การแก้ไขปัญหาผิวเป็นตุ่มในอุตสาหกรรมผลิตเม็ดพีวีซีโดยแนวทางซิกซ์ ซิกม่า

นายสมบัติ สุขนิจ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-17-4830-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THE PROBLEM SOLVING OF GEL IN PVC COMPOUND INDUSTRY BY SIX SIGMA APPROACH

Mr. Sombat Suknit

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Industrial Engineering
Department of Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2005

ISBN 974-17-4830-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การแก้ไขปัญหาผิวเป็นตุ่มในอุตสาหกรรมผลิตเม็ดพีวีซีโดยแนวทางซิกซ์ ซิกม่า
โดย	นายสมบัติ สุขนิจ
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ริจิรวนิช)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สมบัติ สุขนิจ : การแก้ไขปัญหาผิวเป็นตุ่มในอุตสาหกรรมผลิตเม็ดพีวีซีโดยแนวทางซิกซ์ซิกม่า (THE PROBLEM SOLVING OF GEL IN PVC COMPOUND INDUSTRY BY SIX SIGMA APPROACH) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย, 174 หน้า. ISBN 974-17-4830-2.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ไขปัญหาผิวเป็นตุ่มในอุตสาหกรรมผลิตเม็ดพลาสติกพีวีซี โดยการนำแนวทาง ซิกซ์ ซิกม่ามาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าจำนวนเจล ที่เกิดขึ้นบนผิวชิ้นงานซึ่งเป็นข้อกำหนดด้านผลิตภัณฑ์ของลูกค้าและหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยดังกล่าวในการผลิตที่จะทำให้ปริมาณของเสียลดลง โดยหน่วยวัดผลระดับการปรับปรุงที่กำหนดคือปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น ซึ่งก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิตมีปริมาณของเสียเท่ากับ 0.2 เปอร์เซ็นต์

การวิจัยจะดำเนินตามขั้นตอนของซิกซ์ ซิกม่าทั้ง 5 ขั้นตอน โดยเริ่มจากขั้นตอนนิยามปัญหา การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา การวิเคราะห์ปัญหา การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการและการควบคุมกระบวนการผลิต ตามลำดับ ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ของกระบวนการ สามารถกำหนดค่าระดับของปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญที่ส่งผลต่อค่าจำนวนเจล โดยการนำปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ 4 ปัจจัยมาทำการออกแบบการทดลองโดยใช้วิธีการของพื้นผิวผลตอบ ในขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ แล้วนำไปวิเคราะห์หาระดับที่เหมาะสมของการปรับค่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องนั้น เพื่อให้ได้ค่าจำนวนเจลที่ต่ำที่สุดที่เหมาะสมคือ 7 จุด โดยการกำหนดอุณหภูมิในการอัดรีดเม็ดเป็น 145 องศาเซลเซียส และขนาดเม็ดพีวีซีผง 108 ไมครอน แล้วทำการทดสอบยืนยันผลก่อนนำไปใช้งานจริงในกระบวนการผลิต จากนั้นทำการควบคุมปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้งสองด้วยกระบวนการเชิงสถิติในขั้นตอนการควบคุมกระบวนการ

เมื่อพิจารณาข้อมูลของเสียจากกระบวนการผลิตหลังการปรับปรุงกระบวนการ พบว่าสามารถลดปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตจาก 0.2 เปอร์เซ็นต์เป็น 0 เปอร์เซ็นต์

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา 2548

4671466121 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEY WORD : SIX SIGMA / PVC COMPOUND / GEL / DEFINE PHASE / MEASURE PHASE / ANALYZE PHASE / IMPROVE PHASE / CONTROL PHASE

SOMBAT SUKNIT : THE PROBLEM SOLVING OF GEL IN PVC COMPOUND INDUSTRY BY SIX SIGMA APPROACH. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. DAMRONG TAWEESAENGSAKOOLTHAI, 174, pp. ISBN 974-17-4830-2.

The objective of this research is to solve the gel problem in PVC Compound Industry. Six Sigma Approach is applied not only to study the factors influencing the number of gel, but also to identify the appropriate operative conditions for reducing defects. The efficient improvement is measured by the number of defects which the current process has 0.2 percent.

The step of study will follow five phases of Six Sigma methodology. The process composes of define phase, measure phase, analyze phase, improve phase and control phase respectively. The result of the process is to determine KPIVs that significantly affect to the number of gel. Four KPIVs have been used to perform an experiment with response surface in improvement phase. The appropriate minimum number of gel is seven , the extruder temperature is 145 degree Celcius and particle size of PVC Resin is 108 micron. The preliminary experiments are conducted to confirm the resullt before applying to production line. Finally, the result of the statistical analysis are set at the process of control phase.

After process improvement, the data shows that the new condition can reduce the number of defects from 0.2 to 0 percent.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department.....Industrial Engineering.....Student's signature.....

Field of study....Industrial Engineering.. Advisor's signature.....

Academic year 2005.....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ทำวิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ซึ่งเป็นผู้ที่ให้ความรู้และแนวทางในการทำวิจัยอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิจัยครั้งนี้ และขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ริจิรวนิช ประธานกรรมการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณคณะผู้บริหารโรงงานตัวอย่าง ที่อนุญาตให้ผู้ทำวิจัยใช้สถานที่ดำเนินการวิจัย ขอขอบคุณสมาชิกทุกท่านที่ได้ให้ข้อมูลและเข้าร่วมระดมความคิดเห็นในการทำวิจัย ตลอดจนพนักงานในโรงงานตัวอย่างที่ให้ความร่วมมือในการทำการทดลองเป็นอย่างดี

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ครู อาจารย์ พี่น้อง เพื่อนนิสิต และทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวถึง ณ ที่นี้ ที่กรุณาให้ความร่วมมือและให้กำลังใจแก่ผู้ทำวิจัยเสมอมาจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงด้วยดี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ
กิตติกรรมประกาศ.....ฉ
สารบัญ.....ช
สารบัญตาราง.....ญ
สารบัญรูป.....ฑ

บทที่ 1 บทนำ
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....1
1.2 ประวัติความเป็นมาและรายละเอียดของโรงงานกรณีศึกษา.....2
1.3 การศึกษาสภาพปัญหาปัจจุบัน.....3
1.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....5
1.5 ขอบเขตการศึกษาวิจัย.....5
1.6 แนวทางของการดำเนินงานวิจัย.....5
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....7

บทที่ 2 การสำรวจงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
2.1 การสำรวจทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....8
2.2 การสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....45

บทที่ 3 การนิยามปัญหา
3.1 บทนำ.....47
3.2 การกำหนดทีมงานดำเนินงาน.....47
3.3 การศึกษากระบวนการผลิต.....48
3.4 การนิยามปัญหา.....50
3.5 การกำหนดขั้นตอนการดำเนินงานและเครื่องมือที่เลือกใช้.....52

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

บทที่ 4 การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา

4.1 บทนำ.....54

4.2 การวิเคราะห์ระบบการวัด.....55

4.3 การวิเคราะห์ปัญหาจากสาเหตุและผล.....57

4.4 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA).....59

บทที่ 5 การกำหนดระดับของปัจจัยนำเข้าสำหรับทดสอบสมมติฐาน

5.1 บทนำ.....67

5.2 ปัจจัยนำเข้าที่นำมาทดสอบสมมติฐาน.....67

5.3 สรุประดับของปัจจัยนำเข้าที่นำมาทดสอบสมมติฐาน.....69

บทที่ 6 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

6.1 บทนำ.....71

6.2 การวิเคราะห์ผลการทดสอบสมมติฐาน.....72

6.3 สรุปปัจจัยที่ระดับของปัจจัยมีความแตกต่างกัน
จากการทดสอบสมมติฐาน.....97

บทที่ 7 การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

7.1 บทนำ.....98

7.2 ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ.....98

7.3 ตัวแปรตอบสนอง.....100

7.4 การออกแบบการทดลอง.....100

7.5 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง.....104

7.6 การวิเคราะห์ผลการทดลอง.....107

7.7 การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง.....109

7.8 ค่าเงื่อนไขของปัจจัยที่เหมาะสมจากการทดลอง.....117

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

บทที่ 8 การทดสอบยืนยันผล

8.1 บทนำ.....119
8.2 ขั้นตอนการทดสอบยืนยันผล.....119
8.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง.....120

บทที่ 9 การควบคุมกระบวนการผลิต

9.1 บทนำ.....121
9.2 เทคนิคของการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ.....122
9.3 ความสูญเสียที่สามารถลดได้.....124

บทที่ 10 บทสรุปและข้อเสนอแนะ

10.1 บทนำ.....126
10.2 บทสรุปขั้นตอนต่างๆในการดำเนินการวิจัย.....127
10.3 ข้อจำกัดในงานวิจัย.....129
10.4 ข้อเสนอแนะ.....130

รายการอ้างอิง.....131

บรรณานุกรม.....133

ภาคผนวก.....135
ภาคผนวก ก. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพีวีซี.....136
ภาคผนวก ข. การตรวจสอบ gel โดยใช้เทคนิค Blown Test.....148
ภาคผนวก ค. ผลการทดสอบระบบการวัด.....150
ภาคผนวก ง. ค่าผลการทดสอบสมมติฐานของปัจจัยทั้งหมด.....152
ภาคผนวก จ. ค่าผลการทดสอบการยืนยันผลการทดสอบ.....154
ภาคผนวก ฉ. ค่าผลการปรับปรุงกระบวนการผลิต.....156
ภาคผนวก ช. ปริมาณของเสียจากกระบวนการผลิต.....159

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....174

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 รายละเอียด Customer Complaint ประจำปี 2004(Jan-Oct, 2004).....3

1.2 รายละเอียด Customer Claim ประจำปี 2004 (Jan-Oct, 2004)……...…….4

1.3 รายละเอียดผลิตภัณฑ์ F ที่ Rejected ประจำปี 2004 (Jan-Oct, 2004)…….4

3.1 เครื่องมือที่เลือกใช้และตัววัดผลของขั้นตอนต่างๆ.....52

4.1 ผลการทดสอบระบบการวัดด้วยวิธีการทดสอบโดยอันดับที่มีเครื่องหมาย.....56

4.2 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่อง.....60

4.3 สาเหตุของปัญหาและค่า RPN.....65

5.1 สรุปปัจจัยนำเข้าและระดับของปัจจัยในการทดสอบสมมติฐาน.....70

6.1 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าผลต่างของ
จำนวน gel ที่เกิดในกระบวนการผลิตที่อุณหภูมิในการอัดรีดเป็น
145 °C และ 165 °C.....75

6.2 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าผลต่างของ จำนวน gel ที่เกิดใน
กระบวนการผลิตที่อุณหภูมิในการอัดรีดเป็น 145 °Cและ 165 °C.....77

6.3 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าผลต่างของ
จำนวน gel ที่เกิดในกระบวนการผลิตที่ screw speed ในการอัดรีด
เป็น 90 และ 110 rpm.....80

6.2.1 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าผลต่างของจำนวน gel ที่เกิดใน
กระบวนการผลิตที่ screw speed ในการอัดรีดเป็น 90 และ 110 rpm.....81

6.5 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าผลต่างของ
จำนวน gel ที่เกิดในกระบวนการผลิตที่ Particle size ของพีวีซีผงเป็น
120 และ180 micron.....84

6.6 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าผลต่างของจำนวน gel ที่เกิดใน
กระบวนการผลิตที่ Particle size ของพีวีซีผงเป็น 120 และ180 micron.....86

ตารางที่ หน้า

6.7 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าผลต่างของจำนวน gel ที่เกิดในกระบวนการผลิตที่ เปลี่ยนใบมีดตัดเม็ด ทุก 3 และ 1 สัปดาห์.....89
6.8 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าผลต่างของจำนวน gel ที่เกิดในกระบวนการผลิตที่ เปลี่ยนใบมีดตัดเม็ดทุก 3 และ 1 สัปดาห์.....90
6.9 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าผลต่างของ จำนวน gel ที่เกิดในกระบวนการผลิตที่ใช้และไม่ใช้ตะแกรงในการร่อนเม็ด.....93
6.10 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าผลต่างของจำนวน gel ที่เกิดในกระบวนการผลิตที่ใช้และไม่ใช้ตะแกรงในการร่อนเม็ด.....95
6.11 สรุปความมีนัยสำคัญของแต่ละปัจจัย.....96
6.12 สรุปปัจจัยที่ระดับของปัจจัยมีความแตกต่างจากผลการทดสอบสมมติฐาน.....97
7.1 ปัจจัยนำเข้าสำคัญที่จะนำไปออกแบบการทดลอง.....99
7.2 การคำนวณจำนวนการทำซ้ำด้วยโปรแกรม Minitab.....101
7.3 การออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab.....102
7.4 Design Matrix ของการออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab.....103
7.5 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง Coded Unit.....107
7.6 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง Un-coded Units.....108
7.7 ผลการทดลองการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง.....109
7.8 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง Coded Units.....113
7.9 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง Un-coded Units.....114
9.1 ข้อมูลของเสียในกระบวนการผลิต(ม.ค.-ส.ค.).....124
9.2 ข้อมูลการร้องเรียนของลูกค้า (ม.ค.-ส.ค.).....125

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

1.1 ผลการวิเคราะห์ตุ่มที่พบบนผลิตภัณฑ์ด้วยเทคนิค IR Spectroscopy.....4

3.1 แผนผังการผลิต พีวีซี คอมเปาน์ด.....50

4.1 แผนภาพการประเมินความผันแปรของการวัด.....58

4.2 ผังก้างปลาระบุสาเหตุของปัญหาของเสียเนื่องจากผิวชิ้นงานเป็นตุ่ม.....58

6.1 กราฟนอร์มัลพล็อตของจำนวน gel ในกระบวนการที่อุณหภูมิในการอัดรีด เป็น 145 °C.....74

6.2 กราฟนอร์มัลพล็อตของจำนวน gel ในกระบวนการที่อุณหภูมิในการอัดรีด เป็น 165 °C.....74

6.3 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าผลต่างของจำนวน gel ที่เกิดในกระบวนการผลิตที่อุณหภูมิในการอัดรีดเป็น 145 °Cและ 165 °C.....76

6.4 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าผลต่างของจำนวน gel ที่ เกิดใน กระบวนการผลิตที่อุณหภูมิในการอัดรีดเป็น 145 °Cและ 165 °C.....77

6.5 กราฟนอร์มัลพล็อตของจำนวน gel ในกระบวนการที่ screw speed = 90 rpm.....78

6.6 กราฟนอร์มัลพล็อตของจำนวน gel ในกระบวนการที่ screw speed = 110 rpm.....79

6.7 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าผลต่างของจำนวน gel ที่เกิดในกระบวนการผลิตที่ screw speed ในการอัดรีดเป็น 90 และ 110 rpm.....80

6.8 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าผลต่างของจำนวน gel ที่เกิดใน กระบวนการผลิตที่ screw speed ในการอัดรีดเป็น 90 และ 110 rpm.....82

6.9 กราฟนอร์มัลพล็อตของจำนวน gel ในกระบวนการที่ Particle size = 120 micron.....83

6.10 กราฟนอร์มัลพล็อตของจำนวน gel ในกระบวนการที่ Particle size = 180 micron.....83

6.11 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าผลต่างของจำนวน gel ที่เกิดในกระบวนการผลิตที่ Particle size ของพีวีซีผงเป็น 120 และ180 micron.....85

6.12 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าผลต่างของจำนวน gel ที่เกิดในกระบวนการผลิตที่ Particle size ของพีวีซีผงเป็น 120 และ180 micron.....86

รูปที่ หน้า

6.13 กราฟนอร์มัลพล็อตของจำนวน gel ในกระบวนการที่ เปลี่ยนใบมีดตัดเม็ด ทุก 3 สัปดาห์.....87
6.14 กราฟนอร์มัลพล็อตของจำนวน gel ในกระบวนการที่ เปลี่ยนใบมีดตัดเม็ด ทุก 1 สัปดาห์.....88
6.15 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าผลต่างของจำนวน gel ที่เกิดในกระบวนการผลิตที่ เปลี่ยนใบมีดตัดเม็ดทุก 3 และ 1 สัปดาห์.....89
6.16 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าผลต่างของจำนวน gel ที่เกิดในกระบวนการผลิตที่ เปลี่ยนใบมีดตัดเม็ดทุก 3 และ 1 สัปดาห์.....91
6.17 กราฟนอร์มัลพล็อตของจำนวน gel ในกระบวนการที่ไม่ใช้ตะแกรงในการร่อนเม็ด.....92
6.18 กราฟนอร์มัลพล็อตของจำนวน gel ในกระบวนการที่ใช้ตะแกรงในการร่อนเม็ด.....92
6.19 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าผลต่างของจำนวน gel ที่เกิดในกระบวนการผลิตที่ใช้และไม่ใช้ตะแกรงในการร่อนเม็ด.....94
6.20 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าผลต่างของจำนวน gel ที่เกิดในกระบวนการผลิตที่ใช้และไม่ใช้ตะแกรงในการร่อนเม็ด.....95
7.1 การกระจายของค่าส่วนตกค้าง.....104
7.2 ความสัมพันธ์ของค่าส่วนตกค้างและลำดับของข้อมูล.....105
7.3 ความสัมพันธ์ของค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิต.....106
7.4 การกระจายของค่าส่วนตกค้าง.....110
7.5 ความสัมพันธ์ของค่าส่วนตกค้างและลำดับของข้อมูล.....111
7.6 ความสัมพันธ์ของค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิต.....112
7.7 กราฟโครงร่างระหว่างปัจจัยอุณหภูมิของการอัดรีดและขนาดเม็ดของพีวีซีผง.....115
7.8 กราฟพื้นผิวผลตอบระหว่างปัจจัยอุณหภูมิของการอัดรีดและขนาดเม็ดของพีวีซีผง....115
7.9 กราฟโครงร่าง Overlaid ระหว่างปัจจัยอุณหภูมิของการอัดรีดและ ขนาดเม็ดของพีวีซีผง.....116

รูปที่ หน้า

7.10 ผลการวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ.....117
7.11 ผลการวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ
เมื่อกำหนดอุณหภูมิในการอัดรีดเม็ดเป็น 145 °C.....118
8.1 ผลการทดลองจำนวน gel จากตัวอย่างจำนวน 100 ตัวอย่าง.....120
9.1 แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$-R สำหรับอุณหภูมิของการอัดรีด.....122
9.2 แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$-R สำหรับขนาดเม็ดของพีวีซีผง.....123

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมพลาสติก จัดว่าเป็นอุตสาหกรรม ที่มีแนวโน้มค่อนข้างสดใส เนื่องจากจำนวนผู้บริโภคที่สูงขึ้นเรื่อยๆ โดยเฉพาะบรรจุภัณฑ์พลาสติก และกลุ่มผลิตภัณฑ์พวกเฟอร์นิเจอร์ เครื่องใช้ในครัวเรือน ของใช้ตกแต่งบ้าน เม็ดพลาสติกพีวีซี ไม่เพียงแต่จะรองรับอุตสาหกรรมในประเทศเท่านั้น แต่ยังมีผลผลิตบางส่วนส่งออกไปยังต่างประเทศอีกด้วย ซึ่งสามารถนำรายได้เข้าสู่ประเทศได้ปีละหลายร้อยล้านบาท

Plastics compounding เป็นองค์ประกอบหนึ่งในอุตสาหกรรมพลาสติกมานานนับเป็นสิบ ๆ ปี ในประเทศไทย Plastics Compounding เริ่มจากเม็ดพลาสติกพีวีซี (PVC Compounding) เช่นเดียวกับอีกหลาย ๆ ประเทศ และพัฒนาสืบเนื่องมาจน Plastics Compounding กลายเป็นทางออก หรือ ทางเลือกอันจำเป็นของอุตสาหกรรมปิโตรเคมีโดยเฉพาะอุตสาหกรรมพลาสติก

ตามปกติ ตลาดเม็ดพลาสติกเคลื่อนไหวด้วยตัวแปรสำคัญ 2 ตัว เช่นเดียวกับธรรมชาติของตลาดสินค้าอื่น ๆ นั่นคือ ความต้องการซื้อ และความต้องการขาย (Demand & Supply) สำหรับ Plastics Compounding เป็น ความต้องการซื้อวัสดุหรือสินค้าที่สามารถนำไปใช้ทดแทนวัสดุอื่น ๆ ดังเช่นการนำพลาสติกไปทดแทนเฟอร์นิเจอร์ที่ทำจากไม้ ขณะเดียวกันเป็นความต้องการขายของผู้ผลิตและผู้ขายเม็ดพลาสติกที่พยายามสร้างความแตกต่าง ด้วยการเสริม หรือ ปรับแต่งคุณสมบัติเพิ่มเติม เพราะอุตสาหกรรมพลาสติกในประเทศไทยมีทิศทางสู่ความเป็น Specialty ซึ่งการสั่งซื้อจะเป็น Custom Requirement หรือสินค้าพิเศษ

ดังนั้น ปัญหาการร้องเรียนจากลูกค้าเกี่ยวกับคุณภาพ จึงถือเป็นปัญหาที่สำคัญเป็นอย่างยิ่ง และจำเป็นจะต้องรีบสรุปสาเหตุและแนวทางในการแก้ไข เพราะลูกค้าอาจเปลี่ยนใจไปซื้อผลิตภัณฑ์ของคู่แข่งก็ได้ ถ้ารู้สึกไม่พอใจในการบริการที่ได้รับ

1.2 ประวัติความเป็นมาและรายละเอียดของโรงงานกรณีศึกษา

1.2.1 ประวัติองค์กร

โรงงานกรณีศึกษา เป็นผู้บุกเบิกอุตสาหกรรมปิโตรเคมีด้วยการผลิตโพลิไวนิลคลอไรด์ (พีวีซี) เริ่มจดทะเบียนก่อตั้งบริษัทเมื่อปี พ.ศ. 2509 และในปี พ.ศ. 2514 ได้เปิดดำเนินการผลิตที่โรงงานสมุทรปราการ โดยผลิตพีวีซี ชนิดผง(PVC Resin) และเม็ด (PVC Compound)

ในปี พ.ศ. 2530 บริษัทได้เข้าร่วมในโครงการปิโตรเคมีแห่งชาติระยะที่ 1 ณ.นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด โดยตั้งโรงงานแห่งที่ 2 ขึ้นเพื่อขยายกำลังการผลิต ด้วยการเริ่มผลิตวีซีเอ็มจากก๊าซธรรมชาติในอ่าวไทยเป็นครั้งแรกในประเทศ

บริษัท ฯ ได้รับการรับรองระบบคุณภาพมาตรฐาน ISO9001 เป็นบริษัทแรกในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีของไทย

1.2.2 ประเภทของผลิตภัณฑ์

Product	Application
A	Alloy Compound
B	Bottle Compound
C	Cable Compound
E	Shoe Compound
F	Film Compound
H	Hose Compound
I	Injection molding of soft articles
J	Injection molding of rigid articles
M	Special Food Grade Articles
U	Injection for PVC Wood
W	Extrusion for PVC Wood
X	Extrusion of soft articles
Y	Extrusion of rigid articles

1.3 การศึกษาสภาพปัญหาปัจจุบัน

จากข้อมูลล่าสุดเกี่ยวกับการร้องเรียนของลูกค้าในปี 2004 พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ส่งขายให้ลูกค้ายังมีปัญหาคุณภาพอยู่ โดยเฉพาะในเรื่องผิวเป็นตุ่ม(Gel) ซึ่งมีจำนวนครั้งในการร้องเรียนสูงสุดถึง 47 ครั้ง และเมื่อพิจารณาเฉพาะปัญหาเรื่องผิวเป็นตุ่ม (Gel) จะพบว่าผลิตภัณฑ์ F มีจำนวนครั้งในการร้องเรียนสูงสุดคือ 18 ครั้ง ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 รายละเอียด Customer Complaint ประจำปี 2004 (Jan-Oct, 2004)

No.	Product	Problem								
		Aging	Color	Cont	BP	Burnt	Package	Gel	Lump	รวม
1	B		10	3	4	1		4	6	28
2	C	10	2	6			4	9	1	32
3	E		7							7
4	F						1	18		19
5	H		1	2	1		1	12		17
6	I		3							3
7	J		2			3				5
8	W			1						1
9	X		1	1	1		1			4
10	Y		5	2	1	4	1	4	1	18
	รวม	10	31	15	7	8	8	47	8	134

เมื่อพิจารณาจากปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ถูกร้องเรียน คิดเป็น 150,000 กก. จากปริมาณการขายผลิตภัณฑ์ F ทั้งหมด 932,100 กก. เท่ากับ 16.09 % และคิดเป็นค่าเสียหายทั้งหมด 834,000 บาท ดังตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 รายละเอียด Customer Claim ประจำปี 2004 (Jan-Oct, 2004)

รายละเอียด	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Total
ปริมาณยอดขาย (Kgs)	105,000	55,000	95,000	75,000	80,000	120,000	100,500	90,600	111,000	100,000	932,100
ปริมาณที่ถูกร้องเรียน (Kgs)	10,500	5,000	15,000	11,000	24,000	16,500	22,500	21,000	12,500	12,000	150,000
% การร้องเรียน	10.00	9.09	15.79	14.67	30.00	13.75	22.39	23.18	11.26	12.00	16.09
ค่าเสียหาย (บาท)	58,380	27,800	83,400	61,160	133,440	91,740	125,100	116,760	69,500	66,720	834,000

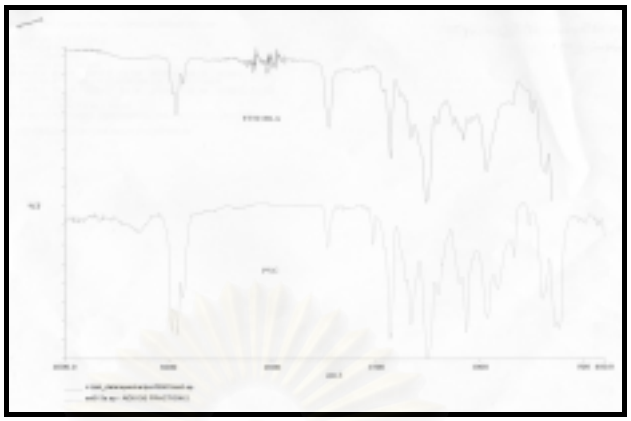
เมื่อพิจารณาจากปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านข้อกำหนดการตรวจสอบ คิดเป็น 3,100 กก. จากปริมาณการผลิตผลิตภัณฑ์ F ทั้งหมด 1,539,103 กก. เท่ากับ 0.2 % ดังตารางที่ 1.3

ตารางที่ 1.3 รายละเอียดผลิตภัณฑ์ F ที่ Rejected ประจำปี 2004 (Jan-Oct, 2004)

รายละเอียด	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Total
ปริมาณการผลิต (Kgs)	126,835	156,784	158,872	142,562	168,750	145,631	157,342	152,487	158,765	171,075	1,539,103
Rejected (Kgs)	250	300	100	500	350	400	200	350	400	250	3,100
% Rejected	0.20	0.19	0.06	0.35	0.21	0.27	0.13	0.23	0.25	0.15	0.20

จากการทดลองร่วมกับลูกค้า เมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่ถูกร้องเรียนมาทดลองผลิตที่เครื่องของลูกค้าเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ลูกค้าใช้ได้ พบว่ามีปัญหาผิวเป็นตุ่มจริง และเมื่อนำผลิตภัณฑ์ดังกล่าวกลับมาทดลองที่บริษัทด้วย Blown Test Method ก็พบปัญหาเช่นเดียวกัน

จากการทดลองนำตุ่มที่เกิดขึ้นไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค IR Spectroscopy พบว่าเป็นพีวีซีดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 **ผลการวิเคราะห์ตุ่มที่พบบนผลิตภัณฑ์ด้วยเทคนิค** IR Spectroscopy

1.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อลดจำนวนการร้องเรียนของลูกค้า(Customer Complaint) อันเนื่องมาจากปัญหาผิวชิ้นงานมีตุ่ม (Gel) โดยการประยุกต์ใช้แนวทาง ซิกซ์ ซิกม่า

1.5 ขอบเขตการศึกษาวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้จะทำการศึกษากระบวนการผลิตเม็ดพีวีซี โดยมุ่งเน้นที่ปัญหาผิวชิ้นงานมีตุ่ม(Gel) โดยทำการศึกษาเฉพาะผลิตภัณฑ์ F ซึ่งมีจำนวนการร้องเรียนจากลูกค้าสูงสุด

1.6 แนวทางของการดำเนินการวิจัย

1.6.1 สำรวจงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.6.2 รวบรวมข้อมูลการร้องเรียนจากลูกค้า

1.6.3 นำข้อมูลดังกล่าวมาทำการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือคุณภาพ เช่น Cause and Effect Diagram เพื่อหาสาเหตุของปัญหา

1.6.4 หาแนวทางในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น ตามแนวทางซิกซ์ ซิกม่า ดังนี้

1.6.4.1 Define คือ การนิยามหรือการกำหนดขอบเขตของงาน

- เก็บรวบรวมข้อมูลการร้องเรียนจากลูกค้าเพื่อศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้น
- กำหนดวัตถุประสงค์ของการวิจัย
- จัดทีมงาน ระดมความคิดเพื่อแจกแจงปัญหา

1.6.4.2 Measure คือ ทำให้สามารถวัดได้

- ศึกษากระบวนการผลิต
- วิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด
- วิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ

1.6.4.3 Analyze คือ การวิเคราะห์ด้วยสถิติ

- ทดสอบความมีนัยสำคัญด้วยเครื่องมือทางสถิติ เช่น Anova, Hypothesis Testing
- วิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อเลือกปัจจัยที่สำคัญที่ต้องนำไปทดลองต่อไป
- สรุปผลและวางแผนขั้นต่อไป

1.6.4.4 Improve คือ การปรับปรุงให้ดีขึ้น

- ออกแบบการทดลอง
- กำหนดตัวแปรและข้อกำหนดต่าง ๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อการทดลอง
- กำหนดขั้นตอนการทดลองและวิธีเก็บข้อมูล
- ดำเนินการทดลองตามแผน
- วิเคราะห์และสรุปผล

1.6.4.5 Control คือ การควบคุมคุณภาพ

- พิจารณาเลือกแผนภูมิที่เหมาะสมกับตัวแปรนั้น ๆ
- กำหนดวิธีหาขนาดกลุ่มตัวอย่าง และความถี่ในการวัด
- เก็บข้อมูลหลังการปรับปรุง

1.6.5 เปรียบเทียบผลก่อนและหลังการดำเนินงานวิจัย

1.6.6 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

1.6.7 นำเสนอผลการวิจัย

1.6.8 จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 ลดปริมาณของเสียที่เกิดจากปัญหาผิวเป็นตุ่มสำหรับผลิตภัณฑ์ F

1.7.2 เพิ่มความเชื่อมั่นต่อลูกค้าที่จะได้รับผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ

1.7.3 เป็นแนวทางในการแก้ปัญหาสำหรับผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

การสำรวจทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การสำรวจทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 การบริหารจัดการแบบ Six Sigma

การบริหารจัดการแบบ Six Sigma ถือว่าเป็นการบริหาร TQM ขั้นสูงหรือแบบฉบับสุดยอดของ TQM ทำให้คุณภาพและกระบวนการขององค์กร ต่าง ๆ มีการปรับปรุงคุณภาพ การเพิ่มผลผลิต การลดค่าใช้จ่ายได้มากมาย การที่มีการประกอบการที่ดีเยี่ยมเป็นองค์กรที่มีคุณค่าสามารถครองใจลูกค้า และมีการครอบครองตลาดเพิ่มขึ้น ระบบ TQM ต่างจาก Six Sigma ตรงที่ Six Sigma มุ่งมั่นที่จะให้สินค้ามีข้อบกพร่องของเสียเป็นศูนย์ (Zero Defect)

Six Sigma คือ ปรัชญาของการทำธุรกิจโดยเน้นการกำจัดสิ่งบกพร่อง ผ่านองค์ความรู้ที่เป็นกระบวนการ Six Sigma เป็นการบูรณาการหลักการทางธุรกิจ สถิติ วิศวกรเข้าด้วยกันเพื่อให้บรรลุผลเชิงประจักษ์ เครื่องมือของ Six Sigma สามารถนำมาใช้ปรับปรุงกระบวนการและผลผลิตของบริษัท ใช้ได้กับทุกสาขาอาชีพรวมถึงการผลิต การขายการตลาด การออกแบบ การบริหารจัดการและการบริการ Six Sigma จะให้ผลตอบแทนคือ กำไรที่จับต้องได้อย่างเป็นล่ำเป็นสัน เมื่อนำมาใช้กับพนักงานในองค์กรอย่างชำนาญจะทำให้เกิดประโยชน์ ดังนี้

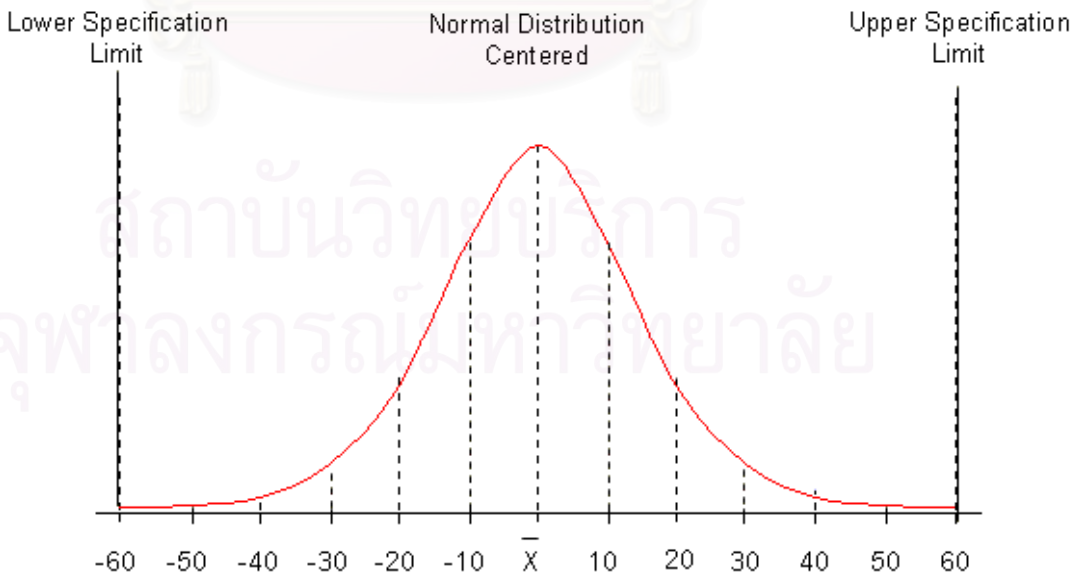
Six Sigma จะลดค่าใช้จ่ายถึง 50 % หรือมากกว่านั้นโดยกรรมวิธี self – funded Approach เพื่อที่จะปรับปรุงการดำเนินงานให้ดีขึ้น

- Six Sigma จะลดห่วงโซ่ของเสีย (Reduce the waste chain)
- Six Sigma จะสนองความเข้าใจและความต้องการของลูกค้ามากขึ้น
- Six Sigma จะส่งเสริมปรับปรุงการจัดส่งและการปฏิบัติงานให้มีคุณภาพ
- Six Sigma จะจัดปัจจัยการนำเข้าที่เป็นกระบวนการสำคัญที่จำเป็นเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของ ลูกค้าที่กำลังเปลี่ยนไป
- Six Sigma จะพัฒนาผลผลิตและกระบวนการผลิตให้ดีขึ้น

- Six Sigma จะกระตุ้นให้มีการปรับปรุงอย่างรวดเร็วด้วยทรัพยากรภายในที่มีอยู่ กระบวนการปรับปรุงได้ทำตามกระแสพื้นฐานที่เรียกว่า DMAIC มี รายละเอียดดังนี้

    1. Define คือ การนิยามหรือการกำหนดขอบเขตบริบทของงาน
    2. Measure คือ ทำให้สามารถวัดได้
    3. Analyze คือ การวิเคราะห์ด้วยสถิติ
    4. Improve คือ การปรับปรุงให้ดีขึ้น
    5. Control คือ การควบคุมคุณภาพ

คำว่า Six Sigma หรือตัวอักษรกรีกคือ s เป็นเครื่องหมายที่ใช้แทนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) เพื่อใช้วัดความแปรปรวนที่เบี่ยงเบนไปจากค่าเฉลี่ยมาตรฐานหรือ (Mean) ค่าระดับของ Sigma สูงแสดงให้เห็นคุณภาพที่ดีกว่า ในค่าระดับ Six Sigma นั้นถือได้ว่า ค่าเบี่ยงเบนจากมาตรฐาน หรือค่าสูญเสียที่เกิดขึ้นเพียง 3.4 ชิ้นงานใน 1 ล้านชิ้นเท่านั้น แต่ Blakeslee (1999) พบว่าโรงงานต่าง ๆ ของอเมริกันโดยทั่วไปทำได้แค่ 4 Sigma และงานบริการทำได้เพียง 1 - 2 Sigma เท่านั้น ถ้าจะทำให้เห็นภาพที่ชัดเจนในคุณภาพระดับของ 3 Sigma สามารถเปรียบได้กับการพิมพ์คำภาษาอังกฤษผิด 1.5 คำต่อหน้า แต่คุณภาพในระดับของ 6 Sigma สามารถเปรียบได้กับการพิมพ์คำภาษาอังกฤษผิดเพียง1คำต่อหน้า



Spec. limit	Percent	Defective ppm.
± 1 Sigma	68.27	371300
± 2 Sigma	95.45	45500
± 3 Sigma	99.73	2700
± 4 Sigma	99.9937	63
± 5 Sigma	99.999943	0.57
± 6 Sigma	99.9999998	.002

การใช้สถิติในการบริหารคุณภาพ Six Sigma อธิบายได้ 2 ลักษณะได้แก่ การแจกแจงปกติ (Normal Distribution) กับการกำหนดขอบเขตมาตรฐาน (Specification Limit) การกำหนดขอบเขตมาตรฐานเป็นการกำหนดขอบเขตหรือค่าพิสัยการปฏิบัติการหรือค่า tolerance ที่เป็นมาตรฐานที่กำหนดขึ้นจากความต้องการลูกค้าในการสั่งผลิตสินค้า โดยกำหนดค่าระยะขอบเขต ขั้นต่ำหรือ LSL และค่าระยะขอบเขตขั้นสูงหรือ USL เส้นแนวดิ่งทั้ง 2 เส้นคือ LSL และ USL เป็นค่าพิกัดสูงสุดและต่ำสุดของขอบเขตมาตรฐาน โดยมีเส้นมัธยฐานกลางตามโค้งปกติหรือโค้ง Gaussian ในรูปเส้นแนวดิ่งที่เป็นเส้นประให้แทนจำนวนค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากรูปค่าใน tabular ที่แสดงด้านล่างของรูป ซึ่งชี้ให้เห็นพื้นที่ภายใต้โค้งปกติมีค่าที่จะวัด ค่าแปรปรวนให้ได้ 100 % บนแกน X ได้แก่ ± 1 Sigma,± 2 Sigma... จนถึง ± 6 Sigma ที่นับจากค่าเฉลี่ยหรือค่า (Mean) โดย

± 1 Sigma มีค่าการยอมรับ เท่ากับ 68.27 %

± 2 Sigma มีค่าการยอมรับ เท่ากับ 95.45 %

± 3 Sigma มีค่าการยอมรับ เท่ากับ 99.73 %

± 4 Sigma มีค่าการยอมรับ เท่ากับ 99.9937 %

± 5 Sigma มีค่าการยอมรับ เท่ากับ 99.999943 %

± 6 Sigma มีค่าการยอมรับ เท่ากับ 99.9999996 %

ปกติการทำงานบริษัทชั้นนำของโลก ได้ค่าประสิทธิภาพของการควบคุมคุณภาพจะอยู่ระหว่าง ± 3 Sigmaหรือเท่ากับ 99.73 % แต่ระบบคุณภาพ Six Sigma ที่บริษัท Motorola ตั้งไว้และต้องการคือ ค่าขอบเขตควบคุมคุณภาพในการทำงานทุกฝ่ายไว้ที่ ± 6 Sigma มีค่าผิดพลาดไม่เกิน 3.4 ชิ้นในล้านชิ้นของการผลิต

2.1.2 QC 7 Tools

7 QC Tools คือ เครื่องมือ 7 ชนิดที่ใช้ในการค้นหาปัญหา สำรวจสภาพปัญหา ค้นหาสาเหตุที่แท้จริง เพื่อดำเนินการแก้ไข ซึ่งประกอบด้วย

- แผ่นตรวจสอบ (Check sheet) คือ แบบฟอร์มที่ใช้เก็บข้อมูลดิบเพื่อใช้ในการวิเคราะห์เบื้องต้น และอาจใช้เป็นเครื่องเตือนพนักงานระดับปฏิบัติการเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการข้ามขั้นตอนในการปฏิบัติงาน เน้นที่ความสะดวกในการบันทึกหลีกเลี่ยงการเขียนให้มากที่สุดโดยใช้สัญลักษณ์ต่างๆ ในการบันทึกแทน

- กราฟ (Graph) คือ การใช้ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งสองสิ่งขึ้นไป เช่น ระหว่างของเสียกับเวลาที่ใช้ในการผลิต เวลาที่ใช้ในการซ่อมบำรุงกับจำนวนพนักงานซ่อมบำรุง ฯลฯ ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันอยู่ 3 ประเภท คือ กราฟแท่ง (Bar Chart) กราฟเส้น (Line Chart) และ กราฟวงกลม (PieChart)

- ฮิสโตแกรม (Histogram) คือ เครื่องมือที่ใช้เก็บข้อมูลความแปรปรวนของกระบวนการ เพื่อสังเกตแนวโน้มของกระบวนการ และ ปรับกระบวนการเพื่อให้เข้าสู่มาตรฐาน เป็นการเก็บข้อมูลเพื่อประโยชน์ในการรักษา และ ควบคุมคุณภาพ

- ผังพาเรโต (Pareto Diagram) คือ กราฟที่ใช้แสดงความสำคัญหรือความวิกฤตของบกพร่องในการทำงานโดยการแยกแยะชนิดของความผิดพลาดและบันทึกความถี่ของความผิดพลาดแต่ละชนิดสามารถใช้ในการจัดลำดับก่อนหลังของการแก้ปัญหาได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามการจัดทำผังพาเรโต (Pareto Diagram) มีขั้นตอนที่สำคัญที่สุดที่การแยกแยะประเภทของความผิดพลาด ถ้าแยกแยะไม่เหมาะสมก็จะทำให้เกิดความผิดพลาดในการวิเคราะห์

- ผังก้างปลา (Cause and Effect Diagram) เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า อิชิกาวา ไดอะแกรม (Ishikawa Diagram) คือ ผังที่ใช้วิเคราะห์สาเหตุที่แท้จริงของข้อผิดพลาด โดยใช้การระดมความคิดจากผู้ที่เกี่ยวข้องกับงานนั้น วิเคราะห์ลึกลงไปเรื่อยๆ จนพบสาเหตุที่แท้จริง ซึ่งอาจพบสาเหตุที่แท้จริงของปัญหามากกว่าหนึ่งสาเหตุก็ได้ อย่างไรก็ตามผังก้างปลาช่วยให้ผู้เกี่ยวข้องแก้ปัญหาได้ถูกจุดไม่สับสนในการแก้ปัญหา

- ผังการกระจาย (Scatter Diagram) คือ ใช้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยสองปัจจัยว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่อย่างไร ในกรณีที่ไม่แน่ใจว่าปัจจัยที่ 1 มีผลทำให้เกิดความบกพร่องในปัจจัยที่สองหรือไม่ เช่น อายุของคนงานมีผลกระทบต่อปริมาณการเกิดของเสียในการผลิต ต้องมีการเก็บข้อมูลทางสถิติเพื่อนำมาสร้างผังการกระจาย และ วิเคราะห์ความเป็นไปได้ต่อไป

- แผนภูมิควบคุม (Control Chart) คือ เครื่องมือที่ใช้ควบคุมคุณภาพในการทำงาน โดยใช้พิจารณาแนวโน้มของการผลิตว่ากำลังไปในทิศทางใด อาจเกิดปัญหาขึ้นในอนาคตอันใกล้หรือไม่ และ ควรเข้าหาสาเหตุและปรับปรุงแก้ไขเมื่อใด

สำหรับเครื่องมือทั้ง 7 ชนิดนี้ บางชนิดจะถูกใช้เป็นส่วนหนึ่งของงานประจำ เช่น แผ่นตรวจสอบ กราฟ ฮิสโตแกรม และ แผนควบคุม เนื่องจากใช้เพื่อเก็บข้อมูล และ เป็นเครื่องมือที่จะเตือนผู้เกี่ยวข้องว่ากำลังจะมีปัญหาเกิดขึ้น ส่วน ผังพาเรโต ผังก้างปลา และ ผังการกระจาย จะใช้ก็ต่อเมื่อมีความจำเป็นที่จะต้องทำการวิเคราะห์ตามความจำเป็นและความสามารถของแต่ละผัง

ประโยชน์

- ใช้บันทึกข้อมูลที่จำเป็นในการทำงาน
- ใช้วิเคราะห์การทำงาน และ หาสาเหตุเพื่อแก้ไขปรับปรุงผลิตภาพ
- ใช้บันทึกข้อมูลที่จะเป็นประโยชน์ และ แนวทางการทำงานแก่องค์กรในอนาคต

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.3 New QC 7 Tools

New 7 QC Tools คือ เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ รวบรวม จัดหมวดหมู่ ของปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำงานเพื่อประเมินหาสาเหตุหลักของปัญหาต่างๆ และวางแผนแก้ปัญหาถูกต้อง ตรงประเด็น อย่างมีระบบ และ มีประสิทธิภาพ ข้อดีของ New 7 QC Tools คือ สามารถใช้ปัญหาที่ไม่เป็นเชิงสถิติ และ สามารถทำโดยลำพัง หรือ ทำเป็นกลุ่มก็ได้ New 7 QC Tools ประกอบด้วยเครื่องมือ 7 ชนิด คือ

- แผนผังกลุ่มเชื่อมโยง (Affinity Diagrams) คือ เป็นการรวบรวมปัญหาทั้งหมดที่มีโดยเขียนลงไปในแผ่นกระดาษแล้วลากเส้นเชื่อมต่อปัญหาที่เกี่ยวข้องกัน หรือส่งผลกระทบถึงกัน แล้วหาประเด็นหลักของปัญหาในแต่ละกลุ่ม เพื่อให้มองกลุ่มของปัญหาได้ชัดเจน

- แผนผังความสัมพันธ์ (Relations Diagrams) คือ การมองหาสาเหตุของปัญหาในแต่ละกลุ่มของปัญหาที่ได้จากแผนผังกลุ่มเชื่อมโยง โดยใช้การระดมความคิด (Brain Storming) ร่างสาเหตุของแต่ละปัญหาออกมาให้มากที่สุด แล้วจัดลำดับความสำคัญของสาเหตุ หรือ พิจารณาหาสาเหตุที่แท้จริง

- แผนผังต้นไม้ (Tree Diagrams) คือ เครื่องมือที่ทำให้มองสาเหตุของปัญหา และแนวทางการแก้ปัญหาอย่างสอดคล้อง และ มีระบบ แล้วทำการเพิ่มเติมอุปสรรคในการแก้ปัญหาเพื่อใช้วางแนวทางการแก้ปัญหา ตามสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาได้อย่างชัดเจน

- แผนผังแบบเมทริกซ์ (Matrix Diagrams) คือ เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์แนวทางการแก้ปัญหาจากแผนผังต้นไม้ ตามบุคคลที่รับผิดชอบที่จะดำเนินการแก้ไขปัญหานั้นๆ ตามความสามารถ และ ตำแหน่ง (อำนาจหน้าที่) ที่สามารถจะทำการแก้ปัญหานั้นๆ

- แผนผังลูกศร (Arrow Diagram) ใช้แสดงขั้นตอนกิจกรรมต่างๆ ที่จะต้องทำในการแก้ปัญหา และ จะระบุระยะเวลาที่ใช้ในแต่ละกิจกรรมไว้ด้วยเพื่อควบคุมให้การแก้ปัญหาเป็นไปตามแผน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- แผนผังขั้นตอนการตัดสินใจ (Process Decision Program) คือ วิธีการตรวจสอบการทำกิจกรรมแต่ละกิจกรรม ว่ามีประสิทธิภาพและประสิทธิผลในการแก้ปัญหาได้ดีพอที่จะให้บรรลุถึงวัตถุประสงค์ หรือไม่เพื่อปรับเปลี่ยน ตัดทอน หรือเพิ่มเติมกิจกรรมในการแก้ไขปัญหาให้บรรลุถึงวัตถุประสงค์ได้อย่างถูกต้อง

- การวิเคราะห์ข้อมูลแบบเมทริกซ์ (Matrix Data Analysis) เป็นวิธีการประเมินกิจกรรมตามหลักเกณฑ์ที่เรากำหนดขึ้นมาโดยจะทำการให้น้ำหนักแต่ละหลักเกณฑ์ต่างกันไป เมื่อเราให้คะแนนตามเกณฑ์ จะมีการวิเคราะห์คะแนนออกมาตามหลักสถิติ เพื่อให้มองเห็นว่ากิจกรรมใดมีความสำคัญต่อวัตถุประสงค์ที่จะแก้ปัญหามากน้อยเพียงใด

ประโยชน์

- ทำให้รู้จักมองปัญหาในการทำงานอย่างมีระบบ
- สามารถลำดับความสำคัญของปัญหาได้ถูกต้อง
- ใช้จัดหมวดหมู่ของปัญหาและแนวทางการแก้ไขปัญหาเหล่านั้นได้อย่างตรงประเด็น

2.1.4 **การทดสอบสมมุติฐาน**

การทดสอบสมมุติฐานเป็นเทคนิคอีกด้านหนึ่งของการอนุมานเชิงสถิติเกี่ยวข้องกับการประเมินข้อเสนอหรือสิ่งที่คาดคะเน(ซึ่งเราเรียกว่าสมมุติฐาน) เกี่ยวกับคุณลักษณะบางอย่างของ ประชากร โดยทั่วไป สมมุติฐานมักจะเกี่ยวข้องกับพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่าของประชากร

- สมมุติฐานว่าง(Null Hypothesis) คือ สมมุติฐานที่ถูกทดสอบในแบบทดสอบสมมุติฐาน (Test of Hypothesis) สมมุติฐานทางเลือก (Alternative Hypothesis) คือสมมุติฐานที่ผู้วิจัยเชื่อว่าเป็นจริง เรียกอีกอย่างหนึ่งว่าสมมุติฐานการวิจัย (Research Hypothesis)
- ความคลาดเคลื่อนประเภทที่หนึ่ง(Type I Error) คือการปฏิเสธสมมุติฐานว่างที่เป็นจริง ความคลาดเคลื่อนประเภทที่สอง (Type II Error) คือการไม่ปฏิเสธ

สมมุติฐานว่างที่เป็นเท็จ ความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่หนึ่งแทนด้วย α และเรียกว่า ระดับนัยสำคัญ (Level of Significance) มีผลต่อขนาด (Size) ของบริเวณปฏิเสธ ซึ่งเป็นสิ่งที่กำหนดว่า p-value จะต้องมีค่าน้อยเท่าใดจึงจะสามารถปฏิเสธสมมุติฐานว่างได้ ความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่สองแทนด้วย β

- สถิติทดสอบ (Test Statistic) คือสถิติที่ใช้ทดสอบสมมุติฐานว่าง เราจะปฏิเสธสมมุติฐานว่างถ้าค่าของสถิติทดสอบที่คำนวณได้จากตัวอย่างตกอยู่ในบริเวณปฏิเสธ
- แบบทดสอบหางขวา (Right-Tailed Test) คือแบบทดสอบที่บริเวณปฏิเสธอยู่ที่หางด้านขวาของการแจกแจงของสถิติทดสอบ แบบทดสอบหางซ้าย (Left-Tailed Test) คือแบบทดสอบที่บริเวณปฏิเสธอยู่ที่หางด้านซ้ายของการแจกแจงของสถิติทดสอบ และแบบทดสอบสองหาง (Two-Tailed Test) คือแบบทดสอบที่บริเวณปฏิเสธอยู่ทั้งที่หางด้านซ้ายและหางด้านขวาของการแจกแจงของสถิติทดสอบ
- p-value คือความน่าจะเป็นที่ค่าที่สังเกตได้ของสถิติทดสอบจะมีค่าเบี่ยงเบนไปจากค่าของพารามิเตอร์(ภายใต้ข้อสมมุติว่าสมมุติฐานว่างเป็นจริง)มากกว่าหรือเท่ากับค่าของสถิติทดสอบที่คำนวณได้จากตัวอย่างสุ่มที่เลือกมาได้ สถิติทดสอบจะมีค่าตกอยู่ในบริเวณปฏิเสธก็ต่อเมื่อ p-value มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ ในกรณีนี้สมมุติฐานว่างจะถูกปฏิเสธ
- ขั้นตอนของการทดสอบสมมุติฐานคือ
  - กำหนดสมมุติฐานว่างและสมมุติฐานทางเลือก
  - เลือกสถิติทดสอบที่เหมาะสม
  - ระบุการแจกแจงของสถิติทดสอบภายใต้ข้อสมมุติว่าสมมุติฐานว่างเป็นจริง
  - เก็บรวบรวมข้อมูลและคำนวณ p-value และดูว่า p-value มีค่าน้อยพอที่จะปฏิเสธสมมุติฐานว่างหรือไม่
  - แปลผลในลักษณะที่คนทั่วไปที่ไม่ใช่นักสถิติจะเข้าใจได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- เราสามารถใช้ค่าเฉลี่ยตัวอย่างทดสอบค่าเฉลี่ยประชากร ถ้าการแจกแจงของประชากรมีหางไม่ยาวเกินไป แบบทดสอบที่เหมาะสมอาจเป็นแบบทดสอบ z หรือแบบทดสอบ t ขึ้นอยู่กับว่าเราทราบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากรหรือไม่และจะใช้ตัวอย่างสุ่มที่มีขนาดเล็กหรือใหญ่
- แบบทดสอบสัดส่วนประชากรคือแบบทดสอบ z ซึ่งจะใช้ได้เหมาะสมเมื่อตัวอย่างสุ่มมีขนาดใหญ่

บทนิยาม ทฤษฎีบท และ หลักการที่สำคัญ

- ข้อความที่ถูกทดสอบในแบบทดสอบสมมุติฐานเรียกว่าสมมุติฐานว่าง(Null Hypothesis) และแทนด้วย H_0
- สมมุติฐานทางเลือก (Alternative Hypothesis) แทนด้วย H_1 คือสมมุติฐานที่ผู้ทำการวิจัยเชื่อว่าเป็นจริงถ้าสมมุติฐานว่างเป็นเท็จ ด้วยเหตุนี้จึงเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า สมมุติฐานการวิจัย (Research Hypothesis)
- สถิติทดสอบ (Test Statistic) คือ สถิติที่คำนวณจากข้อมูลตัวอย่างใช้สำหรับทดสอบสมมุติฐาน
- บริเวณปฏิเสธ (Rejection Region) ประกอบด้วยค่าของสถิติทดสอบที่นำไปสู่การปฏิเสธสมมุติฐานว่าง
- p - value คือความน่าจะเป็น (คำนวณภายใต้ข้อสมมุติว่า H_0 เป็นจริง) ที่ค่าของสถิติทดสอบจะเบี่ยงเบนไปจากค่าของพารามิเตอร์มากกว่าหรือเท่ากับที่ได้จากข้อมูลที่สังเกตได้ p-value ยิ่งมีค่าน้อย ข้อมูลยิ่งขัดแย้งกับสมมุติฐานว่าง
- มีเกณฑ์สำหรับการปฏิเสธสมมุติฐานว่างดังนี้
    - ถ้า p-value $>$ 0.10 แล้วโดยปกติจะไม่ปฏิเสธ H_0 และกล่าวว่าผลการทดสอบไม่มีนัยสำคัญ
    - ถ้า $0.05 <$ p-value ≤ 0.10 แล้วเราอาจปฏิเสธ H_0 แต่ผลการทดสอบมีนัยสำคัญเพียงเล็กน้อยเท่านั้น
    - ถ้า $0.01 <$ p-value ≤ 0.05 แล้วเราปฏิเสธ H_0 และกล่าวว่าผลการทดสอบมีนัยสำคัญ

- ถ้า p-value < 0.01 แล้วเราปฏิเสธ H_0 และกล่าวว่าผลการทดสอบมีนัยสำคัญยิ่ง

- ความคลาดเคลื่อนประเภทที่หนึ่ง (Type I Error) คือการปฏิเสธสมมุติฐานว่างที่เป็นจริง ความน่าจะเป็นที่จะเกิดความคลาดเคลื่อนประเภทที่หนึ่งแทนด้วย α และเรียกว่าระดับนัยสำคัญ (Level of Significance)
- ความคลาดเคลื่อนประเภทที่สอง (Type II Error) คือการไม่ปฏิเสธสมมุติฐานว่างที่เป็นเท็จ ความน่าจะเป็นที่จะเกิดความคลาดเคลื่อนประเภทที่สองแทนด้วย β
- การสมมูลกันระหว่างช่วงความเชื่อมั่นกับแบบทดสอบสองหาง สมมุติฐานว่างของพารามิเตอร์ตัวหนึ่งจะถูกปฏิเสธเมื่อใช้แบบทดสอบสองหาง ก็ต่อเมื่อ ค่าของพารามิเตอร์ในสมมุติฐานว่างอยู่นอกช่วงความเชื่อมั่น (1-α) 100%สำหรับพารามิเตอร์นั้น
- แบบทดสอบสัดส่วนประชากรเมื่อใช้ตัวอย่างขนาดใหญ่ ใช้กับประชากรแบร์นูลลีเมื่อขนาดของตัวอย่าง n สอดคล้องกับเงื่อนไข $np \geq 5$ และ $n(1-p) \geq 5$ สมมุติฐานมี 3 รูปแบบดังนี้

แบบทดสอบหางซ้าย	แบบทดสอบหางขวา	แบบทดสอบสองหาง
$H_0: p \geq p_0$	$H_0: p \leq p_0$	$H_0: p = p_0$
$H_1: p < p_0$	$H_1: p > p_0$	$H_1: p \neq p_0$

สถิติทดสอบมาตรฐานคือ

$$z = \frac{\bar{p} - p_0}{\sqrt{p_0(1-p_0)/n}}$$

- แบบทดสอบค่าเฉลี่ยประชากรโดยอาศัย $\bar{y}$ ใช้กับประชากรที่มีการแจกแจงที่หางไม่ยาวผิดปกติ ถ้าใช้ตัวอย่างขนาดเล็ก การแจกแจงของประชากรต้องเป็นแบบปกติหรือใกล้เคียงแบบปกติ สมมุติฐานมี 3 รูปแบบดังนี้

แบบทดสอบหางซ้าย	แบบทดสอบหางขวา	แบบทดสอบสองหาง
$H_0: \mu \geq \mu_0$	$H_0: \mu \leq \mu_0$	$H_0: \mu = \mu_0$

$H_1 : \mu < \mu_0$ $H_1 : \mu > \mu_0$ $H_1 : \mu \neq \mu_0$

สถิติทดสอบมาตรฐาน เมื่อ ไม่ทราบ σ และใช้ตัวอย่างขนาดเล็ก (n < 30) คือ

$$t = \frac{\bar{y} - \mu_0}{s/\sqrt{n}}$$

สถิติทดสอบมาตรฐาน เมื่อ ทราบ σ คือ

$$z = \frac{\bar{y} - \mu_0}{\sigma/\sqrt{n}}$$

(ถ้าไม่ทราบ σ แต่ใช้ตัวอย่างขนาดใหญ่ ให้ใช้ s เป็นค่าประมาณของ σ)

2.1.5 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลอง (Design Of Experiment, DOE) เป็นเทคนิคทางสถิติชั้นสูงที่ใช้ในการปรับตั้งค่าสภาวะของกระบวนการให้เป็นไปตามสภาพที่เราต้องการ ข้อแตกต่างที่เห็นได้ชัดระหว่างวิธีการโดยทั่วไปกับเทคนิคของการออกแบบการทดลองคือ วิธีการโดยทั่วไปมักเป็นแบบการลองผิดลองถูกหรือใช้การทดลองปรับตั้งค่าของกระบวนทีละค่า (One -Factor-At-A-Time) เช่น ถ้าหากเราสงสัยว่าเราควรที่จะต้องปรับตั้งค่าของอุณหภูมิในการอบชิ้นงาน เวลาที่ใช้ในการอบ และ ส่วนผสมของชิ้นงานเป็นเท่าไรดีจึงจะทำให้ชิ้นงานที่ได้มีคุณภาพสูงสุดไม่เป็นของเสีย ดังนั้นแนวทางที่เรามักใช้กันโดยทั่ว ๆ ไปก็คือเรามักที่จะไปลองปรับตั้งในส่วนของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบก่อน (ในขณะที่คงค่าของเวลาที่ใช้ในการอบกับอัตรา ส่วนผสมไว้) เมื่อทดลองจนได้ค่าของอุณหภูมิที่เราต้องการแล้วจึงค่อยไปปรับตั้งเรื่องของเวลา (และก็คงค่าของอุณหภูมิกับอัตราส่วนผสมไว้) จากนั้นสุดท้ายจึงไปทำการปรับตั้งเรื่องของอัตรา ส่วนผสมที่เหมาะสม (โดยการคงค่าของอุณหภูมิกับเวลาไว้) และเราอาจทำซ้ำวงจรนี้ไปเรื่อย ๆ เพื่อที่จะหาจุดที่ดีที่สุดของกระบวนการ ซึ่งลักษณะการทำเช่นนี้เรียกว่า One-Factor-At-A-Time นั่นเอง โดยทั่วไปแล้วการทดลองแบบ One-Factor-At-A-Time จะให้ผลของการเข้าสู่จุดหมายที่เราต้องการของกระบวนการได้ช้ามากและสิ้นเปลืองทรัพยากรในการวิเคราะห์และเก็บข้อมูลสูงและยังไม่เหมาะสมอย่างยิ่งกับกระบวนการที่มีผลของความสัมพันธ์รวม (Interaction Effect) ระหว่างตัวแปรของกระบวนการด้วยกันเอง

ข้อดีของเทคนิคการออกแบบการทดลอง คือให้ผลของความแม่นยำและความถูกต้องในการวิเคราะห์ข้อมูลได้อย่างสูง โดยสามารถระบุออกมาเป็นค่าตัวเลขทางสถิติที่แสดงถึงค่า

ระดับความสำคัญของตัวแปรที่ส่งผลต่อกระบวนการ นอกจากนี้ยังมีความรวดเร็วในการดำเนินการตรวจสอบสาเหตุของปัญหา โดยทั่วไปแล้วถ้าหากเรามีปัจจัยในการทดสอบอยู่ประมาณ 10 ปัจจัย ซึ่งในการดำเนินการทดสอบดูว่าปัจจัยใดบ้างที่ส่งผลจริง ๆ ต่อกระบวนการด้วยวิธีแบบ One-Factor-At-A-Time จะใช้เวลานานถึง 1 ปีในการตรวจสอบได้ครบทุกปัจจัย แต่ด้วยวิธีการออกแบบการทดลองจะใช้เวลาเพียงแค่ 1-3 อาทิตย์เท่านั้นในการตรวจสอบปัจจัยดังกล่าว ซึ่งขั้นตอนของการออกแบบการทดลองพอจะสรุปได้ดังต่อไปนี้

- **การระบุหาปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อกระบวนการ**

ในขั้นตอนนี้เราใช้วิธีการประชุมกลุ่มเพื่อช่วยกันระดมความคิดจากประสบการณ์แล้วพิจารณาดูว่ามีปัจจัยใดบ้างที่อาจจะส่งผลต่อปัญหาที่เราสนใจ เช่น ถ้าหากปัญหาของเราคืออัตราของเสียในการผลิตที่สูง ดังนั้นจากการประชุมร่วมกับพนักงานที่เกี่ยวข้องและเป็นพนักงานที่มีประสบการณ์ในการผลิตตรงพื้นที่ปัญหานั้นก็จะทำให้เราสามารถระบุรายการของปัจจัยต่าง ๆมากมายที่อาจจะส่งผลต่ออัตราการเกิดของเสียได้ เช่น เวลาในการอบชิ้นงาน (อบนานเสียมาก อบเร็วได้ชิ้นงานดีมากกว่า) อุณหภูมิในการอบ (ความร้อนสูงให้คุณภาพดีกว่าความร้อนต่ำ) ฯลฯ ซึ่งประสบการณ์ต่าง ๆ เหล่านี้ เป็นพื้นฐานที่สำคัญในการก้าวไปสู่ขั้นต่อไปของการออกแบบการทดลองโดยจะส่งผลให้การดำเนินการมีความรวดเร็วมากขึ้นไม่ต้องไปเสียเวลาตรวจสอบทุกปัจจัย (เช่น ถ้าจากประสบการณ์ที่ผ่านมาทำให้เรามั่นใจได้ว่าปัจจัยเรื่องความชื้นในส่วนผสมไม่มีผล ต่อคุณภาพของชิ้นงานดังนั้นเราก็ไม่ จำเป็นต้องนำเอาปัจจัยเรื่องความชื้นมาบรรจุไว้ในการทดลองก็ได้) ซึ่งจะเห็นได้ว่า ประสบการณ์ขององค์การ(Wisdom of Organization) นั้นเป็นองค์ประกอบหนึ่งของการออกแบบการทดลองเพราะเป็นจุดเริ่มต้นของการดำเนินงานคือ การใช้ประสบการณ์คาดคะเนว่าปัจจัยใดบ้างที่น่าจะมีผลต่อปัญหาที่เราสนใจ ซึ่งถ้าหากเราไม่มีในส่วนของประสบการณ์องค์การเข้ามาเกี่ยวข้องเลย (เช่น ทีมงานเป็น พนักงานใหม่ทั้งหมด) การออกแบบการทดลองก็ยังคงดำเนินต่อไปได้แต่จะใช้เวลาที่นานขึ้นเพราะต้องเสียเวลาในการตรวจสอบทุก ๆ ปัจจัยที่มีอยู่ทั้งหมด

โดยทั่วไปแล้วทีมงานของการออกแบบการทดลองนั้นจะต้องประกอบไปด้วยพนักงานอย่างน้อย 1 คนขึ้นไปที่เป็นพนักงานที่มีประสบการณ์สูงที่ปฏิบัติงานอยู่ในพื้นที่ของปัญหานั้นมาเป็นระยะเวลาค่อนข้างนาน ทั้งนี้ก็เพื่อจุดประสงค์ในการช่วยคณะทำงานท่านอื่น ๆ ในการระดมความคิดหาปัจจัยที่คาดว่าส่งผลต่อกระบวนการและจะได้นำเอาปัจจัยทั้งหลายเหล่านี้ไปดำเนินการออกแบบการทดลองได้ต่อไป เครื่องมือคุณภาพที่มักนิยมนำมาใช้ในการช่วย

ระดมความคิดเพื่อระบุหาสาเหตุที่คาด ว่าน่าจะส่งผลต่อปัญหา นั้นได้แก่ แผนภูมิก้างปลา (C&E Diagram), FMEA, Selection Matrix เป็นต้น

- **เลือกระดับของปัจจัยในการทดลองที่เหมาะสม**

เมื่อระบุได้แล้วว่าปัจจัยใดบ้างที่น่าจะส่งผลต่อปัญหาที่เราสนใจ ดังนั้นขั้นตอนถัดไปคือการกำหนดค่าระดับในการทดลองของปัจจัยแต่ละตัว เช่น หากปัจจัยที่เราคาดว่าน่าจะมีผลต่อ อัตราการเกิดของเสียคืออุณหภูมิและเวลาในการอบชิ้นงาน ดังนั้น เราก็ลองปรับเปลี่ยนค่าอุณหภูมิที่ระดับ 100 กับ 200 องศาเซลเซียสและลองตั้งเวลาในการอบที่ 45 กับ 60 นาที เป็นต้น ซึ่งการตั้ง ค่าระดับในการทดลองของปัจจัยนี้ต้องพึงระวังว่าเราจะต้องเลือกระดับความแตกต่างที่ไม่น้อยจนเกินไป (เช่น ทำการทดลองที่ 10 องศาเซลเซียส กับ 10.5 องศาเซลเซียส) หรือเลือกระดับที่แตกต่างกันมากจนเกินไป (เช่น ทำการทดลองที่ 0 องศาเซลเซียส กับ 200 องศาเซลเซียส) เป็นต้น เนื่องจากการที่เรากำหนดค่าระดับของปัจจัยในการทดลองที่แคบเกินไปหรือกว้างเกินไปอาจจะ ส่งผลให้เราไม่สามารถเห็นผลของการทดลองที่เกิดขึ้นได้อย่างชัดเจน

- **เลือกรูปแบบของการทดลองที่เหมาะสม**

ชนิดของรูปแบบการทดลองนั้นมีให้เลือกอยู่อย่างหลากหลาย แต่เราจำเป็นต้องเลือกมาเพียงแค่ 1-2 รูปแบบเท่านั้นเพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ปัญหา ซึ่งหลักเกณฑ์ในการพิจารณาว่าเราควรที่จะเลือกรูปแบบการทดลองแบบไหนนั้นขึ้นอยู่กับเกณฑ์ดังต่อไปนี้ ได้แก่ เวลาที่มีให้เพื่อ การวิเคราะห์ ระดับความถูกต้องในการวิเคราะห์ งบประมาณที่มีให้ในการออกแบบการทดลอง เป็นต้น โดยทั้งนี้เราสามารถสรุปรูปแบบของการทดลองที่นิยมใช้กันในปัจจุบันได้ดังต่อไปนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 รูปแบบการทดลองที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน

รูปแบบการทดลอง	ลักษณะการทดลอง	เวลาในการวิเคราะห์	ความถูกต้อง	งบประมาณ
Single Factor	การทดลองสำหรับหนึ่งปัจจัย โดยปัจจัยดังกล่าวเป็นปัจจัยที่คาดว่ามีผลกระทบสูงสุดต่อปัญหา	รวดเร็ว	ปานกลาง	น้อย
Factorial Design	การทดลองที่มีมากกว่าหนึ่งปัจจัยและเป็นการทดลองแบบเต็มรูปแบบ	ใช้เวลานาน	มากที่สุด	มาก
2^K Design	การทดลองที่มีมากกว่าหนึ่งปัจจัยและเป็นการทดลองแบบเต็มรูปแบบแต่กำหนดระดับของแต่ละปัจจัยอยู่ที่ปัจจัยละ 2 ระดับเท่านั้น	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง
2^{K-P} Design	การทดลองที่มีมากกว่าหนึ่งปัจจัยแต่ไม่ทำการทดลองแบบเต็มรูปแบบทั้งหมด (ลดรูป)	รวดเร็ว	น้อย	น้อย

- **ดำเนินการทดลองเพื่อเก็บข้อมูล**

เมื่อเราเลือกรูปแบบการทดลองที่เหมาะสมกับลักษณะปัญหาของเราได้แล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการลงไปทำการเก็บผลการทดลอง เช่น สมมุติว่าปัจจัยที่คาดว่าน่าจะมีผลต่ออัตราการเกิดของเสียในกระบวนการผลิตคือ อุณหภูมิในการอบ เวลาที่ใช้ในการอบและชนิดของเครื่องจักรที่ใช้ ดังนั้นโดยการเลือกการทดลองแบบ 2K Design และกำหนดค่าระดับของปัจจัยในการทดลองเป็นดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.2 การเลือกการทดลองแบบ 2K Design และกำหนดค่าระดับของปัจจัยในการทดลอง

Factor	High Level	Low Level
อุณหภูมิ	250 C	200 C
เวลา	30 นาที	20 นาที
ชนิดเครื่องจักร	เตาไมโครเวฟ	เตาอบไฟฟ้า

ค่าระดับของปัจจัยที่ปรากฏในตารางการทดลองนั้นได้มาจากประสบการณ์ขององค์กร (Wisdom of Organization) ซึ่งหมายความว่าจากการทำงานมาเป็นระยะเวลานาน ๆ ดังนั้นเรามักจะสังเกตเห็นอะไรบางอย่างได้บ้างจากกระบวนการ เช่น มีบางครั้งที่เราอาจจะเคยปรับเวลาในการอบไปที่ 30 นาทีแล้วให้ผลที่แตกต่างไปจากเดิมที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน อีกสิ่งหนึ่งที่จะต้องพึงระมัดระวังเป็นพิเศษในการดำเนินการทดลองก็คือการควบคุมให้ค่าระดับของปัจจัยต่าง ๆ นั้นคงที่เสมอ เช่น ในการทดลองที่อุณหภูมิเท่ากับ 250 °C นั้น เราต้องมั่นใจว่าอุณหภูมิที่ปรับไว้นั้นมีค่า เท่ากับ 250 °C จริง ๆ ซึ่งไม่ใช่คลาดเคลื่อนไปเป็น 230 °C หรือ 270 °C เพราะหากมีความคลาดเคลื่อนเช่นนี้ย่อมจะส่งผลให้ข้อมูลที่ได้มีความคลาดเคลื่อนสูงและนำไปสู่การวิเคราะห์ที่ผิดเพี้ยนได้ จากตัวอย่างข้างต้นซึ่งได้เลือกรูปแบบการทดลองเป็น 2K Design สำหรับ 3 ปัจจัยและแต่ละปัจจัยมีสองระดับ ดังนั้นลักษณะหน้าตาของตารางการเก็บข้อมูลจึงปรากฏไปดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.3 ตารางการเก็บข้อมูลการทดลองแบบ 2K Design สำหรับ 3 ปัจจัยและแต่ละปัจจัยมีสองระดับ

TEST	Factor			% DEFECT	
No.	อุณหภูมิ	เวลา	เครื่องอบ	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	250	30	Microwave	10.2	15.4
2	250	30	Electric	4.2	3.2
3	250	20	Microwave	10.3	16.2
4	250	20	Electric	5.6	4.3
5	200	30	Microwave	12.4	10.2
6	200	30	Electric	16.3	14.2
7	200	20	Microwave	15.4	10.2
8	200	20	Electric	20.4	22.4

จากตารางการทดลอง จะเห็นได้ว่าในการทดลองแบบ 2K Design สำหรับ 3 ปัจจัยและแต่ละปัจจัยมีสองระดับนั้น เราจะต้องทำการทดลองทั้งหมด 8 การทดลองและต้องทำการ

ทดลองซ้ำอย่างน้อยสองรอบเพื่อทำให้แต่ละปัจจัยได้เจอกันครบอย่างทั่วถึง (ซึ่งอาจทำการทดลองที่จำนวนน้อยครั้ง กว่านี้ก็ได้โดยขึ้นอยู่กับชนิดรูปแบบของการทดลองที่เราเลือกใช้แต่ก็อย่าลืมว่ายิ่งทำการทดลองน้อยครั้งเท่าไรก็จะได้ความถูกต้องน้อยลงตามไปด้วย)

ตัวอย่างเช่น ในการทดลองหมายเลข 1 นั้นจะต้องปรับค่าของอุณหภูมิไว้ที่ 250 °C, ปรับเวลาในทำการอบชิ้นงานไว้ที่ 30 นาทีและเลือกเตาอบแบบ Microwave ซึ่งในการทดลองครั้งแรกวัดอัตราของเสียได้เท่ากับ 10.2% และในการทำซ้ำครั้งที่สองก็วัดอัตราของเสียได้เท่ากับ 15.4% จากนั้นก็ขยับไปทำการทดลองหมายเลข 2 คือ ปรับค่าของอุณหภูมิ เป็นที่ 250 °C, เวลาในการอบที่ 30 นาที แต่เปลี่ยนชนิดของเตาอบเป็นแบบ Electric โดยในการทดลองหมายเลข 2 นี้ได้ ดำเนินการทดลองทั้งหมด 2 ครั้งและวัดอัตราของเสียได้เท่ากับ 4.2% กับ 3.2% ตามลำดับ ดำเนินการทดลองเรื่อยไปจนถึงการทดลองหมายเลข 8 คือ ปรับค่าของอุณหภูมิเป็นที่ 200 °C, เวลาในการอบที่ 20 นาที และเลือกใช้ชนิดของเตาอบเป็นแบบ Electric

เมื่อได้ผลการทดลองครบถ้วนแล้วก็ให้นำผลการทดลองทั้งหมดไปกรอกลงในโปรแกรมทางสถิติที่ชื่อว่า Statgraphic หรือMinitab ก็ได้ (หากไม่มี Software ดังกล่าวเราก็สามารถที่จะคำนวณด้วยมือก็ได้) โดยผลการประมวลจากโปรแกรมดังกล่าวได้แสดงไว้ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ผลการประมวลจากโปรแกรม Minitab

Analysis of Variance for Defect - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Temp	169.651	1	169.651	25.89	. 9
B:Time	21.8556	1	21.8556	3.34	.1052
C:Machine	5.88062	1	5.88062	.90	.3712
INTERACTIONS					
AB	8.85062	1	8.85062	1.35	.2786
AC	224.251	1	224.251	34.23	. 4
BC	7.42562	1	7.42562	1.13	.3181
ABC	3.70562	1	3.70562	.57	.4736
RESIDUAL	52.415	8	6.55188		
TOTAL (CORRECTED)	494.034	15			

ซึ่งตารางข้างบนนี้มีชื่อเรียกอย่างเป็นทางการว่า ตาราง ANOVA ซึ่งเป็นคำย่อมาจาก ANalysis Of Variance โดยวิธีการง่าย ๆ ในการตีความหมายผลที่ได้จากการทดลองก็คือให้ไปพิจารณายังช่องขวาสุดที่มีชื่อว่า "p-Value" และพิจารณาว่ามีค่า p-Value ค่าใดบ้างที่น้อยกว่า 0.05 (หมายถึงระดับนัยสำคัญของความถูกต้องในการทดสอบอยู่ที่ 95% หรือหมายถึงว่าการทดลองในครั้งนี้ยอมรับความผิดพลาดได้ที่ 5%) จากตารางข้างต้นเราจะเห็นได้ว่ามีเพียงสองปัจจัยเท่านั้นที่มีค่า p-Value น้อยกว่า 0.05 ได้แก่ A: Temperature (อุณหภูมิ) กับ AC คือความสัมพันธ์ ร่วมระหว่าง A: Temperature กับ C: Machine นั่นเอง ดังนั้นจากการทดลองในครั้งนี้สรุปได้ว่า

ในกรณีที่พิจารณาเฉพาะปัจจัยหลักอย่างเดียวเท่านั้น (Main Effect) สรุปได้ดังนี้

- ปัจจัยเรื่องของอุณหภูมิมีผลต่ออัตราการเกิดของเสีย (เนื่องจากค่า p-Value น้อยกว่า 0.05)
- ปัจจัยเรื่องของเวลาในการอบไม่มีผลต่ออัตราการเกิดของเสีย (เนื่องจากค่า p-Value มากกว่า 0.05)
- ปัจจัยเรื่องของชนิดเตาอบไม่มีผลต่ออัตราการเกิดของเสีย (เนื่องจากค่า p-Value มากกว่า 0.05)

ในกรณีที่พิจารณาผลของความสัมพันธ์ร่วม (Interaction Effect) สรุปได้ดังนี้

- ไม่มีความสัมพันธ์ร่วมกันระหว่างปัจจัยเรื่องของอุณหภูมิกับปัจจัยเรื่องของเวลาในการอบ (AB Interaction)
- มีความสัมพันธ์ร่วมกันระหว่างปัจจัยเรื่องของอุณหภูมิกับปัจจัยเรื่องของชนิดเตาอบ (AC Interaction)
- ไม่มีความสัมพันธ์ร่วมกันระหว่างปัจจัยเรื่องของเวลาในการอบกับปัจจัยเรื่องของชนิดเตาอบ (BC Interaction)
- ไม่มีความสัมพันธ์ร่วมกันในระหว่างปัจจัยเรื่องของอุณหภูมิ เวลาในการอบและชนิดของเตาอบ (ABC Interaction)

จากผลการสรุปข้างต้นเราจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าในกรณีที่หากเราทำการทดลองทีละปัจจัย (One-Factor-At-A-Time) ในกรณีนี้เราก็จะสรุปแค่ว่าเฉพาะผลของ Main Effect ของปัจจัย A (อุณหภูมิ) เท่านั้นที่มีผลต่ออัตราการเกิดของเสีย ส่วนปัจจัยตัวอื่น ๆ จะพบว่าไม่มีผลต่ออัตราการเกิดของเสียในกระบวนการ ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ที่ผิดอย่างมาก เนื่องจากใน

ความเป็นจริง แล้วในกระบวนการผลิตไม่ได้มีแค่เฉพาะปัจจัยเรื่องของอุณหภูมิเท่านั้นแต่ยังมีปัจจัยอื่น ๆ อีกเช่น ปัจจัยเรื่องของชนิดเตาอบที่ใช้และปัจจัยเรื่องของเวลาในการอบ ดังนั้นเมื่อปัจจัยทั้งหลายเหล่านี้มาผสมผสานรวมกันก็อาจที่จะทำให้ผลลัพธ์ของกระบวนการผลิตมีความแตกต่างไปจากผลลัพธ์ที่เกิดจากปัจจัยหลักแต่ละตัวเดียว ๆ ก็ได้ (เปรียบได้เหมือนกับการเทน้ำยาเคมีต่างชนิดกันลงไปผสมกันในอ่างแล้วได้ สูตรน้ำยาใหม่ออกมาที่มีผลการทำงานแตกต่างออกไปจากส่วนผสมเคมีหลักที่ใช้) ซึ่งเราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดความสัมพันธ์ร่วมระหว่างปัจจัย (Interaction Effect)

จากตาราง ANOVA ข้างบนจะเห็นได้ว่าเฉพาะปัจจัยหลัก C (ชนิดของเตาอบที่ใช้) นั้นไม่มีผลแต่อย่างไรต่ออัตราการเกิดของเสีย(คือไม่ว่าจะใช้เตาอบแบบไหนก็จะให้อัตราการเกิดของเสียที่ไม่แตกต่าง) แต่ถ้าหากเมื่อไรก็ตามที่มีผลของปัจจัยหลัก A (อุณหภูมิ)เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ปัจจัยหลัก C จะเกิดมีความสัมพันธ์ร่วมกับปัจจัยหลัก A ขึ้นมาทันที ซึ่งส่งผลทำให้จากเดิมที่ปัจจัยC ไม่มีความสำคัญอะไรต่อกระบวนการ ก็จะกลับกลายมาเป็นว่าเป็นปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดของเสียในกระบวนอย่างยิ่งยวดสิ่งนี้มักเป็นสิ่งที่ผู้ประกอบการมองข้ามไปเสมอเนื่องจากโดยส่วนมากแล้วเมื่อเวลาที่เกิดปัญหาเราก็มักที่จะทำการตรวจสอบสาเหตุของปัญหาไปที่ละปัจจัยและสุดท้ายเมื่อตรวจสอบไปจนครบทุกปัจจัยแล้วก็อาจที่จะไม่พบปัจจัยอะไรเลยที่เป็นสาเหตุของ ปัญหาและก็จะมีความกังขาขึ้นมาว่าทำไมปัญหายังคงอยู่ทั้งที่ได้ทำการตรวจสอบไปทีละปัจจัยจนครบแล้ว และก็ไม่พบว่ามีปัจจัยใดที่เป็นสาเหตุของปัญหานั้นเลย แต่ด้วยความเข้าใจในเรื่องของความสัมพันธ์ร่วม ดังนั้นเราจึงสามารถอธิบาย ปัญหานี้ได้ว่า เป็นไปได้ที่ว่าเมื่อพิจารณาผลลัพธ์ที่เกิดเฉพาะจากปัจจัยหลัก (Main Effect) แต่ละตัวนั้นก็อาจที่จะไม่พบอะไรเลย แต่ทว่าเมื่อปัจจัยหลักทั้งหลายเหล่านั้นมาอยู่รวมกัน (เหมือนเทน้ำยาเคมีผสมกันลงในอ่าง) จะทำให้ปัจจัยหลักแต่ละตัวนั้นทำปฏิกิริยาซึ่งกันและกันเกิดเป็นความสัมพันธ์ร่วมที่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อ กระบวนการได้ จนถึงตรงนี้เราทราบแล้วว่าความสัมพันธ์ร่วมที่เกิดจากปัจจัย AC นั้นมีผลต่ออัตราการเกิดของเสียในกระบวนการ ดังนั้นขั้นตอนถัดไปเราต้องมาพิจารณาดูว่าควรที่จะปรับตั้งค่าของปัจจัย A และ C อย่างไรจึงจะทำให้กระบวนการเกิดของเสียน้อยที่สุด ซึ่งทำได้โดยการพิจารณาตารางดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.5 การจัดกลุ่มข้อมูลใหม่โดยพิจารณาเฉพาะปัจจัยของอุณหภูมิและชนิดของเครื่องอบ

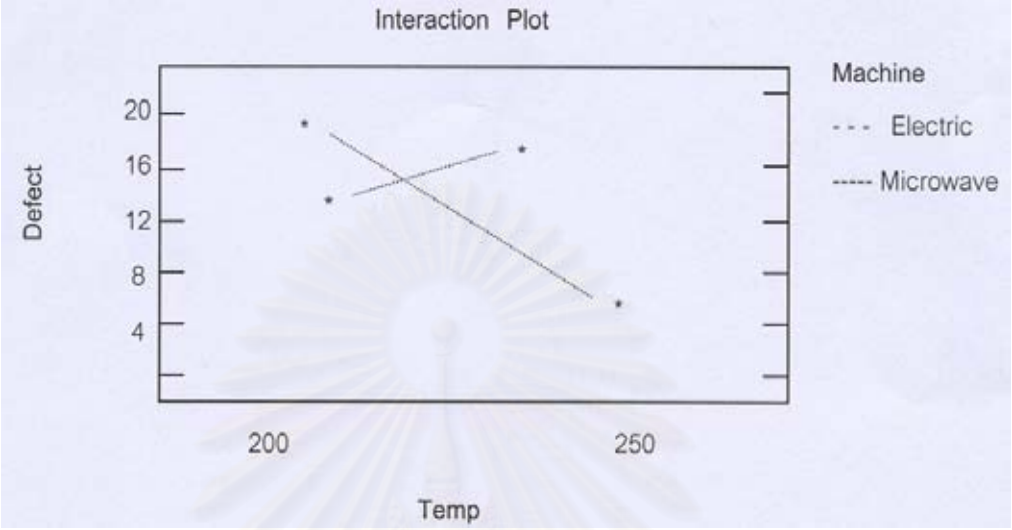
เวลา	30	20	30	20	30	20	30	20
อุณหภูมิ	250	250	200	200	250	250	200	200
เครื่องอบ	Microwave	Microwave	Microwave	Microwave	Electric	Electric	Electric	Electric
ครั้งที่ 1	10..2	10.3	12.4	15.4	4.2	5.6	16.3	20.4
ครั้งที่ 2	15.4	16.2	10.2	10.2	3.2	4.3	14.2	22.4
ค่าเฉลี่ย	13.0		12.1		4.3		18.3	

จากตาราง ANOVA ที่ผ่านมาเราสรุปได้ว่าปัจจัยเรื่องของเวลาในการอบนั้นไม่มีผลต่อ อัตราการเกิดของเสียดังนั้นเราจึงตัดปัจจัยดังกล่าวนี้ทิ้งไปโดยไม่นำมาพิจารณา ดังนั้นจึงเหลือเฉพาะปัจจัยแค่สองตัวของอุณหภูมิและชนิดของเครื่องอบ ซึ่งสามารถจัดกลุ่มข้อมูลใหม่ได้ดังตารางข้างบน

จากตารางข้างบนจะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิในการอบ 250 องศาเซลเซียสและเครื่องอบแบบ Electric จะให้ค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดของเสียต่ำสุด ดังนั้นจากการทดลองนี้จึงสรุปได้ว่าเราควรที่จะปรับตั้งกระบวนการที่อุณหภูมิเท่ากับ 250 องศาเซลเซียสและเลือกใช้เตาอบแบบ Electric จึงจะให้ค่าของอัตราเกิดของเสียต่ำสุด (โดยมีค่าคาดหวังอยู่ที่ 4.3%) ซึ่งสามารถแสดงได้ด้วยกราฟดังต่อไปนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 2.1 Interaction Plot **ระหว่าง 2 ปัจจัยคือ อุณหภูมิและชนิดของเตาอบ**



เป็นความจริงที่ว่าแนวทางในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตนั้นสามารถทำได้ด้วยกันหลายวิธี แต่ทั้งนี้สมรรถนะหรือความสามารถในการแก้ปัญหาของแต่ละแนวทางนั้นย่อมที่จะแตกต่างกันออกไป ดังเช่นตัวอย่างที่ผ่านมาหากเราเลือกใช้แนวทางอื่นในการแก้ปัญหาดังกล่าวก็อาจที่จะต้องใช้ทั้งเวลาและงบประมาณในการดำเนินงานสูง เช่น หากเราแก้ปัญหาแบบใช้การลองผิดลองถูกในการลองปรับตั้งค่าสภาวะของกระบวนการ ไปเรื่อย ๆ ซึ่งกว่าที่กระบวนการจะเป็นไปตามเป้าหมายที่เราต้องการก็อาจจะใช้เวลาเป็นปีหรือไม่อาจจะไม่มีทางบรรลุเป้าหมายที่เราต้องการได้เลย แต่ทั้งนี้ ด้วยวิธีของการออกแบบการทดลอง เราสามารถบรรลุเป้าหมายของกระบวนการได้ภายใน 1-3 อาทิตย์เท่านั้น ซึ่งนับได้ว่าวิธีการออกแบบการทดลองนี้เป็นเทคนิคในการแก้ปัญหาที่มีความท้าทายและเป็นวิธีการที่เป็นวิทยาศาสตร์ไม่ใช่เป็นการลองผิดลองถูกแต่อย่างไร

2.1.6 **การวิเคราะห์สาเหตุของลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ** (FMEA)

FMEA ย่อมาจากคำว่า Failure Mode and Effects Analysis แปลว่า การวิเคราะห์สาเหตุของลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ โดยมีการพิจารณาว่า จะมีข้อบกพร่องอะไรบ้างที่มีโอกาสเกิดขึ้น โดยข้อบกพร่องนั้นจะมีผลกระทบรุนแรงมากน้อยเพียงใด ข้อบกพร่องแต่ละลักษณะเกิดจากสาเหตุใด เป้าหมายหลักของ FMEA คือการสร้างระบบใน

การป้องกันหรือลดโอกาสการเกิดลักษณะข้อบกพร่อง กำจัดสาเหตุของข้อบกพร่อง รวมถึงเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับข้อบกพร่องให้พบก่อนถูกส่งเข้าสู่กระบวนการถัดไป ซึ่งยังผลให้การร้องเรียนของลูกค้าต่อสินค้า หรือบริการที่ส่งมอบลดลง ความพึงพอใจของลูกค้าอยู่ในระดับสูงขึ้น ทำให้องค์กรมีศักยภาพการแข่งขันในระดับสากลทั้งในด้านคุณภาพ ราคา การส่งมอบ การบริการ รวมถึงการสร้างขวัญ กำลังใจ และสภาพแวดล้อมในการทำงานอย่างมีคุณภาพ

ขั้นตอนการทำ FMEA

- จัดตั้งทีมงาน FMEA
- วิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ
  - ระดมสมองหาลักษณะข้อบกพร่องที่มีโอกาสเกิดขึ้น
  - ประเมินผลกระทบต่อระบบและหาสาเหตุของข้อบกพร่องแต่ละรายการพร้อมวิธีการตรวจจับหาข้อบกพร่อง
  - ประเมินตัวเลขความเสี่ยงชี้นำ (Risk Priority Number) โดย RPN = ผลคูณของระดับความรุนแรงของผลกระทบ และโอกาสหรือความถี่ของสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่อง และ ระดับความสามารถในการตรวจจับ
  - วางมาตรการปรับปรุงโดยจัดลำดับความสำคัญตามค่า RPN จากค่ามากไปค่าน้อย (ตัวเลขยิ่งน้อยยิ่งดี ถ้ายิ่งมากยิ่งต้องรีบหามาตรการดำเนินการแก้ไข/ ป้องกัน)
- ทำการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง โดยมีการติดตามผลและทบทวนค่า RPN ใหม่

วิธีการกำหนดค่าความรุนแรงของผลกระทบ โอกาสการเกิด และความสามารถในการตรวจจับข้อบกพร่อง

การให้คะแนนหรือกำหนดค่าความรุนแรงของผลกระทบ โอกาสการเกิด และความสามารถในการตรวจจับข้อบกพร่องในกระบวนการที่นิยมใช้กันมี 2 เกณฑ์ คือ ระดับคะแนน 1-5 คะแนน และระดับคะแนน 1-10 คะแนน (ใช้มากในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์) โดยถ้าชิ้นส่วนใด กระบวนการใด ขั้นตอนใด ระบบใด มีความรุนแรงของผลกระทบน้อย โอกาสเกิดข้อบกพร่องต่ำ และมีความสามารถในการตรวจจับข้อบกพร่องได้สูง คะแนนก็จะอยู่ในระดับต่ำ 1-2 แต่ในทางกลับกัน ความรุนแรงของผลกระทบมีมาก โอกาสเกิดข้อบกพร่อง

สูง และมีความสามารถในการตรวจจับข้อบกพร่องได้น้อย คะแนนก็จะอยู่ในระดับสูง 4-5 (สำหรับเกณฑ์ 1-5 คะแนน) และ 8-10 (สำหรับเกณฑ์ 1-10 คะแนน)

ตารางที่ 2.6 ตัวอย่างแบบฟอร์มการชี้บ่งอันตรายและประเมินความเสี่ยงด้วยวิธี FMEA

เครื่องจักร อุปกรณ์/ระบบ	ความล้มเหลว	สาเหตุความล้มเหลว	ผลที่จะเกิดขึ้น	มาตรการป้องกัน/แก้ไข	การประเมินความเสี่ยง			
					โอกาส	ความรุนแรง	ผลลัพธ์	ระดับความเสี่ยง

ช่องที่ 1 แสดงระบบของเครื่องจักรและรายการเครื่องจักรในแต่ละระบบ เช่น

- หม้อน้ำ
- ท่อน้ำวาล์ว

ช่องที่ 2 แสดงความล้มเหลวที่เกิดขึ้นจากแต่ละอุปกรณ์เครื่องจักรที่ได้กล่าวถึงในช่องที่ 1 เช่น

- ท่อน้ำแตก/รั่ว
- วาล์วรั่ว

ช่องที่ 3 แสดงสาเหตุที่ล้มเหลวจากช่องที่ 2 เช่น

- เกิดสนิมในท่อน้ำ
- การบำบัดด้วยเคมีไม่ดีพอ
- ขาดการบำรุงรักษา

ช่องที่ 4 แสดงผลที่เกิดขึ้นจากช่องที่ 3 ซึ่งแสดงให้เห็นผลกระทบต่อทรัพย์สินบริษัท พนักงาน ชุมชนโรงงานข้างเคียง รวมถึงสู่สิ่งแวดล้อม เช่นเดียวกับทุกๆ เครื่องมือประเมินความเสี่ยงที่ได้กล่าวถึงแล้ว

ตัวอย่าง กรณีรถ Tank Car นำน้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel Oil Bunker C) ขนส่งเข้ามาในโรงงาน ณ. จุดขนถ่าย และดำเนินการต่อท่อเดินปั้มป์ขนถ่ายน้ำมันเตาเข้าถังน้ำมัน (Fuel Oil Tank) ของบริษัท

ตารางที่ 2.7 ตัวอย่างการชี้บ่งอันตรายและประเมินความเสี่ยงด้วยวิธี FMEA

เครื่องจักร อุปกรณ์/ ระบบ	ความล้มเหลว	สาเหตุความล้มเหลว	ผลที่จะเกิดขึ้น	มาตรการป้องกัน/แก้ไข	การประเมินความเสี่ยง			
					โอกาส	ความรุนแรง	ผลลัพธ์	ระดับความเสี่ยง
รถยนต์ Tank Car	อุบัติเหตุเฉี่ยวชน	- ยางแตกเพราะไม่บำรุงรักษา - คนขับสภาพไม่พร้อม - เส้นทางลับแคบมีสิ่งกีดขวาง	- ทรัพย์สินบริษัทเสียหาย - พนักงานบาดเจ็บ	-ตรวจสอบเส้นทางเดินรถ -ตรวจสอบสภาพรถก่อนเข้าโรงงาน -อธิบายระเบียบปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับคนขับ -ตรวจสอบสภาพคนขับ -กำหนดเส้นทางความเร็วรถ -ติดป้ายเตือนความสูง				
ท่อน้ำมัน	แตก/รั่ว	-ขาดการบำรุงรักษา -ต่อท่อไม่แน่น/ข้อต่อเสื่อมสภาพ	น้ำมันหกรั่วไหลสู่สิ่งแวดล้อม อาจเกิดไฟไหม้ทรัพย์สินเสียหาย พนักงานเสียชีวิต	-แผนบำรุงรักษาระบบท่อ -ระเบียบปฏิบัติงานการขนถ่ายน้ำมันเตา -ตรวจสอบท่อก่อนขนถ่าย -อบรมระเบียบที่เกี่ยวข้องกับคนขับ				
สายดิน	ขาด/ไม่ได้ต่อกับรถ	-ขาดการบำรุงรักษา -ลืม	อาจเกิดไฟไหม้จากไฟฟ้าสถิตย์	-ระเบียบปฏิบัติงานการขนถ่ายน้ำมันเตา -บำรุงรักษาเชิงป้องกันสายดิน -บำรุงรักษาเชิงป้องกันสายล่อฟ้า				
วาล์ว	รั่ว	-ปะเก็นแตก -Valve Body เกิด Corrosion	น้ำมันเตารั่วไหลสู่สิ่งแวดล้อม	-บำรุงรักษาปะเก็นและวาวล์ -ตรวจสภาพความพร้อมก่อนเริ่มขนถ่าย				

จากตัวอย่างจะเห็นว่า ในการประเมินจะเน้นเฉพาะปัญหาหรือความล้มเหลวลงที่รายละเอียดของอุปกรณ์หรือชิ้นส่วนของอุปกรณ์ทีละตัวแล้วจึงขยายผลออกไปในเรื่องผลกระทบและมาตรการที่ควรมีต่อไป ในแบบฟอร์มตามกฎหมายมิได้แยกเอาสิ่งที่มีอยู่กับสิ่งเสนอแนะออกจากกัน ดังนั้นทั้งสองส่วนจึงลงในช่องมาตรการป้องกัน/ควบคุม/แก้ไข สอบถามจากเจ้าหน้าที่เข้าใจว่าสาเหตุจากลืมแยกตารางจากกัน เครื่องมือนี้มีข้อดีคือง่ายต่อการกำหนดจุดที่จะประเมินเพราะเริ่มจากอุปกรณ์ทีละตัว และสามารถเจาะจงลงไปที่ชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่ล้มเหลว ส่วนข้อเสียจะเกิดเนื่องจากการเน้นความล้มเหลวที่อุปกรณ์ ทำให้ความล้มเหลวที่เกิดขึ้นจากปัจจัยอื่น เช่น กระบวนการที่เปลี่ยนแปลง วัตถุดิบ หรือปัจจัยภายนอกอาจมองไม่เห็น และอาจมองไม่เห็นเหตุที่เกิดจากเหตุการณ์ที่เกิดร่วมกัน (Co-Incident) เช่น ถ้าเกิดวาล์วรั่วหรือถังแตกในบริเวณที่มี Hot work หรือประกายไฟ ก็จะทำให้เกิดเพลิงไหม้ ซึ่งจะไม่สามารถแยกได้ว่าเกิดจากสาเหตุใด นอกจากนี้ ผู้ดำเนินการต้องทราบกระบวนการทำงานของอุปกรณ์แต่ละตัว เน้นลงไปที่ชิ้นส่วนภายในอุปกรณ์ รวมถึงความสัมพันธ์การทำงานของอุปกรณ์แต่ละตัวที่เชื่อมโยงกัน

จะเห็นว่าแต่ละวิธีนั้นมีทั้งข้อดีและข้อเสีย จึงขึ้นอยู่กับผู้ที่จะนำไปใช้ที่ต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมของเครื่องมือนั้นๆ ว่าเหมาะสมกับการที่จะนำมาใช้กับองค์กรของตนเองหรือไม่ เพราะแต่ละองค์กรจะมีปัจจัยไม่เหมือนกัน เช่น ความพร้อมและระดับการศึกษาของพนักงาน ความซับซ้อนของกระบวนการผลิต และความรุนแรงของการเกิดผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากอุบัติเหตุในกระบวนการผลิตเป็นต้น

2.1.7 **การวิเคราะห์ระบบการวัด**

ลักษณะของระบบการวัด

ระบบการวัดที่ต้องมีทั้งความถูกต้อง (Accuracy) และความแม่น (Precision) ความถูกต้องจะพิจารณาในเรื่องของการที่ค่าที่วัดได้เข้าใกล้ค่าจริง ส่วนความแม่นนั้น จะพิจารณาในเรื่องที่ค่าที่วัดได้หลายๆ ครั้งมีค่าใกล้เคียงกัน ในเรื่องความถูกต้อง จะพิจารณาใน 3 เรื่อง คือ

1. คุณสมบัติด้านไบแอสของระบบการวัด
2. คุณสมบัติด้านเสถียรภาพของระบบการวัด
3. คุณสมบัติเชิงเส้นตรงของระบบการวัด

ในการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความแม่นของระบบการวัด จะวิเคราะห์ความผันแปรด้านรีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้

AIAG (2002) ได้นิยามความหมายของคำต่างๆ ที่เกี่ยวกับระบบการวัดไว้ ซึ่งสรุปให้เข้าใจได้ง่ายๆดังนี้

- ไบอัส (Bias) แสดงถึง ความแตกต่างระหว่างค่าจริงกับค่าเฉลี่ยของค่าที่วัดได้บนคุณลักษณะและชิ้นงานเดียวกัน
- ความเสถียร (Stability) แสดงถึง การเปลี่ยนแปลงของค่าไบอัสเมื่อเวลาเปลี่ยนไป
- ความผันแปรเชิงเส้นตรง (Linearity) จะพิจารณาในเรื่องการเปลี่ยนแปลงของค่าไบอัสเมื่อเปลี่ยนแปลงย่านวัด
- รีพีททะบิลิตี้ (Repeatability) แสดงถึงความผันแปรของค่าวัดที่ทำการวัดโดยพนักงานวัดเดียวกัน เครื่องมือ อวัดเดียวกัน ในการวัดงานชิ้นเดียวกันซ้ำๆ โดยทั่วไปมักจะแสดงถึงความผันแปรของเครื่องมือวัด
- รีโปรดิวซิบิลิตี้ (Reproducibility) หมายถึงความผันแปรที่แสดงถึงค่าเฉลี่ยของค่าวัดจากการใช้เครื่องมือวัดเดียวกันในการวัดชิ้นงานเดียวกันด้วยเงื่อนไขที่แตกต่างกัน ซึ่งโดยทั่วไปมักแสดงถึงความแตกต่างระหว่างพนักงานวัด

สาเหตุของความคลาดเคลื่อนของระบบการวัด

สาเหตุที่มีผลต่อเรื่องความถูกต้องของการวัด

1. เครื่องมือวัดถูกออกแบบอย่างไม่ถูกต้อง
2. เครื่องมือวัดถูกสอบเทียบอย่างไม่ถูกต้อง
3. เครื่องมือวัดบิดเบี้ยว ผิดรูป
4. เครื่องมือวัดสึกหรอ
5. อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานสึกหรอ
6. การวางตำแหน่งจับยึดชิ้นงานไม่ถูกต้อง
7. วิธีการวัดไม่ถูกต้อง
8. การเปลี่ยนแปลงของปัจจัยแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น เป็นต้น

สาเหตุที่มีผลต่อเรื่องความแม่นของการวัด

1. ความไม่สม่ำเสมอของชิ้นงาน เช่น ชิ้นงานไม่เรียบ สกปรก

2. ความผันแปรของเครื่องมือวัด เช่น การที่เครื่องมือวัดมีความเสียดทานภายในสูง หรือการสึกหรอ

3. การจับยึดชิ้นงานไม่มั่นคง

4. การที่พนักงานวัดแต่ละคน มีวิธีการวัดแตกต่างกัน

การประเมินผลคุณสมบัติด้านไบอัสของระบบการวัด

การประเมินผลคุณสมบัติด้านไบอัสของระบบการวัดมี 2 วิธี ดังนี้

วิธีที่ 1 วิธีการใช้สิ่งตัวอย่างเดียว

1. เลือกงานมาตรฐาน (งานมาสเตอร์) ที่สามารถสอบค่ากลับไปยังมาตรฐานที่สูงกว่าได้ และวัดงานนี้อย่างน้อย 10 ครั้ง และกำหนดให้ค่าเฉลี่ยนี้เป็น ค่าอ้างอิง หรือค่ามาสเตอร์

2. ให้พนักงานที่มีความสามารถในการวัดเป็นอย่างดี มาวัดงานมาสเตอร์นี้ อย่างน้อย 10 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ย

3. คำนวณค่าไบอัส โดย ค่าไบอัส = ค่าเฉลี่ยของค่าที่วัด - ค่าอ้างอิง

4. ประเมินผลค่าไบอัสเทียบกับค่าคลาดเคลื่อนอนุโลม

$$\%\ \text{ไบอัสของความคลาดเคลื่อนอนุโลม} = \frac{\text{ค่าไบอัส}}{\text{USL - LSL}} \times 100\%$$

$$\%\ \text{ไบอัสของกระบวนการ} = \frac{\text{ค่าไบอัส}}{\text{ความผันแปรของกระบวนการ}} \times 100\%$$

หาก	%ไบอัส < 5%	อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้
5% ≤	%ไบอัส < 10%	อาจจะยอมรับได้ โดยพิจารณาปัจจัยอื่นๆด้วย เช่น ค่าใช้จ่าย
	%ไบอัส ≥ 10%	ไม่สามารถยอมรับได้ ต้องหาสาเหตุและทำการแก้ไข

วิธีที่ 2 วิธีการใช้แผนภูมิควบคุม *X* - R

วิธีนี้จะเก็บข้อมูล 20-25 ตัวอย่าง โดยแต่ละตัวอย่างประกอบจากการวัด 3-5 ครั้ง บนชิ้นงานเดียวกันและพนักงานวัดคนเดียว แล้วพล็อตค่าลงในแผนภูมิควบคุม จากนั้นตรวจสอบความผิดปกติบนแผนภูมิ R ก่อนที่จะดูที่แผนภูมิควบคุม *X* – R หากพบตัวอย่างที่เกิดจากความผันแปรจากสาเหตุผิดพลาด (assignable causes) ให้ตัดตัวอย่างนั้นทิ้ง ทบทวน

จนกระทั่งได้ข้อมูลที่อยู่ในควบคุม แล้วคำนวณค่าเฉลี่ยของทุกกลุ่มตัวอย่าง จากนั้นคำนวณค่าไบอัส โดยที่ ค่าไบอัส = *X* - ค่าอ้างอิง

การประเมินผลคุณสมบัติด้านเสถียรภาพของระบบการวัด

ใช้วิธีการของแผนภูมิควบคุมเช่นเดียวกัน หากแผนภูมิ R แสดงการออกนอกควบคุม แสดงว่า ความสามารถในการวัดซ้ำในเชิงรีพีททะบิลิตี้ ไม่เสถียรหรือมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาอย่างมีนัยสำคัญ หากแผนภูมิ *X* แสดงการออกนอกควบคุม แสดงว่า ค่าไบอัสมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาอย่างมีนัยสำคัญ จากนั้นประเมินค่าความมีเสถียรภาพของระบบการวัด จาก

ค่าความมีเสถียรภาพ = $\overline{\overline{X}}_2 - \overline{\overline{X}}_1$

โดยที่ $\overline{\overline{X}}_1$ คือ ค่าเฉลี่ยทั้งหมดเมื่อเริ่มต้นศึกษา

$\overline{\overline{X}}_2$ คือ ค่าเฉลี่ยทั้งหมดเมื่อพบการออกนอกการควบคุมของแผนภูมิ $\overline{X}$

จากนั้นประเมินผลค่าความมีเสถียรภาพเทียบกับค่าคลาดเคลื่อนอนุโลม โดยใช้สูตรและเกณฑ์การประเมินตามในกรณีของการประเมินค่าไบอัส

การประเมินผลคุณสมบัติเชิงเส้นตรงของระบบการวัด

การประเมินผลคุณสมบัติ เชิงเส้นตรงของระบบการวัด เป็นการทดสอบว่า ค่าไบอัสมีการเปลี่ยนแปลงหรือมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับย่านวัด หรือไม่ ซึ่งมีวิธีการดังนี้

1. เลือกชิ้นงาน 5-8 ชิ้น ให้ครอบคลุมย่านวัด
2. วั ดชิ้นงานแต่ละชิ้น อย่างน้อยชิ้นละ 10 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ย และกำหนดเป็นค่าอ้างอิงหรือค่ามาสเตอร์
3. ให้พนักงานที่มีความสามารถในการวัดเป็นอย่างดี มาวัดงานมาสเตอร์ อย่างน้อยชิ้นละ 10 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ย โดยลำดับการวัดงานมาสเตอร์ต้องเป็นไปอย่างสุ่ม
4. คำนวณค่าไบอัสที่แต่ละค่ามาสเตอร์ โดย

ค่าไบอัส = ค่าเฉลี่ยของค่าที่วัด ─ ค่ามาสเตอร์

5. พล็อตกราฟระหว่างแต่ละคู่ของค่ามาสเตอร์และค่าไบอัสที่ค่ามาสเตอร์นั้นๆ และใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนในการทดสอบว่าค่ามาสเตอร์ และค่าไบอัสมีความสัมพันธ์กันเชิงเส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ หากมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ จึงคำนวณสมการถดถอยเชิงเส้นตรงและใช้สัมประสิทธ์ของสมการถดถอยที่แปลงเป็นเปอร์เซ็นต์ แล้วในการ

แสดงค่า % เชิงเส้นตรง จากนั้นเปรียบเทียบค่า % เชิงเส้นตรงกับเกณฑ์ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ในการตัดสินใจว่าจะยอมรับหรือไม่

การประเมินผลคุณสมบัติด้านความแม่นของระบบการวัด

การประเมินผลคุณสมบัติ ด้านความแม่นของระบบการวัด โดยประมาณค่าความผันแปรด้านรีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้ โดยวิธีอาศัยค่าเฉลี่ยและพิสัยดังนี้

1. สุ่มพนักงานวัดมา 2-4 คน จากพนักงานวัดทั้งหมด
2. สุ่มชิ้นงานมา 10 ชิ้น ให้ครอบคลุมช่วงความผันแปรของกระบวนการ
3. ให้พนักงานแต่ละคนวัดชิ้นงานทุกชิ้นอย่างสุ่ม ชิ้นละ 2-3 ครั้ง
4. คำนวณค่าเฉลี่ยและพิสัยของค่าวัดของแต่ละชิ้นงาน โดยพนักงานวัดแต่ละคน
5. คำนวณค่าเฉลี่ยและพิสัยของค่าวัดโดยเฉลี่ยของพนักงานวัดแต่ละคน

ตารางที่ 2.8 ข้อมูลเพื่อประเมินคุณสมบัติด้านความแม่นของระบบการวัด

Part Number	Operator 1 Measurements 1	2	$\bar{x}$	R	Operator 2 Measurements 1	2	$\bar{x}$	R	Operator 3 Measurements 1	2	$\bar{x}$	R
1	21	20	20.5	1	20	20	20.0	0	19	21	20.0	2
2	24	23	23.5	1	24	24	24.0	0	23	24	23.5	1
3	20	21	20.5	1	19	21	20.0	2	20	22	21.0	2
4	27	27	27.0	0	28	26	27.0	2	27	28	27.5	1
5	19	18	18.5	1	19	18	18.5	1	18	21	19.5	3
6	23	21	22.0	2	24	21	22.5	3	23	22	22.5	1
7	22	21	21.5	1	22	24	23.0	2	22	20	21.0	2
8	19	17	18.0	2	18	20	19.0	2	19	18	18.5	1
9	24	23	23.5	1	25	23	24.0	2	24	24	24.0	0
10	25	23	24.0	2	26	25	25.5	1	24	25	24.5	1
11	21	20	20.5	1	20	20	20.0	0	21	20	20.5	1
12	18	19	18.5	1	17	19	18.0	2	18	19	18.5	1
13	23	25	24.0	2	25	25	25.0	0	25	25	25.0	0
14	24	24	24.0	0	23	25	24.0	2	24	25	24.5	1
15	29	30	29.5	1	30	28	29.0	2	21	20	20.5	1
16	26	26	26.0	0	25	26	25.5	1	25	27	26.0	2
17	20	20	20.0	0	19	20	19.5	1	20	20	20.0	0
18	19	21	20.0	2	19	19	19.0	0	21	23	22.0	2
19	25	26	25.5	1	25	24	24.5	1	25	25	25.0	0
20	19	19	19.0	0	18	17	17.5	1	19	17	18.0	2
	$\bar{\bar{x}}_1 = 22.30$		$\bar{R}_1 = 1.00$		$\bar{\bar{x}}_2 = 22.28$		$\bar{R}_2 = 1.25$		$\bar{\bar{x}}_3 = 22.10$		$\bar{R}_3 = 1.20$	

6. ประเมินค่าความผันแปรด้านรีพีททะบิลิตี้ จาก

$$\hat{\sigma}_{repeatability} = \frac{\overline{\overline{R}}}{d_2}$$

โดยที่ $$\overline{\overline{R}} = \frac{\overline{R}_1 + \overline{R}_2 + \cdots + \overline{R}_p}{p}$$

$\overline{R}_i$ = ค่าเฉลี่ยของพิสัยของทุกชิ้นงาน ที่วัดโดยพนักงานวัดคนที่ *i*

d_2 = ค่าคงที่ ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดตัวอย่าง ซึ่งในที่นี้คือ จำนวนครั้งของการวัดซ้ำของแต่ละชิ้นงาน โดยแต่ละคน

7. ประเมินค่าความผันแปรด้านรีโปรดิวซิบิลิตี้ จาก

$$\hat{\sigma}_{reproducibility} = \frac{R_{\overline{\overline{x}}}}{d_2}$$

โดยที่ $$R_{\overline{\overline{x}}} = \overline{\overline{x}}_{\max} - \overline{\overline{x}}_{\min}$$

$$\overline{\overline{x}}_{\max} = \max(\overline{\overline{x}}_1, \overline{\overline{x}}_2, \ldots \overline{\overline{x}}_p)$$

$$\overline{\overline{x}}_{\min} = \min(\overline{\overline{x}}_1, \overline{\overline{x}}_2, \ldots \overline{\overline{x}}_p)$$

$\overline{X}_i$ = ค่าเฉลี่ยของค่าที่วัดได้ทั้งหมดของพนักงานวัดคนที่ *i*

d_2 = ค่าคงที่ ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดตัวอย่าง ซึ่งในที่นี้คือ จำนวนพนักงานวัด

8. ประเมินว่าจะยอมรับระดับความแม่นของระบบการวัดหรือไม่ โดยคำนวณค่า Precision-to-Tolerance Ratio (P/T) หรือ Precision-to-Total Variation (P/TV) หาก P/T หรือ P/TV น้อยกว่า 10% จะยอมรับว่าระบบการวัดมีความแม่นเพียงพอ

โดยที่ $$P/T = \frac{6\hat{\sigma}_{gage}}{USL - LSL}$$ และ $$P/TV = \frac{\hat{\sigma}_{gage}}{\hat{\sigma}_{total}}$$

และ $$\hat{\sigma}^2_{gage} = \hat{\sigma}^2_{repeatability} + \hat{\sigma}^2_{reproduciblity}$$

$$\sigma^2_{Total} = \sigma^2_{product} + \sigma^2_{gage}$$

2.1.8 การเลือกใช้สถิติในการวิจัย

การเลือกใช้สถิติเพื่อการวิเคราะห์ข้อมูลเป็นขั้นตอนที่มีความยุ่งยากสำหรับผู้วิจัยเป็นอย่างมากเพราะ ต้องพิจารณาถึงเหตุผล หลักการต่างๆ ของการวิจัยประกอบเป็นอย่างมาก จากตารางต่อไปนี้เป็นหลักการสำหรับการเลือกใช้สถิติตามเงื่อนไขต่างๆ พอสรุปได้ดังนี้

ความสัมพันธ์ระหว่างธรรมชาติของสถิติ ระดับการวัด จำนวนกลุ่มของข้อมูล และสถิติที่ใช้ในการทดสอบ

ธรรมชาติของสถิติ	ระดับข้อมูล	จำนวนกลุ่มของข้อมูล	สถิติที่ใช้ทดสอบ
1. สถิติอ้างอิง	Nominal	1) 1 กลุ่ม	1) binomial test , χ^2 one sample test
		2) 2 กลุ่ม ไม่เป็นอิสระต่อกัน	2) McNemar test for significant of change
		3) 2 กลุ่มที่เป็นอิสระต่อกัน	3) Fisher exact probability test , χ^2 test แบบ two indepent samples
		4) มากกว่า 2 กลุ่มที่ไม่เป็นอิสระต่อกัน	4) Cochran Q test
		5) มากกว่า 2 กลุ่มที่เป็นอิสระต่อกัน	5) K - independent samples
2. สถิติพรรณนา	Nominal	6) การหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	6) contigency coefficient
1. สถิติอ้างอิง	Oridinal	1) 1 กลุ่ม	1) Kolmogorov - Smimov one - sample test หรือ one - sample run test
		2) 2 กลุ่ม ไม่เป็นอิสระต่อกัน	2) sign test หรือ Wilcoxon matched -pairs , signed - ranks
		3) 2 กลุ่มที่เป็นอิสระต่อกัน	3) Median test , Mann - Whitney , U - Test , Komogorov - Smirnov Two - samples test , Wald - Wolfowitz runs test หรือ Moses test of extreme reaction
		4) มากกว่า 2 กลุ่มที่ไม่เป็นอิสระต่อกัน	4) Friedman two - ways analysis of variance
		5) มากกว่า 2 กลุ่มที่เป็นอิสระต่อกัน	5) extension of the median test หรือ Kruskal - Wallis one - way ANOVE
2. สถิติพรรณนา	Oridinal	6) การหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	6) Spearman rank correlation , Kendall rank correlation , Kendall partial rank correlation

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความสัมพันธ์ระหว่างระหว่างธรรมชาติของสถิติ ระดับการวัด จำนวนกลุ่มของข้อมูล และสถิติที่ใช้ในการทดสอบ (ต่อ)

ธรรมชาติของสถิติ	ระดับข้อมูล	จำนวนกลุ่มของข้อมูล	สถิติที่ใช้ทดสอบ
1. สถิติอ้างอิง	Interval	1) 1 กลุ่ม มีขนาดน้อยกว่า 30	1) t-test แบบ dependent
		2) 1 กลุ่ม มีขนาดมากกว่า 30	2) Z-test แบบ dependent
		3) 2 กลุ่มที่ไม่ยึดข้อตกลงเกี่ยวกับการแจกแจงโค้งปก การทดสอบใช้ nonparametric เมื่อ	
		3.1) 2 กลุ่มไม่เป็นอิสระต่อกัน	3.1) Walsh test หรือ randomization for match pairs
		3.2) 2 กลุ่มไม่เป็นอิสระต่อกัน	3.2) randomization test for two independent samples
		4) 2 กลุ่ม ยึดข้อตกลงเบื้องต้นของการแจกแจงโค้งปกติ การทดสอบใช้ parametric เมื่อ	
		4.1) 2 กลุ่มไม่เป็นอิสระต่อกัน	4.1) t-test แบบ dependent
		4.2) 2 กลุ่มที่เป็นอิสระต่อกัน ขนาดกลุ่มน้อยกว่า 30	4.2) t-test แบบ independent
		4.3) 2 กลุ่มที่เป็นอิสระต่อกัน ขนาดกลุ่มมากกว่า 30	4.3) Z-test แบบ independent
		5) มากกว่า 2 กลุ่มไม่เป็นอิสระต่อกัน	5) ANOVA แบบวัดซ้ำ
		6) มากกว่า 2 กลุ่มเป็นอิสระต่อกัน	6) ANOVA แบบธรรมดา , factorial design , หรือ ANOVA แบบใดขึ้นอยู่กับแผนแบบการวิจัย
2. สถิติพรรณนา	Interval	7) การหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	7) product moment correlation , partial correlation , multiple correlation หรือ factor analysis ตามลักษณะของจุดมุ่งหมาย
สถิติอ้างอิงและสถิติพรรณนา	Ratio	เหมือนกับ Interval	ใช้เทคนิคเหมือนกับ Interval

2.1.9 **แผนภูมิควบคุม** (Control Chart)

การควบคุมคุณภาพโดยวิธีทางสถิติ เป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์ต่อการประเมินผล ซึ่งใช้กันมากในบริษัทหรืออุตสาหกรรมที่มีระบบการควบคุมคุณภาพ ไม่จำเป็นต้องใช้นักสถิติ แต่จะใช้นักควบคุมคุณภาพที่ได้รับการฝึกอบรม

การประเมินผลข้อมูลจากการควบคุมคุณภาพ เป็นหน้าที่หลักของนักควบคุมคุณภาพ นอกเหนือจากการทำงานในห้องปฏิบัติการ หรือกล่าวได้ว่านักควบคุมคุณภาพจะต้องรับผิดชอบต่อการกระทำเพื่อให้ผลิตภัณฑ์อยู่ในขอบเขตที่กำหนด และเกิดความเข้าใจของระบบการควบคุมคุณภาพโดยวิธีทางสถิติ จำเป็นต้องยอมรับว่าความผันแปรอาจเกิดขึ้นได้เสมอในการวัดคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

1. Chance causes ความแปรปรวนที่เกิดจากอุบัติเหตุหรือโดยบังเอิญ
2. Assignable causes ความแปรปรวนที่สามารถตรวจพบและแก้ไขด้วยวิธีที่เหมาะสม

ดังนั้นวิธีการควบคุมคุณภาพจึงใช้หลักการและวิธีการทางสถิติ เพื่อการวัดขนาดของความแปรปรวนที่เกิดโดยบังเอิญ และตรวจหาความแปรปรวนที่เกิดโดยความตั้งใจ โดยยึดหลัก กฎของความน่าจะเป็น (Law of probability)

แผนภูมิควบคุม จัดเป็นเทคนิคหรือเครื่องมือที่ใช้ในการประเมินความสามารถของกระบวนการ หรือตัวแปรที่สามารถวัดค่าได้เป็นตัวเลข เพื่อแสดงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเมื่อดำเนินการอยู่ในระดับที่พอใจ แผนภูมิควบคุมสามารถแสดงการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ถ้าตัวอย่างมีค่าเฉลี่ยอยู่นอกเขตที่ควบคุม แสดงว่ามีข้อผิดพลาดที่เกิดจาก assignable cause ที่ต้องได้รับการแก้ไข

วัตถุประสงค์ของแผนภูมิควบคุม

1. เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจในปัจจุบันเกี่ยวกับสิ่งที่ได้ทำการผลิตไปแล้ว หรือใช้เป็นข้อมูลช่วยติดสินใจว่าสิ่งที่ผลิตไปนั้นเหมาะสมที่จะส่งออกจำหน่ายไปยังลูกค้า หรือจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนแปลงอะไรบ้าง
2. เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจเกี่ยวกับกระบวนการผลิต หรือ ใช้เป็นข้อมูลช่วยตัดสินใจว่าเมื่อเกิดการแปรปรวนที่เป็นปกติขึ้น ก็ควรจะปล่อยให้กระบวนการนั้นดำเนิน

ต่อไป และเมื่อเกิดความแปรปรวนที่ไม่ปกติ ควรจะได้มีการค้นหา และขจัดสาเหตุอันเป็น Assignable cause ออกไป

3. เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจเกี่ยวกับ
   - Product specification
   - Production process
   - Inspection procedure
4. เพื่อใช้เป็นวิธีในการแสดงกระบวนการทำงาน หรือเป็นหลักในการควบคุมคุณภาพ

การพิจารณาก่อนการสร้างแผนภูมิควบคุม

1. **ต้องการวัดอะไร** (What) ในการควบคุมน้ำหนักของตัวอย่างที่เป็นของเหลว หมายถึงการวัดค่า **น้ำหนัก** หากจะนำไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์อื่นที่จำเป็นต้องพิจารณาให้ดีว่าควรจะวัดอะไร

   ตัวอย่าง ในการบรรจุชิ้นสับปะรดลงกระป๋อง ซึ่งอาจบรรจุได้ตั้งแต่ 5-9 ชิ้น ถ้าสมมุติว่าเพียง 5 ชิ้น ก็สามารถได้น้ำหนักตามกำหนด จะทำให้ได้กำไรมาก แต่มีปัญหา Overfill ขึ้น ดังนั้นจะใช้แผนภูมิควบคุมเพื่อควบคุมน้ำหนักบรรจุเพียงอย่างเดียวไม่ได้ จำเป็นต้องมีการควบคุมขนาดเข้ามาเกี่ยวข้อง เพื่อสามารถควบคุมได้ตามความต้องการ

2. **ทำการวัดอย่างไร** (How) วิธีการที่จะใช้วัดนั้นควรจะต้องตรงตามวัตถุประสงค์ ได้ค่าแม่นยำ และละเอียด ดังนั้นจึงควรเป็นวิธีการวัดที่สามารถใช้เครื่องมือได้มากกว่าที่จะใช้คน

   ตัวอย่าง ถ้าสมมุติว่าเครื่องบรรจุอัตโนมัติ (Filler) สามารถปรับให้ทำงานอย่างมีความละเอียดในช่วง $\pm$ 1.0 จึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับผู้ตรวจสอบต้องหาเครื่องชั่งที่สามารถบอกความละเอียดได้ใกล้เคียงกัน

3. **จะทำการวัดที่ไหน** (Where) โดยทั่วไปจุดที่ควรเป็นจุดควบคุมหรือทำการทดสอบ ควรอยู่ใกล้กับจุดที่ทำการผลิต มากกว่าที่จะไปอยู่ในห้อง Lab เช่น ต้องการควบคุมน้ำหนักบรรจุก็ควรจะทำใกล้กับเครื่องบรรจุ การวัดบางชนิดอาจมีความสำบาก เช่น การตรวจสอบทางเคมี อย่างไรก็ตามการทำแผนภูมิควรอยู่ในที่ที่สามารถดำเนินการแก้ไขได้ทันท่วงที

4. **จะทำการวัดเมื่อไร** (When) ความถี่ของการวัดอาจจะพิจารณาคล้ายกับการหาจำนวนตัวอย่าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ต้องการแยกขนาด จัดระดับชั้นคุณภาพ หรือการขนส่งตัวอย่าง ถ้าแผนการสุ่มตัวอย่างกำหนดว่า จะเก็บ 500 หน่วย จากการผลิตทั้งหมด 50,000 หน่วย ดังนั้นอาจทำการวัดทุก ๆ หน่วยที่ 100 แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการวัด เช่น ต้องการวัดเพื่อดูว่าจะเกิด out of control ให้เร็วที่สุด เพื่อจำเป็นต้องมีการแก้ไข ก็ต้องวัดให้ถี่มากขึ้น และมีผลต่อต้นทุน ของการวัด, ราคาที่ต้องสูญเสีย หากเกิด out of control โดยทั่วไปมักจะวัดตามช่วงเวลาที่สม่ำเสมอ

5. **ในแต่ละครั้งต้องวัดจำนวนเท่าไร** (How many) ในการสร้าง $\bar{X}$-R chart จำเป็นต้องมีหลายๆ ค่าในการวัดแต่ละครั้ง โดยทั่วไปจะใช้ 4-10 ค่า ขึ้นอยู่กับเวลาและต้นทุนที่ใช้

การประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม ควรดำเนินตามขั้นตอน ดังนี้

1. พิจารณา Process capability เป็นการศึกษาเบื้องต้น เพื่อดูว่าคุณลักษณะคุณภาพที่เฉพาะนั้นมีความสม่ำเสมอมากน้อยแค่ไหน สามารถควบคุมให้อยู่ในสภาวะของการทำงานในปัจจุบันได้หรือไม่
2. การปรับเพื่อให้ถึงจุดที่กำหนดโดยเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด กำหนดว่าความแปรปรวนของคุณภาพ เป็นคุณลักษณะของกระบวนการ ควรทำการเปลี่ยนแปลงเพื่อทำให้ระดับคุณภาพเฉลี่ยถึงจุดที่กำหนด หรือเพื่อลดต้นทุน
3. การปรับเพื่อปรับปรุงการทำงาน แผนภูมิควบคุมสามารถใช้เพื่อแสดงค่าเฉลี่ยของความแปร ปรวนของระดับคุณภาพที่ลดลง เพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์มีระดับความสม่ำเสมอสูงสุดและประหยัด

Determining Process Capability

ในการสร้างแผนภูมิควบคุม จำเป็นต้องสมมุติว่าความแปรปรวนเฉลี่ยจากการที่ทำการวัดค่าออกมาในช่วงเวลาหนึ่งๆ ควรมีค่าเดียวกันตลอด เพื่อว่าถ้าเราต้องการรักษาระดับคุณภาพเฉลี่ยให้เป็นเวลายาวนาน ก็สามารถจะควบคุมได้

ดังนั้นแผนภูมิควบคุมแบบ X Chart สามารถให้ข้อมูลว่าค่าเฉลี่ยนั้นตกอยู่ในช่วงไหนยังอยู่ในระดับที่ควบคุมหรือเปล่า ในทำนองเดียวกัน R Chart ก็แสดงว่าช่วงของการแปรปรวนเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือไม่

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การคำนวณ Control limit:-

$UCL = \overline{\overline{x}} + A_2\overline{R}$	$UCL = D_4\overline{R}$
Center Line $= \overline{\overline{x}}$	Center Line $= \overline{R}$
$LCL = \overline{\overline{x}} - A_2\overline{R}$	$LCL = D_3\overline{R}$

การวิเคราะห์สภาวะ Out of Control

เมื่อเกิด Out of Control จำเป็นต้องหาสาเหตุที่เป็น assignable cause ซึ่งจำเป็นต้องใช้ความรู้เกี่ยวกับชนิดของ out of control ในกรณีของ X และ R chart แบ่งออกเป็น

1. การเปลี่ยนแปลง หรือการกระโดดของข้อมูล
2. เกิด trend หรือ steady change ของข้อมูล
3. เกิดแล้วเกิดอีก เป็นวงจร
4. อาจเกิดข้อมูล 2 กลุ่มขึ้น
5. เกิดจากความผิดพลาด

1. **การเปลี่ยนแปลงหรือการกระโดดของข้อมูล** (Change or Jump) เกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอย่างทันที่ใน X, หรือ R chart หรือทั้งสอง

   $\overline{X}$ chart อาจมีสาเหตุมาจาก

   - ความตั้งใจหรือไม่ตั้งใจของการเปลี่ยนแปลงใน process
   - อาจเปลี่ยนคนทำงานใหม่ หรือไม่มีประสบการณ์
   - การใช้วัตถุดิบที่แตกต่างออกไป
   - เกิดการเสียของบางส่วนของเครื่องมือ

   R chart อาจมีสาเหตุมาจาก

   - คนทำงานที่ไม่มีประสบการณ์
   - มีความแปรปรวนอย่างมากของวัตถุดิบที่เข้ามา

การเกิด sudden change อาจจะเกิดขึ้นได้ทั้ง $\overline{X}$ และ R chart และพบบ่อยในช่วงต้นของการเริ่มใช้ control chart สาเหตุของการเกิดอาจเนื่องจากหลายสาเหตุ

2. Trend or steady change

การเกิด Steady change ใน control chart พบมากในการควบคุมในอุตสาหกรรม ซึ่งอาจเป็นแบบ upward หรือ downward สาเหตุของการเกิด ได้แก่

- การเสื่อมเสียของเครื่องมือที่เพิ่มขึ้นเป็นลำดับ
- การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ หรือความชื้นสัมพัทธ์ เป็นลำดับ
- ความหนืดในกระบวนการทางเคมี
- เกิดการสร้างลักษณะเศษชิ้นส่วน

สำหรับ R chart มักไม่ค่อยพบบ่อยนัก แต่ก็อาจมีสาเหตุมาจาก

- การปรับปรุงความสามารถของคนงาน (downward trend)
- การทำงานของคนงานลดลงเนื่องจากความเมื่อยล้า ความเบื่อ และไม่สนใจ
- เกิดการปรับปรุงความสม่ำเสมอของวัตถุดิบที่เข้ามา

3. Recurring cycles (Periodicity)

จะเกิดลักษณะเป็นเหมือนลูกคลื่นหรือเป็น cycle ดังแสดงในรูป สำหรับ $\overline{X}$ chart มีสาเหตุมาจาก

- ผลของวัตถุดิบที่มาเป็นฤดูกาล
- ผลของการเป็น cycle ของอุณหภูมิและความชื้น (เริ่มอากาศเย็นในตอนเช้า)
- เป็นผลทางด้านเคมี, กายภาพ หรือจิตวิทยา ที่เป็นรายวัน รายสัปดาห์
- การหมุนเวียนของคนงาน

การเกิด cycle สำหรับ R chart ไม่พบบ่อยเหมือน $\overline{X}$ chart แต่อาจมีสาเหตุมาจาก

- ความเมื่อยล้า ของคนงาน
- Lubrication cycle

บางครั้งการเกิด recurring cycle อาจจะไม่มีการรายงานผลเนื่องจาก cycle ของการตรวจสอบ

4. Two Universes (Approaching the limit)

เมื่อพบว่ามีค่าจำนวนหลายค่าที่อยู่ใกล้หรือนอกเขตควบคุม ซึ่งอาจแสดงผลว่าเกิดสภาวะ 2 สภาวะ ขึ้นเป็นลักษณะของ out of control

สาเหตุที่พบใน $\overline{X}$ chart คือ

- มีความแตกต่างอย่างมากในคุณภาพของวัตถุดิบ
- อาจใช้เครื่องมือมากกว่า 2 ใน chart เดียวกัน

- มีความแตกต่างอย่างมากในวิธีการตรวจสอบ หรือเครื่องมือ

สาเหตุที่พบใน R chart คือ

- คนงานต่างงาน แต่ใช้ chart อันเดียวกัน
- วัตถุดิบมาจากหลายแหล่งด้วยกัน

5. **Mistakes** จริงๆ แล้วในระบบการควบคุมคุณภาพไม่ควรเกิดความผิดพลาดขึ้น แต่ก็อาจมีผลทำให้เกิด out of control คือ
   - เครื่องมือใช้วัดหรือตรวจสอบไม่ได้มีการเทียบมาตรฐาน
   - เกิดผิดพลาดในการคำนวณ
   - เกิดผิดพลาดในการใช้เครื่องมือตรวจสอบ
   - เก็บตัวอย่างมาจากคนละกลุ่ม

สาเหตุที่ทำให้เกิด out of control ที่กล่าวนั้นเป็นโอกาสที่อาจเกิดขึ้น ซึ่งไม่ได้หมายความว่าจะเกิดทั้งหมด ทำให้ฝ่ายผลิตและฝ่ายควบคุมคุณภาพ ดำเนินการแก้ปัญหาในอุตสาหกรรม ซึ่งอาจเริ่มจากการสร้าง Assignable cause checklist แต่ถ้า out of control ไปเกิดในช่วง LCL ของ R chart แสดงว่าเป็นลักษณะที่ดีที่ต้องการ ต้องพยายามรักษาให้ดี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 การสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 A. S. Pazur (2547)

ศึกษาผลของกระบวนการผลิตและสูตรการผลิตที่มีต่อการเกิด gel ในพีวีซี พบว่า gel เกิดจากเม็ดพีวีซีขนาดประมาณ 150 ไมครอนซึ่งหลุดรอดมาจากกระบวนการผลิตและมาปรากฏบนผิวของผลิตภัณฑ์ ทำให้เกิดความไม่สวยงาม นอกจากนี้ยังทำให้เกิดปัญหาในสูตรที่เกี่ยวข้องกับทางด้านการแพทย์อีกด้วย อีกสาเหตุหนึ่งของปัญหาการเกิด gel ก็คือกระบวนการผลิต เช่น อุณหภูมิที่ใช้ในการผลิต ความเร็วรอบของสกรู นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับการปนเปื้อนในขั้นตอนของการผสม dry blend และ พีวีซีเรซิน

2.2.2 Judy E. Zabrecky (2547)

กล่าวถึงที่มาของปัญหา gel ว่าเกิดจากพีวีซีเรซินที่มีขนาดเม็ดใหญ่ทำให้หลอมได้ยากหรืออาจเกิดจากกระบวนการผลิตในขั้นตอนของการผสมแล้วทำให้เกิดการ agglomerate นอกจากนี้ยังกล่าวถึงวิธีที่ลูกค้าใช้ในการตรวจสอบปัญหา gel ได้แก่การใช้ Two roll mill และการใช้เครื่องมือที่เป็นระบบอัตโนมัติ

2.2.3 **พีระศักดิ์ ภู่อภิสิทธิ์** (2543)

ศึกษาสาเหตุที่ทำให้เกิดความสูญเสียขึ้นในโรงงาน เก็บรวบรวมข้อมูลทางสถิติเพื่อเลือกปัญหาที่มีความสำคัญมากที่สุดมาแก้ไขก่อน จากนั้นจึงดำเนินการปรับปรุง โดยเน้นไปที่คน เครื่องจักร วิธีการ และวัตถุดิบ จากนั้นจึงเสนอระบบควบคุมการผลิตให้กับโรงงาน

2.2.4 **ผ่องศรี ทัพถาวร** (2546)

ศึกษาวิธีการซิกซ์ ซิกม่าเพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตกระป๋องซึ่งเกิดจากความบกพร่องของระบบคุณภาพ พบว่าสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตลดลงจาก 4400 DPM เป็น 2849 DPM

2.2.5 **สุวรรณี สินธุ์ชัย** (2547)

ศึกษาสาเหตุที่ทำให้เกิดความสูญเสียเนื่องจากผลิตภัณฑ์เป็นจุดดำ โดยการเก็บรวบรวมข้อมูลทางสถิติมาจัดทำ Pareto chart เพื่อเลือกปัญหาที่มีความสำคัญมากที่สุดมาแก้ไขก่อนโดยใช้วิธีการซิกซ์ ซิกม่าเป็นแนวทางในการศึกษา

2.2.6 **อัชริยา เก็งวินิจ** (2544)

ศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยของมุมของแขนจับยึดหัวอ่านเขียนและเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยมุมของแขนจับยึดหัวอ่านเขียน โดยวัดค่า C_{pk} ซึ่งมีค่าเริ่มแรกเท่ากับ 0.83 ซึ่งในขั้นแรกมีค่าปัจจัยที่มีอิทธิพลจากการวิเคราะห์ข้อบกพร่องในกระบวนการผลิต 7 ปัจจัย จากนั้นใช้หลักการทดสอบสมมติฐานเหลือปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อมุม 4 ปัจจัย แล้วนำไปทำการทดลองแบบ 2^k พบว่าทั้ง 4 ปัจจัยรวมถึงเทอมของปฏิสัมพันธ์มีผล เมื่อทำการทดลองเปลี่ยนตามค่าของปัจจัยที่เหมาะสม พบว่า C_{pk} อยู่ที่ 1.1 โดยเพิ่มจากเดิม 0.27

2.2.6 **วีรพจน์ เหล่าโพธิวิหาร** (2544)

ศึกษาทฤษฎีและขั้นตอนในการนำระบบ ซิกซ์ ซิกม่า มาใช้ในการปรับปรุงผลิตรวมถึงแนวทางการปรับปรุงอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ ประกอบด้วยแผนการดำเนินงาน กระบวนการการจัดโครงสร้างองค์กร การอบรม และเส้นทางของระบบ ซิกซ์ ซิกม่า ซึ่งสามารถประหยัดต้นทุนได้เกินกว่าเป้าที่ตั้งไว้

.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

การนิยามปัญหา

3.1 บทนำ

จากขั้นตอนของ ซิกซ์ ซิกม่า ระยะที่ 1 การนิยามปัญหา (Define) เครื่องมือที่จะนำมาใช้ในการวิจัยประกอบด้วย

- การกำหนดสถานะของปัญหา (Problem Statement) เพราะจะทำให้ทราบขอบเขตความสำคัญของปัญหารวมไปถึงที่มาของปัญหา ซึ่งจะนำไปสู่แนวทางในการแก้ไขต่อไป
- การศึกษากระบวนการผลิต เพราะจะช่วยให้สามารถเข้าใจรายละเอียดต่าง ๆ ของกระบวนการผลิตและวิธีการปฏิบัติงานย่อยในการดำเนินการผลิตที่จะสนับสนุนในการหาสาเหตุของปัญหาต่าง ๆ ที่อยู่ในกระบวนการผลิตได้
- คำนวณหาผลรวมสัดส่วนของเสีย เพราะต้องการทราบสถานะการดำเนินการผลิตของกระบวนการที่มีการจำแนกลงไปในกระบวนการย่อย ๆ ซึ่งช่วยในการบ่งชี้ว่ากระบวนการย่อยใดที่เป็นจุดวิกฤตของกระบวนการรวมทั้งหมดที่ควรปรับปรุงแก้ไขเป็นอันดับแรก

3.2 การกำหนดทีมดำเนินงาน

ในการกำหนดทีมดำเนินงานที่คัดเลือกจากผู้ที่มีความรู้ ความชำนาญในส่วนของกระบวนการที่เลือกทำการปรับปรุงเพื่อช่วยในการสนับสนุนการทดลองและระดมความคิดด้วยเครื่องมือและเทคนิคต่าง ๆ ที่ใช้ในการดำเนินงานเพื่อให้บรรลุเป้าหมายซึ่งทีมดำเนินงานประกอบไปด้วยบุคคลที่มาจากส่วนต่าง ๆ ดังนี้

- ผู้จัดการโรงงาน
- ผู้จัดการส่วนประกันคุณภาพ
- วิศวการกระบวนการผลิต

- วิศวการส่วนประกันคุณภาพ
- ผู้ดำเนินการวิจัยและประสานงาน

3.3 การศึกษากระบวนการผลิต

กระบวนการผลิต PVC Compound แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนใหญ่ ๆ คือ

- ระบบชั่งวัตถุดิบ
- ระบบการผสมวัตถุดิบที่ชั่งแล้ว
- ระบบการอัดรีด

3.3.1 ระบบชั่งวัตถุดิบ

เป็นการเตรียมวัตถุดิบให้ได้ตามสูตรที่มีลักษณะของผลิตภัณฑ์ตามที่ลูกค้าต้องการ ซึ่งในกระบวนการชั่งจะประกอบด้วย Hopper/Silo/Tank ต่าง ๆ ที่บรรจุวัตถุดิบหลักคือ PVC Resin, Filler, Impact Modifier และ Plasticizer

กระบวนการชั่งวัตถุดิบจะถูกควบคุมด้วยระบบ PLC (Programmable Logic Controller) โดยควบคุมน้ำหนักการชั่งด้วย Load cell การขนถ่ายวัตถุดิบของแข็งจาก Silo/Hopper ไปสู่เครื่องชั่งสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้ Screw Feeder และระบบสุญญากาศ เป็นต้น ส่วนการขนถ่ายของเหลวจะใช้ปั๊มช่วยในการขนถ่าย

หลังจากที่ระบบการชั่งวัตถุดิบได้ทำงานครบทุกขั้นตอน และได้วัตถุดิบที่มีน้ำหนักตามสูตรแล้ว เครื่องชั่งจะแสดงสถานะว่า “Ready” แล้วส่งสัญญาณให้ Mixer เพื่อให้เรียกวัตถุดิบลงไปผสมต่อไป

3.3.2 ระบบการผสมวัตถุดิบที่ชั่งแล้ว

ขั้นตอนการผสม PVC Compound มีวัตถุประสงค์เพื่อให้วัตถุดิบที่ชั่งตามสูตรนั้น ๆ เกิดการคลุกเคล้าให้เกิดทั้ง Distributive Mixing และ Disperse Mixing โดยอาศัย High Speed

Mixer ในระหว่างการผสมจะเกิดความร้อน ซึ่งเป็น Frictional Heat ที่เกิดจากการเสียดสีระหว่างใบพัดกับวัตถุดิบ โดยไม่ต้องอาศัยแหล่งความร้อนจากภายนอก

การทำงานของระบบการผสมวัตถุดิบจะเป็น Batch Process และส่วนใหญ่จะควบคุมอุณหภูมิแบบอัตโนมัติ ซึ่งจะทำงานในช่วง 80-130 ^{o}C เมื่ออุณหภูมิของวัตถุดิบสูงถึงจุดที่เหมาะสมแล้วซึ่งเรียกว่า Dry Blend จะถูกปล่อยลง Hopper เพื่อรอการอัดรีดเป็นพลาสติกต่อไป

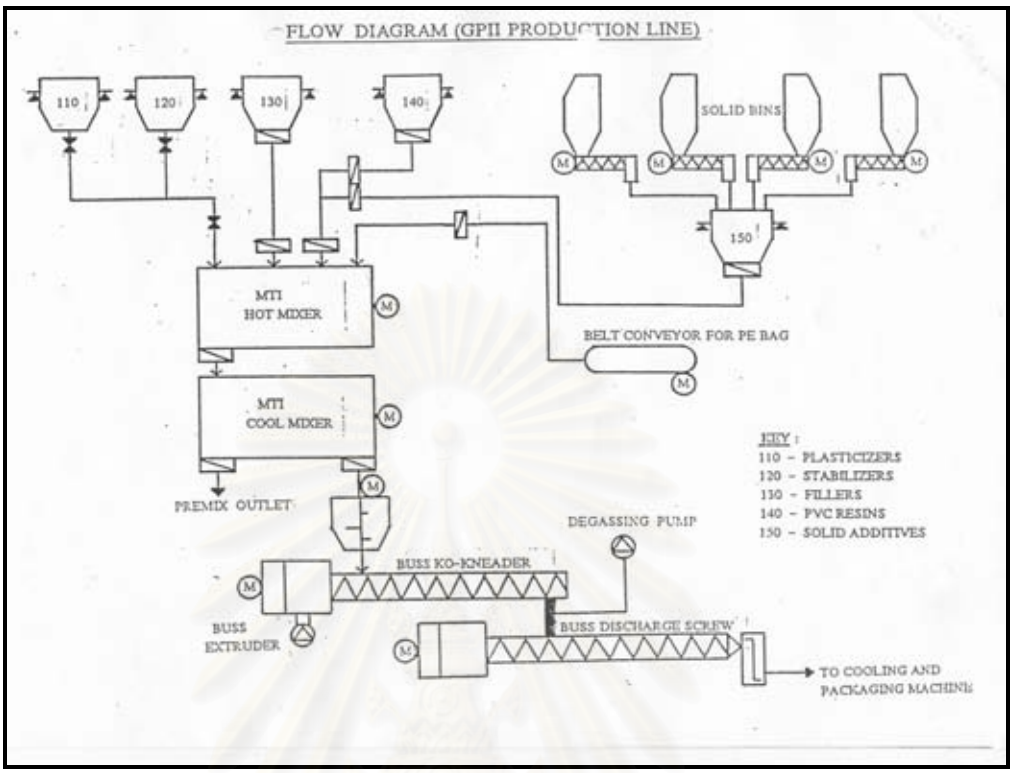
3.3.3 ระบบการอัดรีด

ขั้นตอนการอัดรีดทำหน้าที่หลอมเหลว Dry Blend ซึ่งมีสภาพเป็นผงให้เปลี่ยนเป็นเนื้อพลาสติกโดยเครื่องจักรที่เรียกว่า Extruder ซึ่งแหล่งความร้อนที่ใช้ในการหลอมเหลวมาจาก Heater ที่ส่งความร้อนผ่านผนังที่ Dry Blend ไหลผ่าน และจาก Mechanical Heat ที่เกิดจากแรงเฉือนของ Screw ที่เสียดสีกับ Dry Blend ที่ไหลอยู่ใน Extruder

Dry Blend จาก Dry Blend Hopper จะถูกป้อนเข้าสู่เครื่อง Extruder ตลอดเวลาซึ่งมี Screw ลำเลียงพลาสติกเหลวไปยัง Die Plate ที่มีลักษณะเป็นรูคล้ายรังผึ้ง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3-3.6 มม. ที่ผิวหน้าของ Die Plate จะมีใบมีดตัดพลาสติกที่ไหลออกมาจากรูของ Die Plate ให้เป็นเม็ดพลาสติก หลังจากนั้นเม็ดจะถูกลำเลียงไปลดอุณหภูมิที่ Cooling Unit โดยใช้ลมในการเป่าเม็ดที่ออกมาจาก Cooling Unit จะถูกส่งลงไปสู่ Hopper เพื่อบรรจุส่งไปให้ลูกค้าต่อไป

กระบวนการผลิต PVC Compound สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.1 แผนผังการผลิต พีวีซี คอมเปาน์ด

3.4 การนิยามปัญหา

จากตารางที่ 1.1 ซึ่งแสดงข้อมูลการร้องเรียนของลูกค้าในปี 2004 พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ส่งขายให้ลูกค้ายังมีปัญหาคุณภาพในเรื่องผิวเป็นตุ่ม (Gel) ซึ่งมีจำนวนครั้งในการร้องเรียนสูงสุดถึง 47 ครั้ง และเมื่อพิจารณาเฉพาะปัญหาเรื่องผิวเป็นตุ่ม (Gel) จะพบว่า ผลิตภัณฑ์ F มีจำนวนครั้งในการร้องเรียนสูงสุดคือ 18 ครั้ง

จากตารางที่ 1.2 เมื่อพิจารณาปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ถูกร้องเรียน คิดเป็น 150,000 กก. จากปริมาณการขายผลิตภัณฑ์ F ทั้งหมด 932,100 กก. เท่ากับ 16.09 % และคิดเป็นค่าเสียหายทั้งหมด 834,000 บาท และจากตารางที่ 1.3 เมื่อพิจารณาปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านข้อกำหนดการตรวจสอบ คิดเป็น 3,100 กก. จากปริมาณการผลิตผลิตภัณฑ์ F ทั้งหมด 1,539,103 กก. เท่ากับ 0.2 %

ดังนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อที่จะลดของเสีย เพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้คุณภาพถูกส่งออกไปถึงมือลูกค้า ซึ่งจะทำให้ลูกค้าขาดความเชื่อถือ เป็นความเสียหายที่ไม่อาจประเมินค่าออกมาในรูปค่าใช้จ่ายได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.5 การกำหนดขั้นตอนการดำเนินงานและเครื่องมือที่เลือกใช้

ตารางที่ 3.1 เครื่องมือที่เลือกใช้และตัววัดผลของขั้นตอนต่าง ๆ

วงจร (Phase)	เครื่องมือที่เลือกใช้	ตัววัดผล	ประโยชน์ในการดำเนินงาน
การวัดเพื่อกำหนดหาสาเหตุของปัญหา (Measurement Phase)	พิจารณาปริมาณของเสียในปัจจุบัน	ค่าผลรวมสัดส่วนของเสีย (%)	เป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณของเสีย ทำให้ทราบว่าในกระบวนการผลิตมีของเสียออกมาปริมาณเท่าใด
	การศึกษาระบบการวัด	การทดสอบโดยอันดับที่มีเครื่องหมาย	เป็นค่าที่สามารถแสดงถึงความแตกต่างของระบบการวัด 2 ระบบ เพื่อยืนยันก่อนดำเนินการในขั้นตอนต่อไป
	การระดมความคิดเพื่อแจกแจงวาเหตุและผลกระทบของกระบวนการ - ผังก้างปลา(Cause & Effect Diagram) - ตารางแสดงความความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล((Cause & Effect Matrix) - วิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ(Failure Mode & Effect Analysis : FMEA)	ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ (Key Process Input Variable - KPIV) เบื้องต้น	- ผังก้างปลาจะเป็นแผ่นภาพในบ่งชี้สาเหตุต่างๆของปัญหาโดยละเอียด ทำให้เห็นภาพรวมของปัญหาทั้งระบบ อีกทั้งครอบคลุมปัจจัยนำเข้าทั้งหมด ซึ่งทำให้เห็นรากเหง้าของปัญหา - ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล เป็นการให้คะแนนแก่ปัจจัยที่เป็นทั้งปัจจัยนำเข้าและผลของกระบวนการว่ามีความสัมพันธ์กันมากน้อยแค่ไหน เพื่อให้สามารถลดปัจจัยที่ไม่เกี่ยวข้องออกไปได้บางส่วน - วิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ เป็นวิธีการอย่างหนึ่งที่ทำให้เห็นถึงความรุนแรง ความถี่ การตรวจจับได้ของแต่ละปัญหา กล่าวคือช่วยกลั่นกรองปัจจัยนำเข้า หรือสาเหตุของปัญหาที่ได้จากการระดมความคิดของทีมงานที่มีหลักการอย่างสมเหตุสมผล

ตารางที่ 3.1 (ต่อ) ตารางแสดงเครื่องมือที่เลือกใช้และตัววัดผลของขั้นตอนต่างๆ

วงจร (Phase)	เครื่องมือที่เลือกใช้	ตัววัดผล	ประโยชน์ในการดำเนินงาน
การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze Phase)	การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing) - 2 Sample T-Test - Test of Variance	P-Value น้อยกว่า 0.05	เพื่อเปรียบเทียบว่าระดับในแต่ละปัจจัยนั้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกันหรือไม่ ซึ่งเปรียบเทียบทั้งค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนทั้งนี้เพื่อเป็นการคัดเลือกเฉพาะปัจจัยที่มีความแตกต่างกันเท่านั้น
การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improvement Phase)	การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k	P-Value น้อยกว่า 0.05	เป็นการพิจารณาว่าในแต่ละระดับของทุกๆ ปัจจัยที่มีความสำคัญนั้นส่งผลกระทบโดยตรงหรือมีอันตรกิริยาเกิดขึ้นหรือไม่เพื่อสามารถคัดเลือกปัจจัยมาทำการหาค่าระดับที่เหมาะสม
	การวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบ (Response Surface)	P-Value น้อยกว่า 0.05	เพื่อหาการกำหนดระดับของปัจจัยที่มีนัยสำคัญอย่างเหมาะสมในกรณีที่รูปแบบสมการของการออกแบบการทดลองนั้นไม่เป็นเส้นตรง
	การทดสอบการยืนยันผล	ค่าผลรวมสัดส่วนของเสีย (%)	เพื่อเป็นการยืนยันว่าค่าระดับของปัจจัยที่เหมาะสมนั้นสามารถนำไปดำเนินการผลิตได้ในกระบวนการผลิตจริง
การควบคุมการผลิต (Control Phase)	การควบคุมคุณภาพของกระบวนการโดยอาศัยสถิติ (Statistical Process Control - SPC)	ค่าผลรวมสัดส่วนของเสีย (%)	เพื่อเป็นการควบคุมให้ปัจจัยต่างๆ อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้และหากเกิดเหตุการณ์ที่ปัจจัยออกนอกเส้นควบคุมก็มีมาตรการในการดำเนินการแก้ไขไม่ให้เกิดของเสียเกิดขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา

4.1. บทนำ

จากขั้นตอนของ ซิกซ์ ซิกม่า ระยะที่ 2 การวัด (Measurement) เครื่องมือที่นำมาใช้ในการวิจัยประกอบด้วย

- การวิเคราะห์ระบบการวัด เพราะก่อนที่จะเริ่มดำเนินการใดๆ ในวิธีการของซิกซ์ ซิกม่า นั้น ถ้าผลลัพธ์ (KPIV) ที่เราต้องการปรับปรุงนั้น จำเป็นต้องมีความน่าเชื่อถือ ดังนั้น ระบบการในกระบวนการที่ทำการศึกษาวิจัย จะต้องเป็นระบบการวัดที่ดี
- การวิเคราะห์หาสาเหตุ และผล (Cause & Effect Diagram) ความสัมพันธ์ของสาเหตุ และผล (Cause & Effect Matrix) และการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่อง (FMEA) เพราะเครื่องมือทั้งสามนี้ช่วยในการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการ กล่าวคือช่วยในการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาจนถึงรากเหง้าของปัญหา (Root Cause) ซึ่งปัญหาต่างๆเหล่านั้นจะเป็นปัจจัยนำเข้าสำคัญที่ส่งผลต่อผลลัพธ์ของกระบวนการที่ต้องการปรับปรุงโดยมีการกลั่นกรองปัจจัยนำเข้าตามลำดับ

จากขั้นตอนของการนิยามปัญหาทำให้ทราบถึงลักษณะของปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการซึ่งจะนำไปสู่การกำหนดสาเหตุของปัญหาโดยกำหนดปัจจัยนำเข้าสำคัญ(KPIV) ของกระบวนการที่ประกอบด้วยขั้นตอนของการวิเคราะห์ระบบการวัด ซึ่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญก่อนที่จะนำไปสู่การวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้เทคนิคหรือเครื่องมือของซิกซ์ ซิกม่า อื่นๆ หลังจากพิสูจน์ได้แล้วว่าระบบการวัดของกระบวนการดี จึงนำไปสู่การวิเคราะห์ปัญหาจากแผนภาพสาเหตุและผล (Cause & Effect Diagram) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผล (C&E Matrix) และการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) ของปัญหาต่างๆ ตามลำดับโดยผลที่ได้จากขั้นตอนของการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา ทำให้ทราบถึงปัญหาที่เป็นปัจจัยนำเข้าสำคัญ(KPIV) จะนำไปวิเคราะห์ทางหลักสถิติในขั้นตอนของการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาต่อไป มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.2. การวิเคราะห์ระบบการวัด

ระบบการวัดเป็นเสมือนกลไกในการควบคุมผลิตภัณฑ์ และกระบวนการเพื่อเป็นการประกันคุณภาพสู่ลูกค้า กระบวนการวัดมีองค์ประกอบหลักๆ คือ เครื่องมือและพนักงานวัดซึ่งมีสาเหตุมาจากทักษะ ความชำนาญและระดับการฝึกฝน วิธีการวัด ชิ้นงานที่วัด สิ่งแวดล้อมในการวัดที่มีสาเหตุมาจากอุณหภูมิ ความชื้น และธรรมชาติ เนื่องจากแต่ละองค์ประกอบมีความไม่เท่ากันจึงเกิดความผันแปรในกระบวนการวัด

4.2.1 การศึกษาความถูกต้องของระบบการวัด

เป็นการพิจารณาและวิเคราะห์หาค่าความแตกต่างเนื่องจากการวัดโดยใช้ชิ้นงานเดียวกันเพื่อเปรียบเทียบระบบการวัดของบริษัทกับของลูกค้า ด้วยวิธีการทดสอบโดยอันดับที่มีเครื่องหมาย

4.2.1.1 การออกแบบการทดสอบระบบวัด

1. คัดเลือกพนักงานที่มีทักษะและได้รับการฝึกอบรมมาเป็นอย่างดี
2. คัดเลือกตัวอย่างในกระบวนการผลิตแบบสุ่ม 10 ตัวอย่าง
3. ทำการตรวจสอบตัวอย่างจนครบทุกตัวอย่างและทำการตรวจสอบตัวอย่างอีก 1 ครั้งด้วยวิธีการของลูกค้า บันทึกค่าลงในภาคผนวก ค
4. วิเคราะห์ผล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.1.2 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัด

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบระบบการวัดด้วยวิธีการทดสอบโดยอันดับที่มีเครื่องหมาย

ตัวอย่าง	จำนวนเจล		D=1-2	อันดับ	อันดับที่มีเครื่องหมาย
	บริษัท(1)	ลูกค้า(2)			
1	8	9	-1	3.5	-3.5
2	12	10	2	8.5	8.5
3	8	9	-1	3.5	-3.5
4	8	6	2	8.5	8.5
5	5	7	-2	8.5	-8.5
6	9	10	-1	3.5	-3.5
7	10	11	-1	3.5	-3.5
8	6	5	1	3.5	3.5
9	8	9	-1	3.5	-3.5
10	8	10	-2	8.5	-8.5

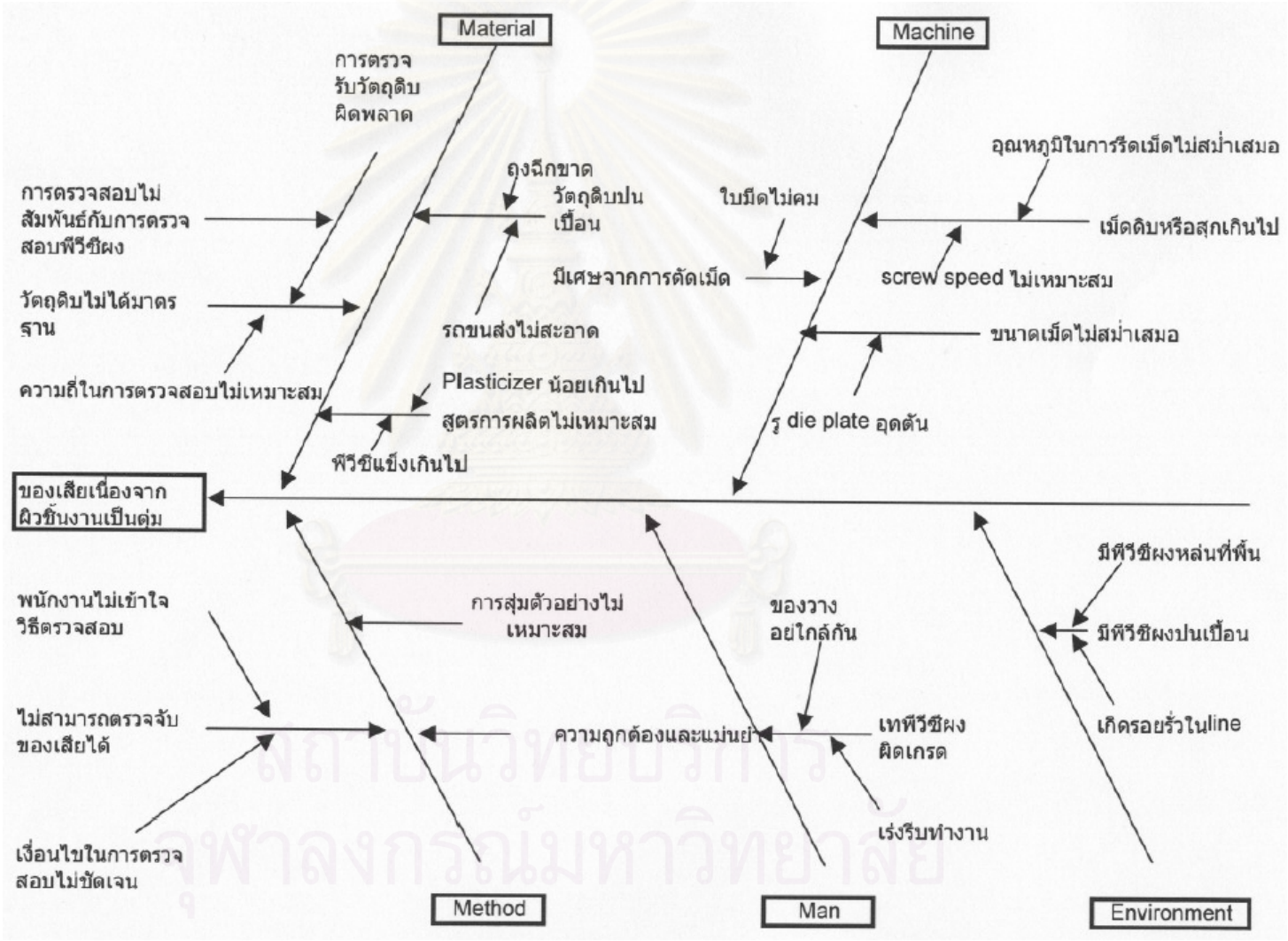
4.2.1.3 สรุปผลการวิเคราะห์ระบบการวัด

จากการวิเคราะห์ในตารางที่ 4.1 ได้ R^{+} = 20.5 และ R^{-} = 34.5 ได้ตัวสถิติสำหรับทดสอบ R = ค่าที่น้อยที่สุดระหว่าง (20.5, 34.5) = 20.5 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าวิกฤตสำหรับผลรวมของอันดับที่มีค่าต่ำที่สุดซึ่งเท่ากับ 8 เมื่อกำหนดระดับความมีนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่า R มีค่าน้อยอย่างไม่มีนัยสำคัญ เนื่องจากมีค่ามากกว่าค่าวิกฤต จึงสรุปได้ว่า วิธีการทดสอบของบริษัทและลูกค้าไม่มีความแตกต่างกัน จากการระดมความคิดร่วมกับลูกค้าและพิจารณาผลการทดลองร่วมกัน ลูกค้ามีความเห็นว่าวิธีการนี้มีความสัมพันธ์สอดคล้องกับการผลิตจริงของลูกค้า และให้ผลการตรวจสอบจำนวน gel ที่ใกล้เคียงกัน หลังจากทีมงานได้ระดมความคิดโดยคำนึงถึงค่าใช้จ่ายและโอกาสในการปรับปรุงระบบการวัดในอนาคต จึงสรุปให้ใช้ระบบการวัดนี้ได้

4.3 การวิเคราะห์ปัญหาจากสาเหตุและผล (Cause & Effect Diagram)

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการระดมความคิดเพื่อค้นหาสาเหตุสำหรับการวิเคราะห์ที่มีโอกาสเป็นไปได้มากที่สุด โดยสร้างภาพความสัมพันธ์ที่เป็นไปได้ระหว่างสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบันและจะเกิดในอนาคต ซึ่งต้องเจาะจงถึงเงื่อนไขที่เป็นสาเหตุของข้อกำหนดจากลูกค้าทำให้ได้แผนภาพการวิเคราะห์ปัญหาจากสาเหตุและผล (Cause & Effect Diagram) ดังรูปที่ 4.2 ซึ่งจะได้ปัจจัยนำเข้า (KPIV) ต่าง ๆ จากนั้นนำไปทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างผลของกระบวนการ (KPOV) และปัจจัยนำเข้า (KPIV) ในขั้นตอนต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.1 แผนภูมิแสดงเหตุและผลของปัญหาของเสียเนื่องจากผิวชิ้นงานเป็นคลื่น

4.4 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA)

หลังจากที่ได้พิจารณาเลือกปัจจัยที่สำคัญจากการพิจารณาด้วยการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์สาเหตุและผล(Cause & Effect Matrix) แล้วในขั้นตอนนี้จะนำปัจจัยเหล่านั้นมาวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) เพื่อที่จะศึกษาถึงลักษณะของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นของปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ พร้อมกับพิจารณาผลกระทบที่เกิดขึ้นด้วย ดังตารางที่ 4.2 โดยเกณฑ์ที่ใช้พิจารณาจะคำนึงถึงการให้คะแนนของ Risk Priority Number (RPN) ให้กับแต่ละปัญหา

การคำนวณค่า RPN ได้มาจากผลคูณค่าพารามิเตอร์ 3 ตัว คือ O*S*D เมื่อ

O = Occurrence คือ ระดับความเสี่ยงของการเกิดปัญหาความล้มเหลวหรือความผิดพลาด

S = Severity คือ ระดับความรุนแรงของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหานั้นขึ้น

D = Detection คือ ระดับความสามารถในการตรวจจับปัญหานั้นก่อนที่จะส่งมอบงานหรือผลิตภัณฑ์ไปให้ลูกค้า

ค่า O, S และ D นิยมใช้เป็นตัวเลขจำนวนเต็มมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 10 ดังนั้นค่าระดับความเสี่ยงต่ำสุดของการเกิดปัญหาคือค่า RPN เท่ากับ 1 ซึ่งมาจาก 1*1*1 หมายความว่าความถี่ของการเกิดปัญหานี้มีน้อยมากและความรุนแรงของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหานี้มีน้อยมากเช่นกัน และสามารถตรวจจับปัญหานี้ได้ก่อนส่งมอบให้แก่ลูกค้าอย่างสมบูรณ์

ในขณะที่ค่าระดับความเสี่ยงสูงสุดของการเกิดปัญหาคือค่า RPN เท่ากับ 1000 ซึ่งมาจาก 10*10*10 หมายความว่าความถี่ของการเกิดปัญหานี้มีมากและความรุนแรงของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหานี้มีมากรวมถึงความสามารถในการตรวจจับปัญหามีต่ำ

ในการให้คะแนนของทั้ง 3 พารามิเตอร์นั้น จะทำการวิเคราะห์และให้คะแนนโดยการระดมความคิดของทีมงานซึ่งจะมีผู้ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหลายๆฝ่าย เพื่อที่จะทำการกลั่นกรองให้เหลือเฉพาะปัจจัยที่มีความสำคัญต่อปัญหาจากนั้นทำการจัดลำดับความสำคัญก่อนที่จะนำไปทำการทดสอบสมมติฐานในขั้นตอนของการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาต่อไป

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความล้มเหลวและผลกระทบ

FAILURE MODE&EFFECT ANALYSIS PROCESS									
พื้นที่/เครื่องจักร/กระบวนการผลิต/ขั้นตอนการปฏิบัติ/กิจกรรม : การผลิตเม็ดพีวีซีคอมเปาน์ด โรงงาน : ผลิตเม็ดพีวีซีคอมเปาน์ด ตามแบบเอกสารหมายเลข : FMEA-1									
Item	เครื่องจักร อุปกรณ์/ระบบ	ความล้มเหลว	สาเหตุของความล้มเหลว	การควบคุมในปัจจุบัน	มาตรการป้องกัน/ควบคุม/แก้ไข	การประเมิน			
						Occurance	Severity	Detection	Risk Priority No.
						O	S	D	RPN
1	การตรวจรับวัตถุดิบพีวีซีผง	วัตถุดิบไม่ได้มาตรฐาน	วิธีการตรวจสอบไม่สัมพันธ์กับการตรวจสอบพีวีซีเม็ด	ทดสอบเฉพาะ basic spec.	ปรับการตรวจสอบให้สัมพันธ์กับการตรวจสอบพีวีซีเม็ด	4	5	3	60
			ความถี่ในการตรวจสอบไม่เหมาะสม	1 ตัวอย่าง/Tank car	เพิ่มความถี่ในการตรวจสอบ	3	5	5	75
			Tank car ไม่สะอาด	ไม่มีการควบคุม	ตรวจสอบ Tank car ก่อนบรรจุพีวีซีผง	4	5	3	60
			พีวีซีผงมีขนาดใหญ่เกินไป	ควบคุมขนาดที่ 100-200 ไมครอน	กำหนดตารางในการทำความสะอาด Tank car	6	7	5	210
			ท่อขนถ่ายไม่สะอาด	ไม่มีการควบคุม	ตรวจสอบท่อขนถ่ายก่อนการขนถ่ายพีวีซีผง	3	5	5	75
					กำหนดตารางในการทำความสะอาด Tank car				

ตารางที่ 4.2(ต่อ) การวิเคราะห์ผลกระทบและรูปแบบความล้มเหลว

FAILURE MODE&EFFECT ANALYSIS PROCESS									
พื้นที่/เครื่องจักร/กระบวนการผลิต/ขั้นตอนการปฏิบัติ/กิจกรรม : การผลิตเม็ดพีวีซีคอมเปาน์ด **โรงงาน : ผลิตเม็ดพีวีซีคอมเปาน์ด** **ตามแบบเอกสารหมายเลข : FMEA-1**									
Item	เครื่องจักร อุปกรณ์/ระบบ	ความล้มเหลว	สาเหตุของความล้มเหลว	การควบคุมในปัจจุบัน	มาตรการป้องกัน/ควบคุม/แก้ไข	การประเมิน			
						Occurance	Severity	Detection	Risk Priority No.
						O	S	D	RPN
2	การเตรียมวัตถุดิบ	เทพีวีซีผงผิดเกรด	ของวางอยู่ใกล้กันทำให้หยิบผิด	แยกกองพีวีซีผง	จัดสายการผลิตใหม่	2	5	4	40
			เร่งรีบทำงาน	ทำงานตามที่ระบุไว้ในคู่มือการทำงาน	ตรวจสอบการทำงานทุกวัน	3	5	4	60
		น้ำหนักพีวีซีผงผิดจากที่กำหนด	เครื่องชั่งเสีย	PM/CAL ทุก 6 เดือน	PM/CAL ทุก 3 เดือน	4	5	4	80
3	การผสมวัตถุดิบ	การผสม dryblend ไม่เข้ากัน	อุณหภูมิในการผสม dryblendไม่สม่ำเสมอ	บันทึกอุณหภูมิทะละครั้ง	บันทึกอุณหภูมิชั่วโมงละครั้ง	4	5	4	80
				PM/CAL ทุก 6 เดือน	PM/CAL ทุก 3 เดือน				

ตารางที่ 4.2(ต่อ) การวิเคราะห์ความล้มเหลวและผลกระทบ

FAILURE MODE&EFFECT ANALYSIS PROCESS									
พื้นที่/เครื่องจักร/กระบวนการผลิต/ขั้นตอนการปฏิบัติ/กิจกรรม : การผลิตเม็ดพีวีซีคอมเปาน์ด **โรงงาน : ผลิตเม็ดพีวีซีคอมเปาน์ด** **ตามแบบเอกสารหมายเลข : FMEA-1**									
Item	เครื่องจักร อุปกรณ์/ระบบ	ความล้มเหลว	สาเหตุของความล้มเหลว	การควบคุมในปัจจุบัน	มาตรการป้องกัน/ควบคุม/แก้ไข	การประเมิน			
						Occurance	Severity	Detection	Risk Priority No.
						O	S	D	RPN
4	การอัดรีดเม็ด	เม็ดดิบหรือสุกเกินไป	อุณหภูมิในการอัดรีดเม็ดไม่สม่ำเสมอ	บันทึกอุณหภูมิทุกๆ ละครั้ง	บันทึกอุณหภูมิชั่วโมงละครั้ง	4	6	5	120
				PM/CAL ทุก 6 เดือน	PM/CAL ทุก 3 เดือน				
			อุณหภูมิในการอัดรีดเม็ดไม่เหมาะสม	ควบคุมตามข้อกำหนดในเอกสารคู่มือการทำงาน	ออกแบบการทดลองเพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสม	7	7	5	245
			Screw speed ในการอัดรีดเม็ดไม่เหมาะสม	ควบคุมตามข้อกำหนดในเอกสารคู่มือการทำงาน	ออกแบบการทดลองเพื่อหา Screw speed ที่เหมาะสม	6	7	5	210
			สูตรการผลิตไม่เหมาะสม	ผลิตตามสูตรมาตรฐาน	ปรับสูตรการผลิต	3	5	5	75
		มีพีวีซีผงปนเปื้อน	เกิดรูรั่วในสายการผลิต	ตรวจสอบสภาพสายการผลิตทุก 6 เดือน	ตรวจสอบสภาพสายการผลิตทุก 3 เดือน	4	5	5	100

ตารางที่ 4.2(ต่อ) การวิเคราะห์ผลกระทบและรูปแบบความล้มเหลว

FAILURE MODE&EFFECT ANALYSIS PROCESS									
พื้นที่/เครื่องจักร/กระบวนการผลิต/ขั้นตอนการปฏิบัติ/กิจกรรม : การผลิตเม็ดพีวีซีคอมเปาน์ด **โรงงาน : ผลิตเม็ดพีวีซีคอมเปาน์ด** **ตามแบบเอกสารหมายเลข :** FMEA-1									
Item	เครื่องจักร อุปกรณ์/ระบบ	ความล้มเหลว	สาเหตุของความล้มเหลว	การควบคุมในปัจจุบัน	มาตรการป้องกัน/ควบคุม/แก้ไข	การประเมิน			
						Occurance	Severity	Detection	Risk Priority No.
						O	S	D	RPN
5	การตัดเม็ด	ขนาดเม็ดไม่สม่ำเสมอ	รู die plate อุดตัน	ทำความสะอาด die plate ทุกครั้งที่จบสูตร	ทำความสะอาด die plate ทุก 1 ช.ม.	4	5	4	80
		มีเศษจากการตัดเม็ด	ใบมีดไม่คม	เปลี่ยนใบมีดทุก 3 สัปดาห์	เปลี่ยนใบมีดทุก 1 สัปดาห์	5	8	5	200
			ไม่มีตะแกรงสำหรับร่อนเม็ด	ไม่มีการควบคุม	ติดตั้งตะแกรงสำหรับร่อนเม็ด	5	7	5	175
6	การบรรจุเม็ด	มีพีวีซีผงปนเปื้อน	มีพีวีซีผงหล่นที่พื้น	ทำความสะอาดพื้นวันละ 2 ครั้ง	ทำความสะอาดพื้นทันทีที่มีพีวีซีผงหก	3	5	4	60

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2(ต่อ) การวิเคราะห์ผลกระทบและรูปแบบความล้มเหลว

FAILURE MODE&EFFECT ANALYSIS PROCESS									
พื้นที่/เครื่องจักร/กระบวนการผลิต/ขั้นตอนการปฏิบัติ/กิจกรรม : การผลิตเม็ดพีวีซีคอมเปาน์ด โรงงาน : ผลิตเม็ดพีวีซีคอมเปาน์ด ตามแบบเอกสารหมายเลข : FMEA-1									
Item	เครื่องจักร อุปกรณ์/ระบบ	ความล้มเหลว	สาเหตุของความล้มเหลว	การควบคุมในปัจจุบัน	มาตรการป้องกัน/ควบคุม/แก้ไข	การประเมิน			
						Occurance	Severity	Detection	Risk Priority No.
						O	S	D	RPN
7	การตรวจสอบพีวีซีเม็ด	ไม่สามารถตรวจจับของเสียได้	เงื่อนไขในการตรวจสอบไม่ชัดเจน	ใช้สายตาในการตรวจสอบ	อบรมพนักงานในเรื่องเงื่อนไขในการตรวจสอบ ใช้เครื่องมือช่วยในการตัดสินใจ	4	5	5	100
			ความถูกต้องและแม่นยำ	ทำงานตามที่ระบุไว้ในคู่มือการทำงาน	วิเคราะห์ระบบการวัดในด้านความถูกต้องและความแม่นยำ	4	5	4	80
			การสุ่มตัวอย่างไม่เหมาะสม	ทำงานตามที่ระบุไว้ในคู่มือการทำงาน	เพิ่มความถี่ในการสุ่มตัวอย่าง	4	5	5	100
			พนักงานไม่เข้าใจวิธีตรวจสอบ	ทำงานตามที่ระบุไว้ในคู่มือการทำงาน	อบรมพนักงานในเรื่องวิธีการตรวจสอบ	3	5	5	75

ตารางที่ 4.3 **สาเหตุของปัญหาและค่า** RPN

เครื่องจักรอุปกรณ์/ระบบ	สาเหตุของความล้มเหลว	RPN
การอัดรีดเม็ด	อุณหภูมิในการอัดรีดเม็ดไม่เหมาะสม	245
การตรวจรับวัตถุดิบพีวีซีผง	พีวีซีผงมีขนาดใหญ่เกินไป	210
การอัดรีดเม็ด	Screw speed ในการอัดรีดเม็ดไม่เหมาะสม	210
การตัดเม็ด	ใบมีดไม่คม	200
การตัดเม็ด	ไม่มีตะแกรงสำหรับร่อนเม็ด	175
การอัดรีดเม็ด	อุณหภูมิในการอัดรีดเม็ดไม่สม่ำเสมอ	120
การตรวจสอบพีวีซีเม็ด	เงื่อนไขในการตรวจสอบไม่ชัดเจน	100
การตรวจสอบพีวีซีเม็ด	การสุ่มตัวอย่างไม่เหมาะสม	100
การอัดรีดเม็ด	เกิดรูรั่วในสายการผลิต	100
การตรวจสอบพีวีซีเม็ด	ความถูกต้องและแม่นยำ	80
การตัดเม็ด	รู die plate อุดตัน	80
การเตรียมวัตถุดิบ	เครื่องชั่งเสีย	80
การผสมวัตถุดิบ	อุณหภูมิในการผสม dryblendไม่สม่ำเสมอ	80
การตรวจรับวัตถุดิบพีวีซีผง	ความถี่ในการตรวจสอบไม่เหมาะสม	75
การตรวจรับวัตถุดิบพีวีซีผง	ท่อขนถ่ายไม่สะอาด	75
การตรวจสอบพีวีซีเม็ด	พนักงานไม่เข้าใจวิธีตรวจสอบ	75
การอัดรีดเม็ด	สูตรการผลิตไม่เหมาะสม	75
การตรวจรับวัตถุดิบพีวีซีผง	Tank car ไม่สะอาด	60
การตรวจรับวัตถุดิบพีวีซีผง	วิธีการตรวจสอบไม่สัมพันธ์กับการตรวจสอบพีวีซีเม็ด	60
การเตรียมวัตถุดิบ	เร่งรีบทำงาน	60
การบรรจุเม็ด	มีพีวีซีผงหล่นที่พื้น	60
การเตรียมวัตถุดิบ	ของวางอยู่ใกล้กันทำให้หยิบผิด	40

จากผลการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) ได้นำผลคะแนน RPN ที่ได้มาจัดเรียงจากมากไปหาน้อย และทำการเลือกปัจจัยนำเข้าที่มีคะแนน RPN ตั้งแต่ 175 คะแนน เป็นปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่จะนำไปวิเคราะห์และทดสอบสมมติฐานต่อไป โดยปัจจัยนำเข้าที่เลือกมานั้น มีจำนวนทั้งหมด 5 ปัจจัย ดังต่อไปนี้

- อุณหภูมิในการอัดรีดเม็ด
- ขนาดเม็ดพีวีซีผง
- Screw speed ในการอัดรีดเม็ด
- ใบมีดสำหรับตัดเม็ด
- ตะแกรงสำหรับร่อนเม็ด

ปัจจัยนำเข้าที่เลือกไว้เป็นปัจจัยที่มีคะแนน RPN รวมกันทั้งสิ้น 1,040 คะแนน ซึ่งคิดเป็น 44% ของคะแนน RPN ทั้งหมด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

การกำหนดระดับของปัจจัยนำเข้า สำหรับทดสอบสมมติฐาน

5.1. บทนำ

นำข้อมูลปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ 5 ปัจจัยซึ่งมีค่า RPN มากกว่า175 คะแนน จากการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) มากำหนดระดับของปัจจัยนำเข้าก่อนนำไปทดสอบสมมติฐาน ซึ่งรายละเอียดในบทนี้ ได้แสดงถึงรายละเอียดของกระบวนการกำหนดระดับปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้ง 5 ปัจจัย

5.2. ปัจจัยนำเข้าที่นำมาทดสอบสมมติฐาน

จากขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหาได้สรุปปัจจัยนำเข้าที่จะทดสอบทั้งหมด 5 ปัจจัย ได้แก่

- อุณหภูมิในการอัดรีดเม็ด
- Screw speed ในการอัดรีดเม็ด
- ขนาดเม็ดพีวีซีผง
- ความถี่ในการเปลี่ยนใบมีดตัดเม็ด
- การใช้ตะแกรงร่อนเม็ด

ในการทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐานของทั้ง 5 ปัจจัยนั้น จะทำการทดสอบสมมติฐานของแต่ละปัจจัยใน 2 ระดับที่แตกต่างกัน ทั้งนี้เพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายในการทดลองและสามารถทำการทดลองได้ง่าย ซึ่งมีรายละเอียดของขั้นตอนการดำเนินการทดสอบสมมติฐานดังนี้

5.2.1 อุณหภูมิในการอัดรีดเม็ด

A. S. Pazur (2547) ศึกษาผลของกระบวนการผลิตที่มีต่อการเกิด gel ในพีวีซี พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการผลิตมีผลต่อการเกิดปัญหานี้ จึงได้ดำเนินการตรวจสอบข้อมูลการผลิตย้อนหลัง พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอัดรีดเม็ดอยู่ในช่วง 145 -165 °C

ดังนั้น จึงดำเนินการทดสอบสมมติฐานค่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอัดรีดเม็ดที่ 145 และ 165 °C

5.2.2 Screw speed ในการอัดรีดเม็ด

A. S. Pazur (2547) ศึกษาผลของกระบวนการผลิตที่มีต่อการเกิด gel ในพีวีซี พบว่า Screw speed ที่ใช้ในการผลิตมีผลต่อการเกิดปัญหานี้ จึงได้ดำเนินการตรวจสอบข้อมูลการผลิตย้อนหลัง พบว่า Screw speed ที่ใช้ในการอัดรีดเม็ดอยู่ในช่วง 90 -110 rpm

ดังนั้น จึงดำเนินการทดสอบสมมติฐานค่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอัดรีดเม็ดที่ 90 และ 110 rpm

5.2.3 ขนาดเม็ดพีวีซีผง

A. S. Pazur (2547) ศึกษาผลของขนาดเม็ดพีวีซีผงที่มีต่อการเกิด gel ในพีวีซี พบว่าพีวีซีขนาดประมาณ 150 ไมครอนที่ใช้ในการผลิตมีผลต่อการเกิดปัญหานี้

Judy E. Zabrecky (2547) กล่าวถึงที่มาของปัญหา gel ว่าเกิดจากพีวีซีผงที่มีขนาดเม็ดใหญ่ทำให้หลอมได้ยากหรืออาจเกิดจากกระบวนการผลิตในขั้นตอนของการผสมแล้วทำให้เกิดการ agglomerate

จึงได้ดำเนินการตรวจสอบข้อมูลการผลิตย้อนหลัง พบว่า ขนาดเม็ดพีวีซีผงที่ใช้ในการผลิตอยู่ในช่วง 120 -180 ไมครอน ดังนั้น จึงดำเนินการทดสอบสมมติฐานขนาดเม็ดพีวีซีผงที่ใช้ในการผลิตที่ 120 และ 180 ไมครอน

5.2.4 ความถี่ในการเปลี่ยนใบมีดตัดเม็ด

ความคมของใบมีดสำหรับตัดเม็ดจะมีผลต่อประสิทธิภาพในการตัดเม็ด กล่าวคือ ถ้าใบมีดมีความคมไม่เพียงพอจะทำให้เกิดเศษพลาสติก ซึ่งอาจจะเป็นสาเหตุของการเกิดปัญหา gel ได้

ดังนั้น จึงได้ดำเนินการทดสอบสมมติฐานโดยการเพิ่มความถี่ในการเปลี่ยนใบมีดตัดเม็ดจากที่ในกระบวนการทำงานปกติจะกำหนดไว้ที่ 1 ครั้งต่อ 3 สัปดาห์ เป็น 1 ครั้งต่อสัปดาห์

5.2.5 การใช้ตะแกรงร่อนเม็ด

ในกระบวนการทำงานปกติ เมื่อมีการหยุดเครื่องเพื่อทำความสะอาดก่อนการผลิตผลิตภัณฑ์ใหม่นั้น ในบางครั้งจะพบว่ามีเศษพลาสติกตกค้างอยู่บริเวณท่อลมเย็นซึ่งใช้ในการเป่าเม็ดให้เย็นลงก่อนการบรรจุ

ดังนั้น จึงได้ดำเนินการทดสอบสมมติฐานโดยการติดตั้งตะแกรงสำหรับร่อนเม็ดเพิ่มเข้าไปเพื่อเปรียบเทียบผลกับกระบวนการทำงานปกติ ซึ่งไม่มีการติดตั้งตะแกรง

5.3. สรุประดับของปัจจัยนำเข้าที่นำมาทดสอบสมมติฐาน

จากการศึกษาที่ผ่านมา สามารถสรุประดับของแต่ละปัจจัยนำเข้าได้ดังตารางที่ 5.1 โดยจะดำเนินการทดสอบสมมติฐานด้วยค่าระดับของแต่ละปัจจัยนำเข้าดังกล่าว ซึ่งจะแสดงผลในบทต่อไป จากนั้นจะคัดเลือกเฉพาะปัจจัยนำเข้าที่ให้ค่าผลดำเนินการทดสอบสมมติฐานที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญไปดำเนินการออกแบบการทดลองเพื่อทำการปรับปรุงกระบวนการต่อไป

ตารางที่ 5.1 สรุปปัจจัยนำเข้าและระดับของปัจจัยในการทดสอบสมมติฐาน

ปัจจัย	ระดับ		หน่วย
	1	2	
อุณหภูมิในการอัดรีดเม็ด	145	165	^{o}C
Screw speed ในการอัดรีดเม็ด	90	110	rpm
ขนาดเม็ดพีวีซีผง	120	180	micron
ความถี่ในการเปลี่ยนใบมีดตัดเม็ด	3	1	สัปดาห์
การใช้ตะแกรงในการร่อนเม็ด	ใช้	ไม่ใช้	ไม่มี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

6.1 บทนำ

จากขั้นตอนของ ซิกซ์ ซิกม่า ระยะที่ 3 การวิเคราะห์(Analysis) เครื่องมือที่นำมาใช้ในการวิจัยประกอบด้วย

- โปรแกรม Minitab เพราะเป็นโปรแกรมที่มีประสิทธิภาพสูง ในการวิเคราะห์ผลทางสถิติพื้นฐาน และสามารถประมวลผลการประยุกต์สถิติเชิงวิศวกรรมที่ครอบคลุมทั้งด้านการควบคุมคุณภาพไปจนถึงการออกแบบการทดลอง ซึ่งโปรแกรม Minitab นี้ สอดคล้องกับเครื่องมือที่ประกอบอยู่ใน ซิกซ์ ซิกม่า
- การทดสอบสมมติฐานค่ากลาง(2 Sample t-test) เพราะเป้าหมายของการวิจัยต้องการที่จะเน้นที่การเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยผลลัพธ์ (KPOV) เป็นหลัก โดยในทางปฏิบัติทั่วไปนั้นนิยมใช้การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย
- การทดสอบสมมติฐานความเบี่ยงเบนมาตรฐาน(Homogeneity of Variance) เพราะต้องการพิจารณาการกระจายของสองกลุ่มประชากรว่าแตกต่างกันหรือไม่ ซึ่งงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นที่การเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของสองกลุ่มประชากรมากกว่า

เครื่องมือที่ไม่ได้นำมาใช้ใน ซิกซ์ ซิกม่า ระยะที่ 3 (Analyze) ประกอบด้วยเครื่องมือดังต่อไปนี้

- การทดสอบสมมติฐานข้อมูลแบบแอดทริบิวด์(Contingency Table, Non parametric study) สาเหตุที่ไม่ได้นำเครื่องมือนี้มาประยุกต์ใช้เนื่องจากข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาวิจัยเป็นลักษณะค่าต่อเนื่อง (Variable) ซึ่งการวิเคราะห์โดยใช้การทดสอบสมมติฐานข้อมูลแบบแอดทริบิวด์นี้จะเป็นการทดสอบในลักษณะของสัดส่วนข้อบกพร่องหรือสัดส่วนของผลิตภัณฑ์บกพร่องเป็นหลัก
- การศึกษา Multi-Vari สาเหตุที่ไม่ได้นำเครื่องมือนี้มาประยุกต์ใช้ เนื่องจากตัวแปรที่ศึกษามีการวิเคราะห์ข้อมูลภายใต้ความแปรผันของตัวแปรเดียว ซึ่ง

การวิเคราะห์ด้วย Multi-Vari นั้น เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลภายใต้ความแปรผันของตัวแปรหลายๆ ตัวพร้อมกัน

- การวิเคราะห์สมการถดถอยและสหสัมพันธ์(Regression and Correlation) สาเหตุที่ไม่ได้นำเครื่องมือนี้มาประยุกต์ใช้เนื่องจากผลลัพธ์ที่ได้จากการลงทุนทดลองศึกษานั้นมีความน่าเชื่อถือค่อนข้างต่ำ เนื่องจากจะเป็นลักษณะของการวิเคราะห์ในลักษณะเชิงเส้น 2 มิติ ซึ่งมีความแตกต่างจากผลลัพธ์ที่ได้จากการออกแบบการทดลองที่มีความหน้าเชื่อถือจากผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ที่สูงกว่าอีกทั้งยังมีข้อจำกัดในเรื่องค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ

จากการกำหนดปัจจัยนำเข้าและระดับของปัจจัยนำเข้าเพื่อทำการทดสอบสมมติฐานในบทที่ผ่านมานั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลการทดสอบสมมติฐานโดยใช้โปรแกรม Minitab มาช่วยในการทดสอบสมมติฐาน

6.2 การวิเคราะห์ผลการทดสอบสมมติฐาน

การคำนวณจำนวนสิ่งตัวอย่าง

วิธีการคำนวณจำนวนสิ่งตัวอย่างที่จะใช้ในการทดลองนี้จะคำนวณด้วยฟังก์ชัน Power and Sample size ของโปรแกรม Minitab และกำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้

- ระดับนัยสำคัญ (α) เท่ากับ 0.05
- ความน่าจะเป็นในการยอมรับสมมติฐาน (β) เท่ากับ 0.05 หรือ Power of Test เท่ากับ 0.95
- ความแตกต่าง (Differences) เท่ากับ 1
- ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) เท่ากับ 1

Power and Sample Size

2-Sample t Test

Testing mean 1 = mean 2 (versus not =)

Calculating power for mean 1 = mean 2 + difference

Alpha = 0.05 Assumed standard deviation = 1

Difference	Sample Size	Target Power	Actual Power
1	27	0.95	0.950077

The sample size is for each group.

ดังนั้น จำนวนสิ่งตัวอย่างที่จะใช้ในการทดลองอย่างน้อยจะมีค่าเท่ากับ 27 ตัวอย่าง และในการทดสอบสมมติฐานครั้งนี้จะใช้จำนวนสิ่งตัวอย่างเท่ากับ 30 ตัวอย่างซึ่งนับว่าเพียงพอสำหรับการทดสอบสมมติฐาน

6.2.1 อุณหภูมิในการอัดรีดเม็ด

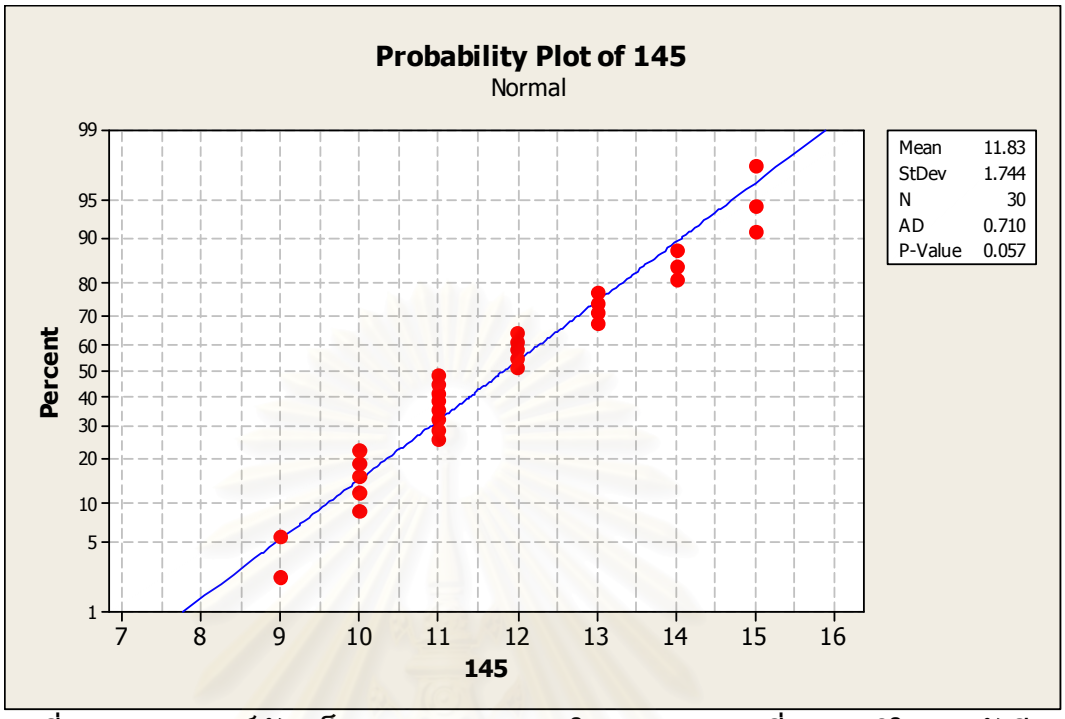
6.2.1.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ

โดยมีสมมติฐานที่ต้องการตรวจสอบคือ

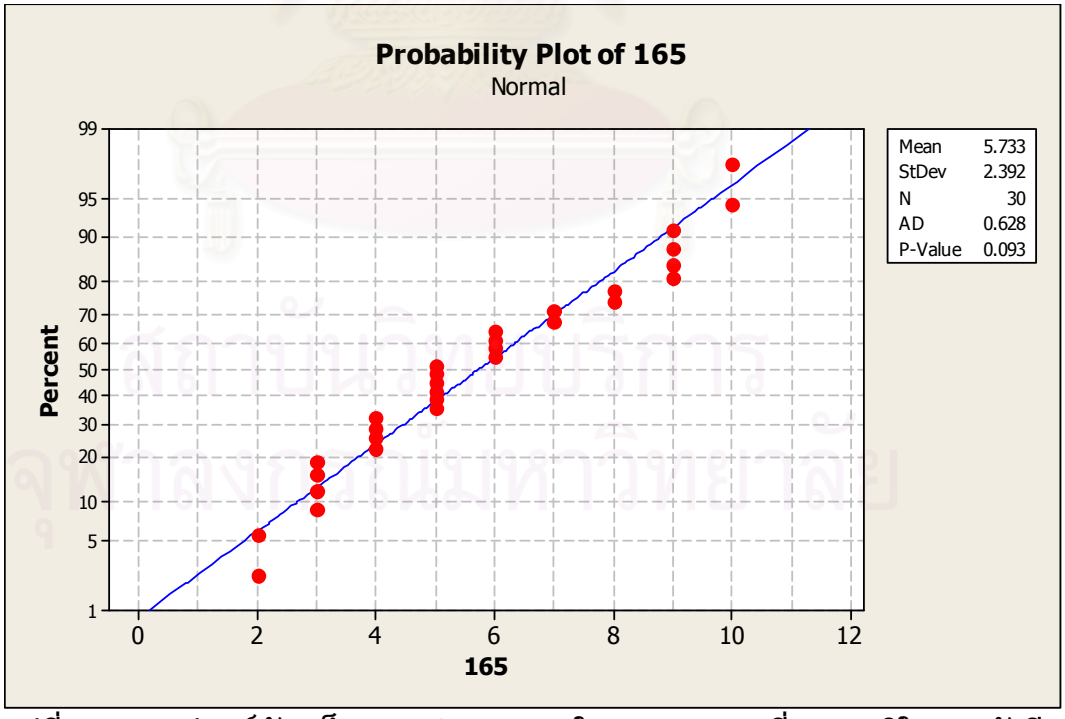
H_0 : ข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ

H_1 : ข้อมูลมีการกระจายแบบอื่นที่ไม่ใช่แบบปกติ

จากการตรวจสอบด้วยโปรแกรม Minitab ได้ผลว่าการกระจายเป็นแบบปกติ เนื่องจากมีค่า P-Value มากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังรูปที่ 6.1 และ 6.2



รูปที่ 6.1 กราฟนอร์มัลพล็อตของจำนวน gel ในกระบวนการที่อุณหภูมิในการอัดรีดเป็น 145 °C



รูปที่ 6.2 กราฟนอร์มัลพล็อตของจำนวน gel ในกระบวนการที่อุณหภูมิในการอัดรีดเป็น 165 °C

6.2.1.2 การทดสอบสมมติฐาน

โดยมีสมมติฐานที่ต้องการตรวจสอบคือ

$H_0 : \sigma^2_1 = \sigma^2_2$

$H_1 : \sigma^2_1 \neq \sigma^2_2$

โดยกำหนดให้ σ^2_1 แทนค่าความแปรปรวนของผลต่างของจำนวน gel ในกระบวนการที่อุณหภูมิในการอัดรีดเป็น 145 °C และ σ^2_2 แทนค่าความแปรปรวนของผลต่างของจำนวน gel ในกระบวนการที่อุณหภูมิในการอัดรีดเป็น 165 °C

จากการตรวจสอบด้วยโปรแกรม Minitab ได้ผล ดังตารางที่ 6.1 และรูปที่ 6.3

ตารางที่ 6.1 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าผลต่างของจำนวน gel ที่เกิดในกระบวนการผลิตที่อุณหภูมิในการอัดรีดเป็น 145 °Cและ 165 °C

Test for Equal Variances: 145, 165

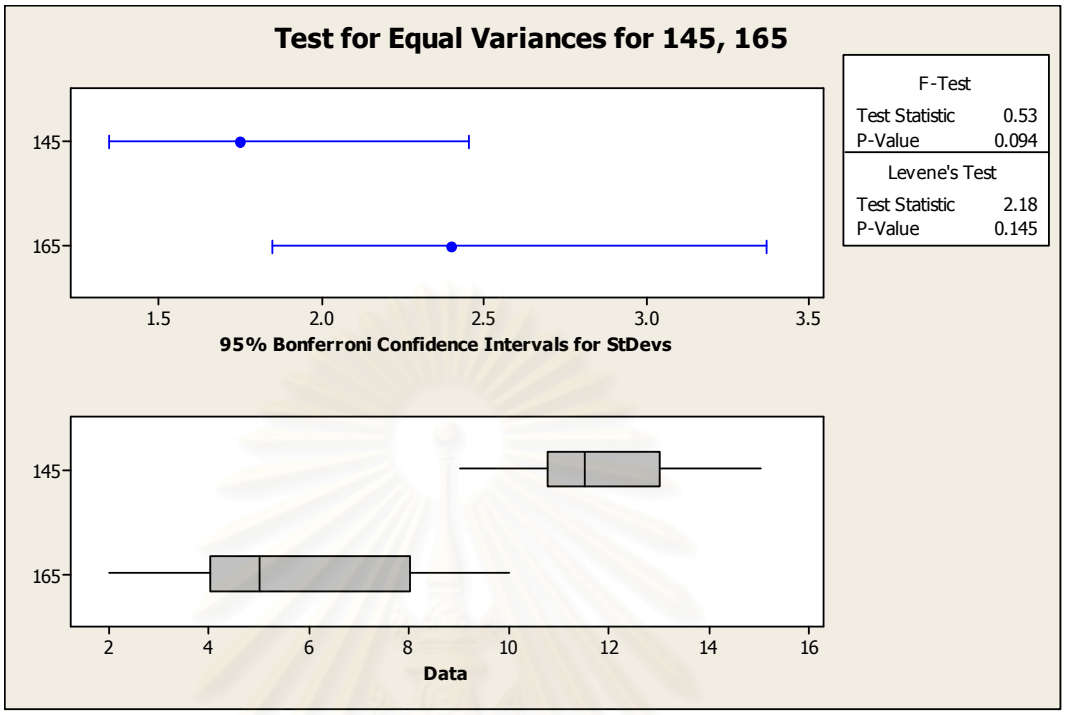
95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations

	N	Lower	StDev	Upper
145	30	1.34588	1.74363	2.45250
165	30	1.84600	2.39156	3.36385

F-Test (normal distribution)
Test statistic = 0.53, p-value = 0.094

Levene's Test (any continuous distribution)
Test statistic = 2.18, p-value = 0.145

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.3 **ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าผลต่างของจำนวน gel ที่เกิดในกระบวนการผลิตที่อุณหภูมิในการอัดรีดเป็น** 145 °C**และ** 165 °C

จากผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าผลต่างของจำนวน gel ที่เกิดในกระบวนการผลิตที่อุณหภูมิในการอัดรีดเป็น 145 °Cและ 165 °C พบว่า ค่า P-Value (F-Test) มากกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าค่าความแปรปรวนของค่าผลต่างของจำนวน gel ของทั้งสองเงื่อนไขมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ขั้นตอนต่อไปคือ การทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าผลต่างของจำนวน gel ที่เกิดในกระบวนการผลิตที่อุณหภูมิในการอัดรีดเป็น 145 °Cและ 165 °C โดยมีสมมติฐานที่ต้องการตรวจสอบคือ

$H_0 : \mu_1 = \mu_2$

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$

โดยกำหนดให้ μ_1 แทนค่าเฉลี่ยของผลต่างของจำนวน gel ในกระบวนการที่อุณหภูมิในการอัดรีดเป็น 145 °C และ μ_2 แทนค่าเฉลี่ยของผลต่างของจำนวน gel ในกระบวนการที่อุณหภูมิในการอัดรีดเป็น 165 °C

จากการตรวจสอบด้วยโปรแกรม Minitab ได้ผล ดังตารางที่ 6.2 และรูปที่ 6.4

ตารางที่ 6.2 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าผลต่างของจำนวน gel ที่เกิดในกระบวนการผลิตที่อุณหภูมิในการอัดรีดเป็น 145 °Cและ 165 °C

Two-Sample T-Test and CI: 145, 165

Two-sample T for 145 vs 165

	N	Mean	StDev	SE Mean
145	30	11.83	1.74	0.32
165	30	5.73	2.39	0.44

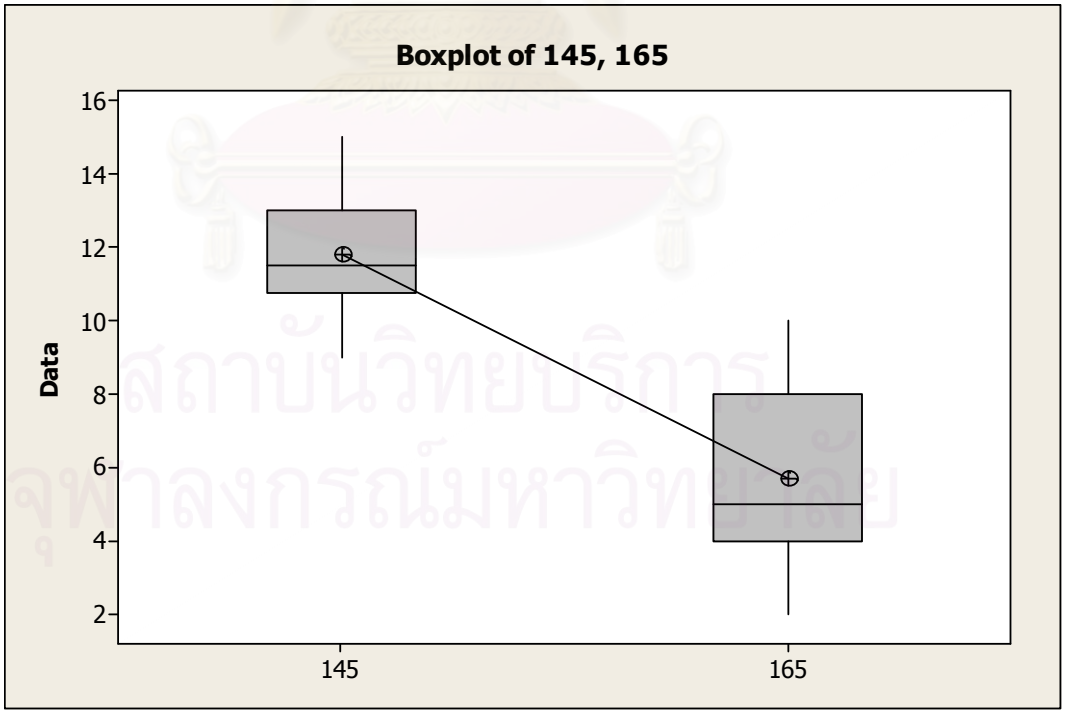
Difference = mu (145) - mu (165)

Estimate for difference: 6.10000

95% CI for difference: (5.01835, 7.18165)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 11.29 P-Value = 0.000 DF = 58

Both use Pooled StDev = 2.0928



รูปที่ 6.4 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าผลต่างของจำนวน gel ที่เกิดในกระบวนการผลิตที่อุณหภูมิในการอัดรีดเป็น 145 °Cและ 165 °C

จากผลการทดสอบ พบว่า ค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยของค่าผลต่างของจำนวน gel ของทั้งสองเงื่อนไขมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

6.2.2 Screw speed ในการอัดรีดเม็ด

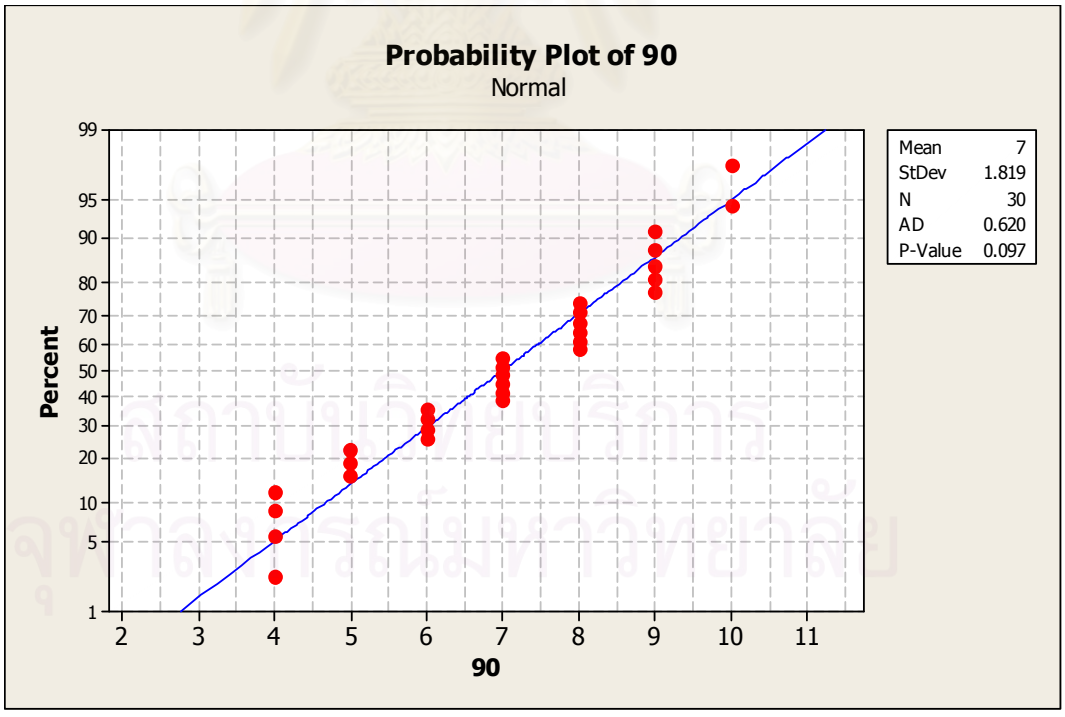
6.2.2.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ

โดยมีสมมติฐานที่ต้องการตรวจสอบคือ

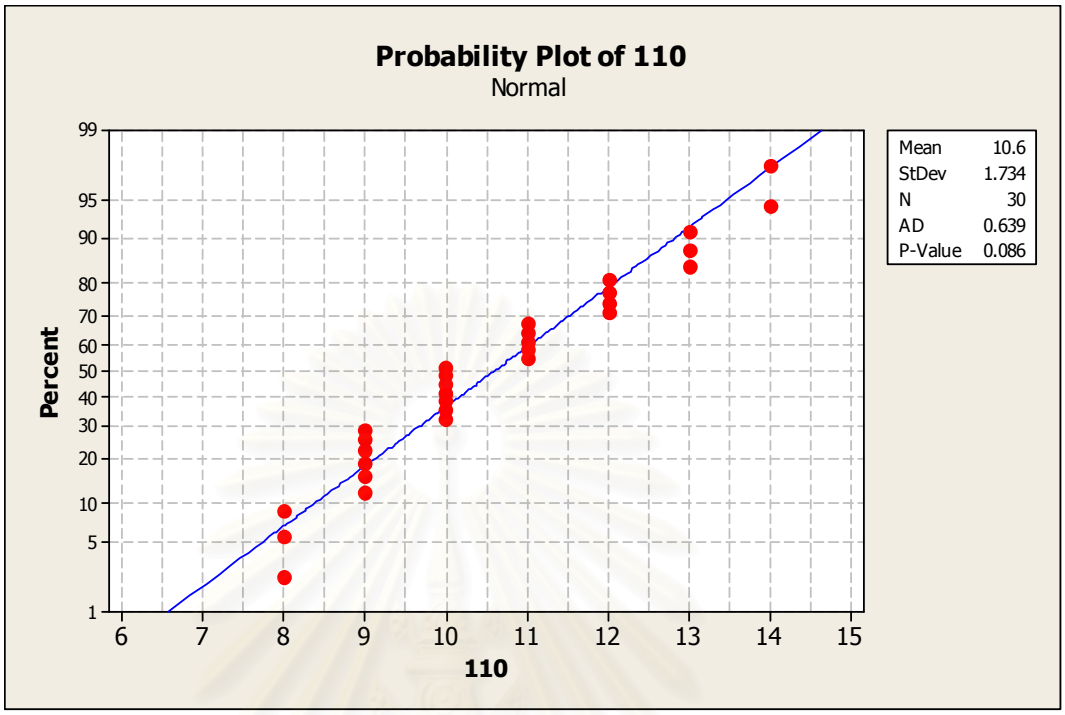
H_0 : ข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ

H_1 : ข้อมูลมีการกระจายแบบอื่นที่ไม่ใช่แบบปกติ

จากการตรวจสอบด้วยโปรแกรม Minitab ได้ผลว่าการกระจายเป็นแบบปกติ เนื่องจากมีค่า P-Value มากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังรูปที่ 6.5 และ 6.6



รูปที่ 6.5 **กราฟนอร์มัลพล็อตของจำนวน** gel **ในกระบวนการที่** screw speed = 90 rpm



รูปที่ 6.6 **กราฟนอร์มัลพล็อตของจำนวน** gel **ในกระบวนการที่** screw speed = 110 rpm

6.2.2.2 การทดสอบสมมติฐาน

โดยมีสมมติฐานที่ต้องการตรวจสอบคือ

$H_0 : \sigma^2_1 = \sigma^2_2$

$H_1 : \sigma^2_1 \neq \sigma^2_2$

โดยกำหนดให้ σ^2_1 แทนค่าความแปรปรวนของผลต่างของจำนวน gel ในกระบวนการที่ screw speed ในการอัดรีดเป็น 90 rpm และ σ^2_2 แทนค่าความแปรปรวนของผลต่างของจำนวน gel ในกระบวนการที่ screw speed ในการอัดรีดเป็น 110 rpm

จากการตรวจสอบด้วยโปรแกรม Minitab ได้ผล ดังตารางที่ 6.3 และรูปที่ 6.7

ตารางที่ 6.3 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าผลต่างของจำนวน gel ที่เกิดในกระบวนการผลิตที่ screw speed ในการอัดรีดเป็น 90 และ 110 rpm

Test for Equal Variances: 90, 110

95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations

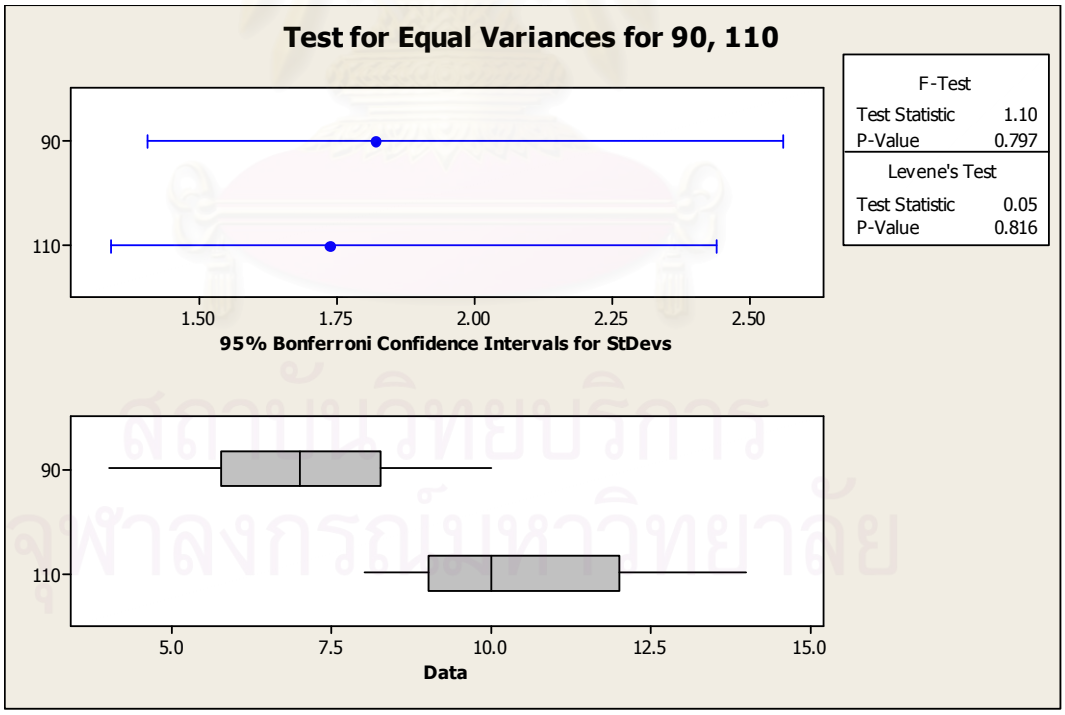
	N	Lower	StDev	Upper
90	30	1.40439	1.81944	2.55913
110	30	1.33848	1.73404	2.43902

F-Test (normal distribution)

Test statistic = 1.10, p-value = 0.797

Levene's Test (any continuous distribution)

Test statistic = 0.05, p-value = 0.816



รูปที่ 6.7 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าผลต่างของจำนวน gel ที่เกิดในกระบวนการผลิตที่ screw speed ในการอัดรีดเป็น 90 และ 110 rpm

จากผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าผลต่างของจำนวน gel ที่เกิดในกระบวนการผลิตที่ screw speed ในการอัดรีดเป็น 90 และ 110 rpm พบว่า ค่า P-Value (F-Test) มากกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าค่าความแปรปรวนของค่าผลต่างของจำนวน gel ของทั้งสองเงื่อนไขมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ขั้นตอนต่อไปคือ การทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าผลต่างของจำนวน gel ที่เกิดในกระบวนการผลิตที่ screw speed ในการอัดรีดเป็น 90 และ 110 rpm โดยมีสมมติฐานที่ต้องการตรวจสอบคือ

$H_0 : \mu_1 = \mu_2$

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$

โดยกำหนดให้ μ_1 แทนค่าเฉลี่ยของผลต่างของจำนวน gel ในกระบวนการที่ screw speed ในการอัดรีดเป็น 90 rpm และ μ_2 แทนค่าเฉลี่ยของผลต่างของจำนวน gel ในกระบวนการที่ screw speed ในการอัดรีดเป็น 110 rpm

จากการตรวจสอบด้วยโปรแกรม Minitab ได้ผล ดังตารางที่ 6.4 และรูปที่ 6.8

ตารางที่ 6.4 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าผลต่างของจำนวน gel ที่เกิดในกระบวนการผลิตที่ screw speed ในการอัดรีดเป็น 90 และ 110 rpm

Two-Sample T-Test and CI: 90, 110

Two-sample T for 90 vs 110

	N	Mean	StDev	SE Mean
90	30	7.00	1.82	0.33
110	30	10.60	1.73	0.32

Difference = mu (90) - mu (110)

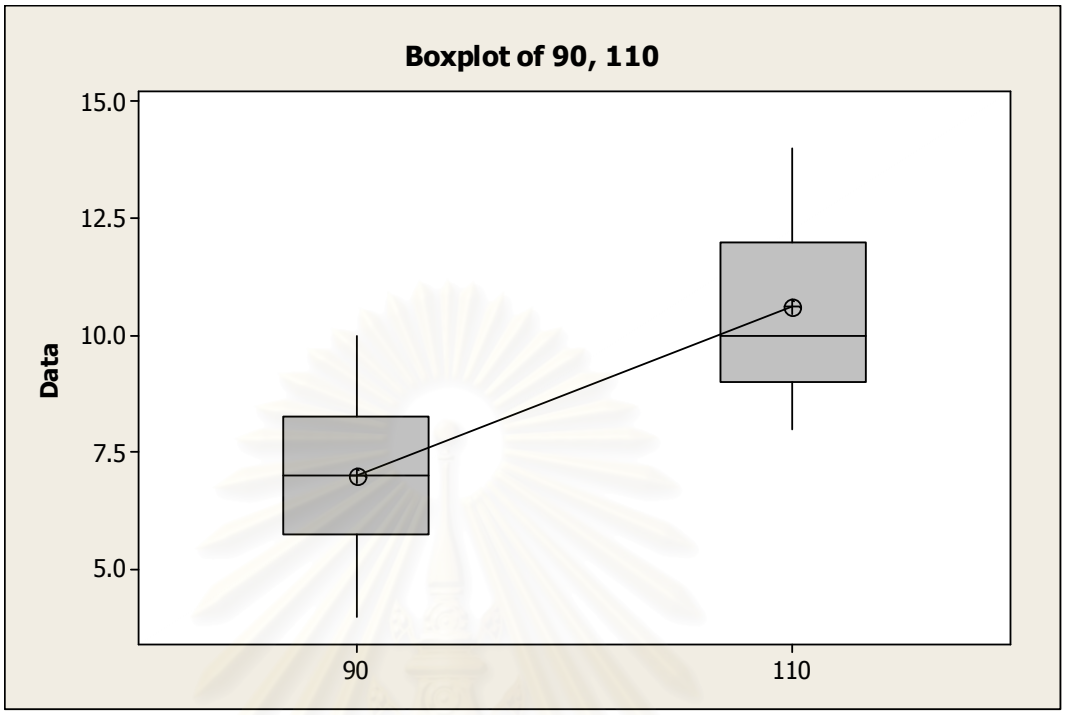
Estimate for difference: -3.60000

95% CI for difference: (-4.51856, -2.68144)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -7.85 P-Value = 0.000 DF = 58

Both use Pooled StDev = 1.7773

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.8 **ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าผลต่างของจำนวน** gel **ที่เกิดในกระบวนการผลิตที่** screw speed **ในการอัดรีดเป็น** 90 **และ** 110 rpm

จากผลการทดสอบ พบว่า ค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยของค่าผลต่างของจำนวน gel ของทั้งสองเงื่อนไขมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

6.2.3 ขนาดเม็ดพีวีซีผง

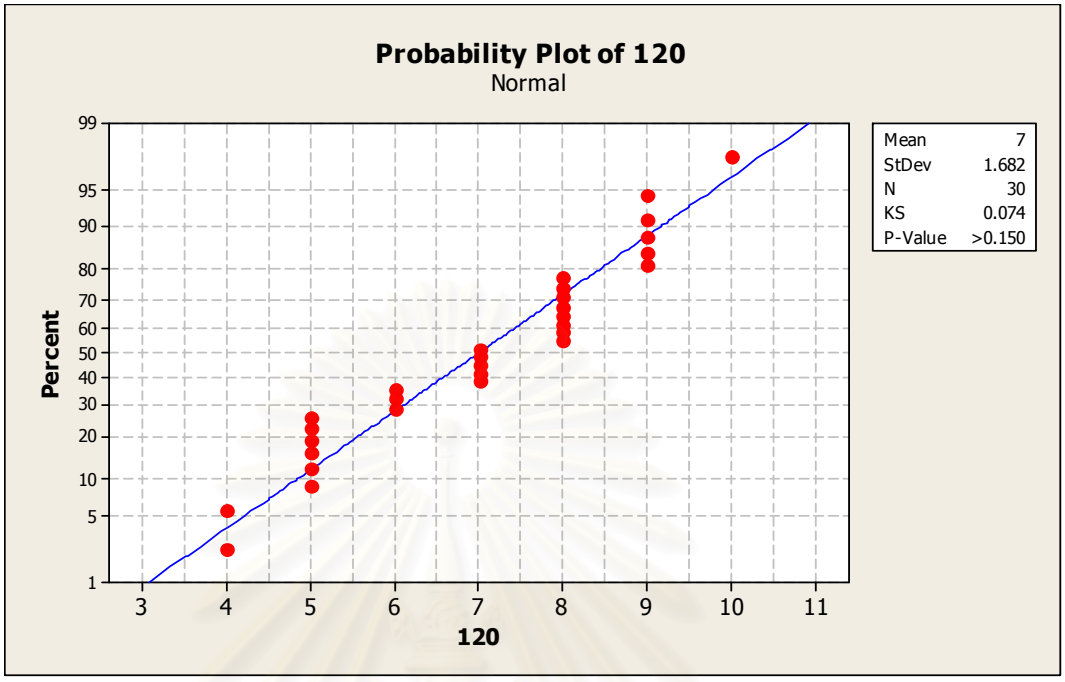
6.2.3.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ

โดยมีสมมติฐานที่ต้องการตรวจสอบคือ

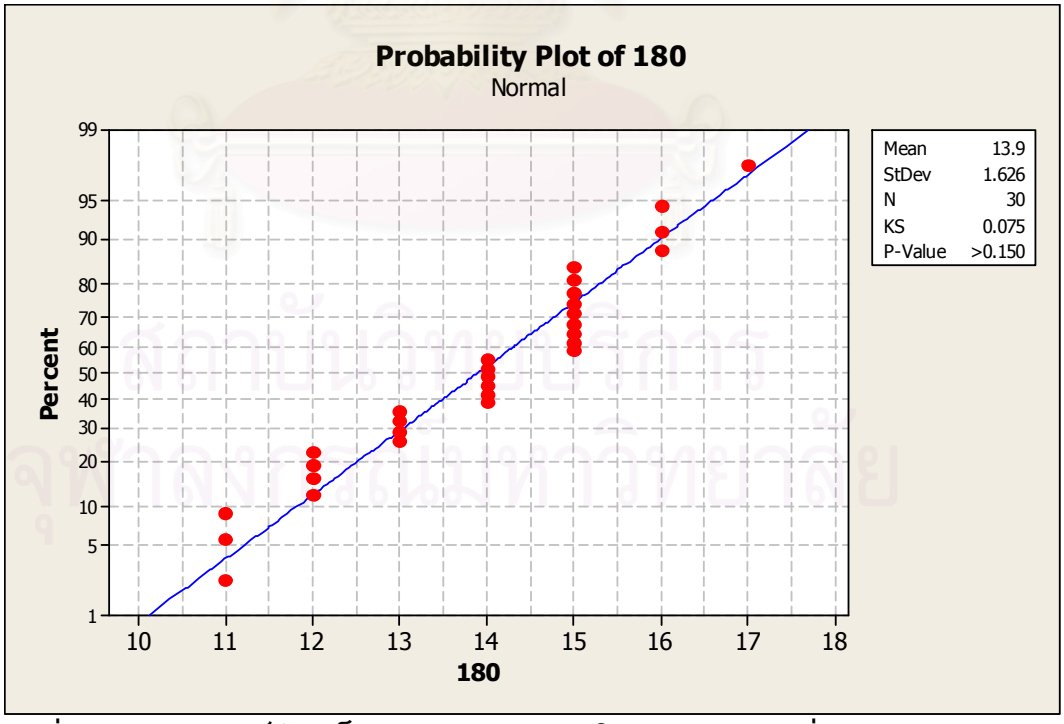
H_0 : ข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ

H_1 : ข้อมูลมีการกระจายแบบอื่นที่ไม่ใช่แบบปกติ

จากการตรวจสอบด้วยโปรแกรม Minitab ได้ผลว่าการกระจายเป็นแบบปกติ เนื่องจากมีค่า P-Value มากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังรูปที่ 6.9 และ 6.10



รูปที่ 6.9 กราฟนอร์มัลพล็อตของจำนวน gel ในกระบวนการที่ Particle size = 120 micron



รูปที่ 6.10 กราฟนอร์มัลพล็อตของจำนวน gel ในกระบวนการที่ Particle size = 180 micron

6.2.3.2 การทดสอบสมมติฐาน

โดยมีสมมติฐานที่ต้องการตรวจสอบคือ

$H_0 : \sigma^2_1 = \sigma^2_2$

$H_1 : \sigma^2_1 \neq \sigma^2_2$

โดยกำหนดให้ σ^2_1 แทนค่าความแปรปรวนของผลต่างของจำนวน gel ในกระบวนการที่ Particle size ของพีวีซีผงเป็น 120 micron และ σ^2_2 แทนค่าความแปรปรวนของผลต่างของจำนวน gel ในกระบวนการที่ Particle size ของพีวีซีผงเป็น 180 micron

จากการตรวจสอบด้วยโปรแกรม Minitab ได้ผล ดังตารางที่ 6.5 และรูปที่ 6.11

ตารางที่ 6.5 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าผลต่างของจำนวน gel ที่เกิดในกระบวนการผลิตที่ Particle size ของพีวีซีผงเป็น 120 และ180 micron

Test for Equal Variances: 120, 180

95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations

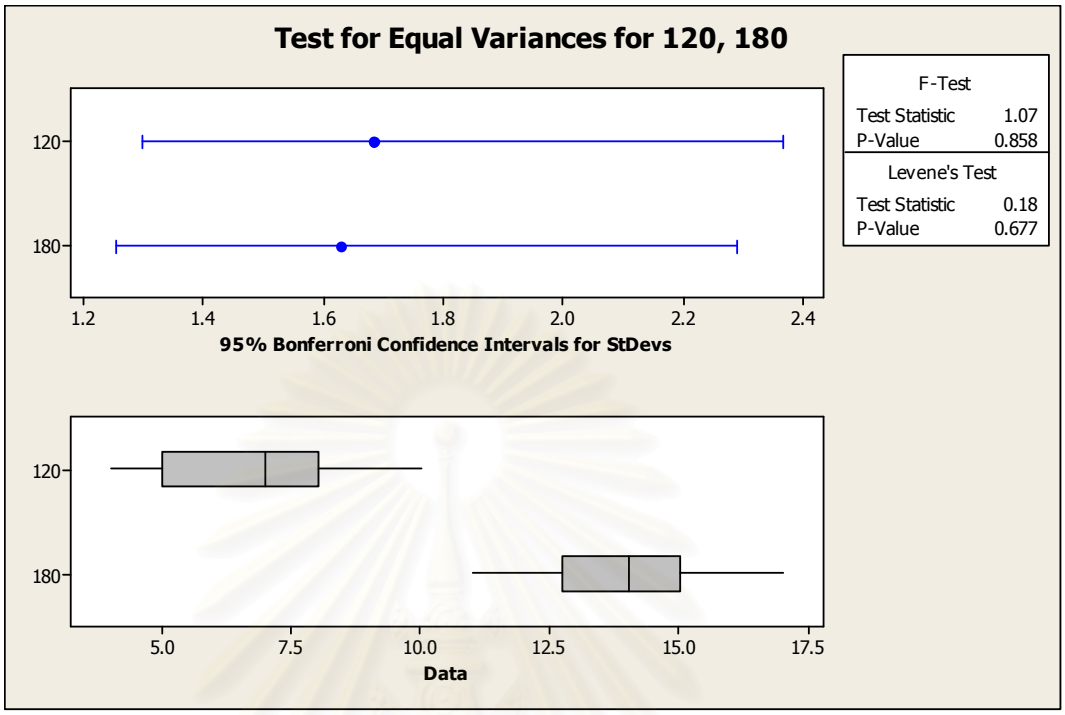
	N	Lower	StDev	Upper
120	30	1.29795	1.68154	2.36518
180	30	1.25531	1.62629	2.28747

F-Test (normal distribution)

Test statistic = 1.07, p-value = 0.858

Levene's Test (any continuous distribution)

Test statistic = 0.18, p-value = 0.677



รูปที่ 6.11 **ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าผลต่างของจำนวน** gel **ที่เกิดในกระบวนการผลิตที่** Particle size **ของพีวีซีผงเป็น** 120 **และ**180 micron

จากผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าผลต่างของจำนวน gel ที่เกิดในกระบวนการผลิตที่ Particle size ของพีวีซีผงเป็น 120 และ180 micron พบว่าค่า P-Value (F-Test) มากกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าค่าความแปรปรวนของค่าผลต่างของจำนวน gel ของทั้งสองเงื่อนไขมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ขั้นตอนต่อไปคือ การทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าผลต่างของจำนวน gel ที่เกิดในกระบวนการผลิตที่ Particle size ของพีวีซีผงเป็น 120 และ180 micron โดยมีสมมติฐานที่ต้องการตรวจสอบคือ

$H_0 : \mu_1 = \mu_2$

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$

โดยกำหนดให้ μ_1 แทนค่าเฉลี่ยของผลต่างของจำนวน gel ในกระบวนการที่ Particle size ของพีวีซีผงเป็น 120 micron และ μ_2 แทนค่าเฉลี่ยของผลต่างของจำนวน gel ในกระบวนการที่ Particle size ของพีวีซีผงเป็น 180 micron

จากการตรวจสอบด้วยโปรแกรม Minitab ได้ผล ดังตารางที่ 6.6 และรูปที่ 6.12

ตารางที่ 6.6 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าผลต่างของจำนวน gel ที่เกิดในกระบวนการผลิตที่ Particle size ของพีวีซีผงเป็น 120 และ180 micron

Two-Sample T-Test and CI: 120, 180

Two-sample T for 120 vs 180

	N	Mean	StDev	SE Mean
120	30	7.00	1.68	0.31
180	30	13.90	1.63	0.30

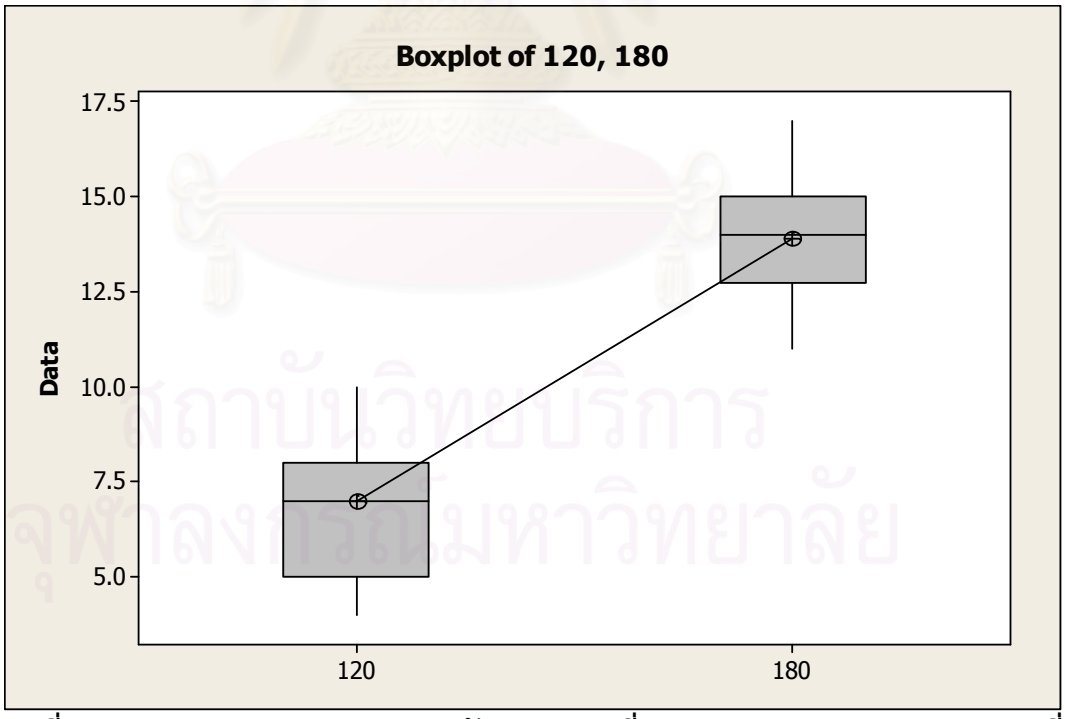
Difference = mu (120) - mu (180)

Estimate for difference: -6.90000

95% CI for difference: (-7.75493, -6.04507)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -16.16 P-Value = 0.000 DF = 58

Both use Pooled StDev = 1.6541



รูปที่ 6.12 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าผลต่างของจำนวน gel ที่เกิดในกระบวนการผลิตที่ Particle size ของพีวีซีผงเป็น 120 และ180 micron

จากผลการทดสอบ พบว่า ค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยของค่าผลต่างของจำนวน gel ของทั้งสองเงื่อนไขมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

6.2.4 ความถี่ในการเปลี่ยนใบมีดตัดเม็ด

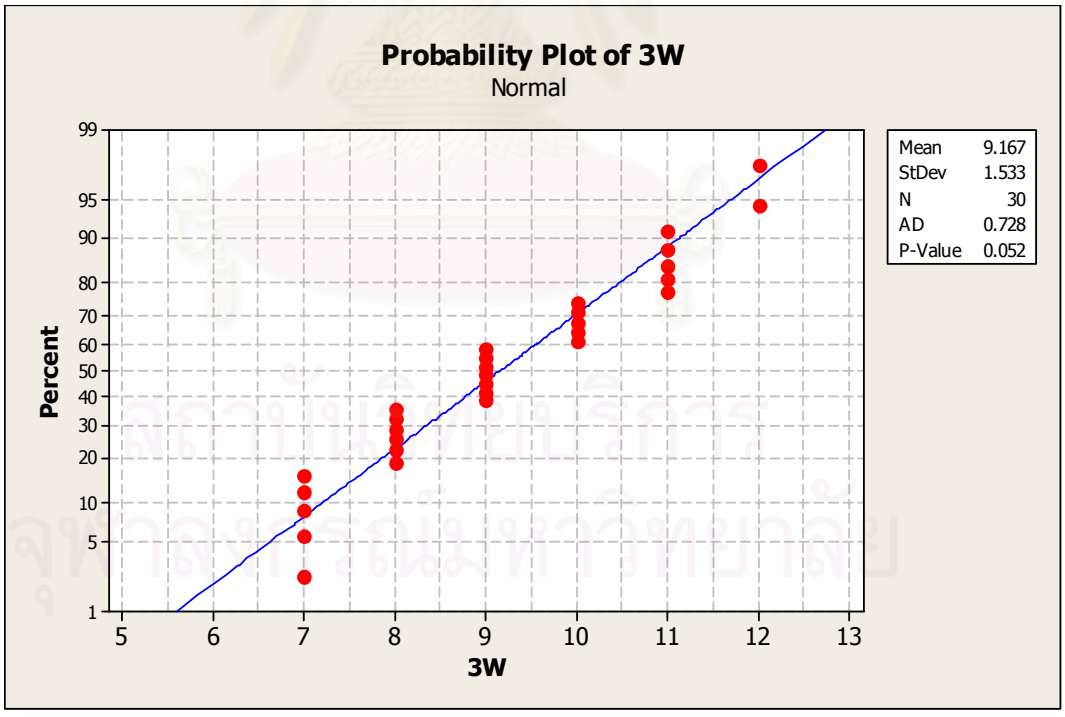
6.2.4.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ

โดยมีสมมติฐานที่ต้องการตรวจสอบคือ

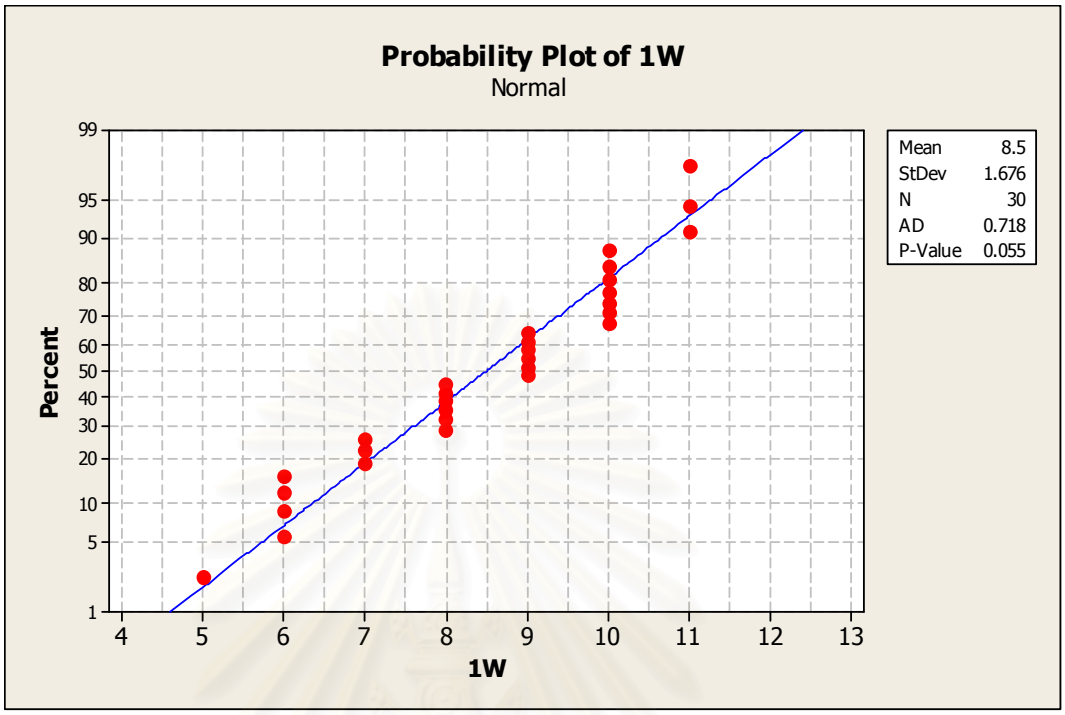
H_0 : ข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ

H_1 : ข้อมูลมีการกระจายแบบอื่นที่ไม่ใช่แบบปกติ

จากการตรวจสอบด้วยโปรแกรม Minitab ได้ผลว่าการกระจายเป็นแบบปกติ เนื่องจากมีค่า P-Value มากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังรูปที่ 6.13 และ 6.14



รูปที่ 6.13 กราฟนอร์มัลพล็อตของจำนวน gel ในกระบวนการที่ เปลี่ยนใบมีดตัดเม็ดทุก 3 สัปดาห์



รูปที่ 6.14 กราฟนอร์มัลพล็อตของจำนวน gel ในกระบวนการที่ เปลี่ยนใบมีดตัดเม็ดทุก 1 สัปดาห์

6.2.4.2 การทดสอบสมมติฐาน

โดยมีสมมติฐานที่ต้องการตรวจสอบคือ

$H_0 : \sigma^2_1 = \sigma^2_2$

$H_1 : \sigma^2_1 \neq \sigma^2_2$

โดยกำหนดให้ σ^2_1 แทนค่าความแปรปรวนของผลต่างของจำนวน gel ในกระบวนการที่ เปลี่ยนใบมีดตัดเม็ดทุก 3 สัปดาห์ และ σ^2_2 แทนค่าความแปรปรวนของผลต่างของจำนวน gel ในกระบวนการที่ เปลี่ยนใบมีดตัดเม็ดทุก 1 สัปดาห์

จากการตรวจสอบด้วยโปรแกรม Minitab ได้ผล ดังตารางที่ 6.7 และรูปที่ 6.15

ตารางที่ 6.7 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าผลต่างของจำนวน gel ที่เกิดในกระบวนการผลิตที่ เปลี่ยนใบมีดตัดเม็ดทุก 3 และ 1 สัปดาห์

Test for Equal Variances: 3W, 1W

95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations

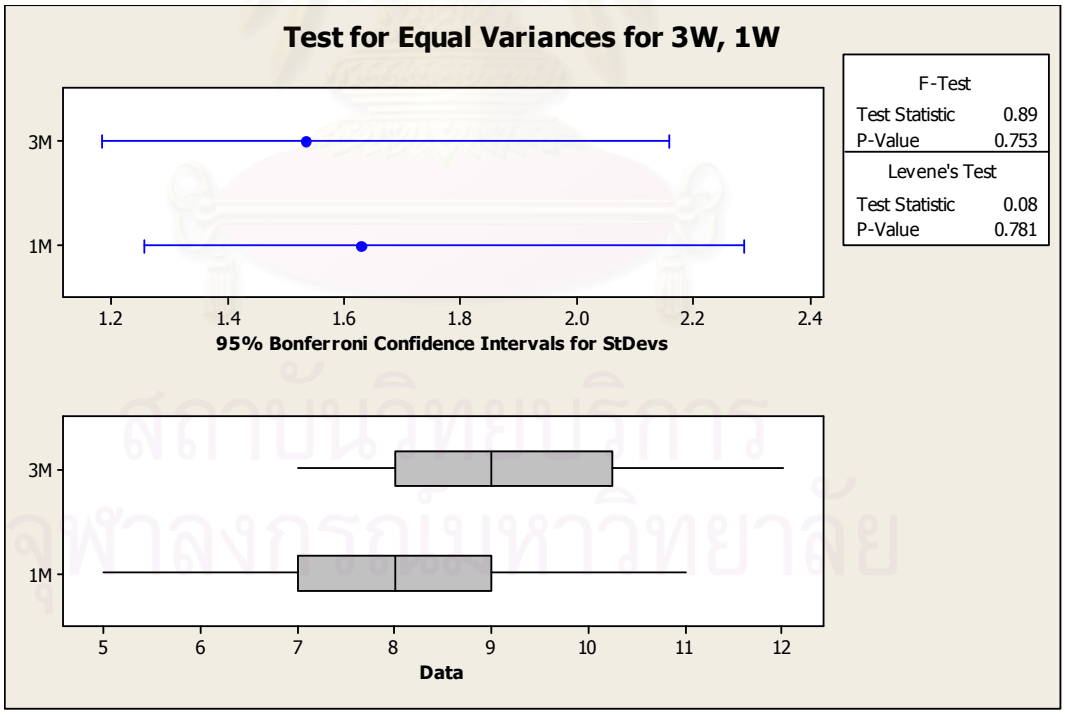
	N	Lower	StDev	Upper
3W	30	1.18342	1.53316	2.15647
1W	30	1.25531	1.62629	2.28747

F-Test (normal distribution)

Test statistic = 0.89, p-value = 0.753

Levene's Test (any continuous distribution)

Test statistic = 0.08, p-value = 0.781



รูปที่ 6.15 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าผลต่างของจำนวน gel ที่เกิดในกระบวนการผลิตที่ เปลี่ยนใบมีดตัดเม็ดทุก 3 และ 1 สัปดาห์

จากผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าผลต่างของจำนวน gel ที่เกิดในกระบวนการผลิตที่ เปลี่ยนใบมีดตัดเม็ดทุก 3 และ 1 สัปดาห์ พบว่า ค่า P-Value (F-Test) มากกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าค่าความแปรปรวนของค่าผลต่างของจำนวน gel ของทั้งสองเงื่อนไขมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ขั้นตอนต่อไปคือ การทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าผลต่างของจำนวน gel ที่เกิดในกระบวนการผลิตที่ เปลี่ยนใบมีดตัดเม็ดทุก 3 และ 1 สัปดาห์ โดยมีสมมติฐานที่ต้องการตรวจสอบคือ

$H_0 : \mu_1 = \mu_2$

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$

โดยกำหนดให้ μ_1 แทนค่าเฉลี่ยของผลต่างของจำนวน gel ในกระบวนการที่เปลี่ยนใบมีดตัดเม็ดทุก 3 สัปดาห์ และ μ_2 แทนค่าเฉลี่ยของผลต่างของจำนวน gel ในกระบวนการที่ เปลี่ยนใบมีดตัดเม็ดทุก 1 สัปดาห์

จากการตรวจสอบด้วยโปรแกรม Minitab ได้ผล ดังตารางที่ 6.8 และรูปที่ 6.16

ตารางที่ 6.8 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าผลต่างของจำนวน gel ที่เกิดในกระบวนการผลิตที่ เปลี่ยนใบมีดตัดเม็ดทุก 3 และ 1 สัปดาห์

Two-Sample T-Test and CI: 3W, 1W

Two-sample T for 3W vs 1W

	N	Mean	StDev	SE Mean
3W	30	9.17	1.53	0.28
1W	30	8.50	1.68	0.31

Difference = mu (3W) - mu (1W)

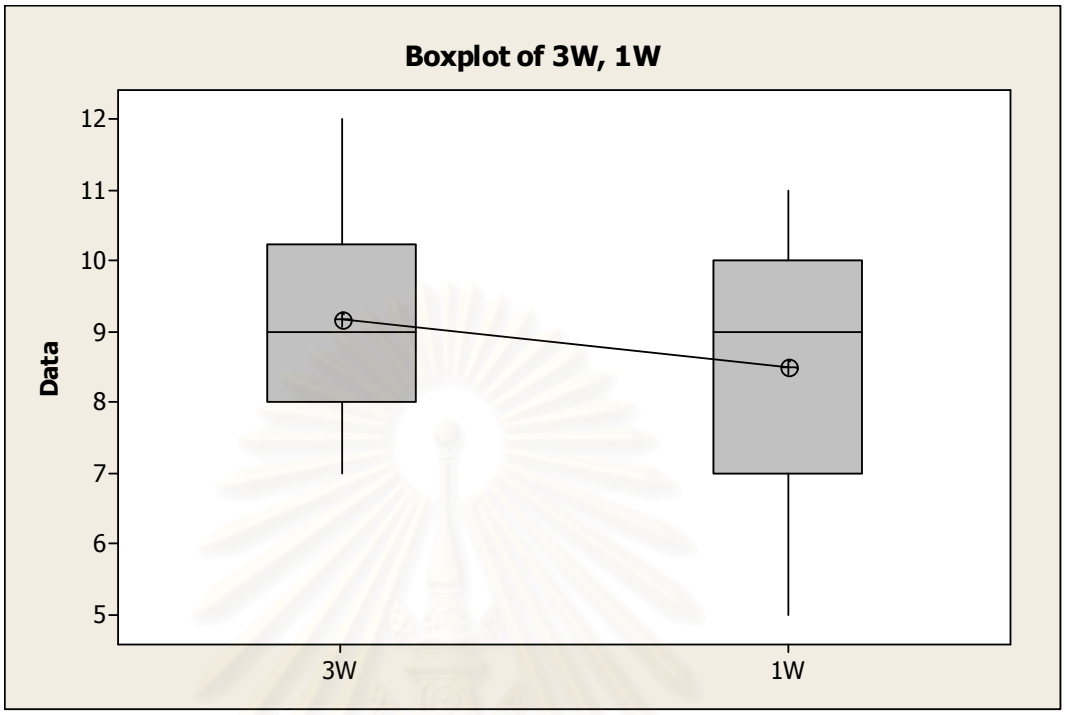
Estimate for difference: 0.666667

95% CI for difference: (-0.163577, 1.496911)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 1.61 P-Value = 0.113 DF = 58

Both use Pooled StDev = 1.6064

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.16 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าผลต่างของจำนวน gel ที่เกิดในกระบวนการผลิตที่ เปลี่ยนใบมีดตัดเม็ดทุก 3 และ 1 สัปดาห์

จากผลการทดสอบ พบว่า ค่า P-Value มากกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยของค่าผลต่างของจำนวน gel ของทั้งสองเงื่อนไขมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

6.2.5 ใช้ตะแกรงในการร่อนเม็ด

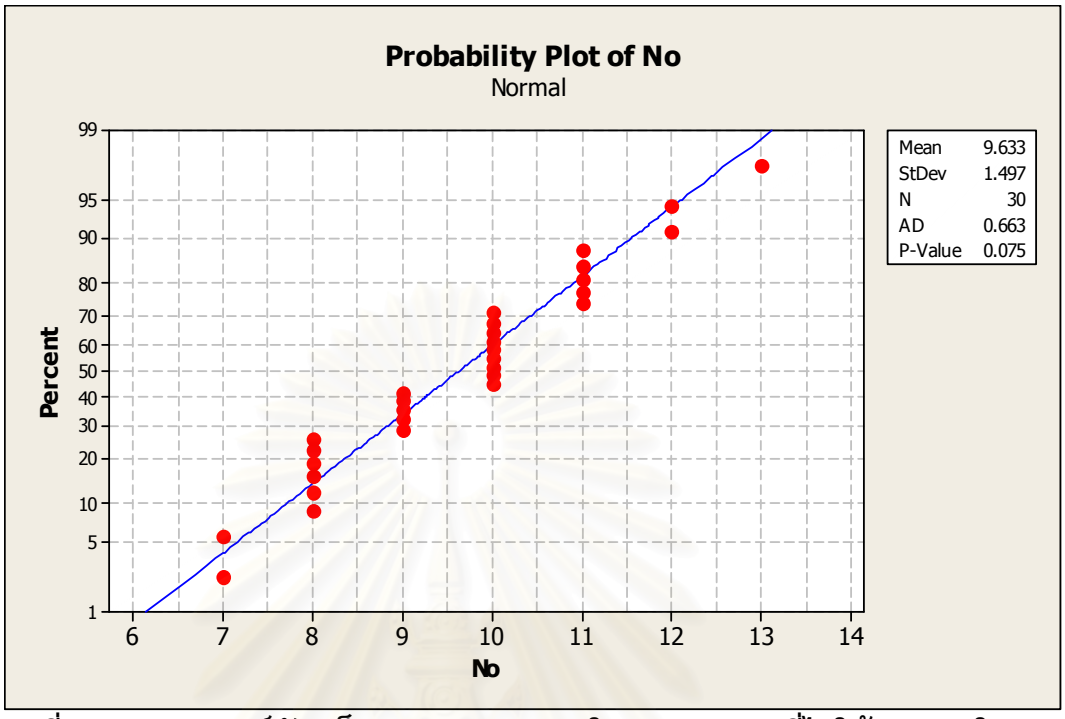
6.2.5.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ

โดยมีสมมติฐานที่ต้องการตรวจสอบคือ

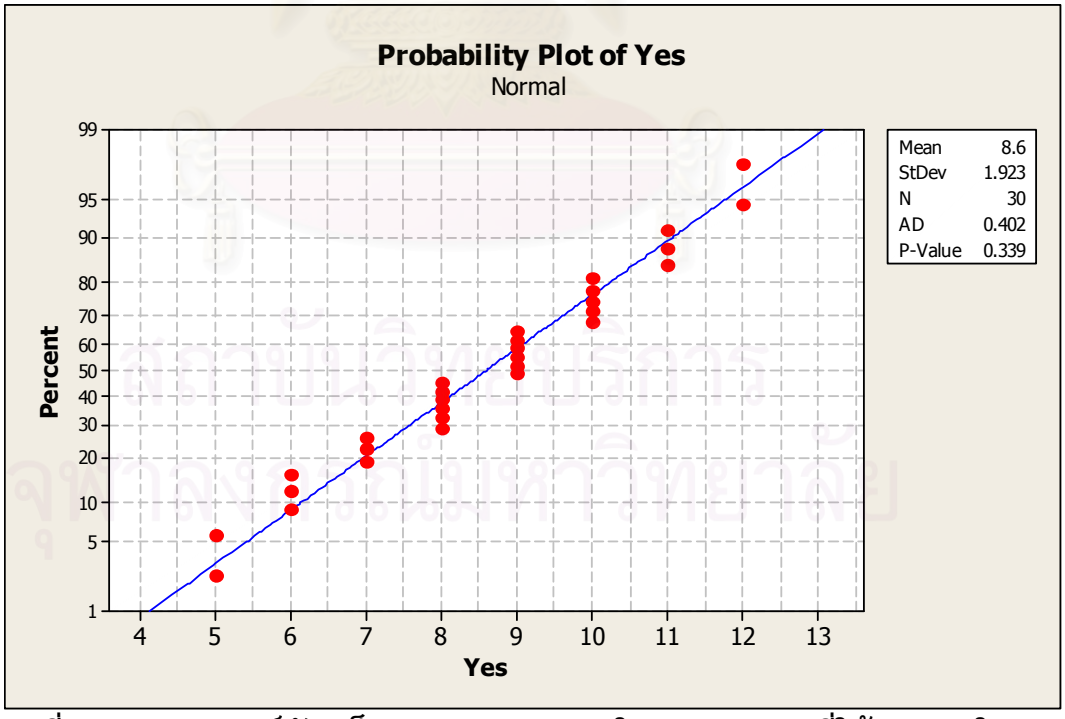
H_0 : ข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ

H_1 : ข้อมูลมีการกระจายแบบอื่นที่ไม่ใช่แบบปกติ

จากการตรวจสอบด้วยโปรแกรม Minitab ได้ผลว่าการกระจายเป็นแบบปกติ เนื่องจากมีค่า P-Value มากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังรูปที่ 6.17 และ 6.18



รูปที่ 6.17 กราฟนอร์มัลพล็อตของจำนวน gel ในกระบวนการที่ไม่ใช้ตะแกรงในการร่อนเม็ด



รูปที่ 6.18 กราฟนอร์มัลพล็อตของจำนวน gel ในกระบวนการที่ใช้ตะแกรงในการร่อนเม็ด

6.2.5.2 การทดสอบสมมติฐาน

โดยมีสมมติฐานที่ต้องการตรวจสอบคือ

$H_0 : \sigma^2_1 = \sigma^2_2$

$H_1 : \sigma^2_1 \neq \sigma^2_2$

โดยกำหนดให้ σ^2_1 แทนค่าความแปรปรวนของผลต่างของจำนวน gel ในกระบวนการที่ ไม่ใช้ตะแกรงในการร่อนเม็ด และ σ^2_2 แทนค่าความแปรปรวนของผลต่างของจำนวน gel ในกระบวนการที่ใช้ตะแกรงในการร่อนเม็ด

จากการตรวจสอบด้วยโปรแกรม Minitab ได้ผล ดังตารางที่ 6.9 และรูปที่ 6.19

ตารางที่ 6.9 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าผลต่างของจำนวน gel ที่เกิดในกระบวนการผลิตที่ใช้และไม่ใช้ตะแกรงในการร่อนเม็ด

Test for Equal Variances: No, Yes

95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations

	N	Lower	StDev	Upper
No	30	1.15531	1.49674	2.10524
Yes	30	1.48405	1.92264	2.70430

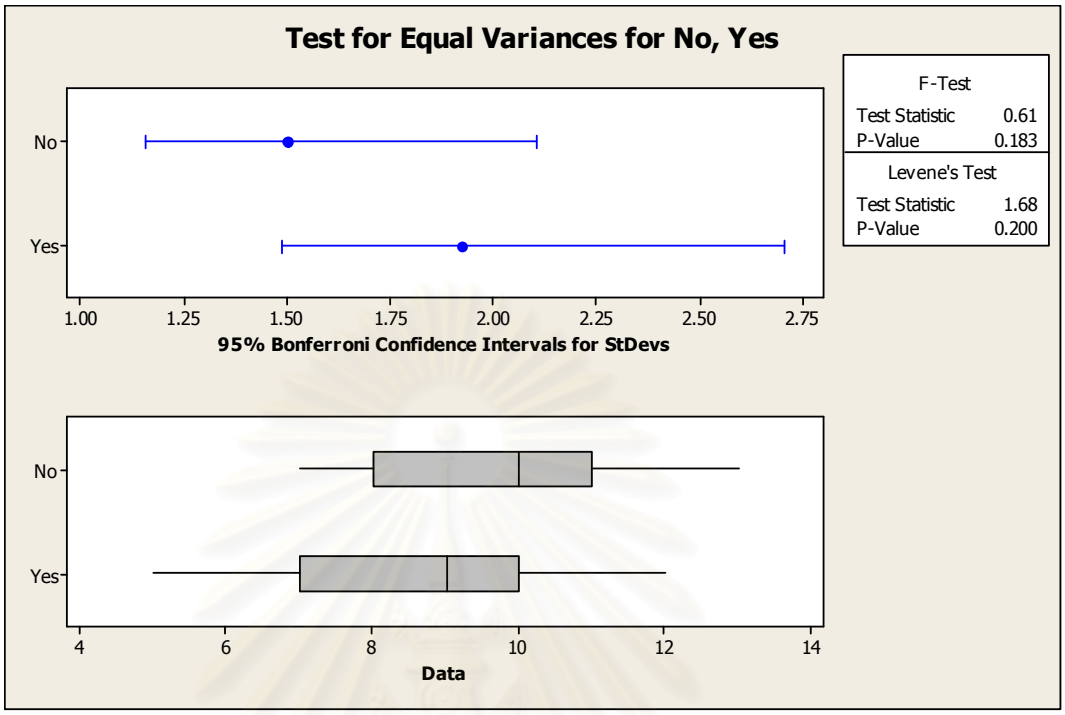
F-Test (normal distribution)

Test statistic = 0.61, p-value = 0.183

Levene's Test (any continuous distribution)

Test statistic = 1.68, p-value = 0.200

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.19 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าผลต่างของจำนวน gel ที่เกิดในกระบวนการผลิตที่ใช้และไม่ใช้ตะแกรงในการร่อนเม็ด

จากผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าผลต่างของจำนวน gel ที่เกิดในกระบวนการผลิตที่ไม่ใช้และใช้ตะแกรงในการร่อนเม็ด พบว่า ค่า P-Value (F-Test) มากกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าค่าความแปรปรวนของค่าผลต่างของจำนวน gel ของทั้งสองเงื่อนไขมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ขั้นตอนต่อไปคือ การทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าผลต่างของจำนวน gel ที่เกิดในกระบวนการผลิตที่ไม่ใช้และใช้ตะแกรงในการร่อนเม็ด โดยมีสมมติฐานที่ต้องการตรวจสอบคือ

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

โดยกำหนดให้ μ_1 แทนค่าเฉลี่ยของผลต่างของจำนวน gel ในกระบวนการไม่ใช้ตะแกรงในการร่อนเม็ด และ μ_2 แทนค่าเฉลี่ยของผลต่างของจำนวน gel ในกระบวนการที่ใช้ตะแกรงในการร่อนเม็ด

จากการตรวจสอบด้วยโปรแกรม Minitab ได้ผล ดังตารางที่ 6.10 และรูปที่ 6.20

ตารางที่ 6.10 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าผลต่างของจำนวน gel ที่เกิดในกระบวนการผลิตที่ใช้และไม่ใช้ตะแกรงในการร่อนเม็ด

Two-Sample T-Test and CI: No, Yes

Two-sample T for No vs Yes

	N	Mean	StDev	SE Mean
No	30	9.63	1.50	0.27
Yes	30	8.60	1.92	0.35

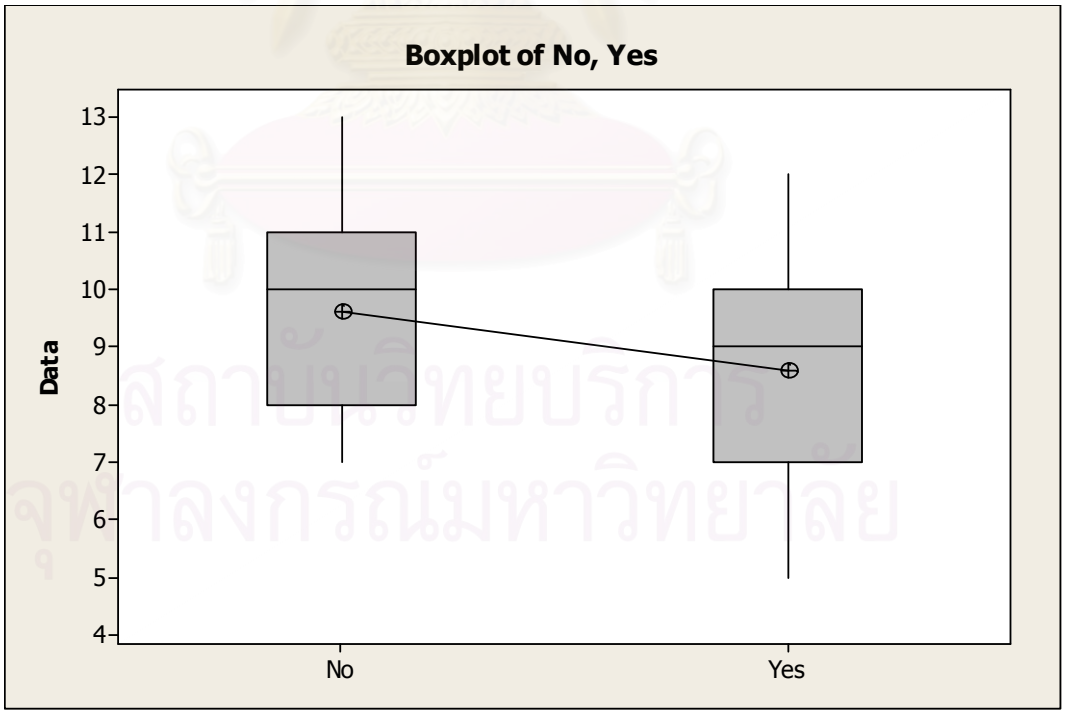
Difference = mu (No) - mu (Yes)

Estimate for difference: 1.03333

95% CI for difference: (0.14287, 1.92380)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 2.32 P-Value = 0.024 DF = 58

Both use Pooled StDev = 1.7229



รูปที่ 6.20 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าผลต่างของจำนวน gel ที่เกิดในกระบวนการผลิตที่ใช้และไม่ใช้ตะแกรงในการร่อนเม็ด

จากผลการทดสอบ พบว่า ค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยของค่าผลต่างของจำนวน gel ของทั้งสองเงื่อนไขมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ 6.11 สรุปความมีนัยสำคัญของแต่ละปัจจัย

ปัจจัย	ระดับ	P-Value			
		Normal Probability Plot	ความเท่ากันของค่าความแปรปรวน	ความเท่ากันของค่าเฉลี่ย	ความมีนัยสำคัญ
อุณหภูมิในการอัดรีดเม็ด	145 °C 165 °C	0.057 0.093	0.094	0.000	มี
Screw speed ในการอัดรีดเม็ด	90 rpm 110 rpm	0.097 0.086	0.797	0.000	มี
ขนาดเม็ดพีวีซีผง	120 micron 180 micron	>0.150 >0.150	0.858	0.000	มี
ความถี่ในการเปลี่ยนใบมีดสำหรับการตัดเม็ด	3 สัปดาห์ 1 สัปดาห์	0.052 0.055	0.753	0.113	ไม่มี
การใช้ตะแกรงในการร่อนเม็ด	ไม่ใช้ ใช้	0.075 0.339	0.183	0.024	มี

6.3 สรุปปัจจัยที่ระดับของปัจจัยมีความแตกต่างกันจากการทดสอบสมมติฐาน

จากการทดสอบสมมติฐานของทั้ง 5 ปัจจัย พบว่า มี 4 ปัจจัยที่มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 หมายความว่าค่าเฉลี่ยของค่าผลต่างของจำนวน gel ของแต่ละปัจจัยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % สามารถสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 6.12

ตารางที่ 6.12 สรุปปัจจัยที่ระดับของปัจจัยมีความแตกต่างจากผลการทดสอบสมมติฐาน

ปัจจัย	ระดับ		หน่วย
	1	2	
อุณหภูมิในการอัดรีดเม็ด	145	165	^{o}C
Screw speed ในการอัดรีดเม็ด	90	110	rpm
ขนาดเม็ดพีวีซีผง	120	180	micron
การใช้ตะแกรงในการร่อนเม็ด	ใช้	ไม่ใช้	ไม่มี

จากผลการทดสอบสมมติฐานที่ได้ข้างต้น สามารถนำไปพิจารณาและวิเคราะห์ในขั้นตอนของการออกแบบการทดลองเพื่อปรับปรุงกระบวนการต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 7

การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

7.1 บทนำ

จากขั้นตอนของ ซิกซ์ ซิกม่า ระยะที่ 4 การปรับปรุง(Improve) เครื่องมือที่นำมาใช้ในการวิจัยประกอบด้วย

- การออกแบบการทดลอง(Design of Experiments) เพราะการออกแบบการทดลองนั้นสามารถที่จะช่วยปรับปรุงกระบวนการที่ศึกษาอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจาก การออกแบบการทดลองนั้นจะช่วยสรุปผลสุดท้าย ที่ต้องการทั้งหมดของ ซิกซ์ ซิกม่า กล่าวคือ จะช่วยให้สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ (KPIV) ที่เหมาะสมซึ่งส่งผลต่อค่าผลลัพธ์ที่ต้องการ
- การออกแบบการทดลองที่มีสองระดับ(2^k Full Factorial Design) เพราะการออกแบบการทดลองแบบนี้เป็นการออกแบบการทดลองที่มีประโยชน์และนิยมใช้กันอย่างมากในอุตสาหกรรม เนื่องจากช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการทดลอง รวมทั้งช่วยการกลั่นกรองปัจจัยที่ไม่มีนัยสำคัญ ได้โดยเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด และสอดคล้องกับการเพิ่มจุดศูนย์กลางของการทดลองเข้าไป เพื่อตรวจสอบว่ารูปแบบของการทดลองนั้นมีลักษณะเป็นเส้นตรงหรือไม่
- วิธีการพื้นผิวผลตอบ(Response Surface Methodology, RSM) นำมาใช้เพื่อหาค่าที่ดีที่สุดของค่าผลตอบสนอง

เครื่องมือที่ไม่ได้นำมาใช้ใน ซิกซ์ ซิกม่า ระยะที่ 4 (Improve) ประกอบด้วยเครื่องมือดังต่อไปนี้

- การทดสอบตัวแปรหลายตัวที่มีระดับต่างกัน(Full Factorial Multiple Variables) ที่ไม่ได้นำเครื่องมือนี้มาประยุกต์ใช้เนื่องจากระดับของปัจจัยการออกแบบการทดลองสำหรับการวิจัยนี้มีเพียง 2 ระดับ เพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายในการทดลองและเป็นการป้องกันผลเสียที่เกิดขึ้น ถ้ามีการทดลองหลายระดับแต่ปัจจัยนั้นไม่มีนัยสำคัญ จึงใช้การออกแบบการทดลองที่มี 2 ระดับ

- การออกแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ(Fractional Factorial Design) ที่ไม่ได้นำเครื่องมือนี้มาประยุกต์ใช้เนื่องจากความสามารถในการทดลองแบบเต็มรูปแบบเพียงพอ ถ้านำการออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2 ระดับ มาใช้อาจทำให้ขาดสารสนเทศที่สำคัญบางอย่างไป
- การบล็อกของการทดลองเชิงแฟกทอเรียล(DOE-Blocking) ที่ไม่ได้นำเครื่องมือนี้มาประยุกต์ใช้ เนื่องจากเทคนิคนี้ใช้สำหรับการออกแบบการทดลองที่ทราบอยู่แล้วว่ามีปัจจัยที่มีผลแต่ไม่สนใจจึงทำการบล็อกปัจจัยนั้นเพื่อการสรุปผลที่ถูกต้อง แต่งานวิจัยนี้ไม่มีกรณีของปัจจัยดังกล่าว จึงไม่นำเทคนิคนี้มาวิเคราะห์

7.2 ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ

จากการทดสอบสมมติฐาน พบว่า ปัจจัยนำเข้าสำคัญสามารถสรุปโดยกำหนดระดับของแต่ละปัจจัยได้ดังแสดงในตารางที่ 7.1

ตารางที่ 7.1 ปัจจัยนำเข้าสำคัญที่จะนำไปออกแบบการทดลอง

ปัจจัย	ระดับ		หน่วย
	-1	1	
อุณหภูมิในการอัดรีดเม็ด	145	165	^{o}C
Screw speed ในการอัดรีดเม็ด	90	110	rpm
ขนาดเม็ดพีวีซีผง	120	180	micron
การใช้ตะแกรงในการร่อนเม็ด	ใช้	ไม่ใช้	ไม่มี

7.3 ตัวแปรตอบสนอง

ค่าตัวแปรตอบสนอง คือ ค่าผลต่างของจำนวน gel ซึ่งเป็นค่าที่ลูกค้ากำหนดให้เป็นค่าที่ต่ำที่สุด ซึ่งต้องมีค่าไม่เกิน 10 จุด

7.4 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองในครั้งนี้ จะใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k โดยที่ k คือ จำนวนของปัจจัยที่นำมาทดลอง และ 2 คือ จำนวนระดับของแต่ละปัจจัย และกำหนดให้ที่แต่ละระดับของแต่ละปัจจัยเป็น ต่ำ(-) กับ สูง(+) ขั้นตอนการออกแบบการทดลองมีดังนี้

7.4.1 การเลือกขนาดตัวอย่าง

การออกแบบการทดลองแบบ 2^k ที่มีปัจจัย 4 ปัจจัย ด้วยโปรแกรม Minitab โดยมีรายละเอียดดังนี้

- Corner point = 16 จุด (full factorial)
- Effect = 1.5
- Power value อย่างน้อย 0.90
- จำนวน Center point = 3 ค่าต่อบล็อก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7.2 การคำนวณจำนวนการทำซ้ำด้วยโปรแกรม Minitab

Power and Sample Size

2-Level Factorial Design

Alpha = 0.05 Assumed standard deviation = 1

Factors: 4 Base Design: 4, 16

Blocks: none

Including a term for center points in model.

Center Points	Effect	Reps	Total Runs	Power
3	1.5	1	19	0.387400
3	1.5	2	35	0.979674
3	1.5	3	51	0.998981

จากผลการคำนวณพบว่า ที่จำนวนการทดลองซ้ำ 2 ซ้ำ จะมีค่ากำลังของการทดสอบ เท่ากับ 0.9797 ซึ่งมากกว่าค่ากำลังของการทดสอบที่กำหนดไว้ที่ 0.90 ดังนั้น การทดลองนี้จึงใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^4 Full Factorial Design ที่มีการทำซ้ำ 2 ครั้ง และมีการเพิ่มจุดศูนย์กลางเข้าไป 3 จุด เนื่องจากตามทฤษฎีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง ควรเพิ่ม 3-5 จุด อีกทั้งเป็นการประหยัดจำนวนครั้งของการทดลอง เพื่อตรวจสอบสมมติฐานความเป็นเส้นตรง (Linearity) ของผลที่จะเกิดจากปัจจัยต่าง ๆ และจะได้ลำดับของการทดลองเป็นการทดลองแบบสุ่มทั้งสิ้น 38 การทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 7.3 และ 7.4

กำหนดให้ A แทนปัจจัยอุณหภูมิในการอัดรีดเม็ด

B แทนปัจจัย Screw speed ในการอัดรีดเม็ด

C แทนปัจจัยขนาดเม็ดพีวีซีผง

D แทนปัจจัยการใช้ตะแกรงในการร่อนเม็ด

ตารางที่ 7.3 การออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab

Full Factorial Design

Factors: 4 Base Design: 4, 16

Runs: 38 Replicates: 2

Blocks: 1 Center pts (total): 6

All terms are free from aliasing.

Design Table

Run	A	B	C	D
1	-	-	-	-
2	+	-	-	-
3	-	+	-	-
4	+	+	-	-
5	-	-	+	-
6	+	-	+	-
7	-	+	+	-
8	+	+	+	-
9	-	-	-	+
10	+	-	-	+
11	-	+	-	+
12	+	+	-	+
13	-	-	+	+
14	+	-	+	+
15	-	+	+	+
16	+	+	+	+
17	-	-	-	-
18	+	-	-	-
19	-	+	-	-
20	+	+	-	-
21	-	-	+	-
22	+	-	+	-
23	-	+	+	-
24	+	+	+	-
25	-	-	-	+
26	+	-	-	+
27	-	+	-	+
28	+	+	-	+
29	-	-	+	+
30	+	-	+	+
31	-	+	+	+
32	+	+	+	+
33	0	0	0	-
34	0	0	0	+
35	0	0	0	-
36	0	0	0	+
37	0	0	0	-
38	0	0	0	+

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7.4 Design Matrix **ของการออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรม** Minitab

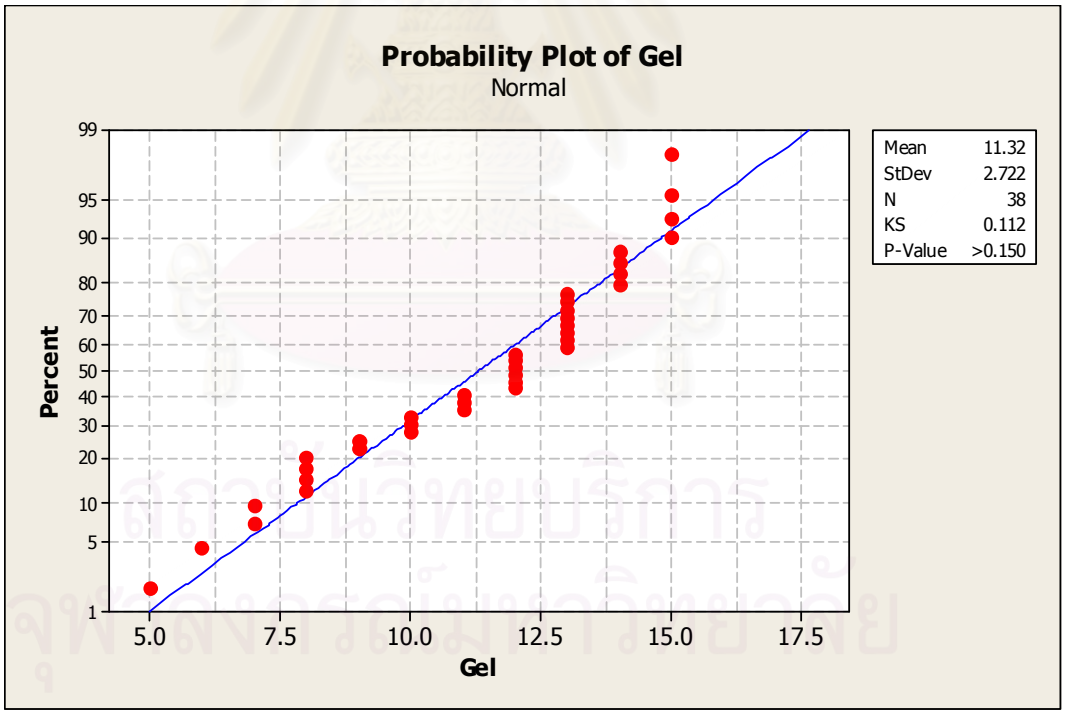
StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A	B	C	D	Gel
36	1	0	1	155	100	150	1	15
4	2	1	1	165	110	120	-1	7
35	3	0	1	155	100	150	-1	14
7	4	1	1	145	110	180	-1	15
31	5	1	1	145	110	180	1	14
3	6	1	1	145	110	120	-1	12
24	7	1	1	165	110	180	-1	13
17	8	1	1	145	90	120	-1	11
28	9	1	1	165	110	120	1	8
25	10	1	1	145	90	120	1	10
27	11	1	1	145	110	120	1	11
14	12	1	1	165	90	180	1	13
23	13	1	1	145	110	180	-1	13
12	14	1	1	165	110	120	1	8
38	15	0	1	155	100	150	1	14
16	16	1	1	165	110	180	1	13
5	17	1	1	145	90	180	-1	14
37	18	0	1	155	100	150	-1	15
18	19	1	1	165	90	120	-1	6
29	20	1	1	145	90	180	1	13
9	21	1	1	145	90	120	1	10
32	22	1	1	165	110	180	1	13
21	23	1	1	145	90	180	-1	14
30	24	1	1	165	90	180	1	14
2	25	1	1	165	90	120	-1	12
19	26	1	1	145	110	120	-1	12
10	27	1	1	165	90	120	1	5
20	28	1	1	165	110	120	-1	13
6	29	1	1	165	90	180	-1	13
22	30	1	1	165	90	180	-1	12
26	31	1	1	165	90	120	1	7
8	32	1	1	165	110	180	-1	12
34	33	0	1	155	100	150	1	14
1	34	1	1	145	90	120	-1	11
13	35	1	1	145	90	180	1	14
11	36	1	1	145	110	120	1	12
15	37	1	1	145	110	180	1	15
33	38	0	1	155	100	150	-1	14

7.5 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

ในการออกแบบการทดลองนั้น จะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขที่สำคัญคือ NID $(0,\sigma^2)$ จึงต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ว่าเป็นไปตามเงื่อนไขของ NID $(0,\sigma^2)$ หรือไม่ โดยการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ประกอบด้วยการทดสอบข้อกำหนดเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อนของการทดลองภายใต้เงื่อนไข 3 ประการ คือ

- ข้อมูลเป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ
- ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน
- ความมีเสถียรภาพของความแปรปรวน

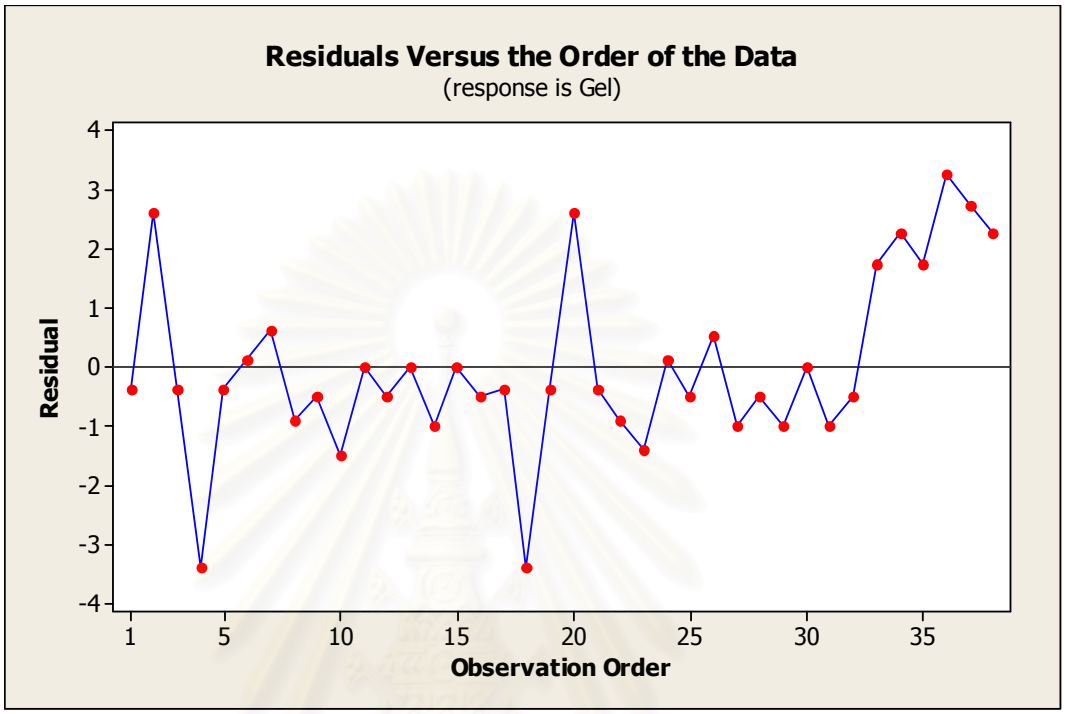
7.5.1 การทดสอบสมมติฐานของความเป็นปกติ



รูปที่ 7.1 การกระจายของค่าส่วนตกค้าง

จากกราฟที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นตรงและมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 นั่นคือ ข้อมูลเป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ

7.5.2 การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ

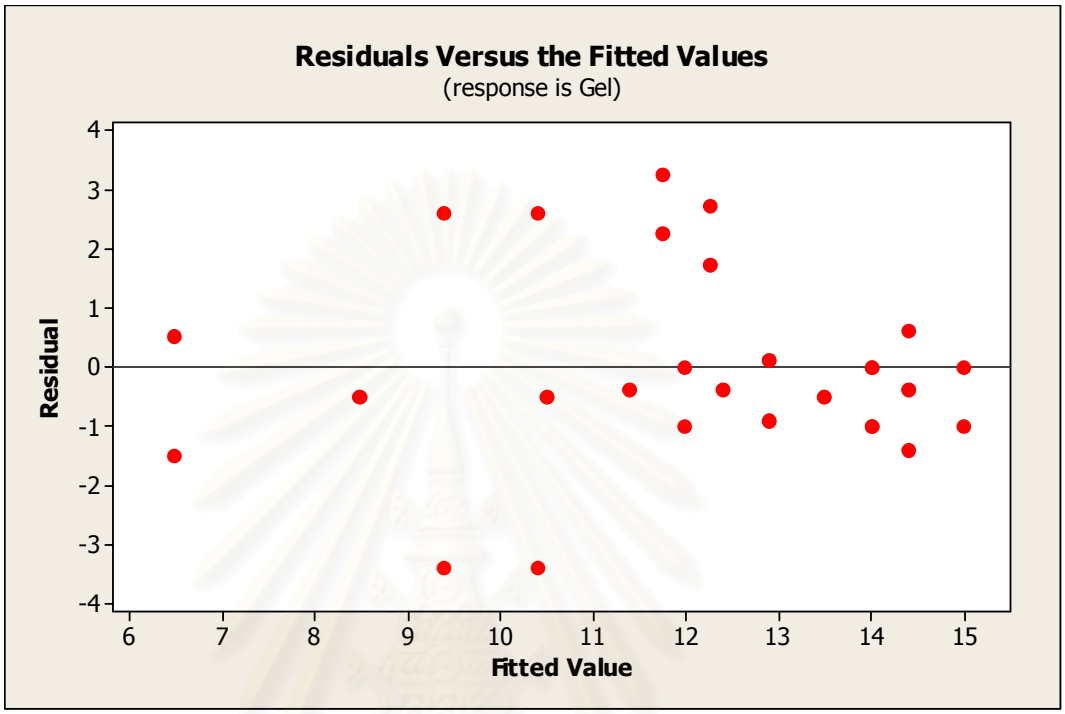


รูปที่ 7.2 ความสัมพันธ์ของค่าส่วนตกค้างและลำดับของข้อมูล

จากกราฟสังเกตได้ว่า ค่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบ ดังนั้น สรุปได้ว่า ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7.5.3 การทดสอบความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน



รูปที่ 7.3 ความสัมพันธ์ของค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิต

จากกราฟสังเกตได้ว่า ค่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบ ดังนั้น สรุปได้ว่า ข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

สรุปผลจากการทดสอบความถูกต้องของตัวแบบของตัวแปรตอบสนอง (Gel) ที่นำมาทดลองนี้ พบว่า ข้อมูลมีสมมติฐานตรงตามข้อกำหนดทั้ง 3 ข้อ คือ

- ข้อมูลเป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ
- ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน
- ความมีเสถียรภาพของความแปรปรวน

ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขของการออกแบบการทดลองที่ว่า NID $(0,\sigma^2)$

7.6 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม Minitab สามารถแสดงผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง Coded Units และ Un-coded Units ได้ดังตารางที่ 7.5 และ 7.6 ตามลำดับ

ตารางที่ 7.5 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง Coded Units

Factorial Fit: Gel versus A, B, C, D

Estimated Effects and Coefficients for Gel (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		11.563	0.2583	44.77	0.000
A	-2.000	-1.000	0.2583	-3.87	0.001
B	0.750	0.375	0.2583	1.45	0.161
C	3.750	1.875	0.2583	7.26	0.000
D	-0.526	-0.263	0.2370	-1.11	0.279
A*B	-0.125	-0.063	0.2583	-0.24	0.811
A*C	0.875	0.438	0.2583	1.69	0.105
A*D	-0.250	-0.125	0.2583	-0.48	0.633
B*C	-0.625	-0.312	0.2583	-1.21	0.240
B*D	0.250	0.125	0.2583	0.48	0.633
C*D	1.000	0.500	0.2583	1.94	0.066
A*B*C	-0.250	-0.125	0.2583	-0.48	0.633
A*B*D	-0.125	-0.063	0.2583	-0.24	0.811
A*C*D	0.625	0.312	0.2583	1.21	0.240
B*C*D	-0.125	-0.062	0.2583	-0.24	0.811
A*B*C*D	-0.250	-0.125	0.2583	-0.48	0.633
Ct Pt		2.771	0.6500	4.26	0.000

S = 1.46103 R-Sq = 82.63% R-Sq(adj) = 69.39%

Analysis of Variance for Gel (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	4	151.632	151.632	37.9079	17.76	0.000
2-Way Interactions	6	18.375	18.375	3.0625	1.43	0.248
3-Way Interactions	4	3.875	3.875	0.9688	0.45	0.769
4-Way Interactions	1	0.500	0.500	0.5000	0.23	0.633
Curvature	1	38.792	38.792	38.7917	18.17	0.000
Residual Error	21	44.827	44.827	2.1346		
Lack of Fit	1	0.493	0.493	0.4934	0.22	0.642
Pure Error	20	44.333	44.333	2.2167		
Total	37	258.000				

ตารางที่ 7.6 **ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง** Un-coded Units

Estimated Coefficients for Gel using data in uncoded units	
Term	Coef
Constant	119.406
A	-0.88125
B	-0.67813
C	-0.70521
D	106.206
A*B	0.0056250
A*C	0.00562500
A*D	-0.73125
B*C	0.0054167
B*D	-0.82812
C*D	-0.76979
A*B*C	-4.16667E-05
A*B*D	0.0056250
A*C*D	0.00520833
B*C*D	0.0062500
A*B*C*D	-4.16667E-05
Ct Pt	2.77083

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เนื่องจากการทดลองนี้มีลักษณะของส่วนโค้ง โดยพิจารณาจาก ค่า P-Value ของ curvature ที่มีค่าน้อยกว่า 0.05 ดังนั้น จึงต้องนำปัจจัยหลักที่ที่มีผลต่อค่าตัวแปรตอบสนอง 2 ปัจจัย คือ อุณหภูมิของการอัดรีด และขนาดเม็ดของพีวีซีผง มาทำการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองที่มีลักษณะส่วนโค้งใหม่โดยใช้วิธีการของพื้นผิวผลตอบ แบบส่วนประสมกลางที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง ซึ่งมีขั้นตอนในการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

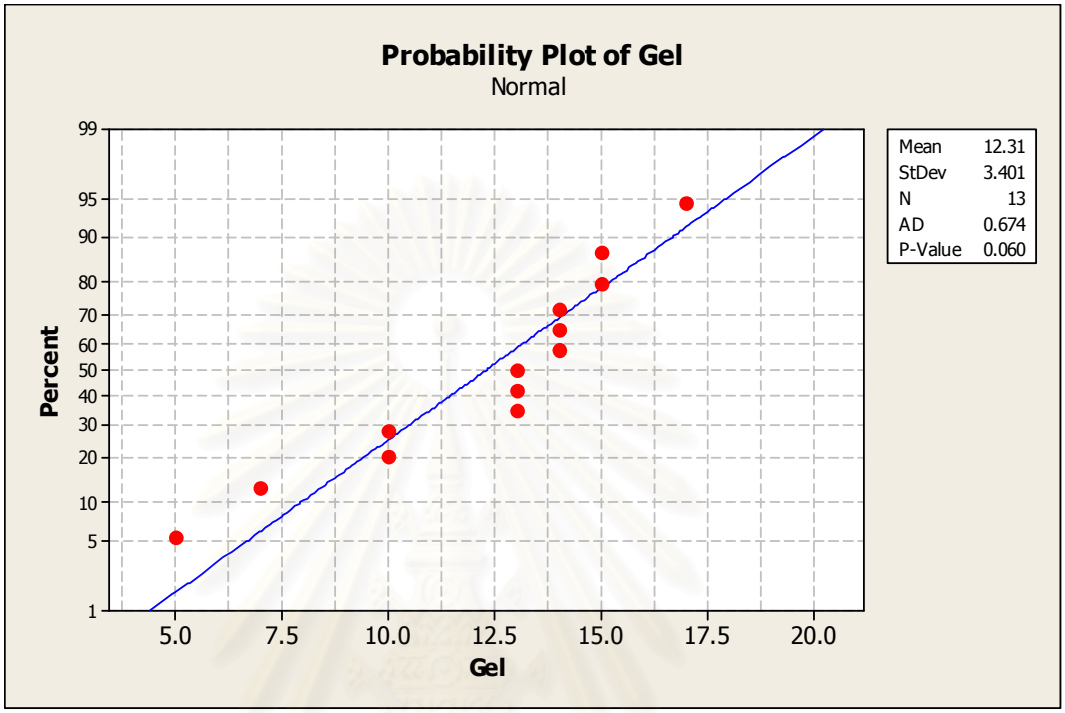
7.7 การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง

การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลางเข้าไป 6 จุด เนื่องจากสมมติฐานเกี่ยวกับความเป็นเชิงเส้น (Linearity) ของการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^4 Full Factorial Design ที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลางเข้าไป 3 จุดข้างต้นนั้น ไม่สามารถวิเคราะห์ผลที่ถูกต้องของรูปแบบของการทดลองนี้ได้ เพราะมีลักษณะของส่วนโค้ง (Curvature) เกิดขึ้น จึงทำการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลางเข้าไป 6 จุด ซึ่งสามารถวิเคราะห์รูปแบบของการทดลองที่มีลักษณะกำลังสอง (Second Order) ได้ โดยจะได้ทำการทดลองแบบสุ่ม ดังแสดงในตารางที่ 7.7

ตารางที่ 7.7 ผลการทดลองการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง

StdOrder	RunOrder	Blocks	Temp	Particle	Gel
3	1	1	145	180	15
8	2	1	155	192.426	17
2	3	1	165	120	7
6	4	1	169.142	150	10
10	5	1	155	150	13
5	6	1	140.858	150	15
9	7	1	155	150	14
4	8	1	165	180	14
13	9	1	155	150	13
11	10	1	155	150	13
7	11	1	155	107.574	5
1	12	1	145	120	10
12	13	1	155	150	14

7.7.1 การทดสอบสมมติฐานของความเป็นปกติ

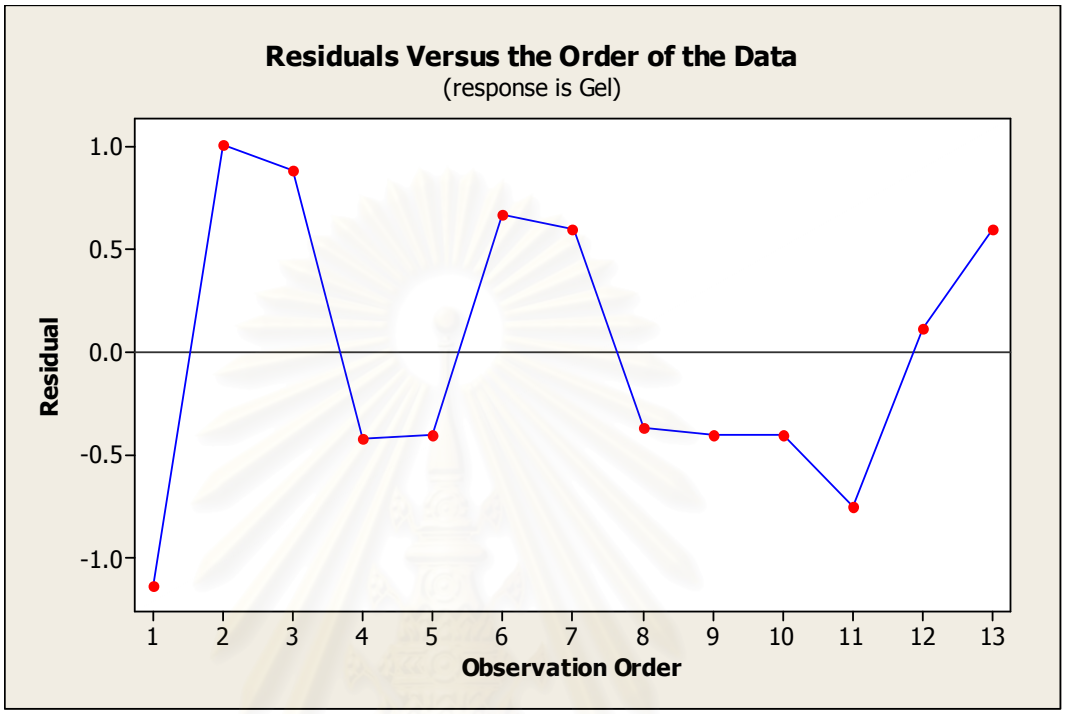


รูปที่ 7.4 การกระจายของค่าส่วนตกค้าง

จากกราฟที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นตรงและมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 นั่นคือ ข้อมูลเป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7.7.2 การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ

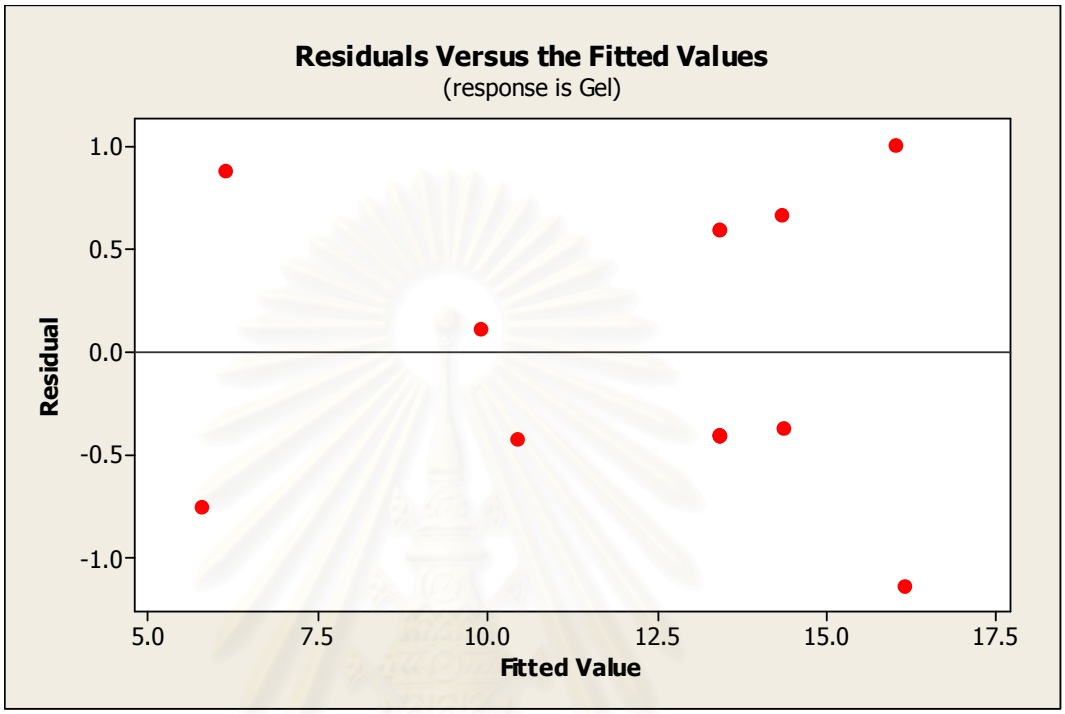


รูปที่ 7.5 ความสัมพันธ์ของค่าส่วนตกค้างและลำดับของข้อมูล

จากกราฟสังเกตได้ว่า ค่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบ ดังนั้น สรุปได้ว่า ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7.7.3 การทดสอบความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน



รูปที่ 7.6 ความสัมพันธ์ของค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิต

จากกราฟสังเกตได้ว่า ค่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบ ดังนั้น สรุปได้ว่า ข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

สรุปผลจากการทดสอบความถูกต้องของตัวแบบของตัวแปรตอบสนอง (Gel) ที่นำมาทดลองนี้ พบว่า ข้อมูลมีสมมติฐานตรงตามข้อกำหนดทั้ง 3 ข้อ คือ

- ข้อมูลเป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ
- ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน
- ความมีเสถียรภาพของความแปรปรวน

  ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขของการออกแบบการทดลองที่ว่า NID $(0,\sigma^2)$

จากการวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม Minitab สามารถแสดงผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง Coded Units และ Un-coded Units ได้ดังตารางที่ 7.5 และ 7.6 ตามลำดับ

ตารางที่ 7.8 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง Coded Units

Response Surface Regression: Gel versus A, B

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for Gel

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	13.4000	0.3997	33.523	0.000
A	-1.3839	0.3160	-4.379	0.003
B	3.6213	0.3160	11.460	0.000
A*A	-0.5125	0.3389	-1.512	0.174
B*B	-1.2625	0.3389	-3.725	0.007
A*B	0.5000	0.4469	1.119	0.300

S = 0.8938 R-Sq = 96.0% R-Sq(adj) = 93.1%

Analysis of Variance for Gel

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	133.177	133.177	26.6354	33.34	0.000
Linear	2	120.233	120.233	60.1164	75.25	0.000
Square	2	11.944	11.944	5.9721	7.48	0.018
Interaction	1	1.000	1.000	1.0000	1.25	0.300
Residual Error	7	5.592	5.592	0.7989		
Lack-of-Fit	3	4.392	4.392	1.4641	4.88	0.080
Pure Error	4	1.200	1.200	0.3000		
Total	12	138.769				

ตารางที่ 7.9 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง Un-coded Units

Estimated Regression Coefficients for Gel using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	-99.1970
A	1.20036
B	0.283211
A*A	-0.00512500
B*B	-0.00140278
A*B	0.00166667

Response Surface Regression: Gel versus A, B

The analysis was done using uncoded units.

Estimated Regression Coefficients for Gel

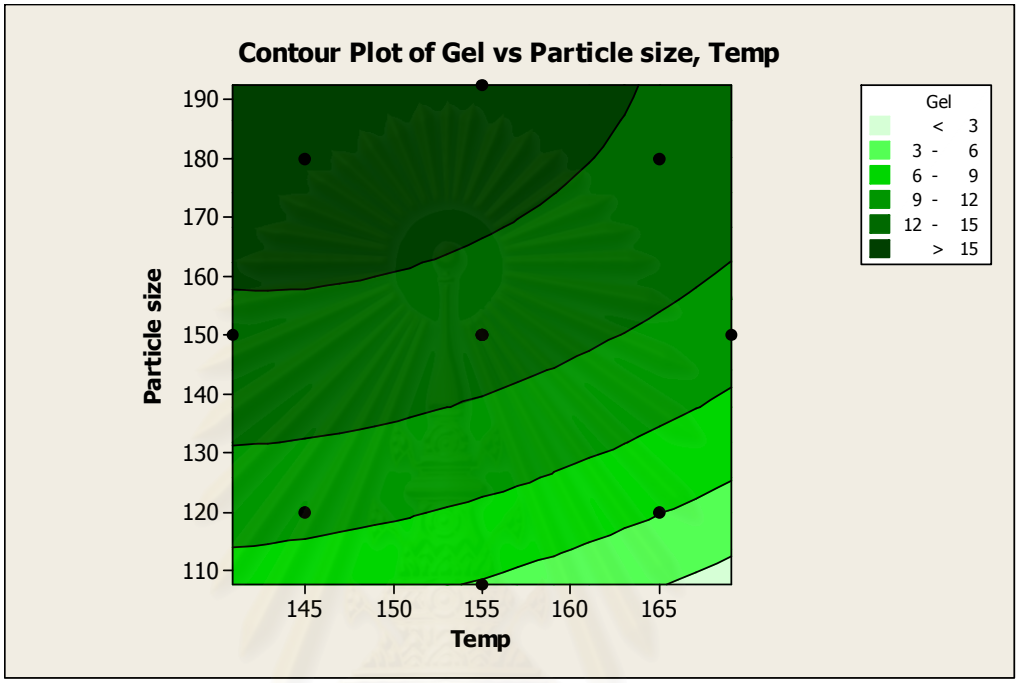
Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-99.1970	89.8008	-1.105	0.306
A	1.2004	1.0745	1.117	0.301
B	0.2832	0.2573	1.101	0.307
A*A	-0.0051	0.0034	-1.512	0.174
B*B	-0.0014	0.0004	-3.725	0.007
A*B	0.0017	0.0015	1.119	0.300

S = 0.8938 R-Sq = 96.0% R-Sq(adj) = 93.1%

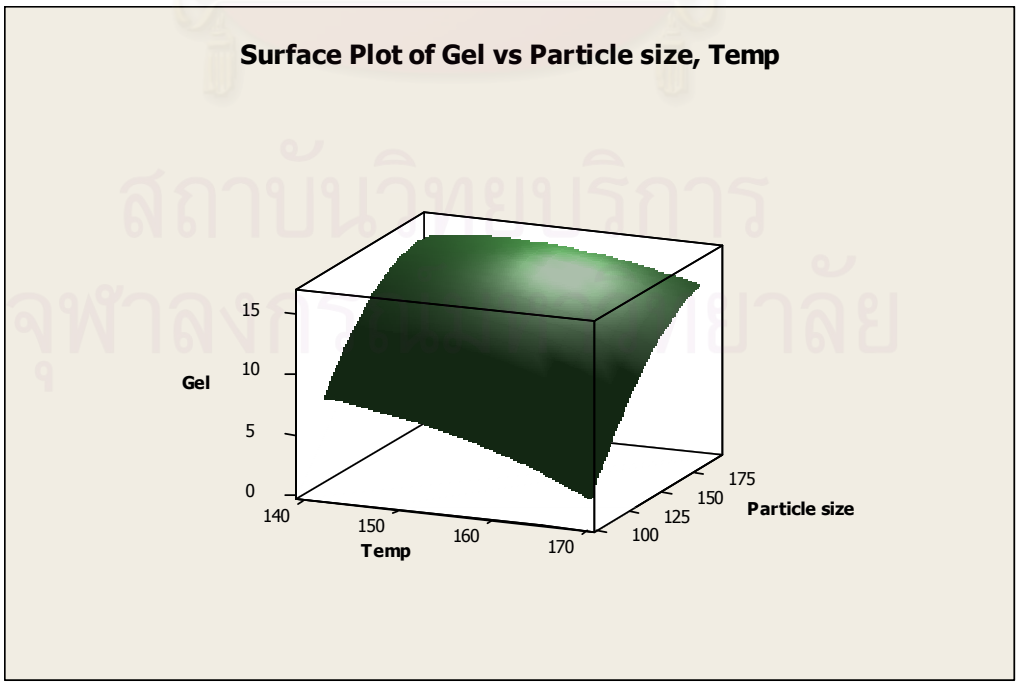
Analysis of Variance for Gel

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	133.177	133.177	26.6354	33.34	0.000
Linear	2	120.233	1.581	0.7907	0.99	0.418
Square	2	11.944	11.944	5.9721	7.48	0.018
Interaction	1	1.000	1.000	1.0000	1.25	0.300
Residual Error	7	5.592	5.592	0.7989		
Lack-of-Fit	3	4.392	4.392	1.4641	4.88	0.080
Pure Error	4	1.200	1.200	0.3000		
Total	12	138.769				

เมื่อใช้การประมวลผลในสักษณะของวิธีการปีนขึ้นด้วยทางที่ชันที่สุด (Steepest Ascent) จะแสดงผลลัพธ์ออกมาเป็นกราฟโครงร่างและพื้นผิวผลตอบ ดังรูปที่ 7.7 และ 7.8

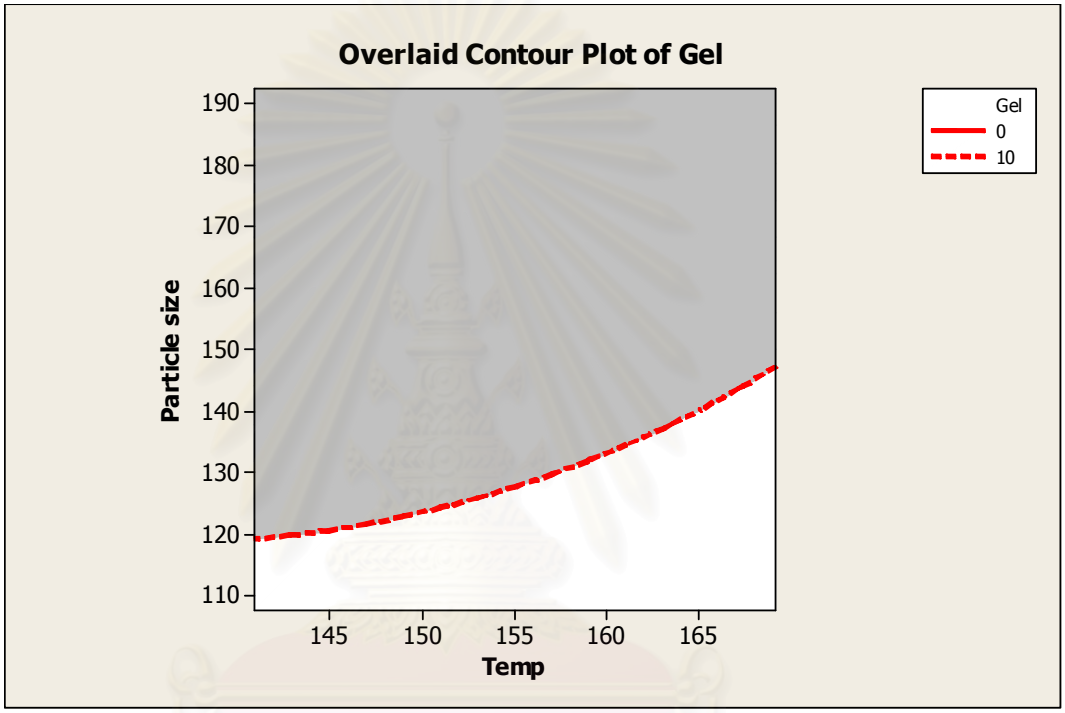


รูปที่ 7.7 กราฟโครงร่างระหว่างปัจจัยอุณหภูมิของการอัดรีดและขนาดเม็ดของพีวีซีผง



รูปที่ 7.8 กราฟพื้นผิวผลตอบระหว่างปัจจัยอุณหภูมิของการอัดรีดและขนาดเม็ดของพีวีซีผง

นอกจากนี้ ยังสามารถแสดงกราฟโครงร่าง Overlaid ที่แสดงพื้นที่ซึ่งทำให้ผลตอบแทนดีที่สุดของแต่ละปัจจัย ดังรูปที่ 7.9

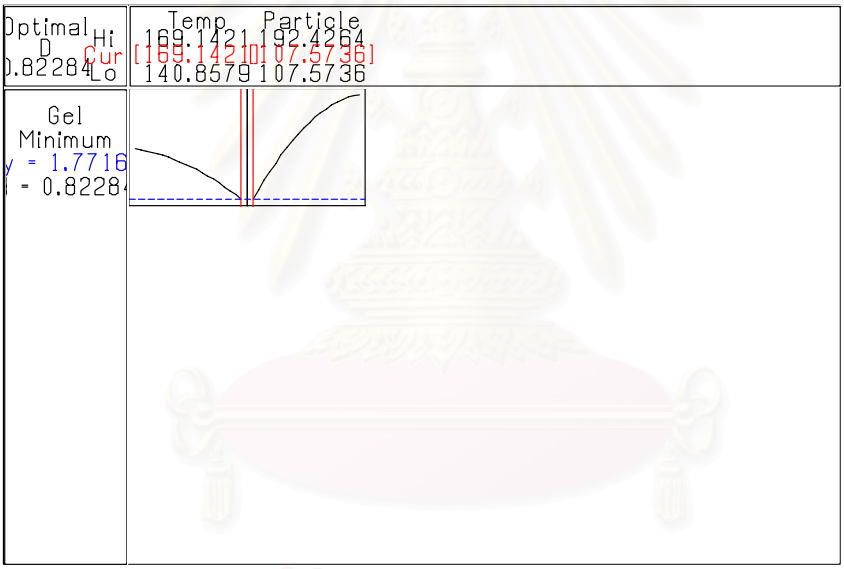


รูปที่ 7.9 กราฟโครงร่าง Overlaid ระหว่างปัจจัยอุณหภูมิของการอัดรีดและขนาดเม็ดของพีวีซีผง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

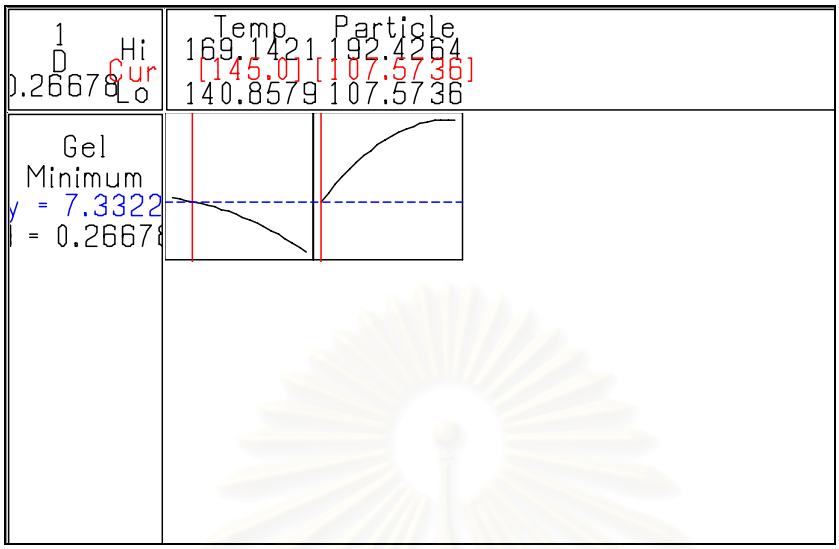
7.8 ค่าเงื่อนไขของปัจจัยที่เหมาะสมจากการทดลอง

จากการทดลองใช้ Response optimizer โปรแกรม Minitab ในการวิเคราะห์ข้อมูล พบว่าถ้าต้องการให้ได้ค่าจำนวน gel ต่ำที่สุดจะต้องเลือกใช้อุณหภูมิของการอัดรีดประมาณ 169 °C และขนาดเม็ดพีวีซีผงประมาณ 108 ไมครอน ซึ่งจำนวน Gel ที่ต่ำที่สุดที่เหมาะสม คือ 1..77 หรือประมาณ 2 จุด ดังผลการทดลองในรูปที่ 7.10



รูปที่ 7.10 ผลการวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ

แต่ในทางปฏิบัติแล้วถือว่าเป็นอุณหภูมิที่สูงเกินไป ทำให้ยากในการควบคุมกระบวนการ และสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในด้านพลังงาน จึงทดลองกำหนดอุณหภูมิที่ต่ำที่สุดที่เป็นไปได้ในการควบคุมกระบวนการ คือ 145 °C มาทดลองใช้ Response optimizer โดยโปรแกรม Minitab ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 7.11



รูปที่ 7.11 ผลการวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ เมื่อกำหนดอุณหภูมิในการอัดรีดเม็ดเป็น 145 °C

เมื่อพิจารณาทั้ง 2 ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญพร้อมกันในการดำเนินการ พบว่า จำนวน Gel ที่ต่ำที่สุดที่เหมาะสม คือ 7.33 หรือประมาณ 7 จุด ซึ่งถือว่ายอมรับได้เพราะต่ำกว่า guideline spec. ที่ลูกค้ากำหนดไว้ไม่เกิน 10 จุด เมื่อกำหนดอุณหภูมิของการอัดรีดเป็น 145 °C และขนาดเม็ดของพีวีซีผงเป็น 107.57 หรือประมาณ 108 ไมครอน

จากการปรึกษากับผู้ผลิตพีวีซีผง ได้รับการยืนยันว่าสามารถควบคุมขนาดเม็ดให้อยู่ในช่วง 108+/-5 ไมครอนได้ ดังนั้น จึงกำหนดให้ใช้อุณหภูมิของการอัดรีดเป็น 145 °C ซึ่งอยู่ในช่วงของการใช้งานปกติอยู่แล้วและขนาดเม็ดของพีวีซีผง 108 ไมครอน ในขั้นตอนของการควบคุมกระบวนการผลิต

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 8

การทดสอบยืนยันผล

8.1 บทนำ

บทนี้จะเป็นการทดสอบเพื่อยืนยันผลสรุปของค่าปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้ง 2 ปัจจัย จากบทที่ 7 โดยจะทำการปรับค่าปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้ง 2 ปัจจัยตามค่าที่ได้กำหนดไว้ เพื่อตรวจสอบว่าค่าจำนวน gel จะเป็นไปตามผลการทดลองหรือไม่

8.2 ขั้นตอนการทดสอบยืนยันผล

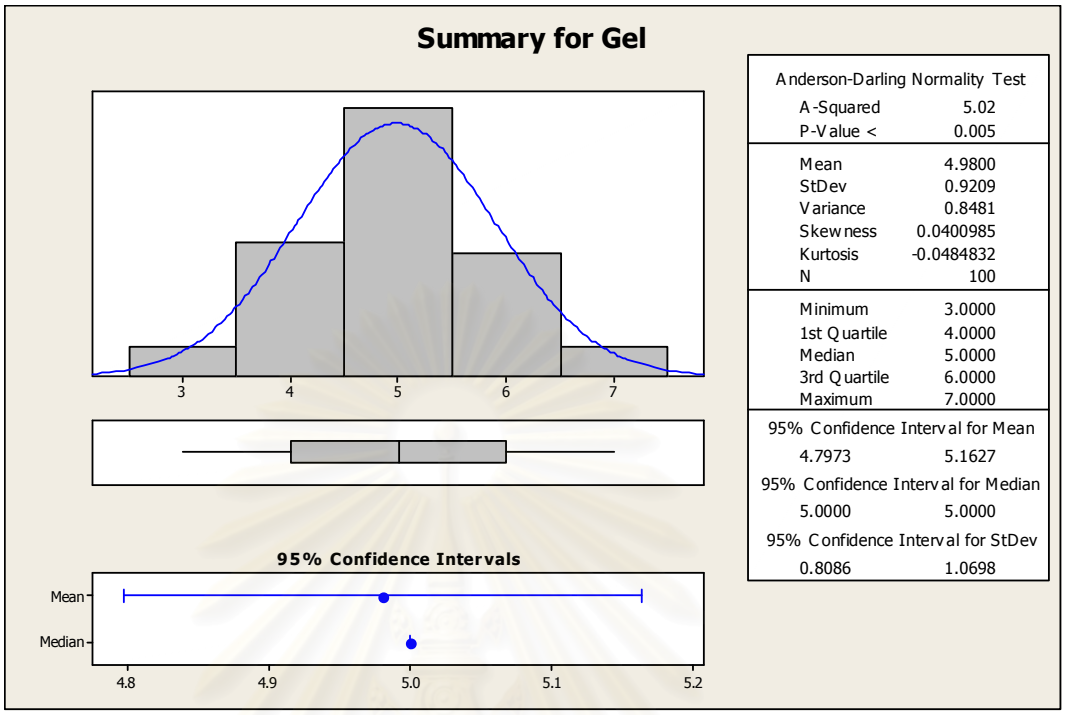
8.2.1 จุดประสงค์ของการทดสอบ

เพื่อตรวจสอบค่าเฉลี่ยของค่าจำนวน gel หลังจากปรับค่าปัจจัยนำเข้าทั้ง 2 ปัจจัย คือ อุณหภูมิของการอัดรีด และขนาดเม็ดของพีวีซีผง

8.2.2 ผลการทดลอง

ทำการทดลองที่สภาพการปฏิบัติงานจริงของการผลิต โดยเก็บตัวอย่าง จำนวน 100 ตัวอย่างมาตรวจสอบจำนวน gel ได้ผลดังรูปที่ 8.1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 8.1 **ผลการทดลองจำนวน** gel **จากตัวอย่างจำนวน** 100 **ตัวอย่าง**

8.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากข้อมูลการทดสอบที่ได้ พบว่าค่าเฉลี่ยของจำนวน gel เท่ากับ 5 ซึ่งลดลงจากค่าเฉลี่ยก่อนการปรับปรุงกระบวนการ ดังนั้น จึงใช้สภาวะของปัจจัยทั้ง 2 ในการทดลองการใช้งานจริง เพื่อลดค่าเฉลี่ยของจำนวน gel

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 9

การควบคุมกระบวนการผลิต

9.1 บทนำ

จากขั้นตอนของ ซิกซ์ ซิกม่า ระยะที่ 5 การควบคุม(Control) เครื่องมือที่นำมาใช้ในการวิจัยประกอบด้วย

- เทคนิคการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ(SPC) เพราะแผนภูมิการควบคุมกระบวนการช่วยในการตรวจจับความผิดปกติของปัจจัยที่ต้องการควบคุม สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้แผนภูมิควบคุม X – R เนื่องจากปัจจัยที่ควบคุมเป็นค่าต่อเนื่อง (Variable)

เครื่องมือที่ไม่ได้นำมาใช้ใน ซิกซ์ ซิกม่า ระยะที่ 5 (Control) ประกอบด้วยเครื่องมือดังต่อไปนี้

- คู่มือการปฏิบัติงาน (Work Instruction) ที่ไม่ได้นำเครื่องมือนี้มาประยุกต์ใช้ เนื่องจากคู่มือการปฏิบัติงานของโรงงานมีรายละเอียดค่อนข้างมาก รายงานวิจัยนี้มีความสัมพันธ์กันเกี่ยวข้องกับการปรับค่าของปัจจัยในบางแผนกจึงไม่มีการเขียนคู่มือการปฏิบัติงานเพิ่มเข้าไป
- แผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน(Preventive Maintenance) ที่ไม่ได้นำเครื่องมือนี้มาประยุกต์ใช้ เนื่องจากโรงงานมีแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันเครื่องจักรทุกเครื่องอยู่แล้ว จึงไม่มีการวางแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) เพิ่มเข้าไปในงานวิจัยนี้อีก

จากขั้นตอนของการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการที่ผ่านมา ทำให้ทราบถึงปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญต่อผลลัพธ์ของกระบวนการและได้ค่าของการกำหนดระดับของปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสม ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อค่าจำนวน gel ที่เป็นผลลัพธ์ของกระบวนการ ที่เราศึกษา ส่วนในการควบคุมกระบวนการผลิตในบทนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบและควบคุมปัจจัยนำเข้าที่ได้จากขั้นตอนของการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการได้แก่

- อุณหภูมิของการอัดรีด
- ขนาดเม็ดของพีวีซีผง

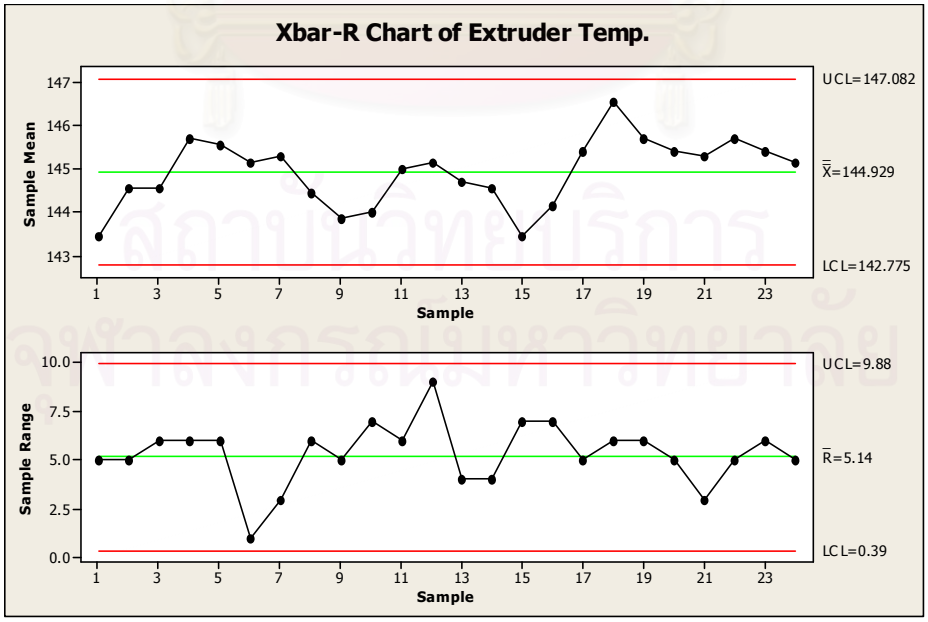
9.2 เทคนิคของการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ

ในการควบคุมปัจจัยนำเข้าสำคัญที่ส่งผลต่อค่าจำนวน gel ซึ่งเป็นผลลัพธ์ของกระบวนการที่เราศึกษานั้น เนื่องจากปัจจัยนำเข้าทั้งสองเป็นปัจจัยนำเข้าที่อาจจะเกิดความผันแปรไปจากค่าที่กำหนดได้ เพื่อเป็นการรับประกันว่า ปัจจัยนำเข้าทั้ง 2 มีค่าตามที่ได้กำหนดไว้ จึงได้นำเทคนิคของการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ (SPC) เข้ามาใช้ในการควบคุม

9.2.1 อุณหภูมิของการอัดรีด

แผนการควบคุมอุณหภูมิของการอัดรีด จะใช้การควบคุมโดยแผนภูมิควบคุมแบบ $\bar{X}$-R เนื่องจากค่าของอุณหภูมิของการอัดรีด เป็นข้อมูลเชิงผันแปร (Variable Data) โดยมีกฎในการพิจารณาความผิดปกติที่เกิดขึ้นของอุณหภูมิของการอัดรีดคือข้อบ่งบอกถึงสภาวะของกระบวนการที่ออกนอกการควบคุมเบื้องต้น คือ มีจุดอยู่นอกเส้นขีดจำกัดควบคุมทั้งบนและล่าง

จากการเก็บข้อมูลจากการอ่านค่าอุณหภูมิของการอัดรีดทุก ๆ 1 ชั่วโมงเป็นเวลา 7 วัน สามารถสรุปได้ดังรูปที่ 9.1



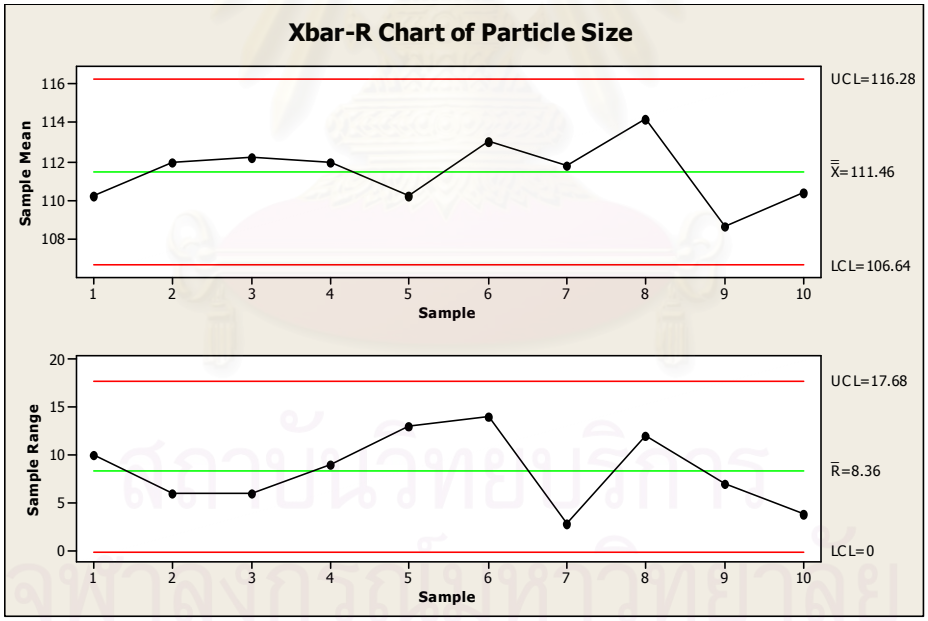
รูปที่ 9.1 แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$-R สำหรับอุณหภูมิของการอัดรีด

จากแผนภูมิควบคุมดังกล่าว พบว่า ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิของการอัดรีดอยู่ที่ประมาณ144.9 °C ซึ่งมีค่าใกล้เคียงและเป็นไปตามที่กำหนดไว้คือ 145 °C

9.2.2 ขนาดเม็ดของพีวีซีผง

แผนการควบคุมขนาดเม็ดของพีวีซีผง จะใช้การควบคุมโดยแผนภูมิควบคุมแบบ $\bar{X}$-R เนื่องจากค่าขนาดเม็ดของพีวีซีผง เป็นข้อมูลเชิงผันแปร (Variable Data) โดยมีกฎในการพิจารณาความผิดปกติที่เกิดขึ้นของขนาดเม็ดของพีวีซีผง คือข้อบ่งบอกถึงสภาวะของกระบวนการที่ออกนอกการควบคุมเบื้องต้น คือ มีจุดอยู่นอกเส้นขีดจำกัดควบคุมทั้งบนและล่าง

จากการเก็บข้อมูลขนาดเม็ดของพีวีซีผง จำนวน 50 ข้อมูล สามารถสรุปได้ดังรูปที่ 9.2



รูปที่ 9.2 แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$-R สำหรับขนาดเม็ดของพีวีซีผง

จากแผนภูมิควบคุมดังกล่าว พบว่า ค่าเฉลี่ยของขนาดเม็ดของพีวีซีผง อยู่ที่ประมาณ111.46 ไมครอน เมื่อใช้การทดสอบโดยอาศัยเครื่องหมายเพื่อทดสอบว่าค่ามัธยฐานของขนาดเม็ดพีวีซีผงแตกต่างไปจาก 108 ไมครอน หรือไม่ ได้ผลดังนี้

Sign Test for Median: Gel

Sign test of median = 108.0 versus not = 108.0

	N	Below	Equal	Above	P	Median
Gel	50	5	5	40	0.0000	111.0

จากค่า P value ซึ่งมีค่าต่ำมาก แสดงว่า ขนาดเม็ดพีวีซีผงแตกต่างจากที่กำหนดไว้ คือ 108 ไมครอน แต่เนื่องจากยังอยู่ในช่วงที่ผู้ผลิตควบคุมคือ 108+/-5 ไมครอน จึงอนุโลมให้ใช้งานไปก่อนและแจ้งผู้ผลิตเพื่อพยายามควบคุมขนาดเม็ดพีวีซีผงให้ได้ 108 ไมครอน ในโอกาสต่อไป

9.3 ความสูญเสียที่สามารถลดได้

9.3.1 ปริมาณของเสียในกระบวนการผลิต

จากข้อมูลของเสียในกระบวนการผลิตในภาคผนวก ช พบว่า ของเสียในกระบวนการผลิตมีแนวโน้มลดลงตั้งแต่เดือนกรกฎาคม หลังจากเริ่มดำเนินการปรับปรุงกระบวนการไปได้ประมาณหนึ่งเดือน สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 9.1

ตารางที่ 9.1 ข้อมูลของเสียในกระบวนการผลิต(ม.ค.-ส.ค.)

เดือน	ยอดผลิต (Kg)	ปริมาณของเสีย (Kg)	% ของเสีย
ม.ค.	147,853	975	0.66
ก.พ.	137,798	1,500	1.09
มี.ค.	144,785	1,000	0.69
เม.ย.	131,956	800	0.61
พ.ค.	151,478	925	0.61
มิ.ย.	152,963	400	0.26
ก.ค.	148,453	-	0.00
ส.ค.	158,977	-	0.00

9.3.2 จำนวนครั้งของการร้องเรียนจากลูกค้า

จากข้อมูลการร้องเรียนของลูกค้าในตารางที่ 9.2 พบว่าจำนวนครั้งการร้องเรียนและ % การร้องเรียนจากลูกค้ามีแนวโน้มลดลงตั้งแต่เดือนกรกฎาคม หลังจากเริ่มดำเนินการปรับปรุงกระบวนการไปได้ประมาณหนึ่งเดือน

ตารางที่ 9.2 ข้อมูลการร้องเรียนของลูกค้า (ม.ค.-ส.ค.)

รายละเอียด	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Total
จำนวนครั้งการร้องเรียน	2	0	3	4	0	3	1	1	14
ปริมาณยอดขาย (Kgs)	135,000	120,000	150,000	120,000	100,000	130,000	120,000	100,000	975,000
ปริมาณที่ถูกร้องเรียน (Kgs)	10,000	-	25,000	20,000	-	15,000	5,000	3,000	78,000
% การร้องเรียน	7.41	-	16.67	16.67	-	11.54	4.17	3.00	8.00
ค่าเสียหาย (บาท)	55,600	-	139,000	111,200	-	83,400	27,800	16,680	433,680

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 10

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

10.1 บทนำ

ในการดำเนินการวิจัยที่ผ่านมา เป็นการนำหลักการของ ซิกซ์ ซิกม่า เข้ามาประยุกต์ใช้ลดของเสียในกระบวนการผลิตพีวีซี คอมเปาน์ด อันเนื่องมาจากปัญหา gel ซึ่งจะสัมพันธ์กับการลดลงของจำนวนการร้องเรียนจากลูกค้าจากปัญหาเดียวกัน โดยมีขั้นตอนในการดำเนินงาน 5 ขั้นตอนคือ

- การนิยามปัญหา
- การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา
- การวิเคราะห์ปัญหา
- การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ
- การควบคุมกระบวนการผลิต

เมื่อดำเนินการตามขั้นตอนดังกล่าวข้างต้นแล้ว ทำให้สามารถลดปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตและลดจำนวนการร้องเรียนของลูกค้าได้ ซึ่งมีรายละเอียดดังบทสรุปผลการวิจัยในแต่ละขั้นตอนดังต่อไปนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

10.2 บทสรุปขั้นตอนต่าง ๆในการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนของการนิยามปัญหา จะเป็นการพิจารณาที่มาของปัญหา ซึ่งจะเป็นการวิเคราะห์ ในส่วนของค่าเปอร์เซ็นต์ของเสีย และจำนวนการร้องเรียนของลูกค้าซึ่งมีค่าสูงมาก จึงทำการเลือกผลิตภัณฑ์ มาทำการลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น และส่วนที่สำคัญของขั้นตอนการนิยามปัญหานั้นก็คือ การศึกษากระบวนการผลิตและการคำนวณหาผลรวมสัดส่วนของเสีย เพื่อให้ทราบถึงสถานะของการผลิตของกระบวนการในปัจจุบัน นอกจากนี้ในขั้นตอนของการนิยามปัญหา ได้มีการกำหนดขั้นตอนการดำเนินงาน และเครื่องมือที่เลือกใช้สำหรับขั้นตอนทั้ง 5 ขั้นตอน ของวิธีการทาง ซิกซ์ ซิกม่า โดยจะกล่าวถึงเครื่องมือที่เหมาะสมสำหรับแต่ละขั้นตอน พร้อมกับตัววัดผล ซึ่งในการดำเนินการวิจัยจะต้องมีทีมงานที่ให้ความร่วมมือและมีทักษะความเชี่ยวชาญในการปฏิบัติงานที่แตกต่าง เพื่อเป็นการสนับสนุนในการดำเนินการปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นให้เกิดผลสำเร็จ

ในส่วนของขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหานี้เป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมาก ในการพิจารณาหาปัจจัยนำเข้าสำคัญ(KPIV) ของกระบวนการที่ทำการวิเคราะห์ โดยในลักษณะการดำเนินการของขั้นตอนนี้จำเป็นต้องมีการระดมความคิดจากทีมงานที่มีทักษะความเชี่ยวชาญที่แตกต่างกัน เพื่อที่จะสามารถค้นหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา (Root Cause) ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญที่อาจแฝงอยู่ในกระบวนการ หรืออาจจะถูกละเลยในการพิจารณา จึงจำเป็นต้องมีการระดมความคิดจากทีมงาน และสิ่งที่จำเป็นต้องพิจารณาเป็นอันดับแรกของขั้นตอนนี้ก็คือ การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (GR&R) ซึ่งพบว่าเป็นระบบที่พอจะยอมรับได้ แต่อาจจะต้องพัฒนาต่อไปในอนาคต จากนั้นทำการวิเคราะห์ผังก้างปลาเพื่อให้ได้ปัจจัยนำเข้าแล้วพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและผลของกระบวนการ จากนั้นทำการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) ซึ่งทำให้ได้ปัจจัยที่มีค่า RPN สูงจำนวน 5 ปัจจัย คือ อุณหภูมิในการอัดรีดเม็ด ขนาดเม็ดพีวีซีผง Screw speed ในการอัดรีดเม็ด ใบมีดสำหรับตัดเม็ด และ ตะแกรงสำหรับร่อนเม็ด ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีคะแนน RPN รวมกันทั้งสิ้น 1,040 คะแนน ซึ่งคิดเป็น 44% ของคะแนน RPN ทั้งหมด เพื่อนำไปวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาต่อไป

ขั้นตอนวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาเป็นการอธิบายถึงปัจจัยนำเข้าและระดับของปัจจัยสำหรับการทดสอบสมมติฐาน ปัจจัยนำเข้าสำคัญทั้ง 5 ปัจจัย เมื่อนำมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab จะได้ปัจจัยที่มีความแตกต่างจากผลการทดสอบสมมติฐานคือ อุณหภูมิใน

การอัดรีดเม็ด Screw speed ในการอัดรีดเม็ด ขนาดเม็ดพีวีซีผง และ การใช้ตะแกรงร่อนเม็ด เพื่อนำไปทำการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการต่อไป

ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ เป็นการทดลองโดยใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^4 Full Factorial Design ที่มีการทำซ้ำ 2 ครั้ง และมีการเพิ่มจุดศูนย์กลางเข้าไป 3 จุด เนื่องจากการทดลองมีลักษณะของส่วนโค้งเกิดขึ้น จึงต้องทำการทดลองใหม่โดยใช้วิธีการของพื้นผิวผลตอบ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า อุณหภูมิในการอัดรีดเม็ดควรกำหนดที่ 145 $^{\circ}$C และขนาดเม็ดพีวีซีผง ควรกำหนดที่ 108 ไมครอน

ขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิต ได้นำเทคนิคการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ (SPC) มาประยุกต์ใช้ โดยการใช้ $\bar{X}$-R Chart ควบคุม พบว่า ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิในการอัดรีดเม็ดอยู่ที่ประมาณ144.9 $^{\circ}$C ซึ่งมีค่าใกล้เคียงและเป็นไปตามที่กำหนดไว้คือ 145 $^{\circ}$C ส่วนค่าเฉลี่ยของขนาดเม็ดของพีวีซีผง อยู่ที่ประมาณ111.46 ไมครอน ซึ่งมีค่าแตกต่างจากที่กำหนดไว้คือ 108 ไมครอนเล็กน้อย แต่ก็ยังอยู่ในช่วงที่ผู้ผลิตควบคุมคือ 108+/-5 ไมครอน

การวิเคราะห์ผลตอบแทนหลังจากทำการปรับปรุงกระบวนการ สามารถลดปริมาณของเสียในระหว่างกระบวนการผลิตจาก 0.2 % ในปี 2004 เป็น 0 % และเมื่อพิจารณาจำนวนครั้งในการร้องเรียนของลูกค้า พบว่ามีแนวโน้มลดลงจากค่าเฉลี่ยเดือนละ 1.8 ครั้งในปี 2004 เป็น เดือนละ 1 ครั้ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

10.3 ข้อจำกัดในงานวิจัย

เนื่องจากในการดำเนินการวิจัยเป็นลักษณะของการวิจัยแบบการประยุกต์ใช้หลักการและเทคนิคทางด้านวิศวกรรมอุตสาหการ เพื่อปรับปรุงของเสียที่เกิดขึ้นในโรงงานซึ่งในระหว่างการดำเนินการวิจัยนั้นอาจเกิดอุปสรรคต่างๆ ที่เป็นข้อจำกัดหรือทำให้การดำเนินการวิจัยในบางระยะเกิดปัญหา ด้วยเหตุผลจากผู้ทำการวิจัยไม่ได้ทำงานอยู่ในส่วนของฝ่ายผลิต จึงส่งผลทำให้ในบางครั้งความร่วมมือและการประสานงานของการดำเนินการวิจัยไม่สอดคล้องและเป็นไปในแนวทางเดียวกัน รวมทั้งการวิจัยนี้เป็นการประยุกต์วิธีการตามแนวทางของ ซิกซ์ ซิกม่า เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตและลดจำนวนของเสียให้น้อยลงนั้นจะมีขั้นตอนของการปรับปรุงกระบวนการผลิตที่มีการนำวิธีการของการออกแบบการทดลองเข้ามาใช้วิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่ส่งผลต่อระบบ(มีนัยสำคัญ) จำเป็นต้องเสียค่าใช้จ่ายและเวลาที่ใช้สำหรับการทดลองอีกทั้งการที่จำเป็นต้องหยุดกระบวนการเพื่อปรับเปลี่ยนระดับของปัจจัยนั้น จึงส่งผลกระทบโดยตรงต่อรายได้ขององค์กร ซึ่งในบางครั้งถ้าการทดลองที่ได้ลงมือปฏิบัติแล้วไม่ประสบความสำเร็จนั่น จะทำให้เกิดผลเสียต่างๆต่อองค์กรได้

นอกจากนี้การประยุกต์วิธีการตามแนวทางของ ซิกซ์ ซิกม่า นั้นจำเป็นต้องมีทีมงานที่มีทักษะความรู้ความชำนาญเกี่ยวกับ ซิกซ์ ซิกม่า ในระดับหนึ่งรวมไปจนถึงความร่วมมือของการดำเนินงานอื่นๆ ซึ่งในการทำวิจัยนี้ มีปัญหาในลักษณะนี้เกิดขึ้นเป็นบางครั้ง ซึ่งส่งผลทำให้การดำเนินงานขาดความต่อเนื่อง เนื่องจากพื้นฐานของวัฒนธรรมขององค์กรและทักษะความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับ วิธีการตามแนวทางของ ซิกซ์ ซิกม่า ของทีมงานไปจนถึงพนักงาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

10.4 ข้อเสนอแนะ

ในการดำเนินงานการปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดจำนวนของเสียโดยการประยุกต์วิธีการ ตามแนวทางของ ซิกซ์ ซิกม่า นั้น สามารถที่ปรับปรุงกระบวนการให้ดีขึ้นจากการปรับปรุงครั้งแรกได้อีก โดยสามารถพิจารณาปรับปรุงและทำการวิเคราะห์ตัวแปรตอบสนองหรือผลลัพธ์ของกระบวนการตัวอื่นๆ ได้อีก และนอกจากนี้ยังสามารถที่จะพิจารณาตัวแปรตอบสนองที่มากกว่า 1 ตัว ไปพร้อมกันได้อีกด้วยเพื่อเป็นการ ลดค่าใช้จ่ายที่ใช้สำหรับการออกแบบการทดลอง อีกทั้งประหยัดเวลาที่ใช้ในการทดลองและการดำเนินการผลิตอีกด้วย ในการประยุกต์ใช้วิธีการตามแนวทางของ ซิกซ์ ซิกม่า นั้น ทุกคนในองค์กรจำเป็นต้องมีการพัฒนาทักษะความรู้ความสามารถไปพร้อมๆกัน ตั้งแต่พนักงานระดับปฏิบัติการไปจนถึงผู้บริหารระดับสูง เพื่อที่จะสามารถทำให้การดำเนินการแก้ไขปรับปรุงปัญหาต่างๆของกระบวนการมีความสอดคล้องกันไป

สำหรับการปรับปรุงกระบวนการหรือคุณภาพขององค์กรที่ต้องการพัฒนาและปรับปรุงองค์กรแบบก้าวกระโดด โดยการประยุกต์วิธีการตามแนวทางของ ซิกซ์ ซิกม่า นั้น ผู้บริหารขององค์กรจำเป็นต้องเป็นผู้นำและให้การสนับสนุนให้บุคลากรในองค์กรนั้นมีความเข้าใจและความรู้เกี่ยวกับวิธีการตามแนวทางของ ซิกซ์ ซิกม่า จึงจะช่วยให้การพัฒนาเป็นไปตามเป้าหมายที่ต้องรวมไปจนถึงการกระตุ้นทางตรงและทางอ้อมที่จะสนับสนุนให้บุคลากรขององค์กรนั้น มีความร่วมมือและมีทัศนคติที่ดีต่อการปรับปรุงและพัฒนา มิฉะนั้นแล้ว การนำวิธีการตามแนวทางของ ซิกซ์ ซิกม่า เข้ามาใช้ในองค์กร อาจไม่ประสบความสำเร็จและอาจจะเกิดเป็นผลเสียต่อองค์กรได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. 2542. การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA). พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น),

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. 2545. สถิติสำหรับงานทางด้านวิศวกรรม เล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น),

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. 2542. สถิติสำหรับงานทางด้านวิศวกรรม เล่ม 2. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น),

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. 2544. การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น),

ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย. 2538. การควบคุมคุณภาพสำหรับนักบริหารและกรณีศึกษา. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: บริษัทเอ็มแอนด์อี,

ปารเมศ ชุติมา. 2545. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาษาอังกฤษ

A. S. Pazur. 2004. Processing and formulation effects on gel levels in flexible PVC extrusions. Journal of Vinyl and Additive Technology 3: 126-131.

Judy E. Zabrecky. 2004. Gel phenomena in flexible PVC resin. Journal of Vinyl and Additive Technology 9:10-14.

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

Montgomery, D.C., and Runger, G.C. 1994. Applied Statistic and Probability for Engineers. USA : John Wiley and Sons,

T.N. Goh. 1999. Perspective on stanstical quality engineering. The TQM Magazine11: 461-466.

Jay Ress. 2002. Project Management in a Six Sigma Environment. Technology Management Associates: 1-6.

Ricardo Banuelas Coronado and Jiju Antony. 2002. Critical success factors for the successful implementation of six sigma projects in organizations. The TQM Magazine 14: 92-99.

Srinivas Kodiyalam, Jian Su and Brett A. Wujek. 2002 DESIGN OF EXPERIMENTS BASRD RESPONSE SURFACE MODELS FOR DESIGN OPTIMIZATION. Engineous Soft ware Technical Paper: 1-14.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

ชาญชัย บวรโชคชัย. 2545. การลดของเสียแขนจับหัวอ่านด้วยวิธีการซิกซ์ ซิกม่า กรณีศึกษากระบวนการผลิตแขนจับหัวอ่าน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พิศิษฐ์ เจริญกิจวิวัฒน์. 2541. การปรับปรุงคุณภาพสินค้าสำหรับลูกค้าในกรณีศึกษาของโรงงานประกอบแผงต่อสายเครื่องควบคุมไฟฟ้าและขั้วต่อปลายไฟฟ้า. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ทรงพล พิเชษฐวัฒนา. 2541. การประยุกต์การออกแบบการทดลองในการปรับปรุงคุณภาพของแรงดึงหัวอ่านเขียนข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นวลพรรณ ใจงาม. 2542. การลดของเสียที่เกิดจากการถ่ายเทกระแสไฟฟ้าสถิติในกระบวนการประกอบหัวอ่านโดยใช้ระเบียบวิธีซิกซ์ ซิกม่า. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาษาอังกฤษ

David M. Ferrin, David Muthier and Marthin J. Miller.2002. SIX SIGMA AND SIMULATION, SO WHAT' S THE CORRELATION?. Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference : 1439-1443.

Ka Yin, V.M. and Rao Tummala. 1996. A quality control and improvement system based on the total control methodology. TCM. Inthernational Journal of Quality & Reliability Management 15: 13-48.

Ravi S. Behara, Gwen F. Fontenot and Allcia Gresham.1994. Customer satisfaction measurement and analysis using six sigma. International Journal of Quality & Reliability Management 12: 9-18.

Tin King Ang, 1999. Reduction of Pallet Transportation Cost. (n.p.) : Seagate Technology (Mimeographed).

Yam Hong See. 1999. Reduction of flip Chip Defect in Glue Filling Process. (n.p.): Seagate Technology (Mimeographed).

Frederick B. Johns, H. Sam Hamade and Robert G. Rebandt. 2001. Six Sigma Integration. WWW.usaxemen.com/usaa/jack.shtml: 1-9.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพีวีซี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพีวีซี

PVC หรือ Poly Vinyl Chloride คือ Polymer ชนิดหนึ่งซึ่งสังเคราะห์ขึ้นมาจาก VCM หรือ Vinyl Chloride Monomer

$$n\ CH_2{=}CHCl \longrightarrow (-CH_2-CHCl-)_n$$

[VCM] [PVC]

PVC ที่สังเคราะห์ขึ้นมานี้ เรียกว่า PVC Resin ซึ่งเป็นพลาสติกที่จัดอยู่ในประเภท Thermoplastic คือ สามารถหลอมขึ้นรูปได้ด้วยความร้อน และยังสามารถนำกลับมาหลอมใช้ใหม่หรือการ Recycle ได้อีกด้วย

คุณสมบัติที่สำคัญของ PVC Resin

1. มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาว
2. ไม่ทนต่อความร้อน
3. ไม่ติดไฟ
4. ทนต่อกรด , ด่าง และน้ำ
5. เป็นฉนวนไฟฟ้า
6. เมื่อหลอมจะเกาะติดกับโลหะ
7. ถ้านำมาหลอมขึ้นรูปจะมีความแข็งแต่เปราะและมีสีเหลืองใส

เนื่องจาก PVC Resin มีคุณสมบัติที่ไม่เหมาะสมต่อการขึ้นรูป ได้แก่ การไม่ทนต่อความร้อน และการเกาะติดกับโลหะเมื่อหลอม ทำให้ต้องมีการเติมสารเติมแต่ง (Additives) ลงไปใน PVC Resin เพื่อทำให้สามารถขึ้นรูปได้ นอกจากนี้ การเติมสารเติมแต่งบางชนิดลงไป ยังช่วยให้ PVC มีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับงานมากขึ้นอีกด้วย เช่น มีความเหนียวมาก, มีความนิ่ม เป็นต้น PVC Resin ที่ถูกนำมาผสมกับสารเติมแต่ง (Additives) ต่าง ๆ แล้ว เรียกว่า PVC Compound

จากการผสมสารเติมแต่งลงใน PVC Resin ทำให้สามารถที่จะปรับคุณสมบัติ PVC Compound ที่ได้ ให้เหมาะสมกับการใช้งานได้อย่างกว้างขวาง ตั้งแต่ผลิตภัณฑ์ที่มีความนิ่มมาก เช่น พื้นรองเท้า ไปจนถึงผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็งมาก เช่น ท่อน้ำดื่ม เป็นต้น

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต PVC Compound

1. พีวีซีเรซิน (PVC Resin)
2. สารเติมแต่ง (Additives) ซึ่งอาจแบ่งได้ ดังนี้
    - สเตบิไลเซอร์ (Stabilizer)
    - ลูบริแคนท์ (Lubricant)
    - พลาสติไซเซอร์ (Plasticizer)
    - ฟิลเลอร์ (Filler)
    - โปรเซสซิ่งเอด (Processing Aid)
    - อิมแพค โมดิไฟเออร์ (Impact Modifier)
    - สี (Pigment)
    - สารอื่น ๆ (Other Additive)

1) พีวีซีเรซิน (PVC Resin)

คุณสมบัติของ PVC Resin ที่มักจะใช้เป็นเกณฑ์ในการเลือกนำมาใช้งาน คือ K-Value และ P ซึ่งบ่งบอกถึงความยาวของสาย Polymer โดยค่ามากจะแสดงถึงสาย Polymer ที่มีความยาวมาก PVC Resin ที่มีสายของ Polymer ยาวมากจะมีคุณสมบัติทางด้านความแข็งแรงมากขึ้นด้วย แต่ก็ทำให้การขึ้นรูปทำได้ยากมากขึ้น ดังนั้น ในการเลือกใช้งานจึงต้องคำนึงถึงวิธีการที่จะใช้ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ด้วย

2) สารเติมแต่ง (Additives)

สารเติมแต่งที่ใช้ใน PVC Compound ส่วนใหญ่ ต้องคำนึงถึงความเข้ากันได้กับ PVC Resin เพื่อให้เกิดเป็นเนื้อเดียวกัน และช่วยเพิ่มคุณสมบัติของ PVC Compound ให้เหมาะสมกับการใช้งาน

ประเภทของสารเติมแต่งต่าง ๆ อาจจะจัดแบ่ง ได้ดังต่อไปนี้

2.1) สเตบิไลเซอร์ (Stabilizer)

หรือเรียกว่า สารช่วยให้คงทนต่อความร้อน มีหน้าที่ช่วยยับยั้งการเสื่อมสลายของ Polymer เมื่อได้รับความร้อน หรือพลังงาน (Polymer Degradation)

คุณสมบัติที่ต้องการสำหรับสเตบิไลเซอร์

- ควรจะผสมเข้ากันได้ดีกับ พีวีซี เรซิน และสารประกอบอื่น ๆ
- ไม่ควรเป็นสารอันตราย (Non-toxic)
- ไม่ควรมีผลในด้านอื่น ๆ ต่อขบวนการผลิต

การแบ่งประเภทของสเตบิไลเซอร์

1. สเตบิไลเซอร์ชนิดตะกั่ว
2. สเตบิไลเซอร์ชนิดดีบุก
3. สเตบิไลเซอร์ชนิดผสม
4. สเตบิไลเซอร์ชนิดสารอินทรีย์และสารอื่น ๆ

1. สเตบิไลเซอร์ชนิดตะกั่ว

คุณสมบัติ
- มีราคาถูก
- มีช่วงในขบวนการผลิตค่อนข้างกว้างทำให้ผลิตง่าย
- มีความทึบ ใช้งานประเภทท่อน้ำ, ข้อต่อ, สายไฟ
- อันตราย
- เกิด Stain ได้ง่าย

2. สเตบิไลเซอร์ชนิดดีบุก

ที่นิยมใช้ จะมี 2 ประเภท คือ Tin mercaptide และ Tin carboxylate

คุณสมบัติ
- มีประสิทธิภาพสูงในแง่การเป็น Stabilizer
- มีคุณสมบัติช่วยป้องกันการเกิด Flex-whitening ได้ดี
- มีกลิ่นฉุน
- มีความทนทานต่อแสงแดดได้ดี
- มีความใสดีเยี่ยม

3. สเตบิไลเซอร์ชนิดผสม ที่นิยมใช้กัน ได้แก่

3.1 Calcium/Zinc

คุณสมบัติ - ไม่เป็นอันตราย
- Process ได้ยากโดยเฉพาะสำหรับ Rigid PVC

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 Barium/Cadmium

คุณสมบัติ - ทนทานต่อแสงดี

- ให้ความใสดีมาก
- ป้องกันการเกิด Flex-whitening ได้ไม่ดี
- Process ได้ยาก ในการผลิต Rigid PVC
- สารหล่อลื่นที่ใช้ค่อนข้างเฉพาะเจาะจง
- ความสามารถในการเป็น heat stabilizer สู้ระบบ Tin mercaptide ไม่ได้
- กลิ่นดีกว่าระบบ Tin mercaptide

4. สเตบิไลเซอร์ชนิดสารอินทรีย์และสารอื่น ๆ ได้แก่

- Epoxidised Oils and Esters
- Phosphite Stabilizer (Chelator)
- อื่น ๆ

2.2) ลูบิแคนท์ (Lubricant)

เป็นสารหล่อลื่นในขบวนการผลิตซึ่งช่วยทำให้ พีวีซี สามารถผลิตได้ง่ายลูบิแคนท์แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

1. External lubricant : ช่วยลดความเสียดทานและการเกาะติดระหว่างพีวีซีที่หลอมเหลวกับส่วนของโลหะที่ร้อนพวก Screw, Barrel และ Mould เช่น OP wax , Wax A

2. Internal lubricant : ช่วยลดความเสียดทานระหว่างอนุภาคของเรซิน ในระหว่างการหลอมเหลว เช่น GMS, Stearic acid, PE wax

2.3) พลาสติไซเซอร์ (Plasticizer) เป็นสารที่ช่วยในการปรับเปลี่ยน พีวีซีแข็ง ให้เป็นพีวีซีนิ่มได้ ซึ่งบางครั้งเรียกว่า Softening agent

คุณสมบัติ

- เป็นสารที่มีจุดเดือดสูง
- สามารถผสมเข้ากันได้ดีกับพีวีซีเรซิน
- ไม่ระเหยง่าย
- ไม่ติดไฟ

ประเภทของ Plasticizer

พลาสติไซเซอร์อันดับที่หนึ่ง (Primary Plasticizer)==> ผสมเข้ากับพีวีซีได้ง่าย

พลาสติไซเซอร์อันดับที่สอง (Secondary Plasticizer)==> ผสมเข้ากับพีวีซีได้ในสัดส่วนที่จำกัด

ชนิดของพลาสติไซเซอร์

1. Phthalate Plasticizer

- นิยมใช้กันมากที่สุด
- เป็นพลาสติไซเซอร์อันดับที่หนึ่ง เช่น DOP, DINP, DIDP

2. Phosphate Plasticizer

- ป้องกันการติดไฟ
- มีทั้งชนิดพลาสติไซเซอร์อันดับที่หนึ่ง เช่น TTP และพลาสติไซเซอร์อันดับที่สอง เช่น TOP

3. Low Temperature Plasticizer

- เป็นพลาสติไซเซอร์ชนิดอันดับที่สอง เช่น DOA
- การใช้งาน เช่น ม่านห้องเย็น

4. Polymeric Plasticizer

- เป็นพลาสติไซเซอร์ชนิดน้ำหนักโมเลกุลสูง
- เป็นพลาสติไซเซอร์อันดับที่สอง
- มีคุณสมบัติในการระเหยกลายเป็นไอต่ำ
- มีประสิทธิภาพในการเป็นพลาสติไซเซอร์ต่ำกว่าชนิด Monomeric เช่น Polypropylene Sebacate (PPS), Polypropylene Adipate (PPA)

5. Miscellaneous Plasticizer มีหลายชนิด ได้แก่

- Epoxidized Oils และ ester เช่น Epoxydized Soyabean Oil

คุณสมบัติ - น้ำหนักโมเลกุลสูง
- มีคุณสมบัติการกลายเป็นไอต่ำ

- Plasticizer Extender เช่น Chlorinated Paraffin Wax

คุณสมบัติ - ผสมเข้ากับพีวีซีได้ในอัตราส่วนที่ต่ำ

2.4) ฟิลเลอร์ (Filler) คุณสมบัติ

1. มีความขาวตามที่ต้องการ
2. มีความบริสุทธิ์ ไม่มีสารอื่นปะปน
3. มีขนาดอนุภาคเล็ก และคงที่ (ขนาดไม่เกิน 3-5 ไมครอน)
4. กระจายตัวได้ง่าย
5. ไม่เป็นตัวการทำให้เกิดการเกาะติดบนเครื่องมือที่ร้อน
6. ค่าการดูดซับพลาสติไซเซอร์ต่ำ

ข้อดีของฟิลเลอร์

1. ช่วยลดต้นทุน
2. ปรับปรุงความต้านทานการนำไฟฟ้า
3. ช่วยต้านทานการเกิดสีเหลืองเนื่องจากแสง
4. ช่วยลดการเสียรูปเนื่องจากความร้อน
5. ช่วยลดการติดกัน ลดต้นทุนการผลิต

ข้อด้อยของฟิลเลอร์

1. เพิ่มความแข็ง (Hardness and stiffness)
2. ลดการยืด (Elongation)
3. Cold bend resistance ต่ำ
4. มีการดูดน้ำค่อนข้างสูง
5. ทำให้ผิวของชิ้นงานด้านลง ไม่เงางาม
6. มีคุณสมบัติการไหลตัวต่ำ

2.5) โปรเซสซิ่งเอด Processing Aid สามารถทำให้การผลิตและขึ้นรูปของพีวีซีง่าย เนื่องจาก

- ช่วยทำให้การหลอมของพีวีซีง่ายขึ้น
- ช่วยเพิ่ม melt strength ของพีวีซีที่กำลังหลอมทำให้ขึ้นรูปได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยลดการเกิด plate out และช่วยทำให้เกิดความสวยงามบนผิว

ตัวอย่าง Processing Aid ส่วนใหญ่เป็นชนิด Acrylic polymer ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ๆ เช่น PA-20

2.6) อิมแพค โมดิไฟเออร์ (Impact Modifier) เป็นสารที่เพิ่มความต้านทานแรงกระแทก หรือ Impact strengthของพีวีซี Impact Modifier มีหลายชนิด เช่น

- Terpolymer of methyl methacrylate butadiene-styrene (MBS)
- Acrylic Impact Modifier
- Chlorinated Polyethylene (CPE)
- Terpolymer of acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS)

2.7) สี (Pigments) การใช้สีในพีวีซี อาจทำได้ 2 วิธี คือ การใช้สีโดยตรง หรือการทำเป็น Master batch

การเลือกใช้สี :

- ควรมีความคงทนต่อความร้อน และแสงได้ดี
- ควรมีความต้านทานต่อการเกิด migration ที่ดี
- มีคุณสมบัติในการทนทานต่อสภาวะอากาศที่ดี
- ไม่เกิดปฏิกิริยาต่อสารเคมีต่าง ๆ ที่ใช้ในสูตร
- ควรมีการกระจายตัวที่ดี

ชนิดของสี :

1. สีอินทรีย์ (Organic Pigment) เช่น Anthraquinone Blue
2. สีอนินทรีย์ (Inorganic Pigment) เช่น Titanium Dioxide (TiO_2), Lead Chromate

2.8) สารอื่น ๆ (Other Additives)

1. Antistatic Agent
2. UV Absorber
3. Agent
4. Flame Retardant
5. Matting Agent
6. Anti-blocking Agent

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คุณสมบัติที่สำคัญของ PVC Compound

1. Volume Resistivity (V.R.)

ความต้านทานไฟฟ้าของพลาสติก (ค่า V.R. สูง จะให้ความต้านทาน ไฟฟ้าสูง หรือค่าความเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีของสายไฟ)

2. Tensile Property

ความต้านทานต่อแรงดึง และความสามารถในการยืดของพลาสติก (ค่า Tensile Property สูงจะให้ พีวีซี คอมเปาน์ด ทนต่อแรงดึงได้ดี)

3. Tear Strength

ความต้านทานต่อการฉีกขาด (ถ้ามีค่าสูงแสดงว่าทนต่อการฉีกขาดได้ดี)

4. Heat Aging Property

ความต้านทานต่อความร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของพลาสติก (ค่า Heat Aging Property สูงแสดงว่าพลาสติกนั้น สามารถนำไปใช้งานที่อุณหภูมิสูง ได้ดีกว่าพลาสติกที่มีค่า Heat Aging Property ต่ำ)

5. Impact Strength

ความต้านทานต่อแรงกระแทกของพลาสติก (ค่า Impact Strength สูง แสดงว่าพลาสติกมีความต้านทานต่อแรงกระแทกดี หรือมีความเหนียวมาก)

6. Clarity

ค่าความใสของชิ้นงานพลาสติกใส (ค่ามากความใสจะมาก)

7. Heat Stability

ความต้านทานต่อความร้อนของพลาสติก (ค่า Heat Stability สูง แสดงว่า พลาสติกทนต่อความร้อนระหว่าง Process ได้ดี หรือไหม้ช้า)

8. Deflection Temperature

อุณหภูมิที่ทำให้พลาสติกเสียรูปภายใต้แรงกดดัน (ถ้ามีค่าสูงจะสามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงได้ดี)

9. Hardness

ค่าความแข็งของพลาสติก (ขึ้นอยู่กับความต้องการของลูกค้า)

10. Migration

การแยกตัวของวัตถุดิบต่าง ๆ ที่ใช้เป็นสารเติมแต่งในพีวีซีคอมเปาน์ด ออกมาที่ผิวของผลิตภัณฑ์ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติด้อยลง

11. Specific Gravity

ค่าความถ่วงจำเพาะของพลาสติก (ขึ้นอยู่กับความต้องการของลูกค้า)

12. Low Temperature Resistance (Brittleness Temperature)

ความต้านทานที่อุณหภูมิต่ำของพลาสติก เนื่องจากพลาสติกบางประเภทถูกนำไปใช้งานที่อุณหภูมิต่ำ ค่า Brittleness Temperature ขึ้นอยู่กับความต้องการของลูกค้า

13. Oxygen Index

ปริมาณ Oxygen ที่ต่ำที่สุด เพื่อใช้ในการเผาไหม้ (ถ้ามีค่าสูง แสดงว่ามีความต้านทานต่อการเผาไหม้สูง)

<u>พีวีซีคอมเปาน์ดเกรดต่าง ๆ ของ</u>

1.Automotive : ใช้ผลิตชิ้นส่วนในอุตสาหกรรมยานยนต์ เช่น พวงมาลัย, ที่หุ้มกระปุกเกียร์, คิ้วรถยนต์

คุณสมบัติที่สำคัญ :

- Hardness
- Tensile Property
- Heat Aging
- Oil Aging
- คุณสมบัติพิเศษ เช่น Flammability

2. Bottle : ใช้ผลิตขวดประเภทต่าง ๆ เช่น ขวดแชมพู, ขวดน้ำดื่ม

คุณสมบัติที่สำคัญ :

- Clarity (ถึงแม้เม็ดคอมเปาน์ดอาจจะขุ่น แต่เมื่อขึ้นรูปแล้วต้องใส)
- Impact Strength
- Heat Stability
- Deflection Temperature

3. Cable : ใช้ผลิตสายไฟประเภทต่าง ๆ

คุณสมบัติที่สำคัญ :

- Fish eye, ฟองอากาศ และ Contaminate ต้องไม่มี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- Volume Resistivity
- Tensile Properties ทั้งก่อนและหลัง Aging
- คุณสมบัติพิเศษอื่น ๆ เช่น Migration, Brittleness Temp. , Oxygen Index.

4. Shoe : ใช้ผลิตรองเท้า และพื้นรองเท้า ประเภทต่าง ๆ

   คุณสมบัติที่สำคัญ :

   - Hardness
   - Specific gravity
   - คุณสมบัติพิเศษ เช่น Tear strength

5. Film : ใช้ผลิตฟิล์มประเภทต่าง ๆ เช่น ฟิล์มหดรัดผนึกฝาขวด, ฟิล์มหดรัดห่อสินค้า

   คุณสมบัติที่สำคัญ :

   - Clarity (ถึงแม้เม็ดคอมเปาน์ดอาจจะขุ่น แต่เมื่อขึ้นรูปแล้วต้องใส
   - Fish eye
   - Black point
   - Impurity
   - Heat Deflection Temp.
   - กรณี Shrink label, Shrink cap ต้องพิมพ์สีติด

6. Hose : ใช้ผลิตท่ออ่อนประเภทต่าง ๆ

   คุณสมบัติที่สำคัญ :

   - ผิวเรียบ แต่จะด้าน/มัน แล้วแต่ลูกค้า และ Application
   - Hardness
   - Heat Stability

7. Soft Injection : ใช้ผลิตชิ้นงานนิ่มที่ขึ้นรูปด้วยการฉีด เช่น ด้ามไขควง, Toy, Hand จักรยาน

   คุณสมบัติที่สำคัญ :

   - Hardness
   - Heat Stability
   - กรณีที่เป็นสูตร Toy จะต้อง
     - เป็น Food contact / Non Toxic
     - ไม่มี Contaminate

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

8. Rigid Injection : ใช้ผลิตชิ้นงานแข็งที่ขึ้นรูปด้วยการฉีด เช่น ข้อต่อท่อน้ำ, ปลั๊กไฟ

คุณสมบัติที่สำคัญ :

- Deflection Temperature
- Heat Stability
- Fish eye มีได้ (ไม่สำคัญสำหรับงานฉีด)

9. Soft Extrusion : ใช้ผลิตชิ้นงานนิ่มที่ขึ้นรูปด้วยการอัดรีด เช่น ขอบตู้เย็น, Crown Seal Liner, Profile ต่าง ๆ

คุณสมบัติที่สำคัญ :

- ผิวเรียบ แต่จะด้าน/มัน แล้วแต่ลูกค้า และ Application
- Hardness
- กรณีที่เป็น Crown Seal Liner จะต้อง
  - เป็น Food contact / Non Toxic
  - ไม่มี Contaminate

10. Rigid Extrusion : ใช้ผลิตชิ้นงานแข็งที่ขึ้นรูปด้วยการอัดรีด เช่น ท่อน้ำ, Profile ประเภทต่าง ๆ , IC Tube

คุณสมบัติที่สำคัญ :

- ผิวของชิ้นงานต้องเรียบ
- Rigid extrusion : ส่วนใหญ่จะเน้นที่ความสวยงาม ผิวเรียบเนียน ความมัน/ด้าน ขึ้นอยู่กับความต้องการของลูกค้าและ Application
- Pipe : ผิวเรียบทั้งด้านในและด้านนอก
- Heat stability
- Deflection temperature
- Impact strength ขึ้นกับ Application

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

การตรวจสอบ gel โดยใช้เทคนิค Blown Test

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การตรวจสอบ gel โดยใช้เทคนิค Blown Test

1. วัตถุประสงค์ :

เพื่อตรวจสอบคุณภาพ PVC compound ที่อุณหภูมิใช้งาน ดูสิ่งปลอมปน, FE. การกระจายตัวของสี และสารเคมีต่าง ๆ

2. ขั้นตอนการปฏิบัติ :

2.1 ทำความสะอาดหัว Die ห่อ, สกรู, บาร์เรล, Hopper ของเครื่อง extruder 30 mm. ให้สะอาด

2.2 ประกอบสกรู, ชุดหัว Die ห่อให้เรียบร้อย พร้อมเสียบสายวัดอุณหภูมิ

2.3 Set Temp. ที่ตู้ control C1, C2, C3, D2, D3 ตามต้องการ

2.4 เปิด switch blower, Heater เครื่องจะเริ่ม Heat ปล่อยทิ้งไว้อย่างน้อย 30 นาที จึงเริ่มทำการตรวจสอบ

2.5 เตรียมตัวอย่างที่จะเป่าลูกโป่งให้พร้อม

2.6 เทตัวอย่างลงใน Hopper ประมาณ 500 gm.

2.7 สตาร์ทเครื่อง เครื่องจะเดินที่ speed ต่ำแล้วค่อย ๆ ปรับ speed ขึ้นไปประมาณ 50% ของ speed ที่เราต้องการ

2.8 รอจนกว่าตัวอย่างจะไหลออกมาจากหัว Die ห่อ แล้วจึงปรับ speed ไปที่เราต้องการ และต้องคอยเติมตัวอย่างลงใน Hopper ด้วย

2.9 เดินเครื่องไปประมาณ 3 นาที จึงจะเริ่มทำการเป่าลูกโป่ง ในกรณีทำต่อเนื่องกันหลายตัวอย่างต้องใส่ตัวใหม่ประมาณ 3–5 น เช่นกัน

2.10 การเป่าลูกโป่ง ใช้ห่อลมที่เปิดลมเบาพอประมาณ สอดเข้าไปในห่อ แล้วใช้นิ้วบีบบังคับลมให้เป่าเข้าไปในห่อ แล้วห่อจะขยายพองคล้ายลูกโป่ง

2.11 เมื่อปฏิบัติงานเสร็จแล้วให้เดินเครื่องไล่ตัวอย่างจนตัวอย่างไม่ไหลออกจากหัว Die แล้วค่อย ๆ ลด speed ลงต่ำสุด แล้วหยุดเครื่อง

2.12 ปิด Heater, Blower ให้เรียบร้อย

2.13 ถอดชุด Die ห่อ, สกรู ทำความสะอาดทุกชิ้นส่วนของเครื่อง

2.14 ทำความสะอาดบริเวณทำงานเก็บอุปกรณ์ให้เรียบร้อย

3. การรายงานผล :

ตรวจสอบดูผิวของลูกโป่งว่ามี FE, ฟองอากาศ หรือสีไม่กระจายตัวหรือไม่ และรายงานผล

4. ข้อควรระวัง :

- ต้องเข้มงวดเรื่องความสะอาด
- ระวังอย่าให้ตัวอย่างหมดจาก Hopper จะทำให้ตัวอย่างใหม่ที่บริเวณหัว Die ได้
- การกำหนดขนาดลูกโป่ง จะอยู่ที่การบังคับลม เพราะฉนั้นจะต้องเป่าให้ได้ลูกโป่งที่มีขนาดใกล้เคียงกัน
- ต้องทำความสะอาดขณะที่เครื่องร้อนอยู่ หากทิ้งไว้จะถอดหัว Die ไม่ออก เพราะ PVC เย็นแล้วจะแข็งตัว

ภาคผนวก ค

ผลการทดสอบระบบการวัด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค 1 ผลการทดสอบระบบการวัดด้วยวิธีการทดสอบโดยอันดับที่มีเครื่องหมาย

ตัวอย่าง	จำนวนเจล	
	บริษัท	ลูกค้า
1	8	9
2	12	10
3	8	9
4	6	6
5	5	7
6	9	10
7	10	11
8	6	5
9	8	9
10	8	10

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

ผลการทดสอบสมมติฐานของปัจจัยทั้งหมด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง 1 ผลการทดสอบสมมติฐานของแต่ละปัจจัย

ตัวอย่าง	Temp.(°C)		Screw Speed (rpm)		Particle Size(micron)		Blade		Sieve	
	145	165	90	110	120	180	3M	1M	No	Yes
1	15	9	8	13	7	15	8	8	12	9
2	14	7	7	12	9	14	11	9	10	11
3	10	8	9	11	9	11	9	7	9	9
4	13	5	7	13	8	12	7	6	10	10
5	11	10	8	10	5	14	8	8	8	6
6	11	6	6	14	10	13	10	11	11	10
7	13	10	10	11	8	15	9	8	12	9
8	15	9	7	12	5	11	7	7	13	8
9	14	6	10	9	9	15	9	9	7	10
10	11	5	9	13	8	16	9	8	8	12
11	12	4	8	10	4	17	8	9	10	5
12	9	9	6	12	5	15	8	10	9	8
13	10	3	8	11	7	14	7	7	11	9
14	9	8	7	14	6	12	9	7	10	8
15	11	5	6	8	7	16	10	8	8	8
16	12	2	5	10	8	15	8	9	9	7
17	11	3	4	9	9	13	9	7	10	11
18	13	9	7	10	4	11	7	8	10	12
19	10	4	9	9	5	15	10	8	11	9
20	12	6	4	12	8	14	9	6	8	10
21	15	4	8	11	5	15	10	7	11	5
22	11	5	4	10	6	14	9	5	9	8
23	12	2	5	9	7	15	8	9	8	9
24	10	6	7	10	9	13	11	6	10	8
25	11	7	8	8	8	12	7	8	8	6
26	13	5	9	9	7	15	8	8	7	10
27	10	3	4	9	6	16	9	9	11	7
28	11	4	6	8	5	14	8	7	10	6
29	14	5	9	10	8	12	10	6	9	7
30	12	3	5	11	8	13	9	8	10	11

153

ภาคผนวก จ

ผลการทดสอบการยืนยันผลการทดสอบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ1 จำนวนเม็ดเป็นตุ่ม(Gel) บนผิวตัวอย่างในขั้นตอนการยืนยันผลการทดลอง

จำนวนเม็ดเป็นตุ่ม(Gel) บนผิวตัวอย่าง									
7	4	4	5	4	4	4	5	6	7
5	3	4	5	4	5	4	5	5	5
6	2	5	4	4	7	3	6	6	5
7	6	6	6	5	5	5	7	5	4
5	5	5	5	7	4	2	7	3	2
4	6	2	5	3	2	6	2	2	3
3	2	1	3	5	3	3	4	5	5
5	7	5	2	6	5	5	5	4	6
7	3	3	5	2	6	4	4	7	7
5	5	5	6	5	5	7	5	6	5

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ฉ

ผลการปรับปรุงกระบวนการผลิต

ตารางที่ ฉ1 ข้อมูลการควบคุมค่าอุณหภูมิของการอัดรีดเม็ดหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต

ตารางที่ ฉ2 ข้อมูลการควบคุมค่าขนาดเม็ดของพีวีซีผงหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ1 ข้อมูลการควบคุมค่าอุณหภูมิของการอัดรีดเม็ดหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต

อุณหภูมิของการอัดรีด						
วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	วันที่ 5	วันที่ 6	วันที่ 7
140	144	140	145	145	145	145
142	145	144	145	144	145	147
143	147	146	145	141	146	144
145	149	145	147	143	146	145
145	150	145	144	144	145	146
146	145	145	145	145	145	145
146	144	147	146	145	144	145
145	141	144	145	146	143	147
145	143	145	145	142	141	146
144	144	146	147	140	142	145
143	145	145	149	144	144	145
141	145	145	150	146	145	144
142	146	146	145	145	145	144
144	142	146	144	145	146	145
145	140	145	141	144	142	147
147	144	145	143	144	140	146
146	146	144	144	145	144	149
149	145	144	145	147	146	150
150	145	145	145	146	145	144
148	145	147	145	143	145	145
145	147	146	145	144	145	145
146	144	149	144	145	147	145
144	145	150	144	145	145	145
143	146	148	145	145	145	144

ตารางที่ ฉ2 ข้อมูลการควบคุมค่าขนาดเม็ดของพีวีซีผงหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต

ขนาดเม็ดของพีวีซีผง				
115	110	112	105	109
112	109	115	109	115
110	115	113	109	114
117	114	108	110	111
118	110	105	111	107
119	112	114	115	105
110	113	112	112	112
120	118	111	108	114
105	112	108	110	108
112	111	108	111	110

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ช

ปริมาณของเสียจากกระบวนการผลิต

ตารางที่ ช1 Off Spec. Product of Jan'05
ตารางที่ ช2 Off Spec. Product of Feb'05
ตารางที่ ช3 Off Spec. Product of Mar'05
ตารางที่ ช4 Off Spec. Product of Apr'05
ตารางที่ ช5 Off Spec. Product of May'05
ตารางที่ ช6 Off Spec. Product of Jun'05

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ช1 Off Spec. Product of Jan'05

Type	TS	EL	TE	เม็ดไหม้	Gel	VR	สี	ผิว	HD	CR ต่ำ	สารเคมีไม่ละลายไม่ละลาย	GP off Spec.	สีไม่ละลายไม่ละลาย	Dfect	FE.	Izod	สิ่งปลอมปนปน
B0303CLCOP							125										
B0504CLFOP							200										
C0805WHAOF												250					
C2703BKAO3												475					
C2703BKAOF									1,000								
C4801NTAO3												75					
C4801NTAO3					75												
C4801NTAO3							475										
C4801NTAO3					50												
C4801WHAO3							925										
C7801WHBO3					75												
E1604NTAO3												375					
E2501YLAO3					50												
E2502WHAO3												50					
E2511WHAO3					25												
E2511WHBO3					275												
F3501BLAO3					350												
F3501BLAO3					150												
F3501BLAO3					475												
H0601CLBO3					25												
H0602CLBO3					25												
H0701BKAO3												25					
H0701NTAO3					125												
H0712NTAO3					100												
H0807BLAO3					75												

ตาราง ช1 Off Spec. Product of Jan'05

Type	TS	EL	TE	เม็ดไหม้	Gel	VR	สี	ผิว	HD	CR ต่ำ	สารเคมีไม่ละลายไม่ละลาย	GP off Spec.	สีไม่ละลายไม่ละลาย	Dfect	FE.	Izod	สิ่งปลอมปนปน
I9501GYAO3					75												
I9601BKBO3					675												
J5702CLAO3					450												
J5703WHAO3					150												
J5802NTAO3					75												
X2601WHAOG					200												
X5704BKAO3					275												
X5707BKAO3																	
X5711BKAO3					225												
X5807NTAO3												175					
X5807NTAO3								425									
X5807NTAO3												75					
X5807NTAO3							550										
X8911WHAO3					125												
X8911WHAO3							175										
Y5709BLBO3					50												
Y5923WHAO3					275												
Y7902BLAO3												75					
Y9502NTAO3					325												
Y9502NTAO3																	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข2 Off Spec. Product of Feb'05

Type	TS	EL	TE	เม็ดไหม้	Gel	Over mel	สี	ผิว	SG	CR เล็ก	สารเคมี ไม่ละลาย	GP off Spec.	สี ไม่ละลาย	Dfect	FE	Izod	สิ่งปลอมปน
B0503CLHOP					75												
B0504CLFOP					350												
B0504NTAOP					100												
B0603NTAOX					50												
B5502CLAOP					25												
C0805WHAOF												220					
C0805WHAOF												280					
C0805WHBO3												150					
C0808GYAO3												400					
C2703BKAO3												260					
C2705NTAO3												100					
C2705RDAO3												350					
C2705YLAO3																	160
C2904NTAOF												175					
C2904NTAOF												400					
C2910BKAOF												350					
C2910BKAOF												75					
C2919BKAOF												375					
C3912NTAOF					500												
C3914BKAOF					500												
C3918BKAO3					300												
C7801WHBO3												400					
C7801WHBO3					50												
C7801WHBO3					100												
C8701BKAO3					400												
E2501NTAO3												25					
E2501NTAO3					25												
E2502WHAO3					275												
E2511WHBO3				225													
E2511WHBO3					225												
E2511WHBO3					225												
E2608BKAON					60												
E7401BKAO3												125					

ตาราง ข2 Off Spec. Product of Feb'05

Type	TS	EL	TE	เม็ดไหม้	Gel	Over mel	สี	ผิว	SG	CR ต่ำ	สารเคมี ไม่ละลาย	GP off Spec.	สี ไม่ละลาย	Direct	FE	Izod	สิ่งปลอมปน
E7401BLDO3												50					
F3501BLAO3					175												
F3501BLAO3					200												
F3501BLAO3					225												
F3501BLAO3					600												
F3501BLAO3					100												
H0601CLBO3																	25
H0701BKAO3												75					
H0804BLBO3					50												
H0804GNAO3					50												
H0804RDAO3					25												
H0808CLAO3												25					
H0902BKAO3					25												
I4902NTAO3					150												
I9602BRAO3									75								
I9701BKBO3					25												
J5701GYAO3					125												
X2602NTAOG												100					
X2602NTAOG					100												
X5707BKAO3																	
X5707BKAO3					250												
X6707BKAO3					50												
X6911WHAO3					150												
X6911WHAO3							700										
Y5608GYAO3												125					
Y5608GYAO3												175					
Y5608GYAO3					950												
Y5608GYAO3							625										
Y5709BLAO3					75												
Y5714BLAO3					75												
Y5715BLAO3					100												
Y5715BLAO3					400												
Y5715BLAO3					100												

ตาราง ข2 Off Spec. Product of Feb'05

Type	TS	EL	TE	เม็ดไหม้	Gel	Over mel	สี	ผิว	SG	CR ต่ำ	สารเคมีไม่ละลาย	GP off Spec.	สีไม่ละลาย	Direct	FE.	Izod	สิ่งปลอมปน
Y5905WHAO3												25					
Y5905WHAO3					150												
Y5905WHAO3					100												
Y5905YLAO3					25												
Y5923WHAO3												25					
Y5923WHAO3					175												
Y9502NTAO3												50					
Y9502NTAO3					100												

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ช3 Off Spec. Product of Mar'05

Type	TS	EL	TE	เม็ดไหม้	Gel	VR	สี	ผิว	HD	CR ต่ำ	สารเคมีไม่ละลาย	GP off Spec.	สีไม่ละลาย	Dflect	FE.	Izod	สิ่งปลอมปน
B0504CLFOP					350												
B0504CLFOP					250												
B0504CLGOP					175												
B0504NTAOP					250												
B2503BLBO3					325												
B5502CLAO3												500					
B5503CLAO3					325												
C0805WHAOF																	
C0805WHAOF												250					
C0808GYAO3												125					
C2705GYDOF							300										
C2806BKAO3												100					
C2904NTAOF					260												
C3912BKAOF					250												
C3914BKAOF					125												
C4801WHAO3					175												
C8904BKAO3					175												
E1401CLBO3					125												
E1401CLBO3					100												
E1604BKAO3												150					
E2501BRDO3												50					
E2501NTAO3					75												
E2510WHAO3					75												
E2510WHAO3							250										
E2511WHAO3												500					
E2511WHBO3					125												
E7401BRBO3					525												
F0502NTAO3												1375					
F3302BLAO3												700					

ตาราง ช3 Off Spec. Product of Mar'05

Type	TS	EL	TE	เม็ดไหม้	Gel	VR	สี	ผิว	HD	CR ต่ำ	สารเคมีไม่ละลาย	GP off Spec.	สีไม่ละลาย	Difect	FE.	Izod	สิ่งปลอมปน
F3501BLAO3					250												
F3501BLAO3					25												
F3501BLAO3					275												
F3501BLAO3															200		
F3501BLAO3					200												
F3501BLAO3												175					
F3501BLAO3					150												
F3501BLAO3					100												
F8501BLAO3							1600										
H0801NTAO3					25												
H0802NTAO3					50												
H0802NTAOG					50												
H0804BLBO3					25												
H0804GNAO3					25												
H0804RDAO3												25					
H0804RDAO3					100												
H0808CLAO3					75												
H0902BKAO3												100					
H0902CLAO3					75												
H0902NTAO3					125												
H0903NTAO3					75												
H5803WHAO3												75					
I0904NTAO3												450					
I0904NTAO3					325												
I0904NTAO3							100										
I4902NTAO3					25												
I9602BKDO3					150												
J5701GYAO3					450												
J5703WHAO3					200												

ตาราง ซ3 Off Spec. Product of Mar'05

Type	TS	EL	TE	เม็ดไหม้	Gel	VR	สี	ผิว	HD	CR ต่ำ	สารเคมีไม่ละลาย	GP off Spec.	สีไม่ละลาย	Difect	FE.	Izod	สิ่งปลอมปน
J5902NTAO3					325												
J5902NTAO3												25					
X0701NTAO3					25												
X0708ORBO3					400												
X2601WHAOG					375												
X2602NTAOG					350												
X2602NTAOG					438												
X2602NTAOG					225												
X5807NTAO3									226								
X6911WHAO3																	
Y5608CMAO3												400					
Y5901NT1OS							375										
Y5901NT1OS																	
Y5923WHAO3					125												
Y5923WHAO3					425												
Y9501NTAO3					75												

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข4 Off Spec. Product of Apr'05

Type	TS	EL	TE	เม็ดไหม้	Gel	จ้ำดำ	สี	ฝุ่น	HD	GR ต่ำ	ดาแดงไม่ละลาย	GP off Spec.	สีไม่ละลาย	Dilect	FE.	Izod	สิ่งปลอมปน
B0504CLGGP					50												
B0504NTAGP					100												
B0506CLAGF					100												
B0606CLAGF					325												
B0604CLAGP					125												
B5501CLAGP							200										
B5502CLAGP					25												
B5503CLAGP					25												
C2703BKAG3									175								
C2703BKAGF					100												
C2703BKAGF					375												
C2703NTAG3					100												
C2703WHBG3					50												
C2705BKAG3					50												
C2705BKAGF					675												
C2808BKAG3																	250
C2910BKAG3					75												
C2919BKAGF											1,500						
C2919NTAGF					152												
C3912NTAGF					75												
E1401CLBG3				200													
E1401NTAG3					25												
E1501CLBG3					100												
E1604BKAG3					100												
E2501NTAG3							475										
F3501BLAG3				300													
F3501BLAG3					450		475										1125
F3501BLAG3					125												
F3501BLAG3					75												
F3501BLAG3					25												
F3501BLAG3					25												
F3501BLAG3					100												
F3501NTAW3				25													
F8501BLAG3				350													
F8501BLAG3				150													
F8501BLAG3				25													
H0602CLAG3							50										

ตาราง ช4 Off Spec. Product of Apr'05

Type	TS	EL	TE	เม็ดใหม่	Gel	จุดดำ	สี	ฝุ่น	HD	CR ต่ำ	สารเคมีไม่ละลาย	GP off Spec.	สีไม่ละลาย	Dilect	PE.	Izod	สิ่งปลอมปน
H0802NTAG3				50													
H0802NTAG3				50													
H0802NTAGG				100													
H0802WHAG3							50										
H0804BKAG3				100													
H7802BKAG3				75													
J5701GYAG3				25													
X0708BLAG3				50													
X2801WHAGG							25										
X2802NTAGG				100													
X5804CLAG3				25													
X5804CLAG3				350													
X5807NTAG3									100								
X5807NTAG3							350										
X5908CLAG3				25													
X5911WHAG3								125									
Y5608NTAG3					50												
Y5709BLAG3					125												
Y5709BLAG3					50												
Y5709BLBG3					50		250										
Y5715BLAG3					200												
Y5715BLAG3					125												
Y5715BLAG3							25										
Y5715BLAG3					200												
Y5715BLAG3					25												
Y5715BLAG3					50												
Y9508NTAG3						425											

ตาราง ช5 Off Spec. Product of May'05

Type	TS	EL	TE	เปิดไหม้	Gel	จ้ำดำ	สี	มีจุ	HD	CR ต่ำ	สารเคมีไม่ละลาย	GP off Spec.	สีไม่ละลาย	Dfect	FE	Izod	สิ่งปลอมปน
B0504CLFGP					75												
B0504CLFGP					25												
B0504CLGGP							100										
B0504NTAGP					150												
B0506CLAGF															500		
B0506CLAGF							150										
B0506CLAGF					75												
B0506CLAGP							125										
B0603NTAGX					100												
B1506CLAGX					25												
B1506CLAGX					50												
B5502CLAGP																	50
B5602CLAGP					50												
C2910BKAG3					150												
C3912NTAGF					52												
C8701RDAG3							125										
C8707GYBG3							475										
C8904BKAG3					25												
E1503NTAG3					120												
E1504GNAG3					25												
E1601NTAG3							275										
E1701CLAG3									150								
E2501NTAG3												25					
E2501YLAG3							25										
E2502WHAG3					175												
E2510WHAG3					75												
E2511WHAG3					125												
E2511WHBG3					50												
E2519BKAG3					75												
E2702NTAG3					300												
E7501BKAG3					75												
E7501GYAG3					275												
F3501BLAG3					925												
F3501BLAG3							500										
F3501BLAG3									250								
F8501BLAG3									200								
F8501BLAG3									200								

ตาราง ช5 Off Spec. Product of May'05

Type	TS	EL	TE	เม็ดไหม้	Gel	จ้ำดำ	สี	มิว	HD	CR ต่ำ	สารเคมีไม่ละลาย	GP off Spec.	สีไม่ละลาย	Dfect	FE.	Izod	สิ่งปลอมปน
F8501BLAG3									775								
F8501BLAG3									225								
F8501BLAG3									600								
H0701BKAG3					400												
H0701CLBG3					175												
H0701CLCGG					75												
H0701NTAG3							100										
H0902BKAG3					50												
J5703WHAG3					225												
J5703WHAG3					50												
J5703WHAG3					25												
J5707BKAG3					200												
J5902WHCG3					350												
X0701NTAG3					100												
X2601WHAG3					50												
X2601WHAGG					50												
X2602NTAGG					275												
X2602NTAGG					25												
X5711BKAG3					25												
Y5603NTAG3					150												
Y5603NTAG3					75												
Y5709BLAG3					50												
Y5709BLAG3					550												
Y5709BLBG3					125												
Y5714BLAG3					75												
Y5714BLBG3					25												
Y5714BLBG3							50										
Y5714NTAG3					125												
Y5714RDAG3					25												
Y5715BLAG3					25												
Y5716BLAG3					75												
Y5901NT1GD							650										
Y5903GYAG3					375												
Y5923WHAG3							1125										
Y5929GYAG3					50												
Y7902BLAG3					25												

ตารางที่ 6 Off Spec. Product of Jun'05

Type	TS	EL	เม็ดไหม้	Gel	Over melt	สี	Dn	HD	IDDC	ความหนืดไม่ตรงกับ	GP off Spec.	สีไม่ตรงกับ	F.E.	Contaminate	VR
B0103CLAOP				175											
B0103CLAOP				200											
B0301CLFOP				75											
B0303CLAOP				25											
B0401CLAOP				25								2025			
B0401CLAOP															
B0504CLFOP			500												
B0504CLGOP				175											
B0506CLAOF				150											
B0604CLAOP				50											
B0604CLAOP				150											
B5503CLAOP				75											
C0605WHBOS				150											
C2703BKAO3				375											
C2703NTAOF											675				
C2706BKAO3														475	
C2910BKAOF														200	
C2910BLAO3				425											
C2910GNAOF											700				
C2910GYAO3				50											
C2910RDBO3				25											
C2910RDBOF				175											
C2910WHAOF				175											
C3912BKAO3											850				
C3912GNAO3						20									
C3912NTAOF						2000									
C6804GNAO3							125								
C6804GNAO3				50											
E1504BLAO3				100											
E1504BRAO3				250											
E1601NTAO3						100									
E1601NTAO3						75									
E2501NTAO3														1000	
E2502WHAO3						375									
F3501BLAO3				100											
F3501BLAO3				75											
F3501BLAO3				225											

ตาราง ช6 Off Spec. Product of Jun'05

Type	TS	EL	เนื้อไหม้	Gel	Over melt	สี	ผิว	HD	IZOD	สารเคมีไม่ละลาย	GP off Spec.	สีไม่ละลาย	F.E.	Contaminate	VR
H0802WHAO3				175											
H0802WHBO3				200											
H0804BLBO3				300											
H0807BKAO3				125											
H0807CLAO3				50											
H0808CLAO3						650									
H0902BKAO3				525											
H8801BKAO3				850											
H8802NTAOG								300							
I4601NTAO3			200												
I4601NTAO3				75											
I9602BKBO3				125											
I9602BKDO3														75	
I9607GYAO3														25	
J5701GYAO3				025											
J5902NTAO3				275											
X0701NTAO3				50											
X0708BLAO3				100											
X2601WHAOG				100											
X5711BKAO3							100								
X5807NTAO3				25											
X5906CLAO3				75											
X6911WHAO3				75											
Y5709BLAO3				425											
Y5709BLBO3				75											
Y5903GYAO3				80											
Y5923WHAO3				425											
Y5929GYAO3				225											
Y5929GYAO3				50											
Y9502NTAO3						400									
Y9701GNBO3				200											

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายสมบัติ สุขนิจ เกิดเมื่อวันที่ 13 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2512 ที่จังหวัดเชียงใหม่ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิตจากภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เมื่อปี พ.ศ. 2535 และได้เข้าศึกษาต่อในระดับบัณฑิตศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2546

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย