอย่างดี จำนวนทั้งสิ้น 2 คน
2. คัดเลือกผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิตแบบสุ่ม จำนวนทั้งสิ้น 10 ตัวอย่าง
3. ทำการสอบเทียบเครื่องมือวัดให้มั่นใจว่าเครื่องมือวัดมีความถูกต้องโดยอ้างอิงจากการตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องมือวัด
4. ทำการวัดค่าของชิ้นงานจนครบทุกชิ้นและวัดซ้ำอีก 2 ครั้ง ด้วยวิธีการเดียวกัน จากนั้นทำการบันทึกค่าลงในภาคผนวก
5. ป้อนค่าที่บันทึกได้ลงใน MINITAB และหาค่าของ GR&R

ในการวิเคราะห์ครั้งนี้ได้ผลการทดลองจากห้องปฏิบัติการที่ทางบริษัทใช้งานอยู่ ซึ่งมีเครื่องวัดอยู่ 1 เครื่อง ทั้งนี้จะดำเนินการเก็บค่าการทดสอบจากพนักงานที่ได้รับการอบรมเรื่องการทดสอบอย่างดีแล้ว จำนวน 2 คน เนื่องจากการทดสอบนี้ เป็นการทดสอบแบบทำลาย จึงต้องทำการสุ่มจากงานที่จะใช้ทดสอบทั้งหมด 10 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 3 กลุ่มตัวอย่าง เพื่อนำมาทำการวัดค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์

5.1.2 การศึกษาความถูกต้องของระบบการวัดค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ โดยเครื่อง Moizture Analyzer

1. ผลลัพธ์ของการตรวจวัด แสดงดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ผลลัพท์ของการตรวจวัด

Operator	**X**			**Y**		
Lot No.	**ค่าวัด 1**	**ค่าวัด 2**	**ค่าวัด 3**	**ค่าวัด 1**	**ค่าวัด 2**	**ค่าวัด 3**
A	423	425	419	428	424	413
B	414	410	407	422	419	415
C	407	401	411	414	403	406
D	453	457	459	452	448	455

ตารางที่ 5.1 ผลลัพท์ของการตรวจวัด (ต่อ)

Operator	X			Y		
Lot No.	**ค่าวัด 1**	**ค่าวัด 2**	**ค่าวัด 3**	**ค่าวัด 1**	**ค่าวัด 2**	**ค่าวัด 3**
E	412	404	406	405	413	416
F	445	448	439	441	432	433
G	424	417	423	411	409	416
H	463	468	464	466	471	468
I	472	481	478	481	479	483
J	409	415	413	412	417	402

Gage R&R Study - ANOVA Method

Gage R&R for VM

Gage name: Moisture Content_Tester
Date of study:
Reported by: Rujira U.
Tolerance: 1
Misc:

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Lot No.	9	36964.8	4107.20	81.8983	0.000
Operator	1	2.8	2.82	0.0562	0.818
Lot No. * Operator	9	451.4	50.15	2.4950	0.023
Repeatability	40	804.0	20.10		
Total	59	38223.0			

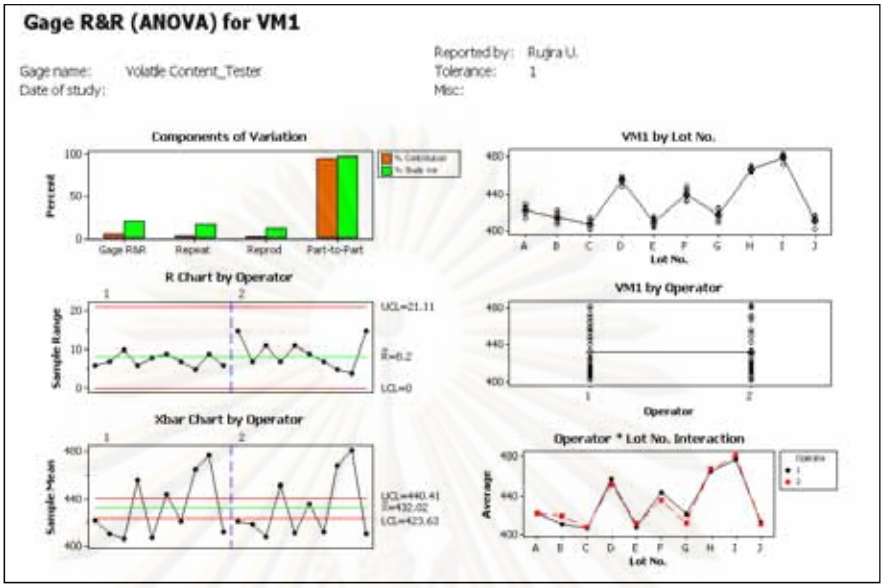
Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	30.117	4.26
Repeatability	20.100	2.85
Reproducibility	10.017	1.42
Operator	0.000	0.00
Operator*Lot No.	10.017	1.42
Part-To-Part	676.175	95.74
Total Variation	706.292	100.00

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	5.4879	32.927	20.65
Repeatability	4.4833	26.900	16.87
Reproducibility	3.1649	18.989	11.91
Operator	0.0000	0.000	0.00
Operator*Lot No.	3.1649	18.989	11.91
Part-To-Part	26.0034	156.020	97.84
Total Variation	26.5762	159.457	100.00

Number of Distinct Categories = 6

รูปที่ 5.1 ผลการวิเคราะห์การประเมินความผันแปรของการวัดด้วยเครื่อง Moisture Analyzer



รูปที่ 5.2 การประเมินความผันแปรของการวัดด้วยเครื่อง Moisture Analyzer

2. วิเคราะห์และสรุปผลการศึกษา โดยการตีความหมายจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab ดังนี้

1) จากแผนภูมิควบคุม R พบว่าพนักงานทั้งสองคนมีค่าวัดที่มีความสม่ำเสมอดี แต่ B อาจจะให้ความผันแปรจากค่าวัดที่สูงกว่า A

2) จากแผนภูมิควบคุม X bar พบว่า ความผันแปรจากระบบการวัดมีค่าไม่มากนัก เมื่อเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการวัด มีคุณภาพเพียงพอในการประมาณค่าความผันแปรของกระบวนการ

3) จากการพิจารณาความสามารถในการแยกความแตกต่างของข้อมูล (Number of Distinct Categories) ได้เท่ากับ 6 โดยที่เกณฑ์มาตรฐานของความสามารถในการแยกความแตกต่างของข้อมูลจะมีค่าเท่ากับ 5 แสดงว่าข้อมูลที่ได้จะใช้ประมาณค่าความผันแปรของระบบการวัดได้

4) ความผันแปรจากสิ่งตัวอย่าง จะมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลทดลองทั้งหมดมีค่า 26.5762 หน่วย จะเป็นความเบี่ยงเบนมาตรฐานจากชิ้นงานทดสอบ 26.0034 หน่วย และความเบี่ยงเบนจากระบบการวัด 5.4879 หน่วย

5) ความผันแปรที่ประมาณได้ของระบบการวัด จะมีความผันแปรของค่าวัด 159.457 หน่วย ซึ่งแบ่งออกเป็นความผันแปรจากกระบวนการผลิต 156.020 หน่วย และความผันแปรจากระบบการวัด 32.927 หน่วย

6) เมื่อประเมินผลระบบการวัดเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ (TV) หรือ P/TV แล้ว จะพบว่า ถ้าความผันแปรของกระบวนการผลิตที่ประเมินได้จากค่าวัดทั้งหมด (TV) มีค่า

เท่ากับ 100 หน่วยแล้ว จะเป็นความผันแปรจากสาเหตุของกระบวนการผลิต 97.84 หน่วย และความผันแปรจากระบบการวัด 20.65 หน่วย ซึ่งแบ่งออกเป็นความผันแปรจากสาเหตุรีพีททะบิลิตี้ 16.87 หน่วย และความผันแปรจากพนักงานวัดหรือรีโปรดิวซิบิลิตี้จะมีค่าน้อยเท่ากับ 11.91

7) จากค่า "VarComp" แสดงความแปรปรวนของการทดลองแบบตัวแบบสุ่ม ซึ่งจะพบความแปรปรวนจากข้อมูลทั้งหมดมีค่า 706.292 หน่วย^2 โดยมาจากความแปรปรวนจากกระบวนการผลิต 676.175 หน่วย^2 และความแปรปรวนจากระบบการวัด 30.117 หน่วย^2

8) จากความแปรปรวนของการทดลอง เมื่อทำการเทียบเป็นค่าร้อยละแล้วจะพบว่า ถ้าความแปรปรวนของข้อมูลทั้งหมดคือ 100 หน่วย^2 จะเป็นผลเนื่องจากความแปรปรวนของกระบวนการผลิต 95.74 หน่วย^2 และความแปรปรวนของระบบการวัด 4.26 หน่วย^2

เมื่อพิจารณาจากการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดของเครื่อง Moizture Analyzer ในกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ พบว่าเครื่องมือวัดนี้มีความสามารถในการตรวจจับความผันแปรของกระบวนการได้ดี โดยดูจากข้อมูลจริงจาก MINITAB ดังนี้

	% SV
ค่าระบบการวัด (Total GR&R)	20.65
ค่าแปรผันมาจากเครื่องมือวัด (Repeatability)	16.87
ค่าแปรผันมาจากผู้ทำการทดลอง (Reproducibility)	11.91
ค่าความแปรผันจากชิ้นงาน (Part-to-Part)	97.84

จากค่าที่วัดได้มีค่าระบบการวัด (Total GR&R) 20.65 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่ามากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้โดยมีจากความแปรผันจากเครื่องมือวัด 16.87 เปอร์เซ็นต์ และแปรผันจากผู้ทำการทดลอง 11.91 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าระบบการวัดดังกล่าวอยู่ในช่วง 10-30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่บริษัทยอมรับได้ และจากกราฟที่แสดงในรูปที่ 5.2 อธิบายได้ดังนี้

1) กราฟ VM1 by Lot No. แสดงให้เห็นว่ามีความแตกต่างมากสำหรับชิ้นงานแต่ละตัวที่นำมาทำการวัด

2) กราฟ VM1 By Operator แสดงให้เห็นว่ามีความแตกต่างน้อยมากสำหรับพนักงานที่ทำการวัด

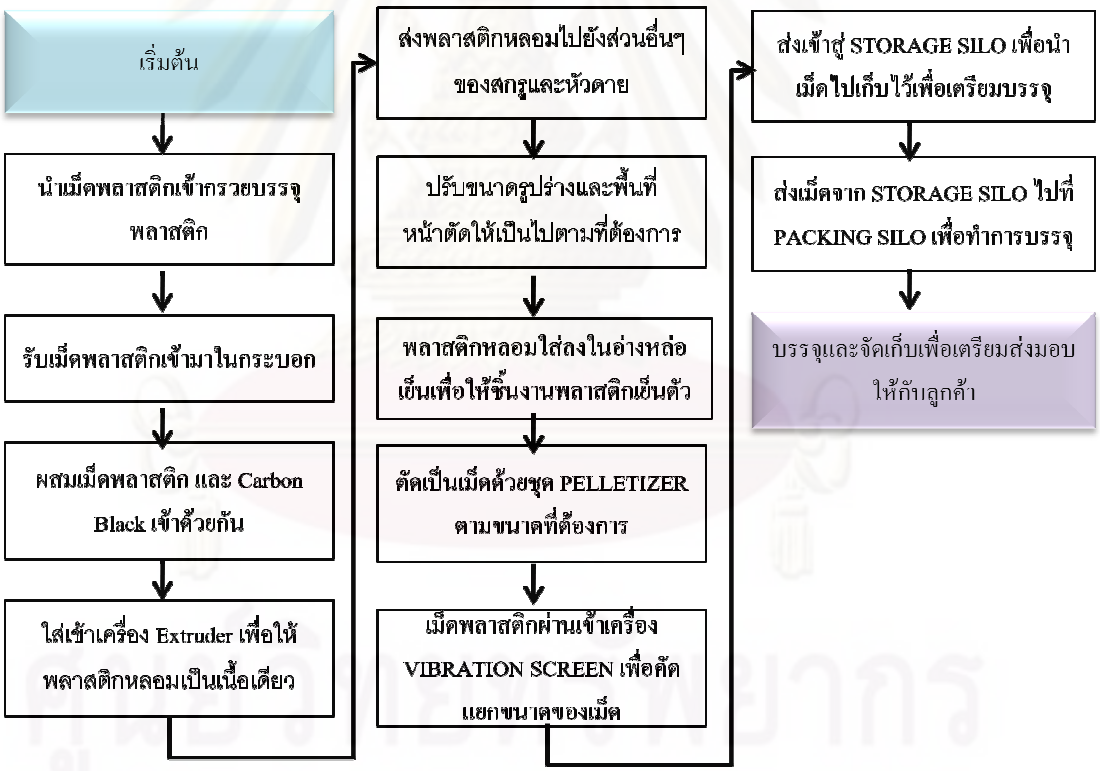
3) กราฟ $\bar{X}$ – R แสดงให้เห็นว่าค่าโดยส่วนมากอยู่นอกเหนือเส้นควบคุมซึ่งอาจจะความผันแปรที่เกิดจากความแตกต่างกันของชิ้นงาน

4) กราฟ Operator*Lot No. Interaction แสดงให้เห็นว่าพนักงานที่ทำการวัดกับชิ้นงานที่วัดไม่มีผลกระทบซึ่งกันและกัน

สรุปได้ว่า ระบบการวัดนี้มีความสามารถในการแยกความแตกต่างของค่าวัดได้ละเอียด นั่นคือสามารถยอมรับในความสามารถของระบบการวัดนี้ว่า มีความแม่นยำเพียงพอที่จะใช้สำหรับดำเนินการในขั้นต่อไป

5.2 แผนที่กระบวนการผลิต (Process Map)

การสร้างแผนที่กระบวนการผลิต เป็นงานขั้นตอนแรกของการศึกษาและพัฒนาคุณภาพของการผลิต เนื่องจากจะทำให้สามารถทราบถึงปัจจัยและความสัมพันธ์ในแต่ละงานในกระบวนการและลักษณะงานไม่ก่อให้เกิดคุณค่า (Non Value Added) ในกระบวนการได้อีกด้วย แสดงดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 แผนที่กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกคอมพาวด์

5.3 การวิเคราะห์แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

เมื่อทำการศึกษากระบวนการโดยครบถ้วนแล้ว ทำให้ทราบว่าตัวแปรเข้าที่สำคัญของกระบวนการมีอะไรบ้าง ต่อมาจึงมีความจำเป็นต้องทำการระดมสมอง เพื่อทำการค้นหาสาเหตุสำหรับการวิเคราะห์ที่มีโอกาสเป็นไปได้มากที่สุด ซึ่งมีขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

1. ทำการศึกษาขั้นตอนของกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกคอมพาวด์สำหรับผลิตงานท่ออย่างละเอียด

2. ระดมความคิดเพื่อระบุปัจจัยที่เป็นไปได้ที่มีผลกระทบต่อค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์สำหรับผลิตงานท่อ ซึ่งเครื่องมือที่นำมาประยุกต์ใช้ช่วยในการพิจารณาคือผังก้างปลา สำหรับการระดมความคิดนี้จะกระทำโดยสมาชิกในคณะทำงานจำนวน 8 ท่าน ตามที่ได้มีการจัดตั้งในขั้นตอนการนิยามปัญหา โดยในคณะทำงานแต่ละท่าน จะเป็นผู้ที่มีความรู้ ความเข้าใจ ในผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกคอมพาวด์เป็นอย่างดี โดยจะระดมความคิดอย่างอิสระ เพราะในขั้นตอนนี้ผลลัพธ์ที่เป็นไปได้คือจำนวนปัจจัยที่เป็นไปได้ทั้งหมด โดยผลของการระดมความคิดแยกตามแหล่งที่มาของสาเหตุทั้ง 6 ประเภท ดังรูปที่ 5.4

3. นำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดมาใส่ลงในตาราง Cause and Effect Matrix ในที่นี้กำหนดให้อัตราความสำคัญเท่ากับ 10 เนื่องจากเป็นผลลัพธ์ที่ต้องการเพียงข้อเดียว

4. ให้กลุ่มสมาชิกทำการลงคะแนนความสำคัญให้กับปัจจัยที่ได้ โดยใช้แบบสอบถามดังภาคผนวก ก ซึ่งจะให้คะแนนในช่วง 0 ถึง 10 คะแนน โดยแต่ละคนจะให้คะแนนของตนเองจนครบ 16 ปัจจัย ผู้วิจัยรวบรวมคะแนน พร้อมทั้งทำการคูณค่าคะแนนแต่ละปัจจัยในแต่ละสมาชิกด้วยอัตราความสำคัญที่มีต่อลูกค้าเท่ากับ 10 จากนั้นทำการรวมคะแนนที่ได้ทั้งหมดในแต่ละปัจจัย และทำการสรุปผลคะแนนในตาราง Cause and Effect Matrix ดังตารางที่ 5.2

เกณฑ์การให้คะแนนให้กับตารางความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผล

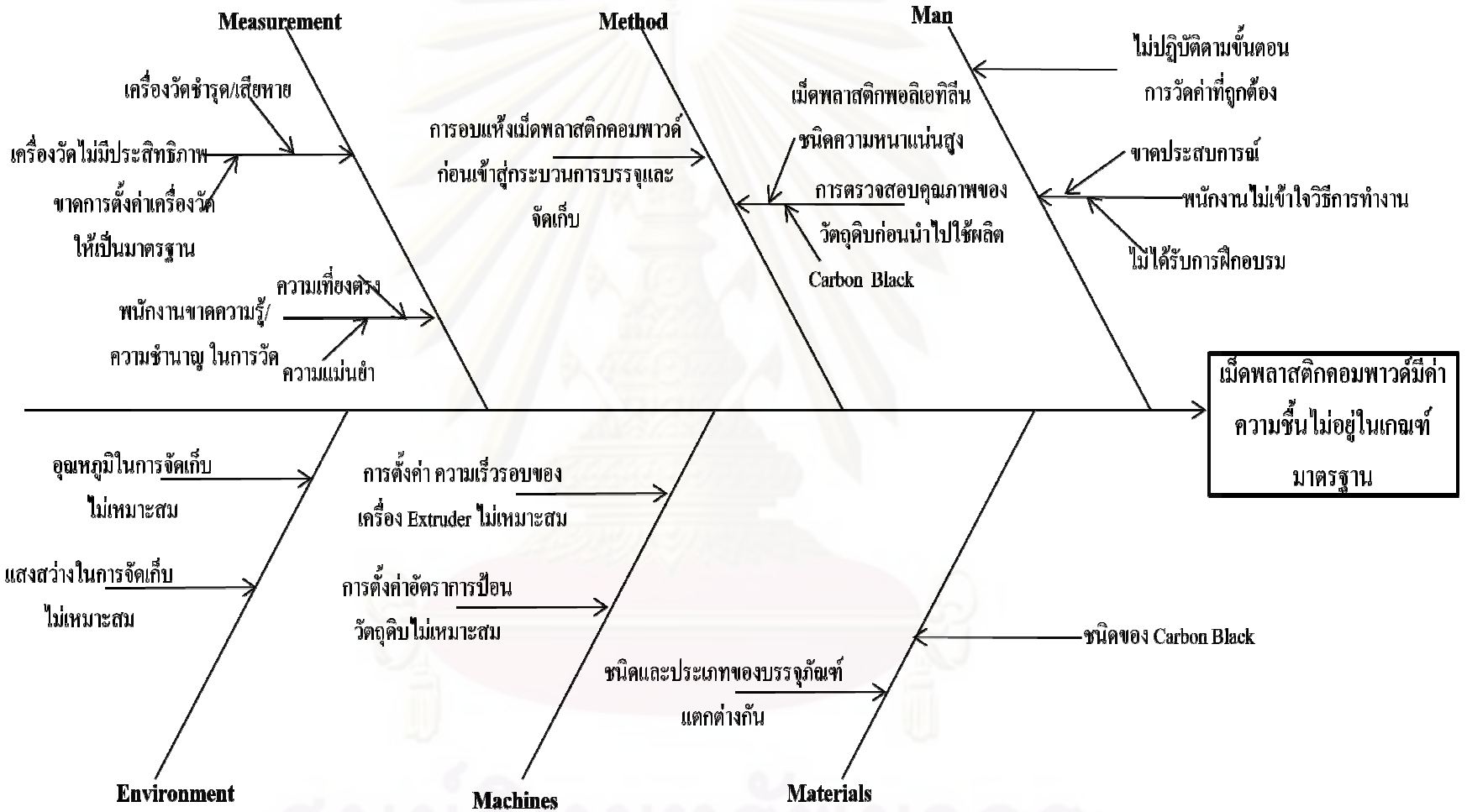
0 คือ ไม่มีความสัมพันธ์ร่วมกัน

1-3 คือ ลำพังผลจากกระบวนการแล้วมีผลกระทบปานกลางต่อความต้องการของลูกค้า

4-6 คือ ตัวแปรที่เป็นปัจจัยป้อนเข้ามีผลกระทบปานกลางต่อความต้องการของลูกค้า

7-9 คือ ตัวแปรที่เป็นปัจจัยป้อนเข้ามีผลโดยตรงและมีผลกระทบมากต่อความต้องการของลูกค้า

10 คือ ตัวแปรที่เป็นปัจจัยป้อนเข้ามีผลโดยตรงและมีผลกระทบอย่างยิ่งต่อความต้องการของลูกค้า

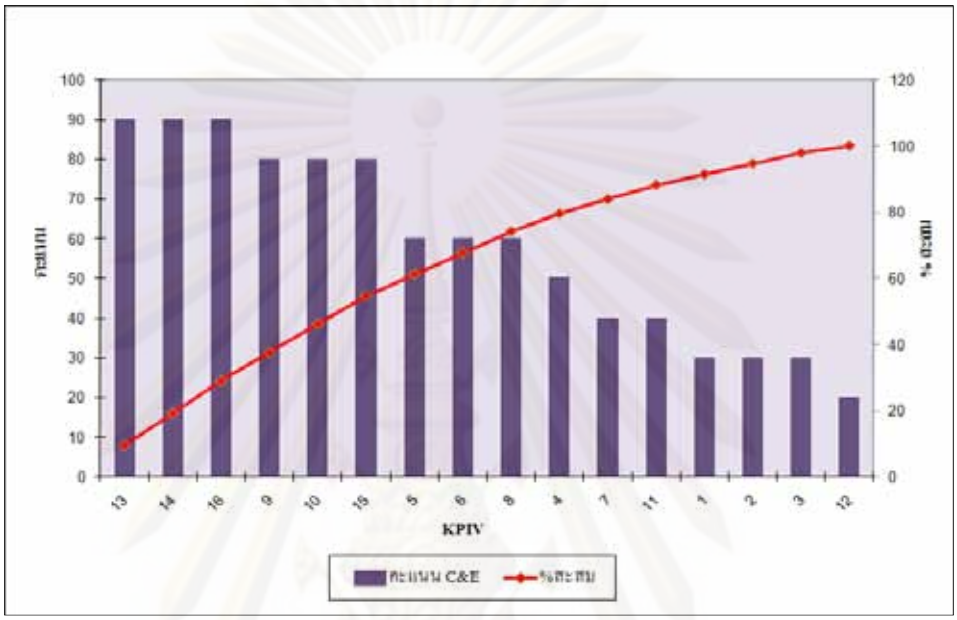


รูปที่ 5.4 แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

ตารางที่ 5.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผล

Rating of Improtance to Customer			KPOV	Result
Item	**Six Area Causes**	**Process Input Variable**		
1	Man	พนักงานไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการวัดค่าที่ถูกต้อง	3	30
2	Man	พนักงานขาดประสบการณ์ในการวัดค่า	3	30
3	Man	พนักงานไม่ได้รับการฝึกอบรมในการวัดค่าที่ถูกต้อง	3	30
4	Method	การตรวจสอบคุณภาพของเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงก่อนนำไปใช้ผลิต	5	50
5	Method	การตรวจสอบคุณภาพของ Carbon Black ก่อนนำไปใช้ผลิต	6	60
6	Method	การอบแห้งเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ก่อนเข้าสู่กระบวนการบรรจุและจัดเก็บ	6	60
7	Measurement	เครื่องวัดไม่มีประสิทธิภาพเนื่องจากเครื่องวัดชำรุด/เสียหาย	4	40
8	Measurement	เครื่องวัดไม่มีประสิทธิภาพเนื่องจากขาดการตั้งค่าเครื่องวัดให้เป็นมาตรฐาน	6	60
9	Measurement	พนักงานขาดความเที่ยงตรงในการวัด	8	80
10	Measurement	พนักงานขาดความแม่นยำในการวัด	8	80
11	Environment	อุณหภูมิในการจัดเก็บไม่เหมาะสม	4	40
12	Environment	แสงสว่างในการจัดเก็บไม่เหมาะสม	2	20
13	Machines	การตั้งค่าอัตราการป้อนวัตถุดิบไม่เหมาะสม	9	90
14	Machines	การตั้งค่า ความเร็วรอบของเครื่อง Extruder ไม่เหมาะสม	9	90
15	Materials	ชนิดและประเภทของบรรจุภัณฑ์แตกต่างกัน	8	80
16	Materials	ชนิดของ Carbon Black แตกต่างกัน	9	90
Total				**930**

จากตารางที่ 5.2 เป็นตารางสรุปผลคะแนนซึ่งเกิดจากการให้สมาชิกในคณะทำงานทั้ง 8 ท่าน ทำการลงคะแนนความสำคัญให้กับปัจจัยที่เกิดจากการระดมความคิดในเบื้องต้นทั้งหมด 16 ปัจจัย หลังจากนั้นนำคะแนนที่ได้มาเขียนแผนภูมิพาเรโต้ เพื่อเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยต่างๆ



รูปที่ 5.5 แผนภูมิพาเรโต้เรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยต่างๆ จากการวิเคราะห์ด้วย Cause & Effect Matrix

จากรูปที่ 5.5 ผลการให้คะแนนความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ โดยสมาชิกกลุ่มพบว่าคะแนนรวมทั้งหมดของปัจจัยมีค่าเท่ากับ 930 คะแนน และทำการเลือกปัจจัยตามลำดับคะแนนที่ได้จัดเรียงไว้ในแผนภูมิพาเรโต เพื่อนำไปศึกษาต่อด้วย FMEA ต่อไปโดยปัจจัยที่ได้เลือกไว้รวมทั้งสิ้น 11 ปัจจัย ดังแสดงในตารางที่ 5.3 ผลรวมคะแนนความสำคัญของปัจจัยที่เลือกไว้นี้มีค่าเท่ากับ 780 คะแนน ซึ่งเป็นสัดส่วน 83.87%

ตารางที่ 5.3 ตารางแสดงลำดับของ KPIV 11 อันดับ

Item	Six Area Causes	Process Input Variable	Total
1	Machines	การตั้งค่าอัตราการป้อนวัตถุดิบไม่เหมาะสม	90
2	Machines	การตั้งค่า ความเร็วรอบของเครื่อง Extruder ไม่เหมาะสม	90
3	Materials	ชนิดของ Carbon Black แตกต่างกัน	90
4	Measurement	พนักงานขาดความเที่ยงตรงในการวัด	80

ตารางที่ 5.3 ตารางแสดงลำดับของ KPIV 11 อันดับ (ต่อ)

Item	Six Area Causes	Process Input Variable	Total
5	Measurement	พนักงานขาดความแม่นยำในการวัด	80
6	Materials	ชนิดและประเภทของบรรจุภัณฑ์แตกต่างกัน	80
7	Method	การตรวจสอบคุณภาพของ Carbon Black ก่อนนำไปใช้ผลิต	60
8	Method	การอบแห้งเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ก่อนเข้าสู่กระบวนการบรรจุและจัดเก็บ	60
9	Measurement	เครื่องวัดไม่มีประสิทธิภาพเนื่องจากขาดการตั้งค่าเครื่องวัดให้เป็นมาตรฐาน	60
10	Method	การตรวจสอบคุณภาพของเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงก่อนนำไปใช้ผลิต	50
11	Measurement	เครื่องวัดไม่มีประสิทธิภาพเนื่องจากเครื่องวัดชำรุด/เสียหาย	40
Total			**780**

5.4 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่อง และผลกระทบ (FMEA)

จากที่ได้พิจารณาเลือกปัจจัยที่สำคัญจากกการพิจารณาด้วย Cause & Effect Matrix แล้ว สำหรับในขั้นตอนนี้จะนำปัจจัยเหล่านี้มาทำการวิเคราะห์ลักษณะของข้อบกพร่องและผลกระทบด้วยการประยุกต์ใช้เครื่องมือที่เรียกว่า FMEA ดังแสดงในตารางที่ 5.7 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงลักษณะของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นของปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ พร้อมทั้งพิจารณาผลกระทบที่เกิดขึ้น เพื่อกลั่นกรองให้เหลือแต่ปัจจัยที่มีความสำคัญต่อปัญหาที่ทำการศึกษาอีกครั้งหนึ่ง

การคำนวณค่า RPN ได้มาจากผลคูณค่าพารามิเตอร์ 3 ตัวคือ O x S x D เมื่อ

- Occurrence คือระดับความถี่ของการเกิดปัญหาความล้มเหลวหรือความผิดพลาด

ตารางที่ 5.4 เกณฑ์การให้คะแนนระดับความถี่ของการเกิดปัญหา

โอกาสเกิด	จำนวนครั้ง ต่อรายการ	ระดับ
สูงมาก	100 ต่อ 1,000 / 1 ใน 10	10
สูง	50 ต่อ 1,000 / 1 ใน 20	9
	20 ต่อ 1,000 / 1 ใน 50	8
	10 ต่อ 1,000 / 1 ใน 100	7

ตารางที่ 5.4 เกณฑ์การให้คะแนนระดับความถี่ของการเกิดปัญหา (ต่อ)

โอกาสเกิด	จำนวนครั้ง ต่อรายการ	ระดับ
ปานกลาง	2 ต่อ 1,000 / 1 ใน 500	6
	0.5 ต่อ 1,000 / 1 ใน 2,000	5
	0.1 ต่อ 1,000 / 1 ใน 10,000	4
ต่ำ	0.01 ต่อ 1,000 / 1 ใน 100,000	3
	$\leq$ 0.001 ต่อ 1,000 / 1 ใน 1,000,000	2
ต่ำมาก	ข้อบกพร่องไม่เกิดขึ้น เนื่องจากมีระบบป้องกัน	1

- S = Seveity คือระดับความรุนแรงของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหาขึ้น

ตารางที่ 5.5 เกณฑ์การให้คะแนนระดับความรุนแรงของผลกระทบ

ผลกระทบ	เกณฑ์ : ความรุนแรงของผลกระทบต่อกระบวนการผลิต	ระดับ
ผลกระทบต่อความปลอดภัย และ/หรือ กฎหมาย	มีผลกระทบต่อความปลอดภัยของผู้ใช้ และ/หรือขัดต่อกฎหมายโดยไม่มีการเตือนล่วงหน้า	10
	มีผลกระทบต่อความปลอดภัยของผู้ใช้ และ/หรือ ขัดต่อกฎหมายโดยมีการเตือนล่วงหน้า	9
ผลกระทบสูงมาก	ผลิตภัณฑ์อาจเสียทั้ง 100% ต้องหยุดกระบวนการผลิต หรือไม่สามารถส่งของได้เลย	8
ผลกระทบสูง	ผลิตภัณฑ์บางส่วนต้องถูกคัดแยก / กำจัดทิ้ง กระบวนการเกิดความเบี่ยงเบน รวมถึงความเร็วของการผลิตลดลง หรือต้องเพิ่มอัตรากำลัง	7
ผลกระทบปานกลาง	ผลิตภัณฑ์ 100% อาจจะต้องถูก Rework ภายหลัง และตรวจสอบซ้ำ	6
	ผลิตภัณฑ์บางส่วน อาจจะต้องถูก Rework ภายหลัง และตรวจสอบซ้ำ	5

ตารางที่ 5.5 เกณฑ์การให้คะแนนระดับความรุนแรงของผลกระทบ (ต่อ)

ผลกระทบปานกลาง	ผลิตภัณฑ์ 100% อาจจะต้องถูก Rework ระหว่างกระบวนการ	4
	ผลิตภัณฑ์บางส่วน อาจจะต้องถูก Rework ระหว่างกระบวนการ	3
ผลกระทบเล็กน้อย	เกิดความไม่สะดวกต่อกระบวนการ, การทำงาน หรือผู้ปฏิบัติงาน	2
ไม่มีผลกระทบ	ไม่มีผลกระทบที่สังเกตเห็นได้	1

- D = Detecting คือระดับความสามารถในการตรวจจับปัญหานั้นก่อนที่จะส่งมอบงานหรือผลิตภัณฑ์ไปให้ลูกค้า

ตารางที่ 5.6 เกณฑ์การให้คะแนนระดับความสามารถในการตรวจจับปัญหา

โอกาสในการตรวจพบ	**เกณฑ์ : โอกาสในการตรวจพบปัญหา**	**ระดับ**	**ความถี่ในการตรวจพบ**
ไม่มีโอกาสตรวจพบ	ไม่มีการควบคุมการในปัจจุบันไม่สามารถตรวจจับ หรือแยกแยะได้เลย	10	แทบจะเป็นไปไม่ได้เลย
ตรวจพบแทบจะไม่ได้	ข้อบกพร่อง และ/หรือสาเหตุของปัญหา ไม่ง่ายในการตรวจจับ (เช่น ใช้การสุ่มตรวจอยู่)	9	เป็นไปได้ยากมาก
ปัญหาถูกตรวจจับได้ที่กระบวนการถัดไป	ข้อบกพร่องถูกตรวจจับได้ที่กระบวนการถัดไปโดยผู้ปฏิบัติงาน โดยตรวจสอบด้วยสายตา การสัมผัส การฟังเสียง	8	เป็นไปได้ยาก
ปัญหาถูกตรวจจับได้ระหว่างกระบวนการ	ข้อบกพร่องถูกตรวจจับได้ระหว่างกระบวนการโดยผู้ปฏิบัติงาน โดยตรวจสอบด้วยสายตา การสัมผัส การฟังเสียง หรือที่กระบวนการถัดไปโดยใช้ Attribute Gauge (go/no-go)	7	ต่ำมาก

ตารางที่ 5.6 เกณฑ์การให้คะแนนระดับความสามารถในการตรวจจับปัญหา (ต่อ)

โอกาสในการตรวจพบ	เกณฑ์ : โอกาสในการตรวจพบปัญหา	ระดับ	ความถี่ในการตรวจพบ
ปัญหาถูกตรวจจับได้ที่กระบวนการถัดไป	ข้อบกพร่องถูกตรวจจับได้ที่กระบวนการถัดไปโดยผู้ปฏิบัติงาน	6	ต่ำ
ปัญหาถูกตรวจจับได้ระหว่างกระบวนการ	ข้อบกพร่องถูกตรวจจับได้ระหว่างกระบวนการโดยผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งตรวจจับผลิตภัณฑ์ที่มีปัญหาและแจ้งให้ผู้ปฏิบัติงานทราบ	5	ปานกลาง
ปัญหาถูกตรวจจับได้ที่กระบวนการถัดไป	ข้อบกพร่องถูกตรวจจับได้ที่กระบวนการถัดไปโดยระบบอัตโนมัติ ซึ่งจะคัดแยกผลิตภัณฑ์ที่มีปัญหา และกักผลิตภัณฑ์ เพื่อป้องกันการเข้าสู่กระบวนการถัดไปนั้น	4	ค่อนข้างสูง
ปัญหาถูกตรวจจับได้ระหว่างกระบวนการ	ข้อบกพร่องถูกตรวจจับได้ระหว่างกระบวนการโดยระบบอัตโนมัติ ซึ่งจะคัดแยกผลิตภัณฑ์ที่มีปัญหา และกักผลิตภัณฑ์ เพื่อป้องกันการเข้าสู่กระบวนการถัดไป	3	สูง
มีระบบป้องกันการเกิดปัญหา	มีระบบตรวจจับสาเหตุในระหว่างกระบวนการโดยระบบอัตโนมัติ ซึ่งจะตรวจจับความผิดปกติและป้องกันผลิตภัณฑ์มีปัญหาจากการผลิต	2	สูงมาก
ไม่ต้องตรวจจับ มีระบบป้องกันข้อบกพร่อง	มีระบบป้องกันจากสาเหตุ ซึ่งเป็นผลมาจากการออกแบบ Fixture, เครื่องจักร หรือผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ที่มีปัญหาไม่สามารถเกิดขึ้นได้ เพราะป้องกันไว้ตั้งแต่การออกแบบกระบวนการ / ผลิตภัณฑ์แล้ว	1	เกือบจะมีความแน่นอน

ในการให้คะแนนของทั้ง 3 พารามิเตอร์ดังกล่าวนั้น จะทำการวิเคราะห์และให้คะแนนโดยการระดมความคิดของทีมงานซึ่งจะมีผู้ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหลายๆ หน่วยงานเพื่อที่จะทำการกลั่นกรองให้เหลือเฉพาะปัจจัยที่มีความสำคัญต่อปัญหา จากนั้นใช้ผังพาเรโตเพื่อจัดลำดับความสำคัญ ก่อนจะนำไปทดสอบสมมุติฐานในขั้นตอนของการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาต่อไป

ตารางที่ 5.7 การวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการ

Failure Mode & Effect Analysis Process : FMEA Process								
Process : การผลิตเม็ดพลาสติกคอมพาวด์					**Model : เม็ดพลาสติกคอมพาวด์สำหรับผลิตงานท่อ**			
ปัจจัยนำเข้าหลักของกระบวนการ	**ลักษณะความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้**	**ผลกระทบจากความผิดพลาด**	**SEV**	**สาเหตุที่ทำให้เกิดความผิดพลาด**	**OCC**	**การควบคุมในปัจจุบัน**	**DET**	**RPN**
อัตราการป้อนวัตถุดิบ	การตั้งค่าอัตราการป้อนวัตถุดิบมากหรือน้อยจนเกินไป	เม็ดพลาสติกคอมพาวด์มีค่าความชื้นสูง	7	ไม่มีมาตราฐานการปรับตั้งอัตราการป้อนวัตถุดิบ	8	ไม่มีการควบคุมการในปัจจุบัน	10	560
ความเร็วรอบของเครื่อง Extruder	ตั้งค่าความเร็วรอบของเครื่อง Extruder มากหรือน้อยจนเกินไป	เม็ดพลาสติกคอมพาวด์มีค่าความชื้นสูง	7	ไม่มีมาตราฐานการปรับตั้งความเร็วรอบเรื่อง Exteuder	8	ไม่มีการควบคุมการในปัจจุบัน	10	560
ชนิดของ Carbon Black	Carbon Black มีการดูดซับความชื้นในปริมาณมาก	เม็ดพลาสติกคอมพาวด์มีค่าความชื้นสูง	7	ไม่มีมาตรฐานการเลือกใช้ชนิดของ Carbon black ให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์	8	ไม่มีการควบคุมการในปัจจุบัน	10	560
ความเที่ยงตรงในการวัดของพนักงาน	พนักงานมีอคติในการอ่านค่าความชื้นจากเครื่องมือวัด	เม็ดพลาสติกคอมพาวด์มีค่าความชื้นสูง	7	พนักงานไม่ได้รับการฝึกอบรม	6	มีการฝึกอบรมทุกๆ 2 เดือน	3	126
ความแม่นยำในการวัดของพนักงาน	พนักงานอ่านค่าความชื้นจากเครื่องมือวัดคาดเคลื่อนจากค่าจริง	เม็ดพลาสติกคอมพาวด์มีค่าความชื้นสูง	7	พนักงานไม่ได้รับการฝึกอบรม	6	มีการฝึกอบรมทุกๆ 2 เดือน	3	126
ชนิดของบรรจุภัณฑ์	ชนิดของบรรจุภัณฑ์ไม่เหมาะสม	เม็ดพลาสติกคอมพาวด์มีค่าความชื้นสูง	7	ไม่มีมาตรฐานการเลือกใช้ชนิดบรรจุภัณฑ์ให้เหมาะสม	8	ไม่มีการควบคุมการในปัจจุบัน	10	560

ตารางที่ 5.7 แสดงการวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการ (ต่อ)

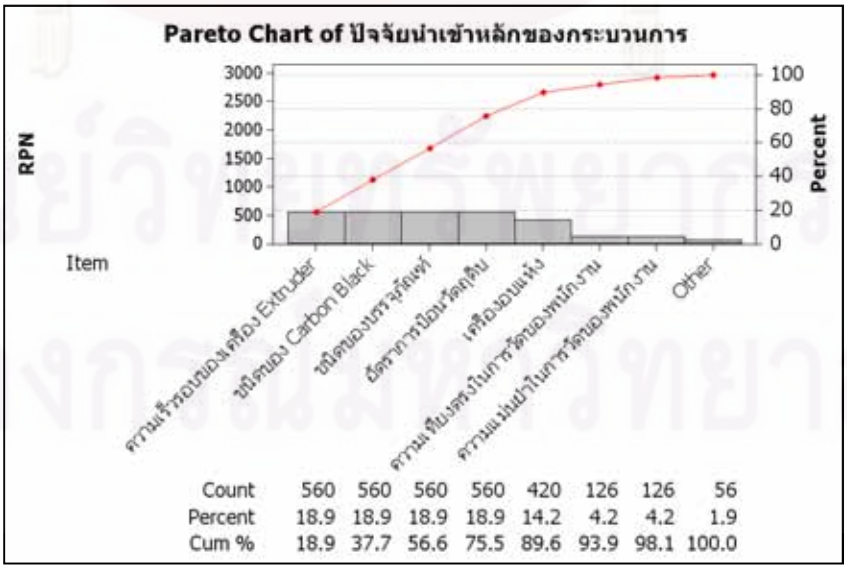
Failure Mode & Effect Analysis Process : FMEA Process								
Process : การผลิตเม็ดพลาสติกคอมพาวด์					**Model : เม็ดพลาสติกคอมพาวด์สำหรับผลิตงานท่อ**			
ปัจจัยนำเข้าหลักของกระบวนการ	**ลักษณะความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้**	**ผลกระทบจากความผิดพลาด**	**SEV**	**สาเหตุที่ทำให้เกิดความผิดพลาด**	**OCC**	**การควบคุมในปัจจุบัน**	**DET**	**RPN**
คุณสมบัติของ Carbon Black	การใช้ชนิดของ Carbon Black ผิดประเภทในการผลิต	เม็ดพลาสติกคอมพาวด์มีค่าความชื้นสูง	7	การติดแถบบาร์โค้ดผิดพลาด	3	มีการใช้เครื่องสแกนบาร์โค้ดในการตรวจสอบคุณสมบัติของ Carbon Black	1	21
เครื่องอบแห้ง	ไม่มีการติดตั้งเครื่องอบแห้งเม็ดพลาสติกก่อนเข้าสู่กระบวนการบรรจุและจัดเก็บ	เม็ดพลาสติกคอมพาวด์มีค่าความชื้นสูง	7	เม็ดพลาสติกคอมพาวด์จากกระบวนการผลิตมีค่าความชื้นสูงก่อนเข้าสู่กระบวนการบรรจุและจัดเก็บ	6	ไม่มีการควบคุมการในปัจจุบัน	10	420
เครื่องมือวัดค่าความชื้น (Moisture Analyzer)	เครื่องมือวัดอ่านค่าความชื้นคาดเคลื่อนจากค่าจริง	เม็ดพลาสติกคอมพาวด์มีค่าความชื้นสูง	7	ไม่มีการสอบเทียบเครื่องมือวัดตามกำหนด	2	มีการสอบเทียบเครื่องมือวัดให้ได้มาตรฐานอยู่เสมอ	1	14
คุณสมบัติของเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง	การใช้ชนิดของ เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีน ผิดประเภทในการผลิตผลิตภัณฑ์	เม็ดพลาสติกคอมพาวด์มีค่าความชื้นสูง	7	การติดแถบบาร์โค้ดผิดพลาด	3	มีการใช้เครื่องสแกนบาร์โค้ดสำหรับตรวจสอบคุณสมบัติของเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง	1	21

จากค่าตัวเลขระดับความเสี่ยง (RPN) ซึ่งมาจากการวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการข้างต้น โดยได้จากผลคูณระหว่างค่าความรุนแรง (Severity) กับโอกาสในการเกิด (Occurrence) และความสามารถในการป้องกัน (Detection) แสดงค่าสรุปดังตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5.8 ตารางแสดงสาเหตุของปัญหา และค่า RPN

Item	ปัจจัยนำเข้าหลักของกระบวนการ	RPN	Item	ปัจจัยนำเข้าหลักของกระบวนการ	RPN
1	อัตราการป้อนวัตถุดิบ	720	9	เครื่องมือวัดค่าความชื้น (Moisture Analyzer)	252
2	ความเร็วรอบของเครื่อง Extruder	720	4	ความเที่ยงตรงในการวัดของพนักงาน	126
3	ชนิดของ Carbon Black	576	5	ความแม่นยำในการวัดของพนักงาน	126
6	ชนิดของบรรจุภัณฑ์	576	7	คุณสมบัติของ Carbon Black	84
8	เครื่องอบแห้ง	640	10	คุณสมบัติของเม็ดพลาสติกพอลิ-เอทิลีนความหนาแน่นสูง	84

เมื่อได้ค่า RPN แล้ว จะสามารถตรวจสอบความถูกต้องในการให้คะแนนได้ โดยการนำค่าเปอร์เซ็นต์ความสัมพันธ์ไปทำการสร้างแผนภาพพาเรโต เพื่อดูลักษณะของแผนภาพ ถ้าแผนภาพที่ได้เป็นไปตามหลักการของพาเรโตที่ว่า สิ่งที่มีความสำคัญมากจะมีจำนวนเพียงเล็กน้อย ในขณะที่สิ่งที่มีความสำคัญเพียงเล็กน้อย จะมีอีกจำนวนมากมาย แสดงว่าการให้คะแนนเป็นไปอย่างถูกต้อง



รูปที่ 5.6 ผังพาเรโตจัดลำดับความสำคัญของค่า RPN

เมื่อทำการพิจารณาจากแผนภาพพาเรโต ดังรูปที่ 5.6 จะพบว่าการให้คะแนนเป็นไปอย่างถูกต้อง โดยใช้กฎ 80-20 ในการตัดสินใจ ซึ่งจะพบว่า จากสาเหตุที่เป็นไปได้ทั้งหมด 10 สาเหตุ จะมี 5 สาเหตุหลัก คือ ความเร็วรอบของเครื่อง Extruder 18.90 เปอร์เซ็นต์ ชนิดของ Carbon Black 18.90 เปอร์เซ็นต์ ชนิดและประเภทของบรรจุภัณฑ์ 18.90 เปอร์เซ็นต์ อัตราการป้อนวัตถุดิบ 18.90 เปอร์เซ็นต์ และเครื่องอบแห้ง 14.20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งรวมมีความสำคัญกว่า 89.60 เปอร์เซ็นต์ ของสาเหตุของปัญหาทั้งหมด

สำหรับปัจจัยด้านเครื่องอบแห้งเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ก่อนเข้าสู่กระบวนการบรรจุและจัดเก็บนั้น เนื่องด้วยกระบวนการผลิตมีการตรวจสอบคุณภาพที่ออกจากกระบวนการก่อนเข้าสู่กระบวนการบรรจุและจัดเก็บ โดยปัจจุบันสามารถควบคุมค่าความชื้นให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ด้วยเหตุนี้ทางคณะทำงานจึงไม่พิจารณาถึงการอบแห้งเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ก่อนเข้าสู่กระบวนการบรรจุและจัดเก็บ ทั้งนี้โดยพิจารณาถึงปัจจัยที่ยังไม่มีมาตรฐานการผลิตที่เหมาะสมซึ่งจะก่อให้เกิดปัญหาน้อยที่สุด 4 ปัจจัย ซึ่งจะทำการศึกษาในขั้นตอนต่อไป

5.5 บทสรุป

จากที่ได้กล่าวมาทั้งหมดในส่วนของขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดหาสาเหตุของปัญหา โดยเริ่มต้นจากการสร้างแผนที่กระบวนการผลิต เพื่อทราบถึงปัจจัยและความสัมพันธ์ในแต่ละงานในกระบวนการ และการวิเคราะห์แผนภาพสาเหตุและผล เพื่อทำการค้นหาสาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหาขึ้น มาจนถึงการวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการ ซึ่งมีวัตถุประสงค์ คือ ต้องการค้นหาสาเหตุที่มีความสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อปัญหาที่ทำการศึกษาโดยระดับความสำคัญนั้น จะสะท้อนด้วยค่าตัวเลขระดับความเสี่ยง ทั้งนี้เมื่อนำค่าตัวเลขระดับความเสี่ยงดังกล่าวนำมาสร้างแผนภาพพาเรโต สามารถสรุปได้ว่าสาเหตุหลักที่อาจส่งผลกระทบต่อการเกิดการเกิดค่าความชื้นในเม็ดพลาสติกคอมพาวด์สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่ควรจะทำการแก้ไข ได้แก่ การตั้งค่าอัตราการป้อนวัตถุดิบ การตั้งค่าความเร็วรอบของเครื่อง Extruder ชนิดของ Carbon Black และชนิดและประเภทของบรรจุภัณฑ์ ซึ่งจะนำไปวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

จากขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดหาสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นนั้น ในขั้นตอนต่อไปจะต้องดำเนินการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นเพื่อแก้ไขปัญหา โดยมีรายละเอียดในการดำเนินงานในบทต่อไป

บทที่ 6

การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

จากขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดหาสาเหตุของปัญหานั้น ได้ทำการศึกษาหาสาเหตุเบื้องต้นที่ได้มาจากการการวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการ พบว่าสาเหตุที่น่าจะส่งผลกระทบต่อปัญหาที่ทำการศึกษา คือ การตั้งค่าอัตราการป้อนวัตถุดิบ การตั้งค่าความเร็วรอบของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติกชนิดของ Carbon Black และชนิดและประเภทของบรรจุภัณฑ์ เพื่อกำหนดทิศทางในการปรับปรุงแก้ไขได้ถูกต้อง จึงทำการวิเคราะห์ปัญหา โดยอาศัยวิธีการทางสถิติ ซึ่งแนวทางการวิเคราะห์จะอาศัยหลักการเชิงสถิติ โดยการดำเนินการทดลองเพื่อหาข้อมูลสนับสนุนสมมติฐานที่ตั้งไว้ เพื่อเป็นการยืนยันว่าสาเหตุที่สงสัยนั้นก็คือ สาเหตุที่แท้จริงของปัญหาหรือความบกพร่องด้านคุณภาพ นอกจากนี้เมื่อมีการยืนยันว่าสาเหตุเหล่านั้นมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และสามารถสรุปได้ต่อไปว่าสาเหตุดังกล่าวอย่างมีผลกระทบมากน้อยเพียงใด

6.1 แนวทางการวิเคราะห์

แนวทางการวิเคราะห์นั้นจะทำการวิเคราะห์ โดยอาศัยหลักการออกแบบการทดลองเชิงวิศวกรรมแบบ (2^k Factorial Design) โดยในการทดลองนี้จะมีจุดมุ่งหมายเพื่อกลั่นกรองปัจจัยต่างๆ (Screening Factors) ที่สงสัยออกไปก่อนหรือเป็นการกรองเฉพาะปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นอย่างมีนัยสำคัญไปทำการออกแบบการทดลองในขั้นตอนการปรับปรุง (Improve Phase) ต่อไป

6.1.1 การทดสอบความค่าความชื้น

เครื่องวิเคราะห์ความชื้น (Moisture Analyzer) ที่ใช้ในงานวิจัยนี่ ยี่ห้อ Metter Toledo รุ่น HR83 ดังรูปที่ 6.1 ซึ่งเป็นเครื่องมือวิเคราะห์ค่าความชื้นโดยอาศัยวิธีทาง Themo Gravimetric Method โดยสามารถชั่งน้ำหนักตัวอย่างได้ตั้งแต่ 0.1 ถึง 71 กรัม สามารถตั้งอุณหภูมิได้ในช่วง 50 ถึง 200 องศาเซลเซียส และสามารถตั้งการอบสารตัวอย่างให้แห้งได้โดยอัตโนมัติได้ 5 ระดับ หรือเลือกตั้งเวลาได้ตั้งแต่ 1 ถึง 480 นาที ซึ่งในงานวิจัยนั้นได้กำหนดค่าน้ำหนักตัวอย่างไว้ที่ตัวอย่างละ 50 กรัม อุณหภูมิการทดลองที่ 45 องศาเซลเซียล ผลของการวิเคราะห์ด้วยเครื่องจะออกมาในรูปของ %ความชื้น (% Moisture Content)

จากสูตร

$$\% \text{ ความชื้น} = \frac{\text{(น้ำหนักก่อนอบ - น้ำหนักหลังอบ)} \times 100}{\text{น้ำหนักก่อนอบ}}$$

รูปที่ 6.1 เครื่องวิเคราะห์ความชื้น (Moisture Analyzer)

6.1.2 ปัจจัยและคุณลักษณะของปัจจัยป้อนเข้า

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อกลั่นกรองปัจจัยต่างๆ (Screening Factors) พบว่าปัจจัยที่ต้องควบคุมในกระบวนการผสมเม็ดพลาสติกกับสารเติมแต่งและการบรรจุภัณฑ์ คือ

1. การตั้งค่าอัตราการป้อนวัตถุดิบ
2. การตั้งค่าความเร็วรอบของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติก
3. ชนิดของ Carbon Black และ
4. ชนิดและประเภทของบรรจุภัณฑ์

โดยปัจจัยดังกล่าว ยังไม่ทราบค่าปัจจัยที่เหมาะสม ดังนั้นในการทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐานของทั้ง 4 ปัจจัยนั้น จะทำการทดสอบสมมติฐานระดับของแต่ละปัจจัยใน 2 ระดับที่แตกต่างกัน ทั้งนี้เพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายในการทดลอง และสามรถทำการทดลองได้ง่าย ซึ่งมีรายละเอียดของขั้นตอนดำเนินการทดสอบสมมติฐาน ดังนี้

- การตั้งค่าอัตราการป้อนวัตถุดิบ

ดังได้กล่าวมาแล้วว่า การตั้งค่าอัตราการป้อนวัตถุดิบนั้น เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีความสำคัญมากต่อความแปรปรวนของค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ ด้วยเหตุนี้การตั้งค่าอัตราการป้อนวัตถุดิบนั้น จึงต้องพิจารณาว่าค่าใดที่มีความเหมาะสมในการทำให้ค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอม พาวด์อยู่ในระดับที่เหมาะสม ซึ่งกำหนดไว้ 2 ระดับ คือ 500 และ 700 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เนื่องจากเป็นค่าต่ำสุดและสูงสุดตามลำดับของกำลังการผลิต ที่โรงงานตัวอย่างใช้ในการผลิตอยู่แล้ว และสามารถนำมาทดสอบสมมติฐานได้เลย

- การตั้งค่าความเร็วรอบของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติก

การตั้งค่าความเร็วรอบของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติก เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีความสำคัญมากต่อความแปรปรวนของค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ ด้วยเหตุนี้การตั้งค่าความเร็วรอบของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติกนั้น จำเป็นต้องพิจารณาว่าค่าใดที่มีความเหมาะสมในการทำให้ค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์อยู่ในระดับที่เหมาะสม ซึ่งกำหนดไว้ 2 ระดับ คือ 140 และ 200 รอบต่อวินาที เนื่องจากเป็นค่าต่ำสุดและสูงสุดตามลำดับ ของกำลังการผลิตที่โรงงานตัวอย่างใช้ในการผลิตอยู่แล้ว และสามารถนำมาทดสอบสมมติฐานได้เลย

- ชนิดของ Carbon Black

Carbon black ที่โรงงานตัวอย่างใช้อยู่ในปัจจุบันเป็น Carbon Black สำหรับงานท่อพลาสติกโดยเฉพาะ และมีคุณภาพที่เหมาะสม ได้แก่ LL2590 และ EP100

- ชนิดและประเภทของบรรจุภัณฑ์

บรรจุภัณฑ์สำหรับเม็ดพลาสติกคอมพาวด์สำหรับผลิตงานท่อที่ทางโรงงานกรณีศึกษาใช้อยู่ในปัจจุบันนั้น ได้แก่ ถุง 25 kg และ Big Bag ขนาด 650 kg แบบมี Liner ทั้งนี้โดยในขั้นตอนการทดลองโดยมีปัจจัยด้านชนิดและประเภทของบรรจุภัณฑ์ ทั้ง 2 ประเภทอยู่ในโรงงานตัวอย่างอยู่แล้ว สามารถนำมาทดสอบสมมติฐานได้เลย

ด้วยเหตุนี้ สามารถสรุปปัจจัยและคุณลักษณะของปัจจัยนำเข้าที่นำมาทดสอบสมมติฐานแสดงดังตารางที่ 6.1 โดยจะทำการทดสอบสมมติฐานด้วยค่าระดับของแต่ละปัจจัยนำเข้าดังกล่าว ซึ่งจะแสดงผลการทดสอบสมมติฐานต่อไป จากนั้นคัดเลือกเฉพาะปัจจัยนำเข้าที่ให้ค่าผลการทดสอบสมมติฐานที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญไปดำเนินการออกแบบการทดลองเพื่อทำการปรับปรุงกระบวนการต่อไป

ตารางที่ 6.1 ปัจจัยและคุณลักษณะของปัจจัยนำเข้า

ปัจจัย	ระดับ		หน่วย
	1	2	
อัตราการป้อนเข้าวัตถุดิบ	500	700	กิโลกรัมต่อชั่วโมง
ความเร็วของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติก	140	200	รอบต่อวินาที
ชนิดของ Carbon Black	LL2590	EP100	ไม่มี
ชนิดและประเภทของบรรจุภัณฑ์	Normal 25 kg	Liner 650 kg	ไม่มี

6.1.3 การกำหนดสมมติฐานการทดลอง

สมมติฐานที่ 1 อิทธิพลของอัตราการป้อนเข้าวัตถุดิบ

$H_0 : \tau_i = 0$ $\quad i = 1, 2,\ldots,a$

$H_0 : \tau_i \neq 0$ อย่างน้อย 1 ตัวไม่เท่ากับศูนย์

สมมติฐานที่ 2 อิทธิพลของความเร็วของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติก

$H_0 : \beta_j = 0$ $\quad i = 1, 2,\ldots,b$

$H_0 : \beta_j \neq 0$ อย่างน้อย 1 ตัวไม่เท่ากับศูนย์

สมมติฐานที่ 3 อิทธิพลชนิดของ Carbon Black

$H_0 : \gamma_k = 0$ $\quad i = 1, 2,\ldots,c$

$H_0 : \gamma_k \neq 0$ อย่างน้อย 1 ตัวไม่เท่ากับศูนย์

สมมติฐานที่ 4 อิทธิพลของชนิดและประเภทของบรรจุภัณฑ์

$H_0 : \alpha_k = 0$ $\quad i = 1, 2,\ldots,c$

$H_0 : \alpha_k \neq 0$ อย่างน้อย 1 ตัวไม่เท่ากับศูนย์

สมมติฐานที่ 5 อิทธิพลร่วมของอัตราการป้อนเข้าวัตถุดิบและความเร็วของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติก

$H_0 : (\tau\beta)_{ij} = 0$

$H_0 : (\tau\beta)_{ij} \neq 0$

สมมติฐานที่ 6 อิทธิพลร่วมของอัตราการป้อนเข้าวัตถุดิบ และชนิดของ Carbon Black

$H_0 : (\tau\gamma)_{ik} = 0$

$H_0 : (\tau\gamma)_{ik} \neq 0$

สมมติฐานที่ 7 อิทธิพลร่วมของอัตราการป้อนเข้าวัตถุดิบ และชนิดของบรรจุภัณฑ์

$H_0 : (\tau\alpha)_{ik} = 0$

$H_0 : (\tau\alpha)_{ik} \neq 0$

สมมติฐานที่ 8 อิทธิพลร่วมของชนิดของบรรจุภัณฑ์ และชนิดของ Carbon Black

$H_0 : (\beta\gamma)_{jk} = 0$

$H_0 : (\beta\gamma)_{jk} \neq 0$

สมมติฐานที่ 9 อิทธิพลร่วมของชนิดของบรรจุภัณฑ์ และชนิดของบรรจุภัณฑ์

$H_0 : (\beta\alpha)_{jk} = 0$

$H_0 : (\beta\alpha)_{jk} \neq 0$

สมมติฐานที่ 10 อิทธิพลร่วมของชนิดของ Carbon Black และชนิดของบรรจุภัณฑ์

$H_0 : (\gamma\ \alpha)_{jk} = 0$

$H_0 : (\gamma\ \alpha)_{jk} \neq 0$

6.1.4 การคำนวณจำนวนสิ่งตัวอย่าง

การคำนวณจำนวนสิ่งตัวอย่างที่จะใช้ในการทดลองนี้จะคำนวณด้วยโปรแกรม Minitab และกำหนดค่าต่างๆ ดังนี้

ก) ระดับนัยสำคัญ (α) มีค่าเท่ากับ 0.05 และความน่าจะเป็นในการยอมรับสมมติฐาน (β) เท่ากับ 0.05 หรือ Power of Test เท่ากับ 0.95

ข) จากข้อมูลในอดีตความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) มีค่าเท่ากับ 0.93

ค) Center point เท่ากับ 3 เนื่องจากตามทฤษฎีการเพิ่มจุดศูนย์กลางควรเพิ่ม 3-5 จุด เพื่อตรวจสอบสมมติฐานความเป็นสันตรง (Linearity) ของผลที่จะเกิดจากปัจจัยต่างๆ

ง) ค่า Corner point เท่ากับ 8 จุด และค่า Effect เท่ากับ 1

Power and Sample Size

2-Level Factorial Design

Alpha = 0.05 Assumed standard deviation = 0.93

Factors: 4 Base Design: 4, 16
Blocks: none

Center Points	Effect	Reps	Total Runs	Target Power	Actual Power
0	1	3	48	0.85	0.950624
0	1	3	48	0.90	0.950624
0	1	3	48	0.95	0.950624

รูปที่ 6.2 ผลลัพธ์การคำนวณจำนวนสิ่งตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวน

จากรูปที่ 6.2 การคำนวณสามารถสรุปได้ว่าจำนวนสิ่งตัวอย่างที่จะใช้ในการทดลองอย่างน้อยต้องมีค่าเท่ากับ 3 ชิ้นงาน

6.1.5 การทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการทดลองเบื้องต้นนี้ ผู้วิจัยได้ทำการทดลองโดยเทคนิคการทดลองแบบแฟคทอเรียลที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง เมื่อมีระดับของปัจจัย 2 ระดับ เพื่อที่จะทำการทดลองตัดสินปัจจัยที่มีผลกับค่าความชื้น โดยใช้จำนวนตัวอย่างที่น้อยที่สุดซึ่งผลการทดลองนี้ดังตารางที่ 6.2 และได้กำหนดให้

ก) อัตราการป้อนเข้าวัตถุดิบ กำหนดไว้เป็น 2 ระดับ คือ

1. อุณหภูมิในการจัดเก็บผลิตภัณฑ์ เท่ากับ 500 กิโลกรัมต่อชั่วโมง -1
2. อุณหภูมิในการจัดเก็บผลิตภัณฑ์ เท่ากับ 700 กิโลกรัมต่อชั่วโมง 1

ข) ความเร็วของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติก กำหนดไว้เป็น 2 ระดับ คือ

1. ความเร็วของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติก เท่ากับ 140 รอบต่อวินาที -1
2. ความเร็วของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติก เท่ากับ 200 รอบต่อวินาที 1

ค) ชนิดของ Carbon Black กำหนดไว้เป็น 2 ระดับ คือ

1. Carbon Black ชนิด LL2590 -1
2. Carbon Black ชนิด EP100 1

ง) ชนิดของบรรจุภัณฑ์ กำหนดไว้เป็น 2 ระดับ คือ

1. บรรจุภัณฑ์ชนิด Normal 25 kg -1
2. บรรจุภัณฑ์ชนิด Liner 800 kg 1

ตารางที่ 6.2 ผลการทดลองแบบ 2^k แฟคทอเรียล

Feed Speed	Extruder Speed	Carbon Black Type	Packaging Type	VM
-1	-1	-1	-1	423
1	-1	-1	-1	390
-1	1	-1	-1	365
1	1	-1	-1	333
-1	-1	1	-1	432
1	-1	1	-1	356
-1	1	1	-1	424
1	1	1	-1	231
-1	-1	-1	1	534
1	-1	-1	1	441
-1	1	-1	1	421
1	1	-1	1	424
-1	-1	1	1	377
1	-1	1	1	367

ตารางที่ 6.2 ผลการทดลองแบบ 2^k แฟคทอเรียล (ต่อ)

Feed Speed	Extruder Speed	Carbon Black Type	Packaging Type	VM
-1	1	1	1	438
1	1	1	1	307
-1	-1	-1	-1	421
1	-1	-1	-1	393
-1	1	-1	-1	351
1	1	-1	-1	312
-1	-1	1	-1	367
1	-1	1	-1	341
-1	1	1	-1	453
1	1	1	-1	321
-1	-1	-1	1	536
1	-1	-1	1	435
-1	1	-1	1	431
1	1	-1	1	424
-1	-1	1	1	373
1	-1	1	1	356
-1	1	1	1	408
1	1	1	1	291
-1	-1	-1	-1	421
1	-1	-1	-1	387
-1	1	-1	-1	364
1	1	-1	-1	314
-1	-1	1	-1	432
1	-1	1	-1	354
-1	1	1	-1	421
1	1	1	-1	238

ตารางที่ 6.2 ผลการทดลองแบบ 2^k แฟคทอเรียล (ต่อ)

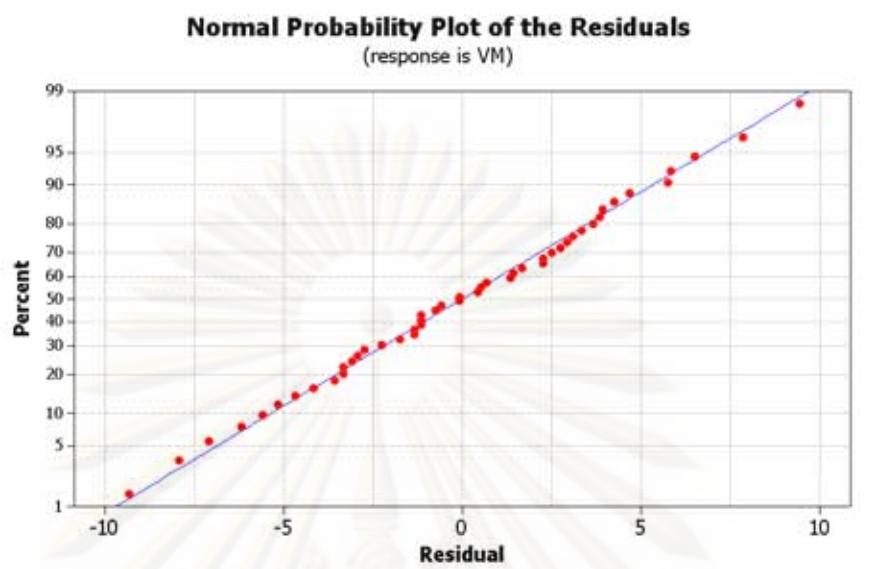
Feed Speed	Extruder Speed	Carbon Black Type	Packaging Type	VM
-1	-1	-1	1	521
1	-1	-1	1	448
-1	1	-1	1	428
1	1	-1	1	413
-1	-1	1	1	366
1	-1	1	1	365
-1	1	1	1	439
1	1	1	1	321

- การตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ (Model Adequacy Checking)

เป็นการตรวจสอบความเหมาะสมและความถูกต้องของข้อมูลว่าเป็นไปตามเงื่อนไขที่สำคัญคือ NID $(0,\sigma^2)$ หรือไม่ โดยลักษณะการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบนั้นประกอบด้วยการทดสอบข้อกำหนดเกี่ยวกับความคาดเคลื่อนของการทดลองภายใต้เงื่อนไข 3 ประการด้วยกัน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ก) การทดสอบสมมติฐานการกระจายแบบปกติของข้อมูล โดยพิจารณาจากการกระจายของค่า Residual ดังรูปที่ 6.3

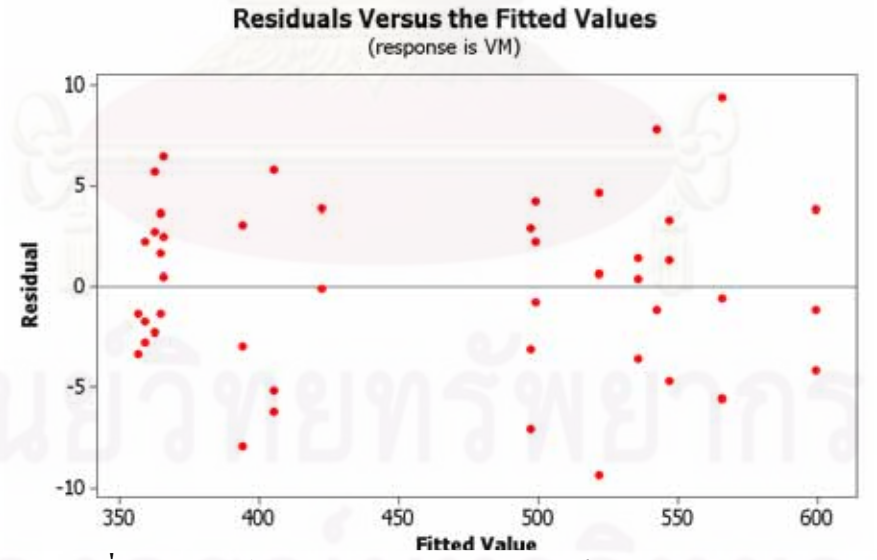
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.3 ผลลัพธ์การทดสอบสมมติฐานการกระจายแบบปกติ

จากรูปที่ 6.3 จากค่าตอบสนองค่าความชื้น พบว่าเมื่อพิจารณาค่าของข้อมูล Residual ของข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ

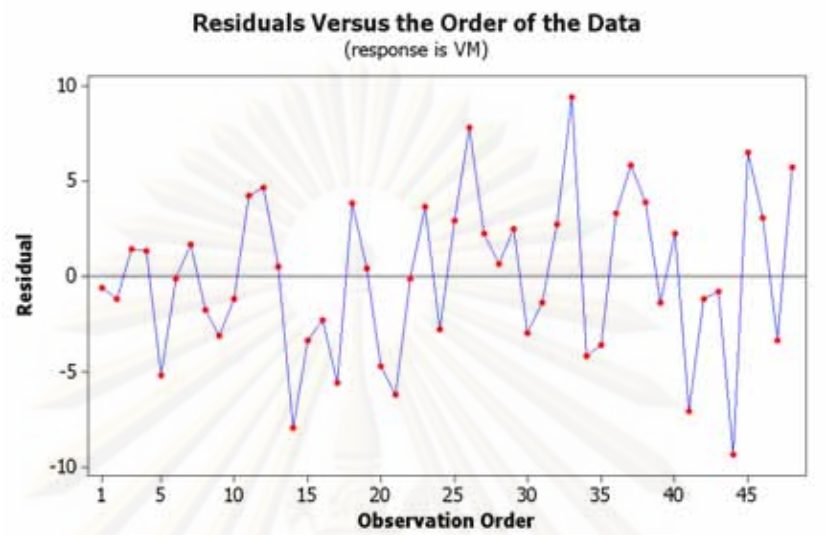
ข) การทดสอบสมมติฐานความเป็นอิสระของข้อมูล โดยพิจาณาจากแผนภูมิการกระจาย ดังรูปที่ 6.4



รูปที่ 6.4 ผลลัพธ์การทดสอบสมมติฐานความเป็นอิสระของข้อมูล

จากรูปที่ 6.4 จากค่าตอบสนองความชื้น เมื่อพิจารณาการกระจายของข้อมูลบนแผนภูมิ พบว่า การกระจายตัวของ Residual ไม่สามารถทำนายรูปแบบที่แน่นอนได้ แสดงว่าค่า Residual มีความเป็นอิสระต่อกัน

ค) การทดสอบความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของข้อมูล ดังรูปที่ 6.5



รูปที่ 6.5 ผลลัพธ์การทดสอบความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของข้อมูล

จากรูปที่ 6.5 จากค่าตอบสนองค่าความชื้นมีรูปแบบการกระจายที่ไม่แน่นอนไม่สามารถทำนายรูปแบบที่แน่นอนได้ แสดงว่าค่า Residual มีเสถียรภาพของความแปรปรวน

- การวิเคราะห์การทดลองแบบ 2^4 แฟคทอเรียล ดังรูปที่ 6.6

Factorial Fit: VM versus Feed Speed, Extruder Speed, ...

Estimated Effects and Coefficients for VM (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		458.42	0.6776	676.50	0.000
Feed Speed	19.75	9.87	0.6776	14.57	0.000
Extruder Speed	-30.83	-15.42	0.6776	-22.75	0.000
Carbon Black Type	-159.75	-79.87	0.6776	-117.87	0.000
Packaging Type	-32.50	-16.25	0.6776	-23.98	0.000
Feed Speed*Extruder Speed	-11.25	-5.62	0.6776	-8.30	0.000
Feed Speed*Carbon Black Type	-8.33	-4.17	0.6776	-6.15	0.000
Feed Speed*Packaging Type	5.75	2.87	0.6776	4.24	0.000
Extruder Speed*Carbon Black Type	-5.42	-2.71	0.6776	-4.00	0.000
Extruder Speed*Packaging Type	15.83	7.92	0.6776	11.68	0.000
Carbon Black Type*Packaging Type	14.42	7.21	0.6776	10.64	0.000

S = 4.69474 R-Sq = 99.76% R-Sq(adj) = 99.70%

Analysis of Variance for VM (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	4	335005	335005	83751.2	3799.87	0.000
2-Way Interactions	6	8603	8603	1433.9	65.06	0.000
Residual Error	37	815	815	22.0		
Lack of Fit	5	155	155	31.1	1.51	0.215
Pure Error	32	660	660	20.6		
Total	47	344424				

รูปที่ 6.6 ผลลัพธ์การทดลองแบบ 2^4 แฟคทอเรียล

6.2 บทสรุป

จากผลการดำเนินงานในขั้นตอนการวิเคราะห์ โดยเริ่มจากการนำปัจจัยที่มีผลกระทบต่อโครงการที่ได้มาจากขั้นตอนการวัดผลมาทำการทดลองซึ่งผลของการวิเคราะห์ พบว่า ปัจจัยด้านชนิดของ Carbon Black อัตราการป้อนเข้าวัตถุดิบ ความเร็วของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติกและชนิดและประเภทของบรรจุภัณฑ์ มีผลต่อค่าความชื้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะนำไปพิจาณาในขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 7

การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

จากขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดหาสาเหตุของปัญหานั้น ได้ทำการศึกษาหาสาเหตุเบื้องต้นที่ได้มาจากการการวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการ พบว่าสาเหตุที่น่าจะส่งผลกระทบต่อปัญหาที่ทำการศึกษา คือ การตั้งค่าอัตราการป้อนวัตถุดิบ การตั้งค่าความเร็วรอบของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติก ชนิดของ Carbon Black และชนิดและประเภทของบรรจุภัณฑ์ เพื่อกำหนดทิศทางในการปรับปรุงแก้ไขได้ถูกต้อง จึงทำการวิเคราะห์ปัญหา โดยอาศัยวิธีการทางสถิติ ซึ่งแนวทางการวิเคราะห์จะอาศัยหลักการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) และวิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology : RSM) เพื่อหาข้อมูลสนับสนุนสมมติฐานที่ตั้งไว้ เพื่อเป็นการยืนยันว่าสาเหตุที่สงสัยนั้นก็คือสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาหรือความบกพร่องด้านคุณภาพ นอกจากนี้เมื่อมีการยืนยันว่าสาเหตุเหล่านั้นมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และสามารถสรุปได้ต่อไปว่าสาเหตุดังกล่าวอย่างมีผลกระทบมากน้อยเพียงใด ทั้งนี้เพื่อนำมาทำการออกแบบการทดลองเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิต

7.1 ปัจจัยและคุณลักษณะของปัจจัยนำเข้า

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อกลั่นกรองปัจจัยต่างๆ (Screening Factors) พบว่าปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัย ได้แก่ การผสมเม็ดพลาสติกกับสารเติมแต่งและการบรรจุภัณฑ์ คือ การตั้งค่าอัตราการป้อนวัตถุดิบ การตั้งค่าความเร็วรอบของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติก ชนิดของ Carbon Black และชนิดและประเภทของบรรจุภัณฑ์ มีค่า P-Value ของแต่ละปัจจัยนั้นมีค่าน้อยกว่า 0.05 นั่นหมายความว่า ค่าเฉลี่ยของค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ของแต่ละปัจจัยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ด้วยเหตุนี้เพื่อให้การหาค่าของแต่ละปัจจัยเป็นไปอย่างเหมาะสมที่สุด จึงกำหนดระดับของแต่ละปัจจัย เพิ่มเป็น 3 ระดับ โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

1.การตั้งค่าอัตราการป้อนวัตถุดิบ

จากที่ได้กำหนดการตั้งค่าอัตราการป้อนวัตถุดิบไว้ 2 ระดับ คือ 500 และ 700 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เนื่องจากเป็นค่าต่ำสุดและสูงสุดตามลำดับของกำลังการผลิต ทั้งนี้เพื่อให้การหาค่าเป็นไปอย่างละเอียดและมีความเหมาะสมมากที่สุด จึงกำหนดค่ากลางเพิ่มขึ้นอีก 1 ระดับ คือ 600 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

2. การตั้งค่าความเร็วรอบของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติก

จากการกำหนดการตั้งค่าความเร็วรอบของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติก ในขั้นตอนการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อกลั่นกรองปัจจัย เป็น 2 ระดับ คือ 140 และ 200 รอบต่อวินาที เนื่องจากเป็นค่าต่ำสุดและสูงสุดตามลำดับของกำลังการผลิตที่โรงงานตัวอย่างใช้ในการผลิตอยู่ ทั้งนี้เพื่อให้การหาค่าปัจจัยมีความละเอียดและเหมาะสมมากที่สุด จึงกำหนดค่ากลางเพิ่มขึ้นอีก 1 ระดับ คือ 170 รอบต่อวินาที

3. ชนิดของ Carbon Black

จากการกำหนดชนิดของ Carbon Black ในขั้นตอนการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อกลั่นกรองปัจจัย เป็น 2 ระดับ คือ LL2590 และ EP100 Carbon Black ซึ่งเป็นชนิดของ Carbon Black ที่โรงงานตัวอย่างใช้อยู่ในปัจจุบัน ทั้งนี้เพื่อให้การหาค่าปัจจัยมีความละเอียดและเหมาะสมมากที่สุด จึงได้พิจารณาชนิดของ Carbon Black สำหรับงานท่อพลาสติกโดยเฉพาะ และมีคุณภาพที่เหมาะสม มีเพียง 3 ชนิด คือ 2 ชนิดที่กล่าวข้างต้น และ Printex Alpha อีกหนึ่งชนิด ด้วยเหตุนี้ จึงกำหนดให้ Primtex Alpha เป็นอีกหนึ่งระดับ เพื่อให้การหาค่าปัจจัยมีความละเอียดและเหมาะสมมากที่สุด

4. ชนิดและประเภทของบรรจุภัณฑ์

จากการกำหนดชนิดและประเภทของบรรจุภัณฑ์สำหรับส่งขายผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติกคอมพาวด์ ที่ใช้ในปัจจุบันของโรงงานตัวอย่าง มี 2 ชนิด ได้แก่ ถุง 25 kg และ Big Bag ขนาด 650 kg แบบมี Liner นั้น จากขั้นตอนการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อกลั่นกรองปัจจัย พบว่าชนิดและประเภทของบรรจุภัณฑ์มีผลต่อค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์นั้น ด้วยเหตุนี้เพื่อให้การหาค่าปัจจัยเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและมีความเหมาะสมมากที่สุด ทางทีมงานจึงได้พิจารณาบรรจุภัณฑ์ชนิดอื่นๆ ที่ทางโรงงานใช้อยู่ร่วมด้วย นั่นคือ Big Bag ขนาด 800 kg แบบมี Liner ซึ่งกำหนดให้เป็นอีกหนึ่งระดับ ทั้งนี้สามารถสรุปการกำหนดระดับของแต่ละปัจจัยแสดงดังตารางที่ 7.1

ตารางที่ 7.1 ปัจจัยและคุณลักษณะของปัจจัยป้อนเข้า

ปัจจัย	ระดับ			หน่วย
	1	2	3	
อัตราการป้อนเข้าวัตถุดิบ	500	600	700	กิโลกรัมต่อชั่วโมง
ความเร็วของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติก	140	170	200	รอบต่อวินาที
ชนิดของ Carbon Black	LL2590	EP100	Printex Alpha	ไม่มี
ชนิดของบรรจุภัณฑ์	Normal 25kg	Liner 650 kg	Liner 800 kg	ไม่มี

7.1.1 การกำหนดสมมติฐานการทดลอง โดยแยกแต่ละปัจจัยดังนี้

สมมติฐานที่ 1 อิทธิพลของอัตราการป้อนเข้าวัตถุดิบ

$H_0 : \tau_i = 0$ i = 1, 2,…,a

$H_0 : \tau_i \neq 0$ อย่างน้อย 1 ตัวไม่เท่ากับศูนย์

สมมติฐานที่ 2 อิทธิพลของความเร็วของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติก

$H_0 : \beta_j = 0$ i = 1, 2,…,b

$H_0 : \beta_j \neq 0$ อย่างน้อย 1 ตัวไม่เท่ากับศูนย์

สมมติฐานที่ 3 อิทธิพลชนิดของ Carbon Black

$H_0 : \gamma_k = 0$ i = 1, 2,…,c

$H_0 : \gamma_k \neq 0$ อย่างน้อย 1 ตัวไม่เท่ากับศูนย์

สมมติฐานที่ 4 อิทธิพลของชนิดและประเภทของบรรจุภัณฑ์

$H_0 : \alpha_k = 0$ i = 1, 2,…,c

$H_0 : \alpha_k \neq 0$ อย่างน้อย 1 ตัวไม่เท่ากับศูนย์

สมมติฐานที่ 5 อิทธิพลร่วมของอัตราการป้อนเข้าวัตถุดิบและความเร็วของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติก

$H_0 : (\tau\beta)_{ij} = 0$

$H_0 : (\tau\beta)_{ij} \neq 0$

สมมติฐานที่ 6 อิทธิพลร่วมของอัตราการป้อนเข้าวัตถุดิบ และชนิดของ Carbon Black

$H_0 : (\tau\gamma)_{ik} = 0$

$H_0 : (\tau\gamma)_{ik} \neq 0$

สมมติฐานที่ 7 อิทธิพลร่วมของอัตราการป้อนเข้าวัตถุดิบ และชนิดของบรรจุภัณฑ์

$H_0 : (\tau\alpha)_{ik} = 0$

$H_0 : (\tau\alpha)_{ik} \neq 0$

สมมติฐานที่ 8 อิทธิพลร่วมของชนิดของบรรจุภัณฑ์ และชนิดของ Carbon Black

$H_0 : (\beta\gamma)_{jk} = 0$

$H_0 : (\beta\gamma)_{jk} \neq 0$

สมมติฐานที่ 9 อิทธิพลร่วมของชนิดของบรรจุภัณฑ์ และชนิดของบรรจุภัณฑ์

$H_0 : (\beta\alpha)_{jk} = 0$

$H_0 : (\beta\alpha)_{jk} \neq 0$

สมมติฐานที่ 10 อิทธิพลร่วมของชนิดของ Carbon Black และชนิดของบรรจุภัณฑ์

$H_0 : (\gamma\ \alpha)_{jk} = 0$

$H_0 : (\gamma\ \alpha)_{jk} \neq 0$

7.1.2 การทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการทดลองเบื้องต้นนี้ ผู้วิจัยได้ทำการทดลองโดยเทคนิคการทดลองแบบแฟคทอเรียลที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง เมื่อมีระดับของปัจจัย 3 ระดับ เพื่อที่จะทำการทดลองตัดสินปัจจัยที่มีผลกับค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ โดยใช้จำนวนตัวอย่างที่น้อยที่สุด ซึ่งผลการทดลองนี้ดังตารางที่ 7.2 และได้กำหนดให้

ก) ปัจจัย A คือ อัตราการป้อนเข้าวัตถุดิบ กำหนดไว้เป็น 3 ระดับ คือ

1. อัตราการป้อนเข้าวัตถุดิบ เท่ากับ 500 กิโลกรัมต่อชั่วโมง -1
2. อัตราการป้อนเข้าวัตถุดิบ เท่ากับ 600 กิโลกรัมต่อชั่วโมง 0
3. อัตราการป้อนเข้าวัตถุดิบ เท่ากับ 700 กิโลกรัมต่อชั่วโมง 1

ข) ปัจจัย B คือ ความเร็วของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติก กำหนดไว้เป็น 3 ระดับ คือ

1. ความเร็วของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติก เท่ากับ 140 รอบต่อวินาที -1
2. ความเร็วของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติก เท่ากับ 170 รอบต่อวินาที 0
3. ความเร็วของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติก เท่ากับ 200 รอบต่อวินาที 1

ค) ปัจจัย C คือ ชนิดของ Carbon Black กำหนดไว้เป็น 3 ระดับ คือ

1. Carbon Black ชนิด LL2590 -1
2. Carbon Black ชนิด EP100 0
3. Carbon Black ชนิด Printex Alpha 1

ง) ปัจจัย D คือ ชนิดและประเภทของบรรจุภัณฑ์ กำหนดไว้เป็น 3 ระดับ คือ

1. บรรจุภัณฑ์ชนิด Normal 25 kg -1
2. บรรจุภัณฑ์ชนิด Liner 650 kg 0
3. บรรจุภัณฑ์ชนิด Liner 800 kg 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7.2 ผลการทดลองแบบ 3^4 แฟคทอเรียล

Extruder Speed	Feed Speed	Carbon Black Type	Packaging Type	VM		
				Replication 1	Replication 2	Replication 3
-1	-1	-1	-1	439	439	439
-1	-1	-1	0	421	422	421
-1	-1	-1	1	487	493	482
-1	-1	0	-1	367	366	369
-1	-1	0	0	379	375	384
-1	-1	0	1	393	388	398
-1	-1	1	-1	341	342	341
-1	-1	1	0	364	362	365
-1	-1	1	1	365	362	368
-1	0	-1	-1	352	342	362
-1	0	-1	0	351	345	357
-1	0	-1	1	394	388	401
-1	0	0	-1	355	340	346
-1	0	0	0	360	358	358
-1	0	0	1	378	372	379
-1	0	1	-1	333	332	333
-1	0	1	0	345	346	347
-1	0	1	1	360	365	356
-1	1	-1	-1	308	302	314
-1	1	-1	0	358	357	357
-1	1	-1	1	363	365	360
-1	1	0	-1	332	336	328
-1	1	0	0	364	364	365
-1	1	0	1	381	383	378
-1	1	1	-1	251	253	250
-1	1	1	0	342	342	342

ตารางที่ 7.2 ผลการทดลองแบบ 3^4 แฟคทอเรียล (ต่อ)

Extruder Speed	Feed Speed	Carbon Black Type	Packaging Type	VM		
				Replication 1	Replication 2	Replication 3
-1	1	1	1	351	346	357
0	-1	-1	-1	429	425	434
0	-1	-1	0	421	428	414
0	-1	-1	1	489	492	486
0	-1	0	-1	367	369	364
0	-1	0	0	379	377	380
0	-1	0	1	391	390	391
0	-1	1	-1	340	340	339
0	-1	1	0	364	362	366
0	-1	1	1	365	365	365
0	0	-1	-1	351	349	353
0	0	-1	0	351	350	352
0	0	-1	1	390	393	388
0	0	0	-1	348	347	344
0	0	0	0	359	357	356
0	0	0	1	374	384	370
0	0	1	-1	330	339	331
0	0	1	0	334	345	343
0	0	1	1	358	359	358
0	1	-1	-1	307	306	307
0	1	-1	0	356	357	356
0	1	-1	1	363	362	363
0	1	0	-1	331	331	331
0	1	0	0	364	363	364
0	1	0	1	380	382	379

ตารางที่ 7.2 ผลการทดลองแบบ 3^4 แฟคทอเรียล (ต่อ)

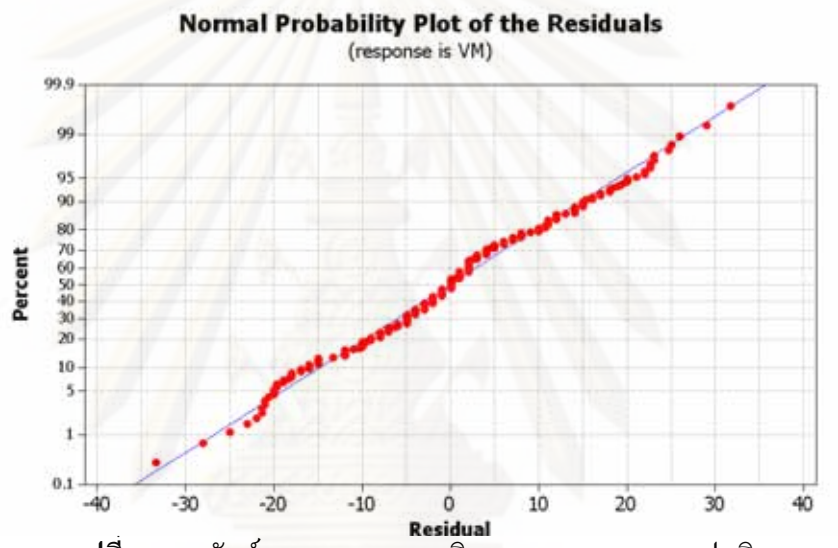
Extruder Speed	Feed Speed	Carbon Black Type	Packaging Type	VM		
				Replication 1	Replication 2	Replication 3
0	1	1	-1	250	248	251
0	1	1	0	341	341	341
0	1	1	1	352	353	351
1	-1	-1	-1	386	387	387
1	-1	-1	0	411	408	412
1	-1	-1	1	473	476	471
1	-1	0	-1	357	357	356
1	-1	0	0	369	368	369
1	-1	0	1	378	378	377
1	-1	1	-1	340	339	340
1	-1	1	0	354	356	353
1	-1	1	1	361	362	361
1	0	-1	-1	347	347	348
1	0	-1	0	348	346	349
1	0	-1	1	387	388	387
1	0	0	-1	345	345	344
1	0	0	0	359	359	359
1	0	0	1	371	373	369
1	0	1	-1	328	329	328
1	0	1	0	343	344	342
1	0	1	1	355	354	354

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7.1.3 การตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ (Model Adequacy Checking)

เป็นการตรวจสอบความเหมาะสมและความถูกต้องของข้อมูลว่าเป็นไปตามเงื่อนไขที่สำคัญคือ NID $(0,\sigma^2)$ หรือไม่ โดยลักษณะการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบนั้นประกอบด้วยการทดสอบข้อกำหนดเกี่ยวกับความคาดเคลื่อนของการทดลองภายใต้เงื่อนไข 3 ประการด้วยกัน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ก) การทดสอบสมมติฐานการกระจายแบบปกติของข้อมูล โดยพิจารณาจากการกระจายของค่า Residual ดังรูปที่ 7.1

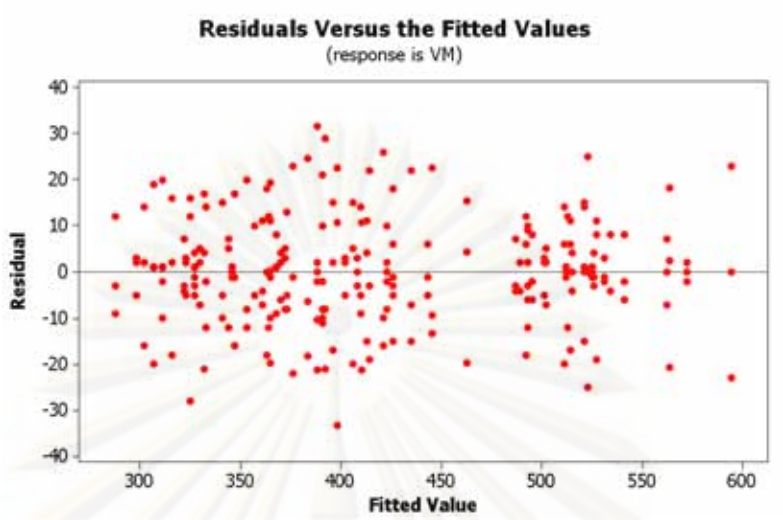


รูปที่ 7.1 ผลลัพธ์การทดสอบสมมติฐานการกระจายแบบปกติ

จากรูปที่ 7.1 จากค่าตอบสนองความชื้น พบว่า เมื่อพิจารณาค่าของข้อมูล Residual ของข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ

ข) การทดสอบสมมติฐานความเป็นอิสระของข้อมูล โดยพิจาณาจากแผนภูมิการกระจาย ดังรูปที่ 7.2

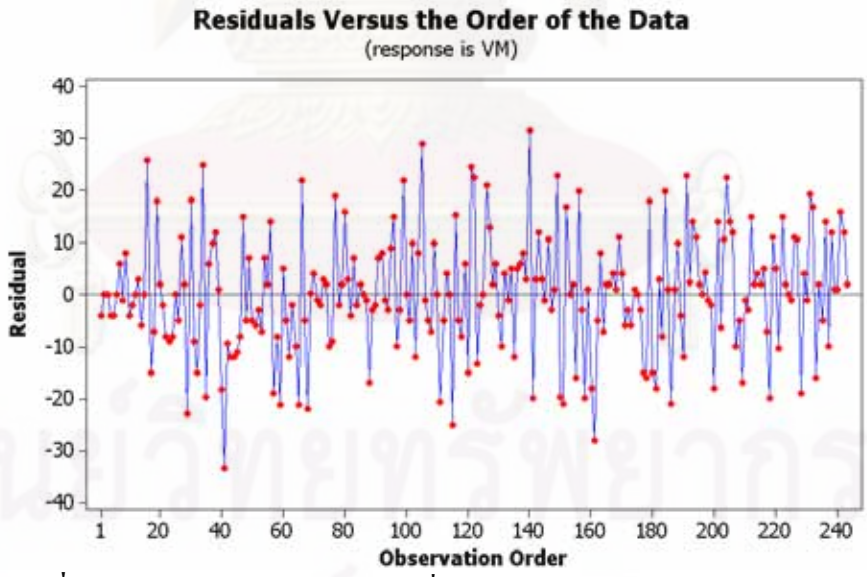
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 7.2 ผลลัพธ์การทดสอบสมมติฐานความเป็นอิสระของข้อมูล

จากรูปที่ 7.2 จากค่าตอบสนองความชื้น เมื่อพิจารณาการกระจายของข้อมูลบนแผนภูมิ พบว่า การกระจายตัวของ Residual ไม่สามารถทำนายรูปแบบที่แน่นอนได้ แสดงว่าค่า Residual มีความเป็นอิสระต่อกัน

ค) การทดสอบความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของข้อมูล ดังรูปที่ 7.3



รูปที่ 7.3 ผลลัพธ์การทดสอบความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของข้อมูล

จากรูปที่ 7.3 จากค่าตอบสนองค่าความชื้น มีรูปแบบการกระจายที่ไม่แน่นอนไม่สามารถทำนายรูปแบบที่แน่นอนได้ แสดงว่าค่า Residual มีเสถียรภาพของความแปรปรวน

7.1.4 การวิเคราะห์การทดลองแบบ 3^4 แฟคทอเรียล ดังรูปที่ 7.4

General Linear Model: VM versus A, B, C, D

Factor	Type	Levels	Values
A	fixed	3	-1, 0, 1
B	fixed	3	-1, 0, 1
C	fixed	3	-1, 0, 1
D	fixed	3	-1, 0, 1

Analysis of Variance for VM, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A	2	211884	211884	105942	533.57	0.000
B	2	894508	894508	447254	2252.58	0.000
C	2	145340	145340	72670	366.00	0.000
D	2	51452	51452	25726	129.57	0.000
A*B	4	27005	27005	6751	34.00	0.000
A*C	4	62018	62018	15505	78.09	0.000
A*D	4	529	529	132	0.67	0.616
B*C	4	89654	89654	22413	112.88	0.000
B*D	4	10066	10066	2516	12.67	0.000
C*D	4	10312	10312	2578	12.98	0.000
A*B*C	8	11808	11808	1476	7.43	0.000
A*B*D	8	7019	7019	877	4.42	0.000
A*C*D	8	13498	13498	1687	8.50	0.000
B*C*D	8	3894	3894	487	2.45	0.016
A*B*C*D	16	16323	16323	1020	5.14	0.000
Error	162	32165	32165	199		
Total	242	1587474				

รูปที่ 7.4 ผลลัพธ์การทดลองแบบ 3^4 แฟคทอเรียล

7.1.5 สรุปผลการทดลองแบบ 3^4 แฟคทอเรียล

ก) จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า อัตราการป้อนเข้าวัตถุดิบ ความเร็วของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติก ชนิดของ Carbon Black และชนิดและประเภทของบรรจุภัณฑ์ แต่ละปัจจัยมีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่า ปัจจัยทั้งสี่ข้างต้นมีผลต่อค่าความชื้นที่เกิดขึ้นในกระบวนการ

ข) จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้างต้น พบว่า ปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างอัตราการป้อนเข้าวัตถุดิบกับความเร็วของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติก อัตราการป้อนเข้าวัตถุดิบกับชนิดของ Carbon Black ความเร็วของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติกกับชนิดของ Carbon Black ความเร็วของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติกกับชนิดและประเภทของบรรจุภัณฑ์ ชนิดของ Carbon Black กับชนิดของบรรจุภัณฑ์ มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่า ปัจจัยที่มีปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างกันทั้งสี่ข้างต้นมีผลต่อความชื้นที่เกิดขึ้นในกระบวนการ ยกเว้นแต่ปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างอัตราการป้อนเข้าวัตถุดิบกับ บรรจุภัณฑ์ ซึ่งมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 อันแสดง

ได้ว่าปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างชนิดของ Carbon Black กับบรรจุภัณฑ์ไม่มีผลต่อความชื้นที่เกิดขึ้นในกระบวนการ

7.2 การหาพื้นผิวตอบสนองกำลังสอง (Second-Order Response Surface Model)

เนื่องจากการทดลองนี้มีลักษณะของส่วนโค้ง ดังนั้น จึงต้องนำปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่าตัวแปรตอบสนอง 4 ปัจจัย คือ ชนิดของ Carbon Black ชนิดและประเภทของบรรจุภัณฑ์ อัตราการป้อนเข้าวัตถุดิบและความเร็วของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติก ซึ่งจะมาทำการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองที่มีลักษณะส่วนโค้งใหม่ โดยใช้วิธีการหาพื้นผิวตอบสนองกำลังสอง เพื่อทดลองหาจุดที่ใกล้เคียงกับจุดที่เหมาะสมกับการผลิตที่ดีที่สุด ซึ่งแบบจำลองนี้สามารถแสดงส่วนโค้งได้จะถูกนำมาใช้ในการประมาณค่าของผลตอบสนองได้ ซึ่งการวิเคราะห์หาระดับที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัยเป็นลำดับต่อไป ผู้ทำวิจัยได้เปรียบเทียบการออกแบบการทดลองเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ แสดงดังตารางที่ 7.3

ตารางที่7.3 เปรียบเทียบการออกแบบการทดลองสำหรับพื้นผิวตอบสนอง

	Three Level Factional Design	**Central Composite Design**	**Box-Behnken Design**
ลักษณะของแบบจำลอง	เป็นออกแบบแบบสุ่มในบล็อคสมบูรณ์ (RBD) ซึ่งรูปแบบเชิงเส้นตรง (Regression Model) จะสัมพันธ์กับผลลัพธ์ที่ตัวแปรทุกระดับ และยังสามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์และการออกแบบตัวแปรในรูปแบบสมการกำลังสอง (Quadratic) แต่ละปัจจัยจะมี 3 ระดับ คือ -1, 0 , 1	เป็นการออกแบบที่ทุกระดับของแต่ละปัจจัย ห่างจาก Center ของ design เท่ากัน และทำซ้ำที่จุดกึ่งกลาง แต่ละปัจจัยจะมีระดับการทดลอง 5 ระดับ คือ $-\alpha$, -1, 0, 1, α	เป็นการออกแบบที่คล้ายกับ CCD แต่ต่างกันที่จุดบนแกนจะอยู่ในระนาบเดียวกับจุดที่เป็น Factorial และทำซ้ำที่จุดกึ่งกลาง แต่ละปัจจัยจะมี 3 ระดับ คือ -1, 0, 1
ชนิดของข้อมูล	Qualitative or Quantity	Quantity	Qualitative or Quantity
จำนวนการทดลอง	3^n	2^n+2n+1	$2n(n-1)+1$

ตารางที่7.3 เปรียบเทียบการออกแบบการทดลองสำหรับพื้นผิวตอบสนอง (ต่อ)

	Three Level Factional Design	**Central Composite Design**	**Box-Behnken Design**
ค่าของระดับของปัจจัย	ค่าของระดับของปัจจัยที่จะนำมาใช้จะสร้างขึ้นจากขีดจำกัดบนและขีดจำกัดล่างของตัวแปรแต่ละตัวเป็นตัวกำหนด	ค่าของระดับของปัจจัยที่นำมาใช้ปกติจะไม่ใช่ขีดจำกัดบนและขีดจำกัดล่างของตัวแปรแต่ละตัว เมื่อมี Axial Points เพราะปกติ Axial Points จะอยู่นอก Cube ของการออกแบบ(ยกเว้นกำหนดค่า α มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1) ซึ่งถ้าไม่ระมัดระวังแล้วอาจจะทำให้ไม่สามารถทำการ Runs การทดลองได้ เพราะว่า Axial Runs อยู่นอกเหนือจากจุดที่ใช้ทดลอง	ค่าของระดับของปัจจัยที่จะนำมาใช้จะสร้างขึ้นจากขีดจำกัดบนและขีดจำกัดล่างของตัวแปรแต่ละตัวเป็นตัวกำหนด

จากตารางที่ 7.3 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบรูปแบบการทดลอง 3 รูปแบบ คือ Three Level Factional Design , Central Composite Design และ Box-Behnken Design ซึ่งจากการพิจารณาพบว่ารูปแบบ Central Composite Design ไม่เหมาะที่จะใช้ในการออกแบบการทดลองดังกล่าว เนื่องจากในเป็นรูปแบบที่ใช้กับข้อมูลเชิงปริมาณเท่านั้น อีกทั้งการกำหนดค่าของระดับของปัจจัยที่นำมาใช้จะอยู่นอก Cube ของการออกแบบ ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงพิจารณาเลือกใช้การออกแบบการทดลองแบบ Three Level Factional Design เนื่องจากผู้วิจัยมีความรู้ ความเข้าใจในการวิเคราะห์ อีกทั้งตัวอย่างที่ทำการทดสอบนั้นมีต้นทุนต่อหน่วยต่ำ ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ได้ในปริมาณสูง

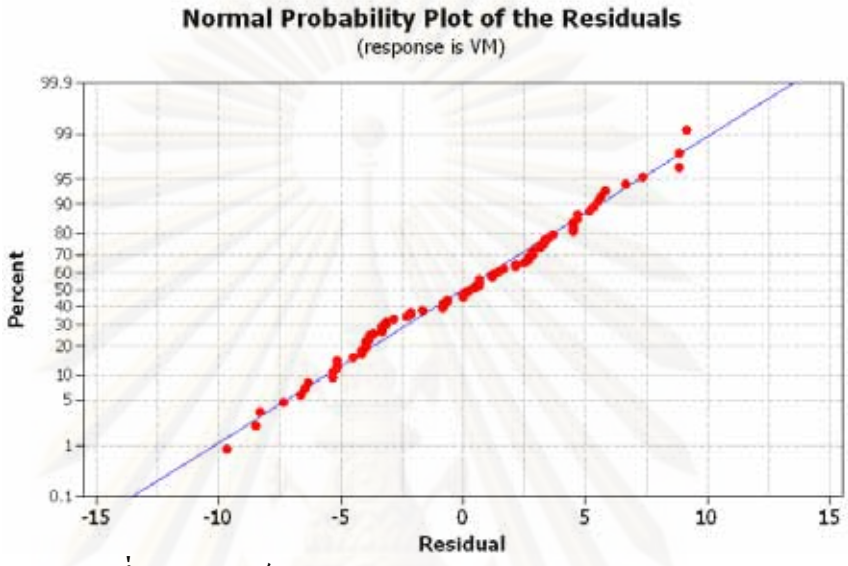
หลังจากทำการทดลองในรูปแบบ Three Level Factional Design ซึ่งได้ผลการทดลองดังตารางที่ 7.4

ตารางที่ 7.4 ผลการทดลองด้วยวิธีการหาพื้นผิวตอบสนองกำลังสอง

Extruder Speed	Feed Speed	Carbon Black Type	Packaging Type	VM		
				Replication 1	Replication 2	Replication 3
500	140	0	0	517	519	515
500	200	0	0	362	365	359
500	170	-1	0	497	499	495
500	170	1	0	399	400	398
500	170	0	-1	403	403	403
500	170	0	1	472	470	474
600	170	-1	-1	397	397	397
600	170	1	-1	362	362	362
600	170	-1	1	513	513	513
600	170	1	1	386	387	385
600	140	0	-1	418	418	418
600	200	0	-1	318	314	322
600	140	0	1	497	496	498
600	200	0	1	368	366	370
600	140	-1	0	539	536	539
600	200	-1	0	396	396	396
600	140	1	0	441	437	445
600	200	1	0	327	324	330
600	170	0	0	387	384	390
600	170	0	0	391	392	390
600	170	0	0	390	396	384
700	140	0	0	402	401	403
700	200	0	0	304	301	307
700	170	-1	0	401	404	398
700	170	1	0	345	343	347
700	170	0	-1	326	325	327
700	170	0	1	388	386	390

7.2.1 การวิเคราะห์ความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking)

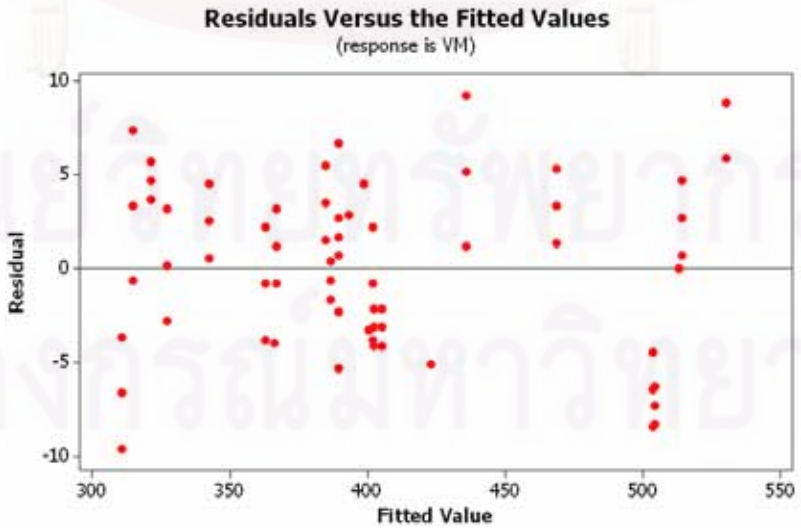
ก) การทดสอบสมมติฐานการกระจายแบบปกติของข้อมูล โดยพิจารณาจากการกระจายของค่า Residual ดังรูปที่ 7.5



รูปที่ 7.5 ผลลัพธ์การทดสอบสมมติฐานการกระจายแบบปกติ

จากรูปที่ 7.5 จากค่าตอบสนองความชื้น พบว่า เมื่อพิจารณาค่าของข้อมูล Residual ของข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ

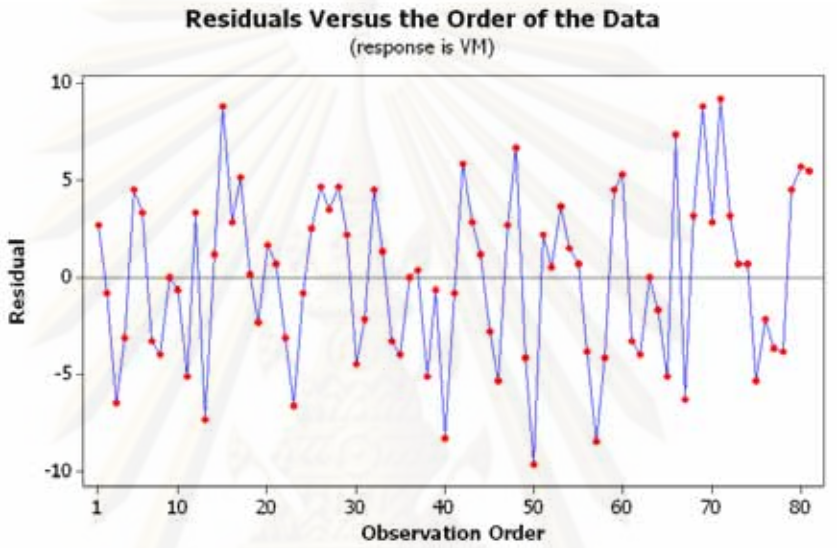
ข) การทดสอบสมมติฐานความเป็นอิสระของข้อมูล โดยพิจาณาจากแผนภูมิการกระจาย ดังรูปที่ 7.6



รูปที่ 7.6 ผลลัพธ์การทดสอบสมมติฐานความเป็นอิสระของข้อมูล

จากรูปที่ 7.6 จากค่าตอบสนองความชื้น เมื่อพิจารณาการกระจายของข้อมูลบนแผนภูมิ พบว่า การกระจายตัวของ Residual มีรูปแบบการกระจายที่ไม่แน่นอนไม่สามารถทำนายรูปแบบที่แน่นอนได้ แสดงว่าค่า Residual มีความเป็นอิสระต่อกัน

ค) การทดสอบความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของข้อมูล ดังรูปที่ 7.7



รูปที่ 7.7 ผลลัพธ์การทดสอบความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของข้อมูล

จากรูปที่ 7.7 จากค่าตอบสนองความชื้น มีรูปแบบการกระจายที่ไม่แน่นอนไม่สามารถทำนายรูปแบบที่แน่นอนได้ แสดงว่าค่า Residual มีเสถียรภาพของความแปรปรวน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7.2.2 การวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองกำลังสอง ดังรูปที่ 7.8

Response Surface Regression: VM versus A, B, C, D

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for VM

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	389.333	1.6041	242.707	0.000
A	-40.333	0.8021	-50.287	0.000
B	-61.500	0.8021	-76.677	0.000
C	-40.167	0.8021	-50.079	0.000
D	33.333	0.8021	41.559	0.000
A*A	-0.042	1.2031	-0.035	0.972
B*B	8.958	1.2031	7.446	0.000
C*C	23.208	1.2031	19.290	0.000
D*D	3.958	1.2031	3.290	0.002
A*B	14.250	1.3892	10.258	0.000
A*C	10.500	1.3892	7.558	0.000
A*D	-1.750	1.3892	-1.260	0.212
B*C	7.000	1.3892	5.039	0.000
B*D	-7.250	1.3892	-5.219	0.000
C*D	-23.000	1.3892	-16.556	0.000

S = 4.812 R-Sq = 99.5% R-Sq(adj) = 99.4%

Analysis of Variance for VM

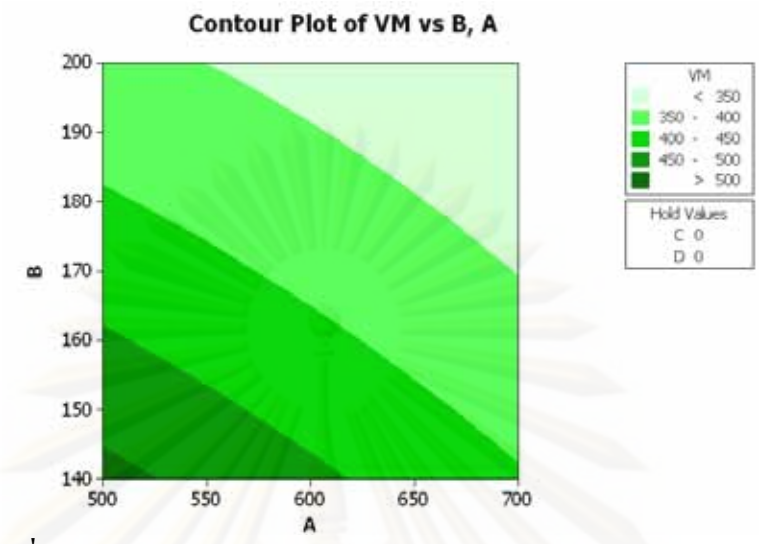
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	14	314190	314190	22442.2	969.04	0.000
Linear	4	292806	292806	73201.5	3160.81	0.000
Square	4	10021	10021	2505.3	108.18	0.000
Interaction	6	11363	11363	1893.9	81.78	0.000
Residual Error	66	1529	1529	23.2		
Lack-of-Fit	10	1211	1211	121.1	21.32	0.000
Pure Error	56	318	318	5.7		
Total	80	315719				

Unusual Observations for VM

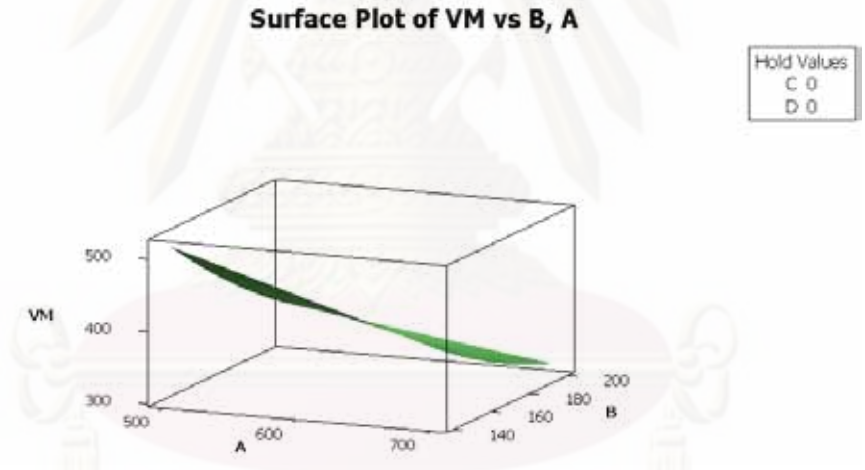
รูปที่ 7.8 ผลลัพธ์การทดลองหาพื้นผิวตอบสนองกำลังสอง

เมื่อใช้การประมวลผลในลักษณะของวิธีการปีนขึ้นด้วยทางที่ชันที่สุด (Steepest Ascent) จะแสดงผลลัพธ์ออกมาเป็นโครงร่างและพื้นผิวตอบสนอง ดังรูปที่ 7.9 ถึง 7.20 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



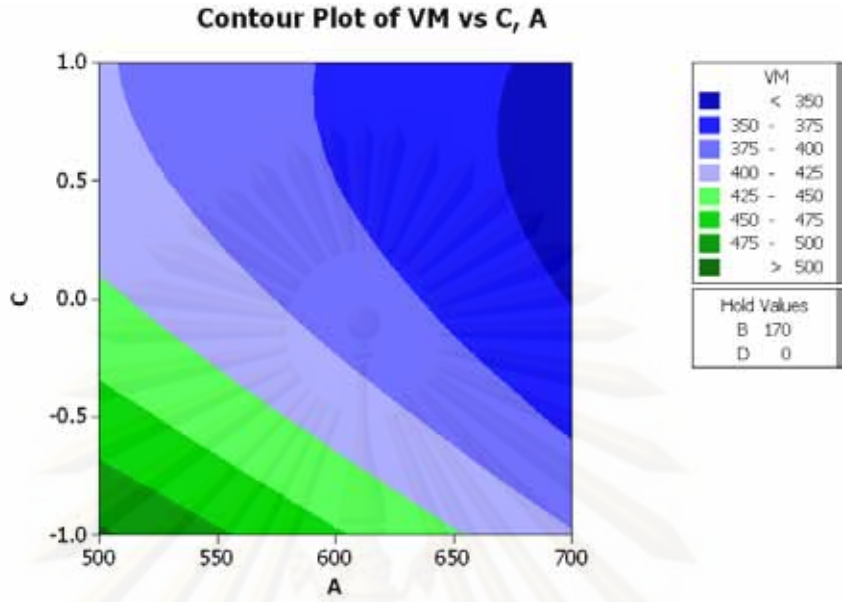
รูปที่ 7.9 โครงร่างระหว่างปัจจัยอัตราการป้อนเข้าวัตถุดิบและความเร็ว
ของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติก



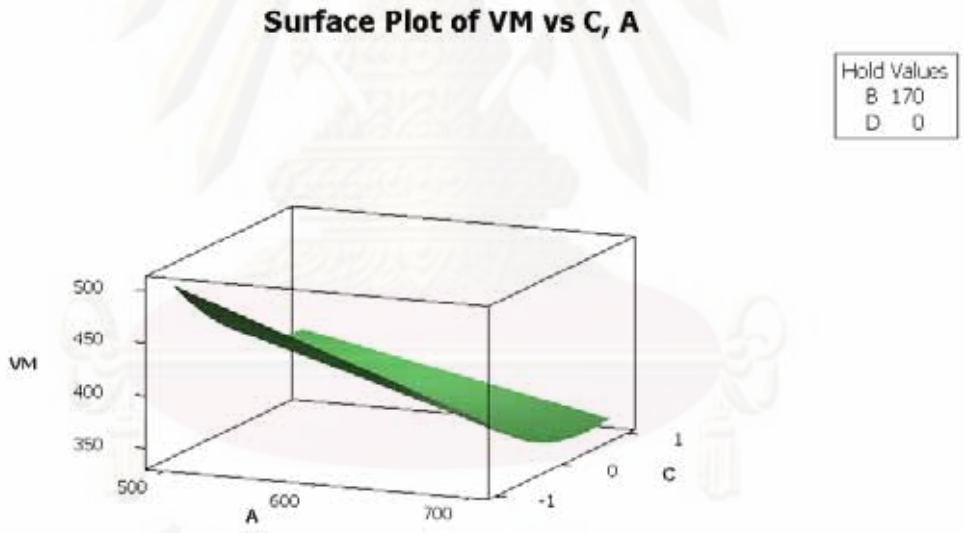
รูปที่ 7.10 พื้นผิวตอบสนองระหว่างปัจจัยอัตราการป้อนเข้าวัตถุดิบและความเร็ว
ของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติก

จากรูปที่ 7.9 และ 7.10 เป็นกราฟแสดงโครงร่าง และพื้นผิวตอบสนองระหว่างปัจจัยอัตราการป้อนเข้าวัตถุดิบและความเร็วของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติก โดยคงที่ของชนิด Carbon Black และชนิดของบรรจุภัณฑ์ อยู่ที่ชนิด EP100 และชนิด Liner 650 kg ตามลำดับ พบว่า ค่าความชื้นลดลงเมื่ออัตราการป้อนเข้าวัตถุดิบและความเร็วของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติกเพิ่มขึ้น

จากกราฟสรุปได้ว่าปัจจัยอัตราการป้อนเข้าวัตถุดิบอยู่ที่ระดับ 550 – 700 kg/hr และปัจจัยความเร็วของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติกอยู่ที่ระดับประมาณ 170-200 rpm

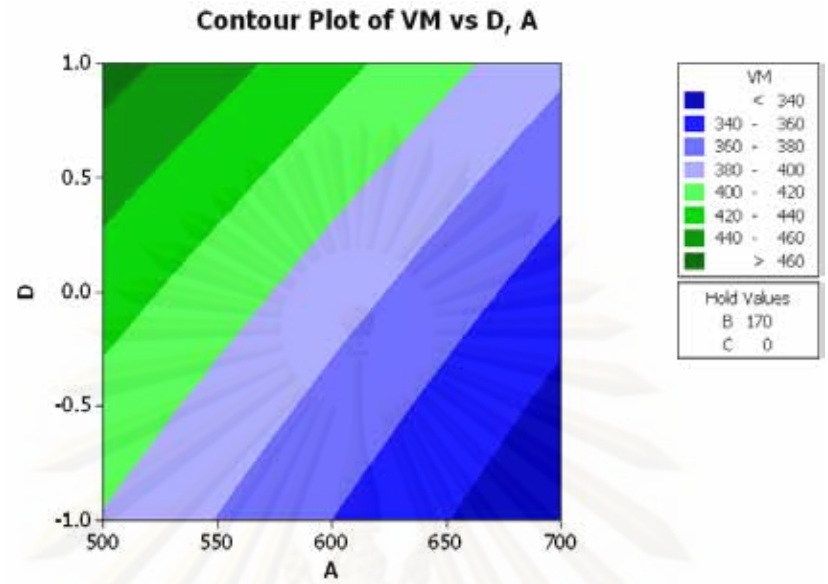


รูปที่ 7.11 โครงร่างระหว่างปัจจัยอัตราการป้อนเข้าวัตถุดิบและชนิด Carbon Black

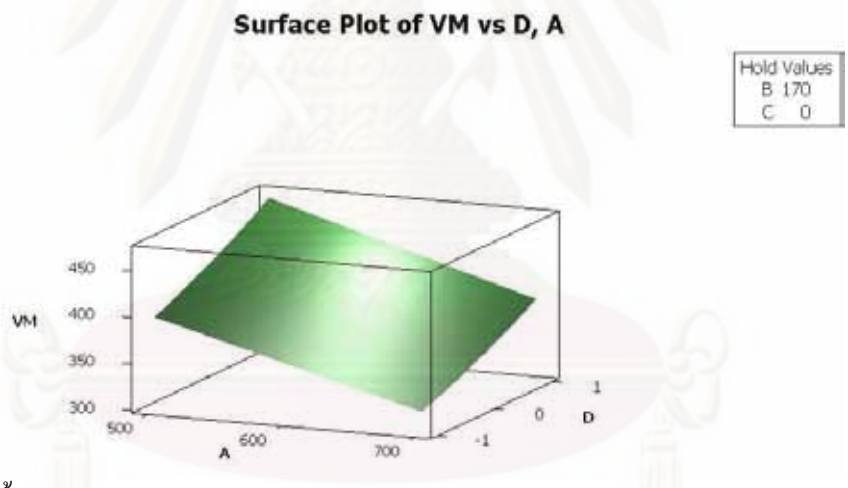


รูปที่ 7.12 พื้นผิวตอบสนองระหว่างปัจจัยอัตราการป้อนเข้าวัตถุดิบและชนิด Carbon Black

จากรูปที่ 7.11 และ 7.12 เป็นกราฟแสดงโครงร่างและพื้นผิวตอบสนองระหว่างปัจจัยอัตราการป้อนเข้าวัตถุดิบและชนิด Carbon Black โดยคงที่ความเร็วของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติก และชนิดของบรรจุภัณฑ์ ไว้ที่ระดับกลาง คือ 170 rpm และชนิด EP100 ตามลำดับ พบว่า ค่าความชื้นลดลงเมื่ออัตราการป้อนเข้าวัตถุดิบสูงขึ้น และชนิด Carbon Black หากมีการเปลี่ยนแปลงชนิดและประเภทบรรจุภัณฑ์ไปจากระดับ 0 จะทำให้ค่าความชื้นมีแนวโน้มสูงขึ้น ดังนั้นสรุปได้ว่าปัจจัยชนิด Carbon Black อยู่ที่ระดับ 0 และปัจจัยอัตราการป้อนเข้าวัตถุดิบอยู่ที่ระดับประมาณ 676-700 kg/hr

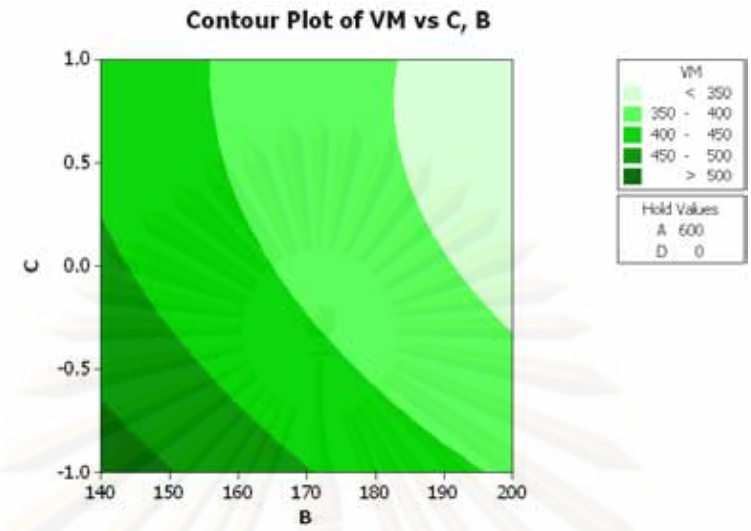


รูปที่ 7.13 โครงร่างระหว่างปัจจัยอัตราการป้อนเข้าวัตถุดิบและชนิดและประเภทบรรจุภัณฑ์

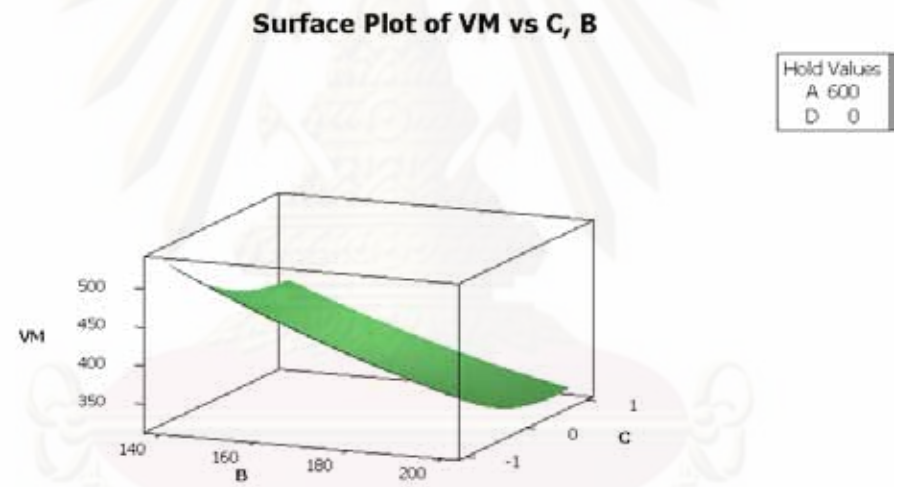


รูปที่ 7.14 พื้นผิวตอบสนองระหว่างปัจจัยอัตราการป้อนเข้าวัตถุดิบและชนิดและประเภทบรรจุภัณฑ์

จากรูปที่ 7.13 และ 7.14 เป็นกราฟแสดงโครงร่าง และพื้นผิวตอบสนองระหว่างปัจจัยอัตราการป้อนเข้าวัตถุดิบและชนิดและประเภทบรรจุภัณฑ์ โดยคงที่ความเร็วของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติกและชนิด Carbon Black ไว้ที่ระดับกลาง คือ 170 rpm และชนิด EP100 ตามลำดับ พบว่า ค่าความชื้นลดลงเมื่อระดับอัตราการป้อนเข้าวัตถุดิบแนวนอนสูงขึ้น และค่าความชื้นจะลดลงเมื่อระดับปัจจัยชนิดบรรจุภัณฑ์อยู่ที่ระดับ -1 จากกราฟสรุปได้ว่าปัจจัยปัจจัยอัตราการป้อนเข้าวัตถุดิบและชนิดและประเภทบรรจุภัณฑ์อยู่ที่ระดับประมาณ 650-700 และปัจจัยระดับปัจจัยชนิดบรรจุภัณฑ์อยู่ที่ระดับ -1

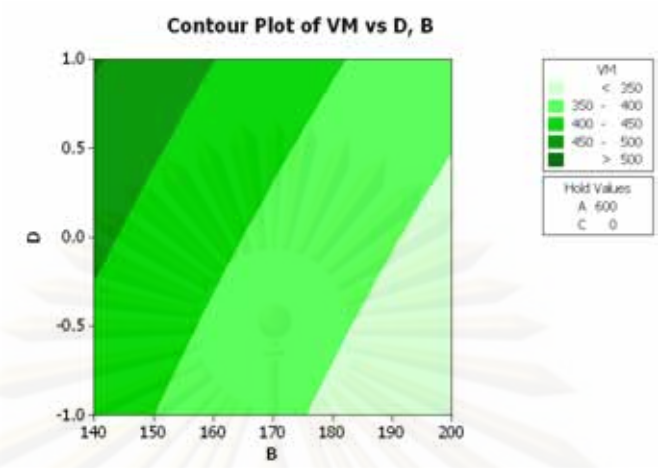


รูปที่ 7.15 โครงร่างระหว่างปัจจัยความเร็วของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติกและชนิด Carbon Black

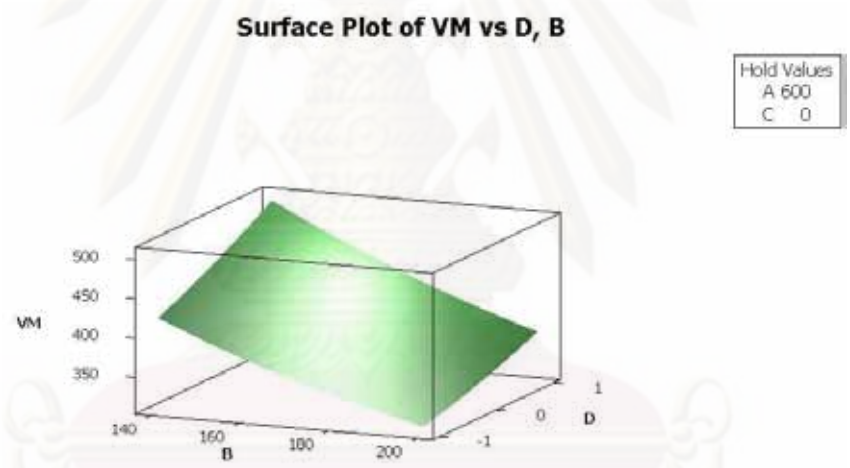


รูปที่ 7.16 พื้นผิวตอบสนองระหว่างปัจจัยความเร็วของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติก และชนิด Carbon Black

จากรูปที่ 7.15 และ 7.16 เป็นกราฟแสดงโครงร่างและพื้นผิวตอบสนองระหว่างปัจจัยความเร็วของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติกและชนิด Liner 650 kg โดยคงที่อัตราการป้อนเข้าวัตถุดิบและชนิดบรรจุภัณฑ์ไว้ที่ระดับกลาง คือ 600 kg/hr และ ชนิด EP100 พบว่า ค่าความชื้นลดลงเมื่อความเร็วของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติกสูงขึ้น และชนิด Carbon Black หากมีการเปลี่ยนแปลงชนิดและประเภทบรรจุภัณฑ์ไปจากระดับ 0 จะทำให้ค่าความชื้นมีแนวโน้มสูงขึ้น ดังนั้นสรุปได้ว่าปัจจัยปัจจัยความเร็วของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติกอยู่ที่ระดับประมาณ 185-200 และปัจจัยชนิดและประเภทบรรจุภัณฑ์อยู่ที่ระดับ 0

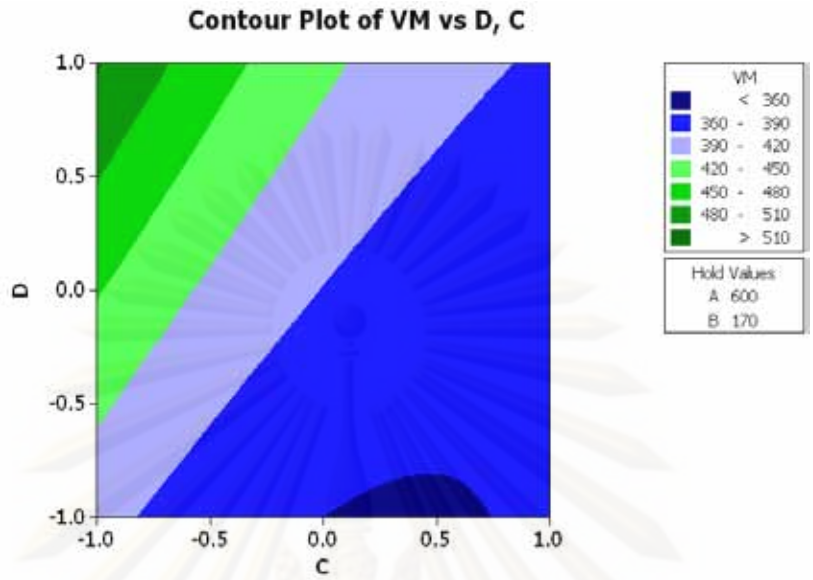


รูปที่ 7.17 โครงร่างระหว่างปัจจัยความเร็วของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติกและชนิดและประเภทบรรจุภัณฑ์

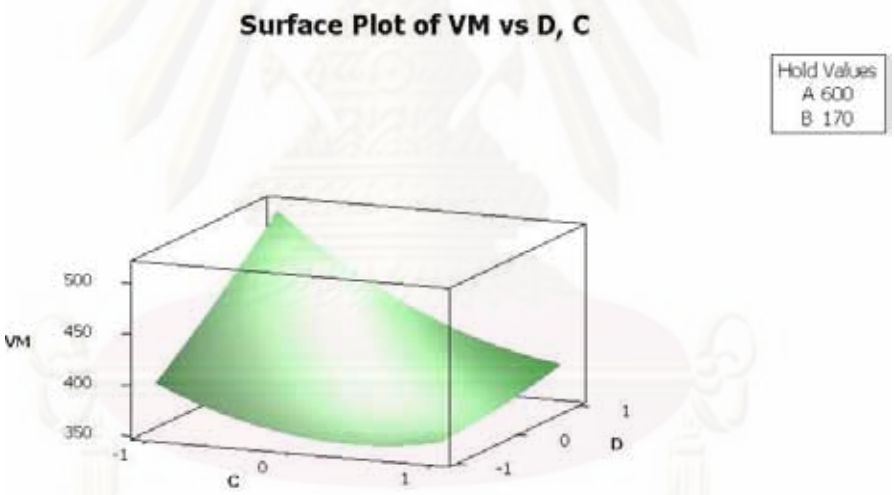


รูปที่ 7.18 พื้นผิวตอบสนองระหว่างปัจจัยความเร็วของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติกและชนิดและประเภทบรรจุภัณฑ์

จากรูปที่ 7.17 และ 7.18 เป็นกราฟแสดงโครงร่างและพื้นผิวตอบสนองระหว่างปัจจัยความเร็วของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติกและชนิดและประเภทบรรจุภัณฑ์ โดยคงที่อัตราการป้อนเข้าวัตถุดิบและชนิด Carbon Black ไว้ที่ระดับกลาง คือ 600 kg/hr และ ชนิด EP100 พบว่า ค่าความชื้นลดลงเมื่อความเร็วของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติกสูงขึ้น และชนิดและประเภทบรรจุภัณฑ์หากมีการเปลี่ยนแปลงชนิดและประเภทบรรจุภัณฑ์ไปจากระดับ -1 จะทำให้ค่าความชื้นมีแนวโน้มสูงขึ้น ดังนั้นสรุปได้ว่าปัจจัยปัจจัยความเร็วของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติกอยู่ที่ระดับประมาณ 175-200 และปัจจัยชนิดและประเภทบรรจุภัณฑ์อยู่ที่ระดับ -1



รูปที่ 7.19 โครงร่างระหว่างปัจจัยชนิด Carbon Black และชนิดและประเภทบรรจุภัณฑ์

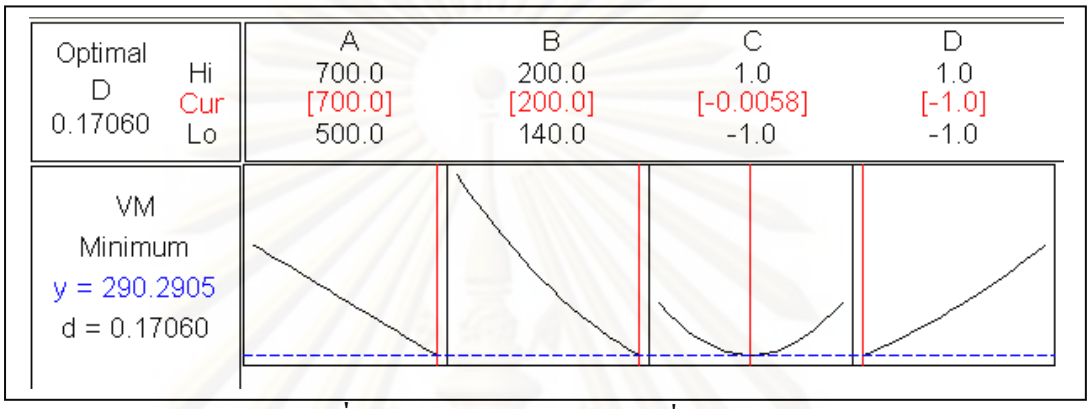


รูปที่ 7.20 พื้นผิวตอบสนองระหว่างปัจจัยชนิด Carbon Black และชนิดและประเภทบรรจุภัณฑ์

จากรูปที่ 7.19 และ 7.20 เป็นกราฟแสดงโครงร่างและพื้นผิวตอบสนองระหว่างปัจจัยชนิด Carbon Black และชนิดและประเภทบรรจุภัณฑ์ โดยคงที่อัตราการป้อนเข้าวัตถุดิบและความเร็วของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติกไว้ที่ระดับกลาง คือ 600 kg/hr และ ชนิด 170 rpm พบว่า ค่าความชื้นเพิ่มขึ้นเมื่อชนิด Carbon Black เปลี่ยนแปลงไปจากระดับ 0 และชนิดและประเภทบรรจุภัณฑ์หากมีการเปลี่ยนแปลงชนิดและประเภทบรรจุภัณฑ์ไปจากระดับ -1 จะทำให้ค่าความชื้นมีแนวโน้มสูงขึ้น ดังนั้นสรุปได้ว่าปัจจัยชนิด Carbon Black อยู่ที่ระดับ 0 และปัจจัยชนิดและประเภทบรรจุภัณฑ์อยู่ที่ระดับ -1

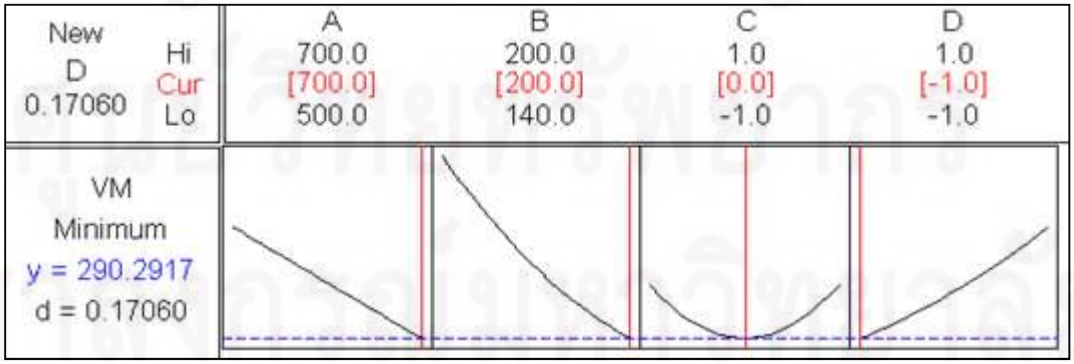
7.2.3 การกำหนดค่าปัจจัยที่เหมาะสมจากการทดลอง

การทดลองหาค่าตอบสนองค่าความชื้น โดยกำหนดระดับค่าความชื้นไม่ควรสูงเกินกว่า 350 PPM และค่าเป้าหมายค่าความชื้นมีค่าน้อยที่สุด หรือเท่ากับ 0 ดังรูปที่ 7.21



รูปที่ 7.21 ผลการวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสม

จากรูปที่ 7.21 พบว่า เพื่อให้ได้ค่าความชื้นน้อยที่สุด คือ 290.29 PPM จะต้องกำหนดควบคุมปัจจัยในการผลิต คือ อัตราการป้อนเข้าวัตถุดิบอยู่ที่ 700 kg/hr , ความเร็วของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติกอยู่ที่ 200 rpm , ชนิด Carbon Black อยู่ที่ระดับ -0.0058 ซึ่งเป็นค่าที่ไม่สามารถทราบชนิดของ Carbon Black ได้ และชนิดและประเภทบรรจุภัณฑ์ อยู่ที่ระดับ -1 คือ ชนิด Normal 25 kg อย่างไรตามในการปฏิบัติงานจริงไม่สามารถที่จะปรับระดับได้ละเอียดตามผลการศึกษา จึงทดลองกำหนดชนิดของCarbon Black ไปที่ระดับ 0 คือ Carbon Black ชนิด EP100 ดังรูปที่ 7.22 ซึ่งทำให้ค่าความชื้นมีค่าเท่ากับ 290.2917 PPM



รูปที่ 7.22 ผลการวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสม เมื่อกำหนดชนิดของ Carbon Black ที่ระดับ 0

7.3 บทสรุป

จากการดำเนินงานในขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ พบว่า จากปัจจัยที่มีผลต่อค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์นั้น ได้แก่ อัตราการป้อนเข้าวัตถุดิบความเร็วของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติก ชนิดของ Carbon Black และชนิดและประเภทบรรจุภัณฑ์ เพื่อทำการปรับปรุงค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ให้มีค่าน้อยที่สุด โดยเริ่มต้นจากการทดลองแบบ 2^k แฟคทอเรียล เพื่อที่จะทำการทดลองตัดสินปัจจัยที่มีผลกับค่าความชื้น จากนั้นจึงได้ทำการทดลองโดยเทคนิคการทดลองแบบแฟคทอเรียลที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง เมื่อมีระดับของปัจจัย 3 ระดับ เพื่อที่จะทำการทดลองตัดสินปัจจัยที่มีผลกับค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ ซึ่งทำให้ทราบสภาวะระดับที่เหมาะสมในการผลิต คือ อัตราการป้อนเข้าวัตถุดิบอยู่ที่ 700 kg/hr ความเร็วของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติกอยู่ที่ 200 rpm ชนิด Carbon Black คือชนิด EP100 และชนิดและประเภทบรรจุภัณฑ์ คือ ชนิด Normal 25 kg ซึ่งหลังจากขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการแล้วนั้นก็จะได้นำปัจจัยนำเข้าเหล่านี้ไปใช้ในกระบวนการผลิตและเพื่อที่จะสามารถป้องกันสาเหตุของปัญหาที่ได้รับการแก้ไขแล้วไม่ให้เกิดขึ้นอีก ดังนั้นการควบคุมปัจจัยต่างๆ เหล่านี้มีความจำเป็น โดยมีรายละเอียดดังขั้นตอนต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 8

การควบคุมกระบวนการผลิต

จากขั้นตอนของการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการที่ผ่านมา ทำให้ทราบถึงปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญต่อผลลัพธ์ของกระบวนการ และค่าระดับของปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสม ซึ่งการควบคุมตัวแปรต่างๆ ในกระบวนการผลิตและบรรจุภัณฑ์นั้น เป็นขั้นตอนสุดท้ายในวิธีการซิกซ์ ซิกม่า โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบและควบคุมปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่ได้จากการวิเคราะห์ผลที่ได้จากขั้นตอนของการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ โดยการนำความรู้และเครื่องมือทางสถิติเกี่ยวกับการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ (Statistic Process Control : SPC) มาประยุกต์ใช้

8.1 การดำเนินงานการควบคุมตัวแปรต่างๆ

จากการดำเนินงานในขั้นตอนการควบคุมต่างๆ โดยการควบคุมปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัย จะใช้คู่มือการปฏิบัติงานเพื่อแสดงถึงวิธีการปฏิบัติงานเป็นเครื่องมือในการควบคุมในขั้นตอนการผลิตเพื่อขจัดความผิดพลาดอันเนื่องมาจากวิธีการปฏิบัติงาน ซึ่งได้กำหนดค่าต่าง ๆ ตามที่วิเคราะห์ผลถึงระดับที่เหมาะสมที่ทำให้เม็ดพลาสติกคอมพาวด์สำหรับผลิตงานท่อมีค่าความชื้นที่ต่ำ ตลอดจนการนำเทคนิคทางสถิติควบคุม (Statistic Process Control: SPC) มาประยุกต์ใช้

8.1.1 แผนการควบคุม

1. ควบคุมปัจจัยป้อนเข้าของกระบวนการ (KPIV)

ปัจจัยป้อนเข้าที่มีผลต่อค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ ได้แก่ อัตราการป้อนเข้าวัตถุดิบ ความเร็วของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติก ชนิด Carbon Black และ ชนิดและประเภทบรรจุภัณฑ์ โดยฝ่ายผลิตจะต้องดำเนินการควบคุมปัจจัยต่างๆ โดยสิ่งที่จะต้องทำการควบคุมดังนี้

ก) อัตราการป้อนเข้าวัตถุดิบ

จากการศึกษาในขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการนั้น ทำให้ทราบได้ว่าอัตราการป้อนเข้าวัตถุดิบ มีผลอย่างมีนัยสำคัญกับค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษา โดยอัตราการป้อนเข้าวัตถุดิบอยู่ที่ 700 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ส่งผลให้ได้ค่าความชื้นต่ำที่สุด ดังนั้น ในกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ในโรงงานกรณีศึกษาปัจจุบันจึงตั้งค่าอัตราอยู่ที่ 700 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

เนื่องด้วยการกำหนดอัตราการป้อนเข้าวัตถุดิบเป็นการกำหนดด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ด้วยเหตุนี้จึงอาศัยคู่มือการปฏิบัติงาน ดังตารางที่ 8.1

ข) ความเร็วของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติก

จากการศึกษาในขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการนั้น ทำให้ทราบได้ว่าความเร็วของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติก มีผลอย่างมีนัยสำคัญกับค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษา โดยความเร็วของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติก อยู่ที่ 200 รอบต่อวินาที ส่งผลให้ได้ค่าความชื้นต่ำที่สุด ดังนั้น ในกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ในโรงงานกรณีศึกษาปัจจุบันจึงตั้งค่าความเร็วของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติกอยู่ที่ 200 รอบต่อวินาที

เนื่องด้วยการกำหนดความเร็วของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติกเป็นการกำหนดด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ด้วยเหตุนี้จึงอาศัยคู่มือการปฏิบัติงาน ดังตารางที่ 8.1

ค) ชนิด Carbon Black

จากการศึกษาในขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการนั้นทำให้ทราบได้ว่าชนิดของ Carbon Black มีผลอย่างมีนัยสำคัญกับค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษา โดย Carbon Black ชนิด EP100 ส่งผลให้ได้ค่าความชื้นต่ำที่สุด ดังนั้น ในกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ ในโรงงานกรณีศึกษาปัจจุบันจึงควบคุมชนิด Carbon Black เป็นชนิด EP100

สำหรับการควบคุมชนิดของ Carbon Black ให้เป็นไปตามที่กำหนดนั้นจะต้องมีการตรวจสอบชนิดก่อนที่จะดำเนินการผลิต และเพื่อความถูกต้องและป้องกันการผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นนั้น จำเป็นจะต้องปฏิบัติตามคู่มือการปฏิบัติงาน ดังตารางที่ 8.1

ง) ชนิดและประเภทบรรจุภัณฑ์

จากการศึกษาในขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการนั้น ทำให้ทราบได้ว่าชนิดของบรรจุภัณฑ์ที่ทำการจัดเก็บมีผลอย่างมีนัยสำคัญกับค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษา โดยบรรจุภัณฑ์ชนิด Normal 25 kg ส่งผลให้ได้ค่าความชื้นต่ำที่สุด ดังนั้น ในกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ในโรงงานกรณีศึกษาปัจจุบันจึงเลือกใช้ชนิดและประเภทบรรจุภัณฑ์เป็นชนิด Normal 25 kg

สำหรับการเลือกชนิดและประเภทของบรรจุภัณฑ์ชนิด 25 kg. นั้น เพื่อป้องกันการผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องปฏิบัติตามคู่มือการปฏิบัติงาน ซึ่งระบุไว้ในเอกสารคู่มือการปฏิบัติงาน ดังตารางที่ 8.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 8.1 วิธีปฏิบัติงานการควบคุมกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกคอมพาวด์

รหัสเอกสาร	: W-1001	ประกาศใช้ครั้งที่	วันที่
ชื่อเรื่อง	: วิธีปฏิบัติงานการเริ่มการผลิต และควบคุมกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกคอมพาวด์สำหรับผลิตงานท่อให้ได้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ตามต้องการของลูกค้า		สำเนาหมายเลข

1) วัตถุประสงค์

เพื่อเป็นวิธีปฏิบัติในการผลิตและควบคุมการผลิตให้ได้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ COMPOUND ตามต้องการได้ถูกต้อง และปลอดภัย

2) ขอบเขต

ใช้กับพนักงานหน่วยงานปฏิบัติการผลิตที่มีหน้าที่รับผิดชอบผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติกคอมพาวด์สำหรับผลิตงานท่อ

3) คำจำกัดความ

UTILITY ของ COMPOUND ประกอบไปด้วย

1. AIR COMPRESSOR & AIR DRYER
2. COOLING TOWER
3. BARREL COOLING WATER
4. BLOWER

4) เอกสารอ้างอิง -

5) วิธีปฏิบัติงาน

5.1 การ START UP - SHUT DOWN EXTRUDER มีขั้นตอนการปฏิบัติ ดังนี้

<u>ขั้นตอนการเตรียมการ</u>

1) ตรวจสอบปริมาณ ชนิดของการเตรียม RAW MATERIAL แต่ละ GRADE พร้อมใช้งาน ดังนี้

1.1 BASE RESIN คือเป็นพลาสติกพอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE)

1.2 Carbon Black ชนิด EP 100

ตารางที่ 8.1 วิธีปฏิบัติงานการควบคุมกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ (ต่อ)

2) ตรวจสอบ CONDITION ของ AUXILIARY EQUIPMENT ของ EXTRUDER ดังนี้

2.1 ระบบ COOLING TOWER RUN

2.2 ระบบ AIR COMPRESSSOR & AIR DRYER RUN

2.3 ระบบ BARREL COOLING WATER RUN

2.4 ระบบ LUBE OIL EXTRUDER RUN

2.5 ระบบ BLOWER TRANSFER RUN

3) ตรวจสอบ CONDITION การ HEATING ของ EXTRUDER และ ปรับตั้งค่าอุณหภูมิของแต่ละ ZONE ตาม PRODUCTION STANDARD

4) ตรวจสอบเวลาการ HEATING ผ่านการ HEAT มาแล้วประมาณ 2 ชั่วโมง

5) ตรวจสอบการติดตั้ง CUTTER และตั้งระยะห่างระหว่าง CUTTER กับ DIE PLATE เรียบร้อยพร้อมกับ CLEAN หน้า DIE

6) ตรวจสอบการติดตั้ง SCREEN PACK พร้อมใช้งาน

7) ตรวจสอบระบบ RAW MATERIAL FEED พร้อมใช้งาน

8) ตรวจสอบระบบ TRANSFER PELLET พร้อมใช้งาน

9) ตรวจสอบ SILO

10) ตรวจสอบระบบไฟฟ้าพร้อมของอุปกรณ์เครื่องจักรทุกตัวพร้อมใช้งาน

ขั้นตอนการทำ STRAND OPERATION

<u>ขั้นตอนการเตรียมการ</u>

1) ทำการ SET PARAMETER ดังต่อไปนี้ ที่ LCP

1.1 ระบบ COOLING TOWER RUN

1.2 SET CARBON BLACK ที่ FEEDER 700 KG/HR

2) กดปุ่ม START SCREW FEED EXTRUDER ที่ CONTROL BOARD

3) กดปุ่ม START FEEDER SYSTEM

4) กดปุ่ม START FEEDER

5) ทำการปรับเพิ่มรอบ SCREW FEED EXTRUDER ที่ประมาณ 200 RPM.

5.1 สังเกตสีของ RESIN ที่ออกจาก DIE PLATE จะต้องเป็นสีดำเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน

ตารางที่ 8.1 วิธีปฏิบัติงานการควบคุมกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ (ต่อ)

5.2 ทำการปรับลด FEED RATE มาที่ 0 KG/HR และลดรอบ SCREW FEED EXTRUDER จากนั้นทำการ กดปุ่ม STOP SCREW FEED EXTRUDER

5.3 ทำความสะอาดหน้า DIE และใช้ SILICONE ทาที่ หน้า DIE กับ CUTTER

5.4 เตรียม CONDITION เข้าสู่ระบบ MANUAL START UP

ขั้นตอนการ START UP

ขั้นตอนการเตรียมการ

1) ทำการประกอบ CHAMBER เข้ากับหน้า DIE ให้แน่น โดยสังเกตสลักล็อคที่ใต้ CHAMBER จะต้องอยู่ในตำแหน่งล็อค และ STATUS ไฟที่ SHOW จะต้องดับ พร้อมกับล็อค CHAMBER ให้แน่น

2) ทำการต่อสาย HOSE น้ำ PELLET COOLING WATER เข้าที่ CHAMBER พร้อมกับเปิด VALVE

3) ตรวจสอบการปรับตั้งค่าที่ถูกต้อง

4) START BLOWER C-6731A และ กดปุ่ม START INTAKE SILO

ขั้นตอนปฏิบัติ

1) กดปุ่ม START PELLETIZER ที่ CONTROL BOARD พร้อมกับตรวจสอบความผิดปกติของเครื่องจักร และแรงดันน้ำใน WATER CHAMBER

2) กดปุ่ม START SCREW FEED EXTRUDER ที่ CONTROL BOARD

3) กดปุ่ม START FEEDER ที่ CONTROL BOARD

4) ทำการปรับรอบ SCREW FEED EXTRUDER , FEED RATE และปรับรอบของ CUTTER พร้อม ๆ กัน โดยทำการเพิ่มที่ละ STEP

5) ตรวจสอบขนาดเม็ด PELLET ที่ให้ได้ตาม SPECIFICATION

6) ทำการเปิด VALVE น้ำเข้า VACUUM PUMP พร้อมกับทำการ กดปุ่มSTART VACUUM PUMP โดย CONTROL PRESSURE ที่ - 900 MBAR

7) ควบคุมอุณหภูมิของ RESIN MELT TEAMPERATURE ไม่เกิน 280 oC

ขั้นตอนการ SHUT OWN

ขั้นตอนการเตรียมการ

1) CONFIRM BASE RESIN EMPTY และ WEIGHT มีเหลืออยู่ ประมาณ 20 KG.

2) CONFIRM SILO INTAKE

ตารางที่ 8.1 วิธีปฏิบัติงานการควบคุมกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ (ต่อ)

ขั้นตอนการปฏิบัติ

1) ทำการปรับลด FEED RATE มาที่ 0 KG./HR. และกดปุ่ม STOP FEEDER SYSTEM

2) ลดรอบ SCREW FEED EXTRUDER จากนั้นกดปุ่ม STOP SCREW FEED EXTRUDER

3) ปรับลดรอบ CUTTER และทำการกดปุ่ม STOP CUTTER

4) ปิด VALVE น้ำที่เข้า VACUUM PUMP พร้อมกับทำการ STOP VACCUMP PUMP

5) ปิด VALVE น้ำ LINE PELLET COOLING และถอดสาย HOSE ออกจาก CHAMBER

6) ทำการ REMOVE CHAMBER แยกออกจากหน้า DIE พร้อมกับทำความสะอาด CUTTER

7) OFF HEAT ระบบ EXTRUDER และ STOP BARREL COOLING WATER SYSTEM

8) ทำการ CLEAN VENT POT , PELLET DRYER , VIBRATION SCREEN และ PELLET COOLING WATER TANK

9) STOP PELLET TRANSFER BLOWER, COOLING TOWER และ COMPRESSOR & AIR DRYER

5.2 การเก็บ SAMPLING ON LINE / LOT ของ COMPOUND มีขั้นตอนการปฏิบัติดังนี้

1. การเตรียมถุงเก็บตัวอย่าง

1) SAMPLING ON LINE ถุงขนาด 6 x 9 นิ้ว

2) SAMPLING LOT. ถุง NORMAL BAG ขนาดบรรจุ 25 กิโลกรัม กรอกรายละเอียดลงใน “SAMPLING TAG” ดังนี้

- SAMPLING NAME / LOT NO. : …….
- SAMPLING GRADE : …….
- SAMPLING POINT : …….
- SAMPLING BY : …….
- วันและเวลาที่เก็บ : …….

2. การตรวจสอบเม็ดก่อนเก็บ

เปิดฝาครอบ ทำการ VISUAL CHECK ขนาดของเม็ด , APPEARANCE , และมีเม็ดติดกันหรือไม่ ถ้ามีควรมีการปรับ CONDITION ให้เม็ดอยู่ในสภาวะปกติจึงทำการเก็บตัวอย่าง

ตารางที่ 8.1 วิธีปฏิบัติงานการควบคุมกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ (ต่อ)

3. การเก็บตัวอย่างปฏิบัติดังนี้

3.1 SAMPLING ON LINE ใช้ภาชนะที่เตรียมไว้หน้างาน ตัดเม็ดพลาสติก ใส่ถุงที่เตรียมไว้ประมาณครึ่งถุง

3.2 SAMPLING ON LOT ใช้ภาชนะที่เตรียมไว้หน้างานตัดเม็ดพลาสติก ใส่ถุงที่เตรียมไว้

4. การตรวจสอบคุณภาพ

แจ้งหน่วยทดสอบเพื่อนำผลิตภัณฑ์ตัวอย่างไปตรวจสอบคุณภาพ ตามค่าที่ต้องการ

5.3 การออก PACKING ORDER ของ COMPOUND มีขั้นตอนการปฏิบัติดังนี้

1. COMPOUND OPERATOR ทำการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ จากรายงานผลการทดลอง COMPOUND PRODUCT FINAL เทียบกับ PRODUCT SPECIFICATION

2. COMPOUND OPERATOR ทำการตรวจสอบการจัดเก็บผลิตภัณฑ์เข้า LOCATION โดยต้องไม่เกิน 28 ตันต่อ LOCATION

3. COMPOUND OPERATOR ทำการออก PACKING ORDER & REPORT โดยระบุ

- วันที่ออก PACKING ORDER & REPORT
- GRADE
- LOT NO.
- LOCATION
- จำนวน PRODUCT
- ผู้ออก PACKING ORDER & REPORT

4. COMPOUND OPERATOR นำ PACKING ORDER & REPORT ที่เขียนและระบุข้อมูลครบถ้วน ส่งให้หัวหน้างานปฏิบัติการผลิตเป็นผู้ตรวจสอบและลงชื่อในช่อง “APPROVE BY”

5. COMPOUND OPERATOR ถ่ายสำเนา PACKING ORDER & REPORT เก็บไว้ที่หน่วยงานและต้นฉบับส่งให้กับ SHIPPING

5.4 การ PACKING และจัดเก็บ LOCATION ของ COMPOUND มีขั้นตอนการปฏิบัติดังนี้

1. การตรวจสอบก่อนทำการบรรจุ

ตารางที่ 8.1 วิธีปฏิบัติงานการควบคุมกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ (ต่อ)

1) COMPOUND OPERATOR ตรวจสอบผลการทดลอง ON LINE ใน SILO เทียบกับ PRODUCT SPECIFICATION ก่อนทำการบรรจุ 2) ตรวจสอบชนิดการบรรจุ (PACKING TYPE ; NORMAL BAG 25 KG) จำนวนที่ต้องการบรรจุ จาก COMPOUND PRODUCTION SCHEDULE 3) ทำการเตรียมและตรวจสอบ TAG ที่จะนำมาติดที่ถุง ดังนี้ - BIG BAG ให้ใช้ TAG ที่เบิกจาก STORE โดยระบุ GRADE , LOT , WEIGHT - NORMAL BAG ให้ใช้สติ๊กเกอร์ที่เบิกจาก STORE โดยระบุ GRADE, LOT 2. ขั้นตอนการบรรจุ 1) COMPOUND OPERATOR ทำการ TRANSFER PELLET จำนวนครั้งละไม่เกิน 7 ตัน 2) COMPOUND OPERATOR ทำการแจ้งพนักงานบรรจุผลิตภัณฑ์ เพื่อบรรจุตาม COMPOUND PRODUCTION SCHEDULE 3) COMPOUND OPERATOR ทำการตัด LOT ไม่เกิน 28 ตันต่อ LOT 3. ขั้นตอนการจัดเก็บเข้า LOCATION นำ PELLET ที่บรรจุเรียบร้อยแล้วเข้าจัดเก็บใน LOCATION ตามที่กำหนดไว้ **6) เอกสารสนับสนุน** –

8.1.2 การประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม

แผนการควบคุมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้ง 4 ปัจจัยที่กำหนด หลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต และเพื่อเป็นการควบคุมให้ปัจจัยทั้ง 4 ให้อยู่ในค่าที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลอง จึงได้ทำการเปลี่ยนแปลงค่าที่เหมาะสมของปัจจัยดังกล่าวข้างต้น และทำการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม $\overline{X}$ – R มาใช้ในการควบคุมปัจจัยทั้ง 4 ตัว ว่าอยู่ในสภาวะตามที่ต้องการหรือไม่ ทั้งนี้โดยพิจารณาจากค่าตัวแปรตอบสนอง โดยมีรายละเอียดของแผนภูมิควบคุมที่ประยุกต์ใช้มีดังนี้

ก) ขนาดสิ่งตัวอย่างและความถี่ในการชักสิ่งตัวอย่าง

เนื่องจากเอกสารควบคุมการผลิตที่ทางโรงงานตัวอย่างจัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ก่อนส่งมอบให้กับลูกค้านั้น จะใช้จำนวนสิ่งตัวอย่าง 5 ตัวอย่าง ต่อการสุ่มต่อ

ช่วงเวลาที่กำหนด คือทุกๆ 4 ชั่วโมง ซึ่งจะช่วยให้ประหยัดเวลาในการวัดค่าของข้อมูลที่ต้องการ เนื่องจากกำลังคนในการวัดมีอยู่อย่างจำกัด

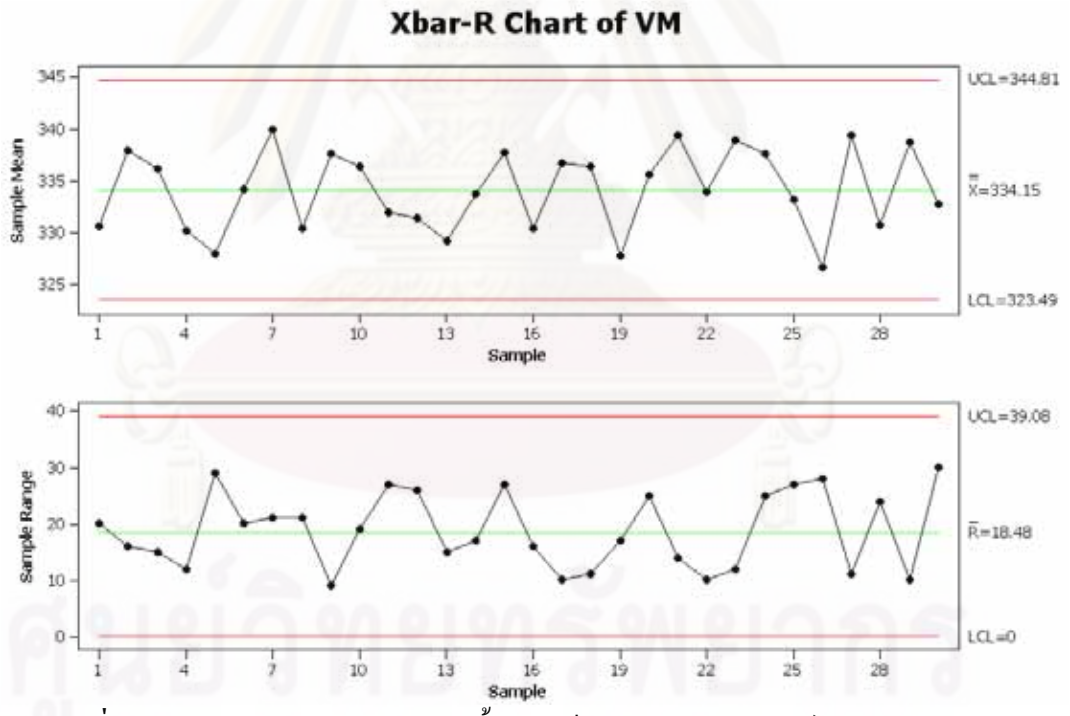
ข) วิธีการวัด

ให้พนักงานผู้รับผิดชอบในการสุ่มชิ้นงานนำชิ้นงานที่สุ่มจากกระบวนการผลิตตามช่วงระยะเวลาที่กำหนดไว้ ส่งมอบให้กับพนักงานวัดชิ้นงาน โดยใช้เครื่อง Moisture Analyzer

8.1.3 ข้อมูลหลังการปรับปรุงการผลิต

1) แผนภูมิควบคุม $\overline{X}$ – R

การควบคุมตัวแปรตอบสนองของค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ให้มีค่าอยู่ใกล้ค่ากลางของขอบเขตควบคุมมากที่สุด โดยได้ทำการเก็บข้อมูล 30 กลุ่มข้อมูล (ค่าเฉลี่ยจากการวัดตัวอย่างทั้ง 5 ตัวอย่าง) จากข้อมูลเดือนกุมภาพันธ์ 2553 พิจารณาจากแผนภูมิควบคุม $\overline{X}$ – R ซึ่งแสดงดังรูปที่ 8.1

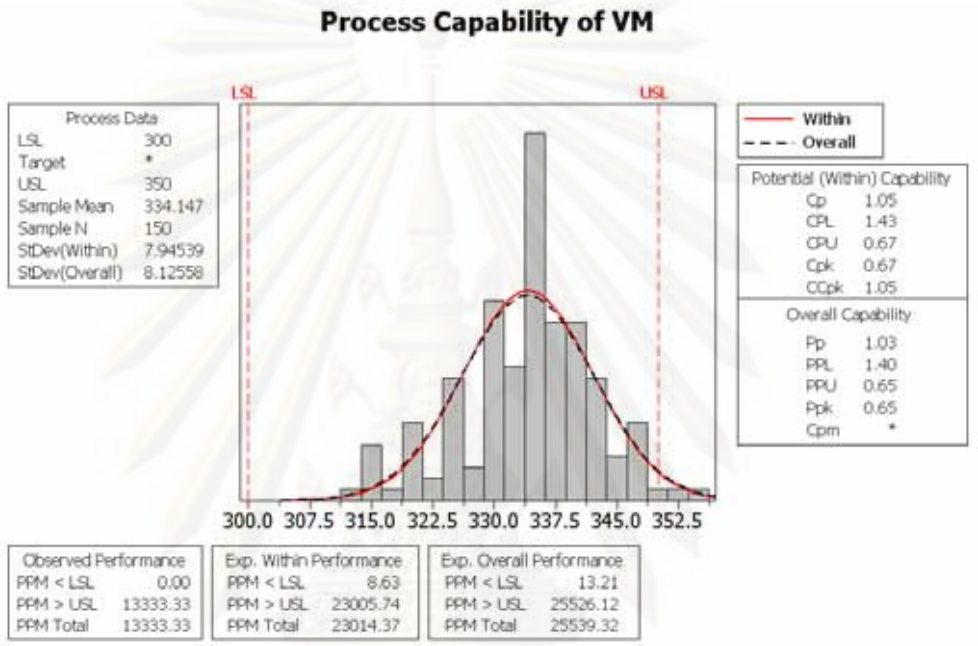


รูปที่ 8.1 แผนภูมิควบคุมของค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์หลังการปรับปรุง

จากแผนภูมิควบคุมดังรูปที่ 8.1 แสดงให้เห็นว่า กระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุมทางสถิติ และมีค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์เฉลี่ยอยู่ที่ 334.15 PPM ซึ่งถือว่าเป็นไปตามที่กำหนดไว้

2) ความสามารถกระบวนการหลังปรับปรุงกระบวนการ

เมื่อทำการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ โดยมีวัตถุประสงค์ของการทำการวิเคราะห์เพื่อประเมินความผันแปรของกระบวนการและวิเคราะห์ความผันแปรที่เกิดขึ้นนั้น แสดงดังรูปที่ 8.2



รูปที่ 8.2 ความสามารถกระบวนการหลังปรับปรุงกระบวนการ

จากรูปที่ 8.2 เมื่อทำการพิจารณาความสามารถกระบวนการก่อนการดำเนินการแก้ไขปัญหาต่างๆ ด้วยวิธีการซิกซ์ ซิกม่า พบว่าดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิม แสดงดังตารางที่ 8.2 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าหลังทำการปรับปรุงกระบวนการสามารถลดความผันแปรของกระบวนการได้

ตารางที่ 8.2 การเปรียบเทียบดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการก่อน - หลังปรับปรุง

	C_p	C_{pk}	P_p	P_{pk}
ค่ามาตราฐาน	มากกว่า 1.33	มากกว่า 1.33	มากกว่า 1.33	มากกว่า 1.33
ค่าที่คำนวนได้ (ก่อนปรับปรุง)	0.87	-3.13	0.85	-3.06
ค่าที่คำนวนได้ (หลังปรับปรุง)	1.05	0.67	1.03	0.65

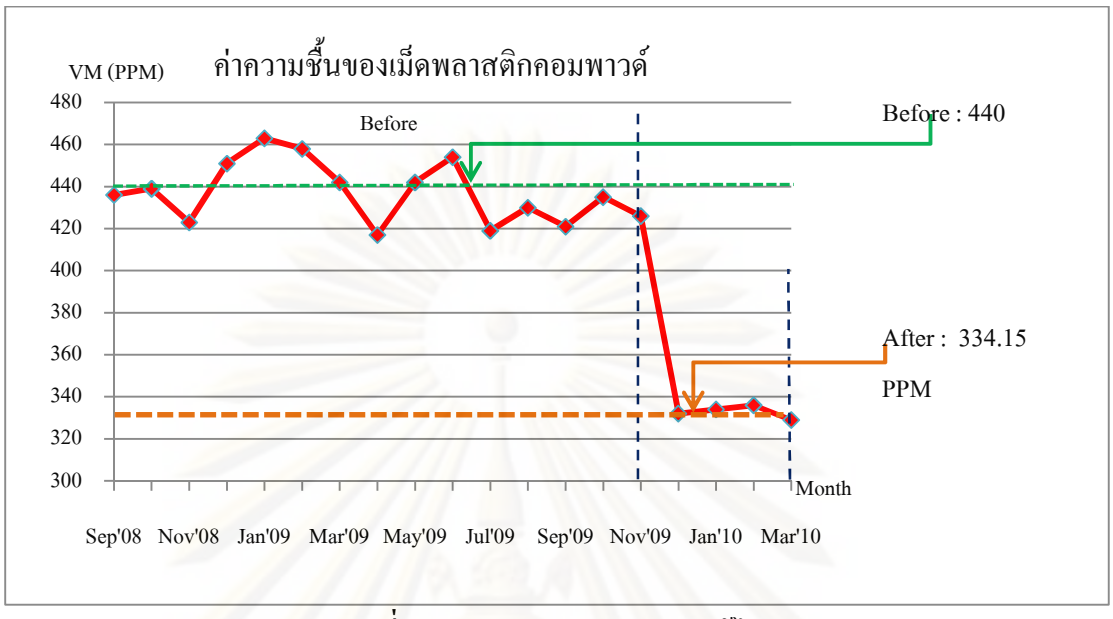
จากตารางที่ 8.2 พบว่า ดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการหลังปรับปรุง มีค่าความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการระยะสั้น (C_p) มีค่า 1.05 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1.33 หมายความว่า ความสามารถของกระบวนการในระยะสั้นนั้นยังคงมีความผันแปรที่สูงและมีความมั่นคงต่ำในระดับคุณภาพระดับ 3σ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่ากระบวนการการผลิตดังกล่าวมีความสามารถที่จะให้ค่าของผลิตภัณฑ์ถูกต้องตรงตามค่าจริง (True Value) อยู่ในเกณฑ์ปานกลาง ส่วนความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการระยะสั้น (C_{pk}) มีค่า 0.67 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1.33 แสดงว่าการเลื่อนไปจากค่ากลางของข้อกำหนดเฉพาะของตำแหน่งกระบวนการยังคงมีความผันแปรค่อนข้างสูงในระดับคุณภาพระดับ 3σ ซึ่งส่งผลมาจากในกระบวนการดังกล่าวมีความสามารถของระบบการวัด ในการวัด เพื่อให้ได้ค่าที่ตรงกันต่ำ และค่าความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการระยะยาว (P_p) มีค่า 1.03 ซึ่งน้อยกว่า 1.33 หมายความว่า ความสามารถของกระบวนการระยะยาวนั้นมีความผันแปรอยู่ในเกณฑ์ที่สูงอยู่และมีความมั่นคงต่ำในระดับคุณภาพระดับ 3σ สุดท้ายคือ ความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการระยะยาว (P_{pk}) มีค่า 0.65 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1.33 แสดงว่าการเลื่อนไปจากค่ากลางของข้อกำหนดเฉพาะของตำแหน่งกระบวนการยังคงมีความผันแปรค่อนข้างสูง ในระดับคุณภาพระดับ 3σ

จากค่า P_{pk} มีค่า 0.65 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ C_{pk} ซึ่งมีค่า 0.67 ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่ากระบวนการทดสอบค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์มีปัญหาเรื่องการควบคุมกระบวนการลดน้อยลงโดยกระบวนการนี้มีค่าเฉลี่ยของค่าความชื้น เท่ากับ 334.15 PPM และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 7.95

8.2 สรุปผลการดำเนินงานตามวิธีการซิกซ์ ซิกม่า

จากวัตถุประสงค์ในการทำการวิจัยฉบับนี้ เพื่อลดค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกเม็ดคอมพาวด์เกรดหนึ่งสำหรับผลิตภัณฑ์งานท่อ ที่เกิดในกระบวนการผสมเม็ดพลาสติกกับสารเติมแต่งและการบรรจุภัณฑ์ โดยใช้แนวคิดซิกซ์ ซิกม่า ซึ่งหลังจากการดำเนินงานแก้ไขปัญหาด้วยวิธีการซิกซ์ ซิกม่าแล้วสามารถสรุปผลได้ดังรูปที่ 8.3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 8.3 สรุปผลการดำเนินงานแก้ไข

จากรูปที่ 8.3 แสดงให้เห็นปริมาณค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกที่เกิดขึ้นในช่วงก่อนปรับปรุงที่ยังไม่ได้มีการกำหนดระดับปัจจัยที่แน่นอนนั้น พบว่าในช่วงเดือนกันยายน 2551 – กรกฎาคม 2552 มีค่าเฉลี่ยความชื้นอยู่ที่ประมาณ 440 PPM โดยมีค่าความแปรปรวน 9.62 หน่วย^2 และเมื่อทำการปรับค่าระดับปัจจัยต่างๆ ตามขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ โดยปรับอัตราการป้อนเข้าวัตถุดิบที่ 700 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ความเร็วของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติก อยู่ที่ 200 รอบต่อวินาที ชนิด Carbon Black เป็นชนิด EP100 และชนิดและประเภทบรรจุภัณฑ์เป็นแบบ Normal 25 kg พบว่าค่าความชื้นลดลงเหลือเฉลี่ยเพียง 334.15 PPM และค่าความแปรปรวนก็ลดลงเหลือ 7.95 ในช่วงเดือนธันวาคม 2552 ถึงเดือนมีนาคม 2553 ซึ่งสามารถลดปัญหาของค่าความชื้นที่เกิดขึ้นลงได้

8.3 บทสรุป

จากผลการควบคุมกระบวนการผลิตที่ผ่านมานั้น พบว่าสามารถกำหนดค่าของปัจจัยที่ได้จากการหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมรวมถึงการควบคุมผลลัพธ์ของกระบวนการ ด้วยเหตุนี้จึงได้ทำการควบคุมกระบวนการโดยอาศัยเทคนิคทางการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ โดยหลังจากการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการหลังการปรับปรุงมีค่า 0.67 ซึ่งเป็นค่าที่สูงขึ้นจากช่วงก่อนปรับปรุงและมีค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์เฉลี่ยอยู่ที่ 334.15 PPM โดยเป็นไปตามความต้องการของลูกค้า ซึ่งเป็นผลทำให้สามารถลดมูลค่าความสูญเสียลงได้ โดยมีรายละเอียดในบทต่อไป

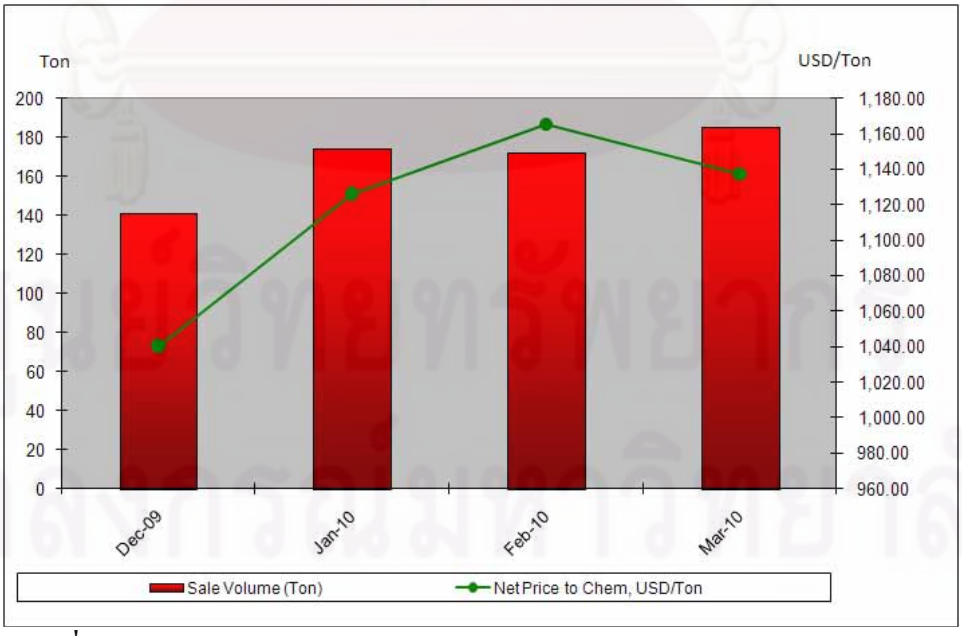
บทที่ 9

มูลค่าความสูญเสียหลังการปรับปรุง

จากปัญหาค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์สำหรับผลิตงานท่อมีค่าสูงเกินเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งส่งผลให้สูญเสียโอกาสในการขายเฉลี่ย 125 ตันต่อเดือน อีกทั้งต้องรับซื้อผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้คุณภาพ คิดเป็นมูลค่าความสูญเสียกว่า 8 ล้านบาทต่อเดือน โดยจากการปรับปรุงกระบวนการพบว่าสามารถลดค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ได้ ทำให้มูลค่าความสูญเสียลดลง

9.1 มูลค่าความสูญเสียที่ลดลง

หลังจากการดำเนินงานแก้ไขปัญหาด้วยวิธีการซิกซ์ ซิกม่า ส่งผลให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์เป็นที่ยอมรับของลูกค้า กล่าวคือเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ที่ใช้ผลิตงานท่อนั้น มีค่าความชื้นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งตรงกับความต้องการของลูกค้า ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ยอดขายมีแนวโน้มสูงขึ้นโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 168 ตัน หรือ 168,000 กิโลกรัมต่อเดือน (ระหว่างเดือนธันวาคม 2552 – มีนาคม 2553) แสดงดังรูปที่ 9.1 อีกทั้งยังไม่พบมูลค่าความสูญเสียที่บริษัทต้องรับผิดชอบค่าใช้จ่ายในการรับซ้อผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้คุณภาพด้วย



รูปที่ 9.1 แสดงข้อมูลยอดขายและแนวโน้มราคาเม็ดพลาสติกส่งออกต่างประเทศ ระหว่าง เดือนธันวาคม 2552-เดือนมีนาคม 2553

ทั้งนี้ในช่วงระยะเวลาระหว่างเดือนธันวาคม 2552 – มีนาคม 2553 มีกำลังการผลิตเฉลี่ยต่อเดือนเท่ากับ 200 ตันต่อเดือน ซึ่งจากยอดขายในช่วงเวลาหลังการปรับปรุงเฉลี่ยที่ 168 ตันต่อเดือน โดยมีราคาขายเฉลี่ยที่ 1,117 USD/ตัน จะพบมูลค่าความสูญเสียโอกาสจากการขายคิดเป็น 37,440 USD หรือประมาณ 1.31 ล้านบาท (คำนวณอัตราแลกเปลี่ยน 35 บาท/USD) ทั้งนี้โดยไม่พบมูลค่าการสูญเสียจากการรับซื้อผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้คุณภาพ นอกจากนี้ยังสามารถแสดงต้นทุนการบรรจุภัณฑ์โดยใช้บรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ ดังตารางที่ 9.1

ตารางที่ 9.1 ข้อมูลต้นทุนด้านบรรจุภัณฑ์

ชนิดถุง (kg)	ต้นทุนถุง (USD/ใบ)	จำนวนถุงที่ใช้ (ใบ)	ต้นทุนบรรจุภัณฑ์รวม (USD)	ยอดขาย (USD)	ยอดขาย - ต้นทุนบรรจุภัณฑ์
800	7.714	87	669	77,529	76,860
650	6.714	107	717	77,529	76,812
25	0.271	3,944	1,070	187,656	186,586

จากตารางที่ 9.1 หากไม่ได้ใช้บรรจุผลิตภัณฑ์ด้วยชนิดบรรจุภัณฑ์ 25 kg. จะมีผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้คุณภาพคิดเป็น 41% เป็นมีผลิตภัณฑ์ที่ได้คุณภาพคิดเป็น 59% (คำนวณจากยอดการผลิตและยอดขายก่อนการปรับปรุง) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ณ ปริมาณการขายที่เท่ากัน การใช้บรรจุภัณฑ์ชนิด 25 kg. นั้น มีต้นทุนที่สูงกว่าชนิด 650 kg. และ 800 kg. แต่หากคำนึงถึงมูลค่าความสูญเสียแล้วนั้น ชนิดบรรจุภัณฑ์ที่ 25 kg. จะไม่พบผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้คุณภาพ และเมื่อหักจากยอดขายที่ได้รับนั้น การใช้บรรจุภัณฑ์ชนิด 25 kg. นั้นยังคงมีรายได้ที่มากกว่าบรรจุภัณฑ์ชนิดอื่น

9.2 บทสรุป

จากช่วงก่อนปรับปรุงเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ซึ่งมีมูลค่าความสูญเสียด้านการรับซื้อผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้คุณภาพและความสูญเสียโอกาสจากการขายคิดเป็น 7.7 ล้านบาทต่อเดือน และเมื่อได้มีการปรับปรุงค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์แล้วนั้น ไม่พบการร้องเรียนและการรับซื้อผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้คุณภาพ แต่ยังคงพบมูลค่าความสูญเสียโอกาสในการขายคิดเป็น 1.31 ล้านบาท ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบกับช่วงก่อนปรับปรุงแล้วนั้น แสดงให้เห็นว่ามูลค่าความสูญเสียลดลงประมาณ 4.6 ล้านบาทต่อเดือน

บทที่ 10

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

การดำเนินการวิจัยนี้ได้รับการอนุเคราะห์จากโรงงานผู้ประกอบธุรกิจด้านอุตสาหกรรมปิโตรเคมีและเคมีภัณฑ์แห่งหนึ่ง ที่ให้ข้อมูลในการทำวิจัยและสถานที่ในการทดลอง เพื่อปรับปรุงคุณภาพสำหรับค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตงานท่อ อันจะส่งผลให้สามารถปรับปรุงค่าความชื้นที่ไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพที่ลูกค้ากำหนด โดยประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกม่า มาเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหา ซึ่งสามารถสรุปผลการดำเนินงานได้ดังต่อไปนี้

10.1 การกำหนดปัญหาที่เกิดขึ้น (Define Phase)

ในขั้นตอนนี้เริ่มจากการพิจารณาปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อองค์กร ซึ่งพบว่ายอดขายของผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติกคอมพาวด์ที่ใช้สำหรับผลิตงานท่อมียอดขายลดลง และจากการตรวจสอบข้อมูลทางสถิติพบว่าสาเหตุสำคัญนั้นมาจากปัญหาด้านคุณภาพของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ที่มีค่าความชื้นสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ที่ 350 PPM ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการศึกษาถึงสาเหตุที่ทำให้เกิดค่าความชื้นในเม็ดพลาสติกคอมพาวด์โดยศึกษาในกระบวนผลิตและบรรจุภัณฑ์ ทั้งนี้จะคำนวณหาความสามารถกระบวนการ เพื่อเป็นดัชนีเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างก่อนและหลังการดำเนินงานด้วยวิธีการซิกซ์ ซิกม่าเพื่อแก้ไข ซึ่งผลจากการหาความสามารถกระบวนการ พบว่า ความสามารถของกระบวนการผลิตและบรรจุภัณฑ์นั้นมีความแปรปรวนสูงและมีความมั่นคงน้อย ซึ่งส่วนหนึ่งมาจากการออกแบบกระบวนการ และจากผลการพิจารณาดังกล่าวจะใช้เป็นแนวทางในการสร้างแผนงานในการแก้ไขเป็นลำดับต่อไป

10.2 การวัดเพื่อกำหนดหาสาเหตุของปัญหา (Measure Phase)

ขั้นตอนนี้เริ่มต้นด้วยวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่าเครื่องมือวัดมีความสามารถในการตรวจจับความผันแปรของกระบวนการได้ ซึ่งสามารถที่จะใช้ข้อมูลที่ได้จากระบบการวัดนี้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อวิเคราะห์ปัญหาที่ทำการศึกษา จากนั้นได้สร้างแผนที่กระบวนการ (Process Map) เพื่อทราบถึงปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ในแต่ละในกระบวนการด้วย ผลจากการศึกษานี้จะสัมพันธ์กับการวิเคราะห์

แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) ซึ่งจะทำให้เข้าใจถึงปัจจัยที่ส่งกระทบกับปัญหาที่ต้องแก้ไขโดยการเขียนแผนภาพสาเหตุและผลนี้จะกระทำโดยการระดมสมองผู้ที่เกี่ยวข้องทุกฝ่าย เพื่อป้องกันการตกหล่นของสาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหาได้ โดยพบว่ามีปัจจัยทั้งหมด 16 ปัจจัย จากนั้นได้ทำการหาความสัมพันธ์ของปัญหา เพื่อพิจารณาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผล และทำการวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดของกระบวนการ (FMEA Process) โดยนำเอาสาเหตุของปัญหาที่มิได้ตัดทิ้งในแผนภาพเหตุและผลมาคำนวนหาค่าตัวเลขระดับความเสี่ยง (RPN) และนำค่าดังกล่าวมาสร้างแผนภาพพาเรโต เพื่อคัดเลือกสาเหตุของปัญหา ซึ่งผลการดำเนินงานพบว่า สาเหตุที่อาจจะส่งผลกระทบต่อโอกาสการเกิดค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ คือ อัตราการป้อนเข้าวัตถุดิบ ความเร็วของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติก ชนิด Carbon Black และ ชนิดและประเภทบรรจุภัณฑ์ ซึ่งปัจจัยต่างๆ เหล่านี้จะนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือทางสถิติในขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

10.3 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase)

จากขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา พบว่ามี 4 ปัจจัย ได้แก่ อัตราการป้อนเข้าวัตถุดิบ ความเร็วของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติก ชนิด Carbon Black และ ชนิดและประเภทบรรจุภัณฑ์ที่มีผลต่อค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์นั้น สำหรับขั้นตอนนี้จะนำสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหา มาทำการวิเคราะห์โดยอาศัยหลักการออกแบบการทดลองเชิงวิศวกรรมแบบ (2^k Factorial Design) โดยในการทดลองนี้จะมีจุดมุ่งหมายเพื่อกลั่นกรองปัจจัยต่างๆ (Screening Factors) ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจากการทดลองพบว่าปัจจัยทั้ง 4 ดังกล่าวข้างต้น ยังคงเป็นปัจจัยที่มีผลต่อค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์อย่างมีนัยสำคัญ และจากขั้นตอนนี้เองจะนำไปหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมในขั้นตอนที่ต่อไป

10.4 การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase)

ขั้นตอนนี้จะอาศัยเครื่องมือการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบ 2^k แฟคทอเรียลที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง (Addition of Center Points to the 2^k Design) และการหาค่าระดับปัจจัยที่ดีที่สุด โดยส่งผลทำให้ค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์น้อยที่สุด ด้วยวิธีการหาพื้นผิวตอบสนองกำลังสอง (Second-Order Response Surface Model) ผลจากการดำเนินงานพบว่า ระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด คือ การกำหนดอัตราการ

ป้อนเข้าวัตถุดิบอยู่ที่ 700 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ความเร็วของเครื่องกดอัดเม็ดพลาสติกอยู่ที่ 200 รอบต่อวินาที ชนิด Carbon Black คือชนิด EP100 และชนิดและประเภทบรรจุภัณฑ์ คือ ชนิด Normal 25 kg ซึ่งจะทำให้ค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาว์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งปัจจัยที่เหมาะสมดังกล่าวนี้จะนำไปทำการควบคุมในขั้นตอนสุดท้าย

10.5 การควบคุมตัวแปรต่างๆ (Control Phase)

จากผลการควบคุมกระบวนการผลิตที่ผ่านมานั้น พบว่าสามารถกำหนดค่าของปัจจัยที่ได้จากการหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมรวมถึงการควบคุมผลลัพธ์ของกระบวนการ ด้วยเหตุนี้จึงได้ทำการควบคุมกระบวนการโดยอาศัยเทคนิคทางการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ โดยหลังจากการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการหลังการปรับปรุงมีค่า 0.67 ซึ่งเป็นค่าที่สูงขึ้นจากช่วงก่อนปรับปรุงและมีค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์เฉลี่ยอยู่ที่ 334.15 PPM โดยเป็นไปตามความต้องการของลูกค้า ซึ่งเป็นผลทำให้สามารถลดมูลค่าความสูญเสียลงได้ โดยมีรายละเอียดในบทต่อไป

10.6 สรุปผลการดำเนินงานวิธีการซิกซ์ ซิกม่า

ท้ายสุดเป็นการสรุปการดำเนินงานวิธีการซิกซ์ ซิกม่า ซึ่งหลังจากการดำเนินงานแก้ไขปัญหาด้วยวิธีการซิกซ์ ซิกม่า แล้วเป็นผลให้สามารถปรับปรุงค่าเฉลี่ยของค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ จาก 440 PPM ลดลงเหลือ 334 PPM ซึ่งเป้าหมายตั้งไว้ตามมาตรฐานคือ 350 PPM ซึ่งการลดลงของค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์นี้ มีผลทำให้มูลค่าความสูญเสียลดลง

10.7 ปัญหาและอุปสรรคในงานวิจัย

10.7.1 การเก็บข้อมูลต้องใช้เวลามาก เนื่องจากต้องควบคุมปัจจัยต่างๆ เพื่อให้สามารถได้ข้อมูลที่มีความถูกต้องมากที่สุด

10.7.2 เนื่องจากพนักงานปฏิบัติงานในสายกระบวนการผลิตนั้นมีภาระงานที่ค่อนข้างมาก ทำให้การนำเอาวิธีการซิกซ์ ซิกม่าไปประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหาจำเป็นต้องใช้ระยะเวลาที่มาก และส่วนหนึ่งต้องทำการอบรมความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการควบคุมคุณภาพอีกด้วย

10.8 ข้อแสนอแนะ

10.8.1 การวิจัยฉบับนี้ได้ทำการศึกษาค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์สำหรับผลิตงานท่อเท่านั้น เนื่องจากเป็นเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการร้องเรียนจากลูกค้า และส่งผลกระทบด้านความสูญเสียรายได้และสูญเสียโอกาสในการขายมากที่สุด ฉะนั้นในการวิจัยครั้งต่อไป จึงควรทำการศึกษาการผลิตในเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ที่ใช้ผลิตงานอื่นๆ ที่มีการผลิต เพื่อสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้เพิ่มขึ้น

10.8.2 การดำเนินงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกเม็ดคอมพาวด์ที่ใช้สำหรับผลิตงานท่อที่เกิดจากกระบวนการผสมเม็ดพลาสติกกับสารเติมแต่งและการบรรจุภัณฑ์ โดยใช้แนวคิดซิกซ์ ซิกม่านั้น สามารถพิจารณาปรับปรุงและทำการวิเคราะห์ตัวแปรตอบสนอง หรือผลลัพธ์ของกระบวนการอื่นๆ ได้อีก และนอกจากนี้ยังสามารถที่จะพิจารณาตัวแปรตอบสนองที่มากกว่า 1 ตัว ซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายที่ใช้สำหรับการออกแบบการทดลองอีกทั้งประหยัดเวลาที่ใช้ในการทดลองและดำเนินการผลิตอีกด้วย

10.8.3 ในการดำเนินงานตามวิธีการซิกซ์ ซิกม่านั้นบุคลากรภายในองค์กรทุกคนมีความสำคัญจำเป็นต้องมีการพัฒนาทักษะความรู้ เพื่อที่จะสามารถดำเนินงานปรับปรุงและแก้ไขปัญหาต่างๆ ได้

10.8.4 การวิจัยฉบับนี้ทำการออกแบบเพื่อหาพื้นผิวตอบสนองโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบ 3^k Factorial Design ผู้ที่สนใจสามารถใช้การออกแบบการทดลองแบบอื่นๆ ได้ เช่น Central Composite Design และ Box-Behnken Design โดยสามารถลดจำนวนขนาดตัวอย่างในการทดลอง ซึ่งจะส่งผลให้ช่วยลดต้นทุนในการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. การวิเคราะหระบบการวัด. พิมพครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สมาคมสงเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุน), 2542.

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. สถิติสำหรับงานวิศวกรรมเล่ม 2. พิมพครั้งที่ 2.กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2543.

จรัสพงศ์ รักการ . การประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกม่าในการปรับปรุงคุณภาพเคลือบสีสำหรับอุตสาหกรรมรถยนต์ วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขา วิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2543.

ดำรงค ทวีแสงสกุลไทย. การควบคุมคุณภาพสำหรับนักบริหารและกรณีศึกษา. พิมพครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : เอ็มแอนดอี, 2538.

ธนากร เกียรติบรรลือ . FMEA การวิเคราะหความลมเหลวในการผลิต. Industrial Technology Review. 73 (กรกฎาคม 2543) : 1-5.

เทวินทร สิริโชคชัยกุล. กาวสูสากลดวย QS-9000. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน) 2540.

ณัฏฐพันธ เขจรนันทน และคนอื่นๆ. คูมือปฏิบัติ Six Sigma เพื่อสรางความเปนเลิศในองคกร. พิมพครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : เอ็กซเปอรเน็ท, 2545.

ประภาพร เนาวบุตร . การประยุกต์ใช้ซิกซ์ซิกม่าในงานผลิตอุปกรณ์ใยแก้วนำแสง (กรณีศึกษา : การลดจำนวนวัตถุดิบเสียเนื่องจากค่าความสูญเสียทางแสงสูงเกินค่ากำหนด). วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรม อุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรม อุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2546.

ปารเมศ ชุติมา. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : ด่านสุทธาการพิมพ์, 2545.

รุ่งโรจน์ อักษรสาร. การปรับปรุงคุณภาพอย่างต่อเนื่องด้วย Six Sigma ในอุตสาหกรรมผลิตแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2542.

วุฒิชัย เจริญยิ่งวัฒนา. การใช้กรรมวิธีทางซิกซ์ ซิกม่า เพื่อศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพงานพ่นสี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขา วิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2546.

วันรัตน์ จันทกิจ. 17 เครื่องมือนักคิด Problem Solving Devices. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ : สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ, 2548.

สาโรช พันธุ์แพ และอภิชาติ ธรรมวิทย์กุล . การชุบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า. กรุงเทพฯ : ชวนพิมพ์, 2526.

อรรถกร เก่งพล. วิศวกรรมคอนเคอร์เร็นท์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : ศูนย์ผลิตตำราเรียน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2547.

อุษณีย์ ถิ่นเกาะแก้ว. การลดของเสียจากกระบวนการผลิตกระป๋องโดยประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ซิกม่า. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหก าร ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

ฮิโตชิ คุเมะ. วิธีทางสถิติเพื่อการพัฒนาคุณภาพ. แปลโดย วีระพงษ เฉลิมจิระรัตน์. พิมพครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2542.

ภาษาอังกฤษ

Banuelas Coronado, et al. Critical success factors for the successful implementation of six sigma projects in organizations. The TQM Magazine 14 (2002) : 92-99

Does , R, et al. Comparing Nonmanufacturing with Traditional Application of Six Sigma. Journal of Quality Engineering 15 (2002) : 177-182

Douglas, C., Design and Analysis of Experiment, 5th ed. USA : John Wiley & Sons , 2001 : 170 - 448.

LG Electronics. Six Sigma Case Studies for Quality Improvement, prepared for the National Quality Prize of Six Sigma for 2000. Korea : LG Electronics/Digital Appliance Company, 2000.

Montgomery, D.C. Design and Analysis of Experiment. 4th ed. USA. : John Wiley and Sons, 1997.

Park, S. H. Six Sigma for Quality and Productivity Promotion, 32th ed Japan : The Asian Productivity Organization, 2003.

Samsung SDI, Six Sigma Case Studies for Quality Innovation. Korea : Samsung SDI reports, 2000.

UNIDO Handtools Project : National Programmed for Promoting Energy Efficiency in Hand Tools SSI Sector in India. "Nickel Chrome plating on Hand Tools" Skill Development on Metal Finishing.(2006) : 12-14

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1 แบบฟอร์มการให้คะแนนเพื่อทำการวิเคราะห์ปัญหาจากการหาความสัมพันธ์สาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix)

การให้คะแนนปัจจัยที่มีผลต่อค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์สำหรับผลิตงานท่อ กำหนดให้อัตราส่วนความสำคัญต่อลูกค้ามีค่า 0-10 โดยที่ 0 = ไม่มีความสำคัญต่อลูกค้า/ไม่มีผลต่อค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ 10 = มีความสำคัญต่อลูกค้า/ไม่มีผลต่อค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์อย่างยิ่ง														
ลำดับที่	จำแนกตามสาเหตุ	ปัจจัยที่มีผล	อัตราความสำคัญต่อลูกค้า/ผลกระทบต่อค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ (0-10)										
1	Man	พนักงานไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการวัดค่าที่ถูกต้อง	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	Man	พนักงานขาดประสบการณ์ในการวัดค่า	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	Man	พนักงานไม่ได้รับการฝึกอบรมในการวัดค่าที่ถูกต้อง	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4	Method	การตรวจสอบคุณภาพของเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงก่อนนำไปใช้ผลิต	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	Method	การตรวจสอบคุณภาพของ Carbon Black ก่อนนำไปใช้ผลิต	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6	Method	การอบแห้งเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ก่อนเข้าสู่กระบวนการบรรจุและจัดเก็บ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
7	Measurement	เครื่องวัดไม่มีประสิทธิภาพเนื่องจากเครื่องวัดชำรุด/เสียหาย	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8	Measurement	เครื่องวัดไม่มีประสิทธิภาพเนื่องจากขาดการตั้งค่าเครื่องวัดให้เป็นมาตรฐาน	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

133

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1 แบบฟอร์มการให้คะแนนเพื่อทำการวิเคราะห์ปัญหาจากการหาความสัมพันธ์สาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix) (ต่อ)

การให้คะแนนปัจจัยที่มีผลต่อค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์สำหรับผลิตงานท่อ กำหนดให้อัตราส่วนความสำคัญต่อลูกค้ามีค่า 0-10 โดยที่ 0 = ไม่มีความสำคัญต่อลูกค้า/ไม่มีผลต่อค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ 10 = มีความสำคัญต่อลูกค้า/ไม่มีผลต่อค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์อย่างยิ่ง													
ลำดับที่	จำแนกตามสาเหตุ	ปัจจัยที่มีผล	อัตราความสำคัญต่อลูกค้า/ผลกระทบต่อค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ (0-10)										
9	Measurement	พนักงานขาดความเที่ยงตรงในการวัด	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	Measurement	พนักงานขาดความแม่นยำในการวัด	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	Environment	อุณหภูมิในการจัดเก็บไม่เหมาะสม	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12	Environment	แสงสว่างในการจัดเก็บไม่เหมาะสม	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
13	Machines	การตั้งค่าอัตราการป้อนวัตถุดิบไม่เหมาะสม	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
14	Machines	การตั้งค่า ความเร็วรอบของเครื่อง Extruder ไม่เหมาะสม	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
15	Materials	ชนิดและประเภทของบรรจุภัณฑ์แตกต่างกัน	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
16	Materials	ชนิดของ Carbon Black แตกต่างกัน	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

134

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวรุจิรา อุไรพงษ์ เกิดเมื่อวันที่ 22 มิถุนายน 2526 ที่จังหวัดจันทบุรี สำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาตรี คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เมื่อปี พ .ศ. 2548 และได้เข้าศึกษาต่อในระดับบัณฑิตศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2550

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย