การปรับปรุงความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์

นางสาววรัญญา สนเผือก

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2555
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

STRENGTH IMPROVEMENT OF FIBRE CEMENT PRODUCT

Miss Waranya Sonphuak

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2012

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์
โดย	นางสาววรัญญา สนเผือก
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อังศุมาลิน เสนจันทร์ฒิไชย)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญวา ธรรมพิทักษ์กุล)

วรัญญา สนเผือก : การปรับปรุงความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์
(STRENGTH IMPROVEMENT OF FIBRE CEMENT PRODUCT)
อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ.ดร.นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ,173 หน้า.

วัสดุประเภทไฟเบอร์ซีเมนต์เป็นวัสดุก่อสร้างทดแทนไม้ คุณสมบัติที่สำคัญของวัสดุก่อสร้างไฟเบอร์ซีเมนต์ คือ ความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ ซึ่งวัดในรูป ค่าโมดูลัสของการแตกหัก งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์แนวคิดซิกซ์ ซิกมา เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตวัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์ โดยมีวัตถุประสงค์ในการเพิ่มค่าความสามารถด้านสมรรถนะแบบระยะยาว (Ppk) ของค่าความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์จากค่า Ppk ก่อนการปรับปรุงที่มีค่า 0.26 ให้มีค่ามากกว่า 1.33 ซึ่งสามารถยอมรับได้ว่ากระบวนการมีความสามารถโดยมีแนวทางในการเพิ่มค่าเฉลี่ยความแข็งแรง และลดความผันแปร

งานวิจัยเริ่มจากการศึกษาสภาพปัญหา กำหนดวัตถุประสงค์ และขอบเขตของโครงการ จากนั้นทำการวิเคราะห์ความสามารถของระบบการวัด ศึกษารายละเอียดของขั้นตอนการผลิต และระบุตัวแปรที่อาจส่งผลต่อค่าความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากตัวแปรมีจำนวนมาก จึงทำการคัดกรองปัจจัยโดยใช้เทคนิคการหาความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลและเทคนิคการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบสามารถกรองปัจจัยจาก 39 ปัจจัย เหลือ 16 ปัจจัย และพบว่ามี 3 ปัจจัย ได้แก่ ค่าฟรีเนสน้ำเยื่อ ความหนาของชั้นฟิล์ม และแรงอัด ซึ่งถูกปรับปรุงโดยวิธีการออกแบบการทดลอง ชนิดการออกแบบบอกซ์-เบห์นเคน เพื่อระบุความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่อค่าความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ และกำหนดค่าที่เหมาะสมในการปรับระดับของปัจจัยเพื่อให้ได้ค่าความแข็งแรงสูงที่สุด ส่วนตัวแปรอีก 13 ตัวแปร มีแนวทางการปรับปรุงโดยการสร้างมาตรฐานวิธีปฏิบัติงาน และการฝึกอบรมพนักงาน จากนั้นทำการควบคุมกระบวนการหลังการปรับปรุง โดยใช้หลักการควบคุมคุณภาพเชิงสถิติ

หลังการปรับปรุง พบว่า ค่า Ppk ของกระบวนการมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 2.05 ซึ่งสามารถยอมรับได้ว่ากระบวนการมีความสามารถ

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....
ปีการศึกษา 2555 .....

5371510021 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING
KEYWORDS:FIBRE CEMENT / SIX SIGMA / MODULUS OF RUPTURE /
BOX-BEHNKEN DESIGN

WARANYA SONPHUAK: STRENGTH IMPROVEMENT OF FIBRE CEMENT PRODUCT. ADVISOR : ASST. PROF. NAPASSVONG ROJANAROWAN, Ph.D.,173pp.

Fibre cement is a wood replacement construction material. An important property of this material is strength, which is measured by the Modulus of Rupture (MOR). This study applied Six Sigma approach to improve the fibre cement production. The objective is to increase the long term process capability index (Ppk) of the MOR from the baseline performance of 0.26 to be more than 1.33, which is the standard acceptable value. The approach for improvement is to increase the mean MOR and reduce the variation.

This research started from defining problem, setting the project objective and the project scope. Next, the measurement system was analyzed and the process map was set up. The potential factors of the problem was then determined.Since there were many factors that affect the MOR, the Cause and Effect Matrix and the Failure Mode and Effects Analysis technique were used to reduce the number of factors from 39 to 16 to be studied further. It was found that there were three factors including pulp slurry freeness, film-layer thickness, and pressure step that must be improved by the Box-Behnken experimental design. This experiment was used to determine the relationship between the significant factors and the MOR and then the optimal factor levels were determined to reach the maximum MOR. The remaining 13 factors were improved by creating standard work instruction and training the operators. After that, the statistical process control was performed to control the production processes.

After improvement, the process capability index (Ppk) was increased to 2.05, which was acceptable.

Department :Industrial Engineering Student's Signature .....
Field of Study :Industrial Engineering Advisor's Signature .....
Academic Year : 2012 .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ได้ให้ความรู้ คำปรึกษา ทั้งในส่วนทฤษฎีและแนวทางในการทำงานวิจัย และกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อังศุมาลิน เสนจันทร์ฒิไชย กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญวา ธรรมพิทักษ์กุล กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกมหาวิทยาลัย ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขข้อบกพร่อง ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความถูกต้องและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณผู้บริหารโรงงานกรณีศึกษาเป็นอย่างสูง ที่ให้การสนับสนุนในการทำการวิจัยและขอขอบพระคุณคณะทำงานในการช่วยระดมความคิด ให้ความรู้ คำแนะนำ ที่มีประโยชน์ต่องานวิจัยและช่วยทำการทดลองเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์วิชาความรู้และคำแนะนำ อันเป็นผลให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี รวมทั้งขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการที่คอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำงานวิจัยนี้

ประโยชน์และความดีอันเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ บิดา มารดา ครูอาจารย์ บุคคลในครอบครัว หัวหน้างานที่ให้โอกาสในการปรับปรุงงานและพัฒนาความรู้เสมอมา รวมทั้งขอขอบคุณท่านที่ไม่ได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้ด้วย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญรูป ..... ฐ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 ข้อมูลทั่วไปของโรงงานกรณีศึกษา 2

1.3 กระบวนการผลิต 3

1.4 การศึกษาสภาพปัญหาในปัจจุบัน 6

1.5 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 16

1.6 ขอบเขตการวิจัย 16

1.7 ข้อจำกัดของการวิจัย 16

1.8 ผลที่ได้รับจากงานวิจัย 16

1.9 ประโยชน์ที่ได้รับ 16

1.10 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 17

1.11 คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย 19

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 20

2.1 ความหมายของคุณภาพ 20

2.2 การปรับปรุงคุณภาพ 21

2.3 เครื่องมือคุณภาพ 21

2.3.1 ซิกซ์ ซิกมา (Six Sigma) 21

2.3.2 แผนภูมิพาเรโต 23

หน้า

2.3.3 การวิเคราะห์ระบบการวัด 23
2.3.4 การวิเคราะห์สมรรถภาพของกระบวนการ 31
2.3.5 การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ 37
2.3.6 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment : DOE) 41
2.4 ความแข็งแรงของวัสดุ 47
2.4.1 สมบัติของวัสดุ 47
2.4.2 การทดสอบแรงดัดแบบ 3 จุด 49
2.5 ผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์ 49
2.6 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 51
2.6.1 เทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์ 51
2.6.2 แนวทางการปรับปรุงความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์ 55
2.6.3 การจัดลำดับความสำคัญของพารามิเตอร์ 58
2.6.4 แนวทางการประยุกต์ใช้แนวคิดซิกซ์ ซิกมา 60

บทที่ 3 การนิยามปัญหา 64
3.1 การจัดตั้งคณะกรรมการปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ 64
3.2 การศึกษาและสำรวจปัญหาของโรงงานก่อนการปรับปรุง 65
3.2.1 ผลกระทบของปัญหา 65
3.2.2 การเลือกผลิตภัณฑ์เพื่อทำการปรับปรุง 66
3.2.3 การประเมินโอกาสในการปรับปรุงค่า Ppk และแนวทางการปรับปรุง 67
3.3 การกำหนดเป้าหมายการปรับปรุง 70
3.4 ขอบเขตงานวิจัย 71
3.5 การวางแผนการดำเนินโครงการปรับปรุงค่า Ppk 72
3.6 สรุปการนิยามปัญหา 73

บทที่ 4 การวิเคราะห์ระบบการวัด 74
4.1 หลักการทำงานของเครื่อง 74
4.2 การเตรียมชิ้นตัวอย่าง 75

หน้า

4.3 การประเมินความถูกต้องของเครื่องทดสอบความแข็งแรงของชิ้นงานทดสอบ 77
4.3.1 การประเมินความถูกต้องของเครื่องทดสอบตามใบรายงานผล
การสอบเทียบ 77
4.3.2 การประเมินคุณสมบัติเชิงเส้นตรง 79
4.4 การวิเคราะห์ความแม่นยำของผู้ใช้เครื่องมือวัดความแข็งแรง 81
4.5 สรุปผลการวิเคราะห์ระบบการวัด 88

บทที่ 5 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา 89
5.1 รายละเอียดกระบวนการผลิต 89
5.1.1 กระบวนการเตรียมเยื่อ 90
5.1.2 กระบวนการผสมขั้นสุดท้าย 92
5.1.3 กระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ 93
5.1.4 กระบวนการบ่มผลิตภัณฑ์ 94
5.2 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์ 95
5.3 การคัดกรองสาเหตุของปัญหา 106
5.4 สรุปผลการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา 120

บทที่ 6 การปรับปรุงกระบวนการ 121
6.1 รูปแบบการทดลองสำหรับตัวแปรตอบสนอง 121
6.2 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ 127
6.2.1 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง 128
6.2.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลตอบสนอง 130
6.2.3 การพิจารณาสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ 136
6.3 การหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะเหมาะสม 136
6.4 สรุปผลขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ 141

หน้า

บทที่ 7 การควบคุมกระบวนการ 142
7.1 การทดสอบเพื่อยืนยันผล 142
7.1.1 การทดลอง 142
7.1.2 การวิเคราะห์ผลและสรุปการทดสอบยืนยัน 143
7.2 การจัดทำมาตรฐานวิธีปฏิบัติงาน 147
7.2.1 บุลากรที่มีหน้าที่ในการทบทวนและจัดทำระเบียบวิธีการปฏิบัติงาน 148
7.2.2 ระเบียบวิธีการปฏิบัติงาน 148
7.2.3 การตรวจติดตามกระบวนการโดยใช้แผนควบคุม 151
7.3 แผนการฝึกอบรมพนักงาน 153
7.4 การใช้แผนภูมิควบคุมI-MR ในการตรวจติดตาม 154
7.5 เปรียบเทียบผลการดำเนินงานก่อนและหลังการปรับปรุง 156
7.6 การติดตามสถานะของกระบวนการระยะยาว(Ppk) 157
7.7 สรุปผลขั้นตอนการควบคุมกระบวนการ 158

บทที่ 8 สรุปผล วิจารณ์ผลและข้อเสนอแนะ 159
8.1 บทสรุป 160
8.2 ข้อจำกัดของงานวิจัย 160
8.3 วิจารณ์ผลงานวิจัย 161
8.4 ข้อเสนอแนะ 162

รายการอ้างอิง 163
ภาคผนวก 167
ภาคผนวก ก คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย 168
ภาคผนวก ข การให้ค่าคะแนนความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและผล 171
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 173

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	ระดับความวิกฤตเชิงเทคนิคและความวิกฤตเชิงต้นทุนของข้อบกพร่องแต่ละประเภทในปี 2554	6
1.2	แผนผังเมทริกซ์สำหรับการพิจารณาความสัมพันธ์ของกระบวนการกับพารามิเตอร์ D6 เปราะ แตกหักง่าย (ความแข็งแรงต่ำ) ที่จะปรับปรุง	10
1.3	ความสัมพันธ์ระหว่าง FPP กับ IPP และ PP	12
2.1	ขนาดสิ่งตัวอย่างสำหรับการทดสอบด้วยข้อมูลผันแปร	29
2.2	ลำดับของความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการตามค่าดัชนี Cp	36
2.3	เปรียบเทียบระบบการผลิตแบบแฮทเช็ค และ แบบโฟล์ว ออน	54
3.1	จำนวนของเสีย(ตัน) ต่อยอดผลิต เดือน มกราคม – มิถุนายน 2555	65
3.2	ดัชนีชี้วัดความสมรรถนะของกระบวนการแบบระยะยาว (Ppk) ของค่าความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์แผ่นบอร์ดความหนา 11 มิลลิเมตร ช่วงเดือนมกราคม – มิถุนายน 2555	67
3.3	Project Charter	71
3.4	แผนการดำเนินการวิจัยปรับปรุงความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์	72
4.1	ค่าแรงที่อ่านได้จากการวัดค่าแรงมาตรฐาน	78
4.2	ลำดับการวัดค่าความแข็งแรงของตัวอย่างเพื่อประเมินความแม่นยำ	83
5.1	สรุปตัวแปรที่อาจส่งผลต่อความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์	104
5.2	ตัวแปรที่เกี่ยวข้องที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงของแผ่นบอร์ดทั้งหมด 39 ตัวแปร (X1-X39)	105
5.3	การวิเคราะห์สาเหตุและผลโดยใช้ C&E Matrix	107
5.4	เกณฑ์การให้คะแนนความรุนแรง (Severity ; S)	111
5.5	เกณฑ์คะแนนของโอกาสในการเกิดสาเหตุ (Occurrence ; O)	112
5.6	เกณฑ์คะแนนของความสามารถในการตรวจจับลักษณะข้อบกพร่อง (Detection ; D)	113
5.7	การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA)	114

ตารางที่ หน้า

5.8 สรุปสาเหตุของปัญหาและแนวทางการจัดการปรับปรุงแก้ไขตัวแปรที่สำคัญทั้ง 16 ตัวแปร 119

6.1 การกำหนดสัญลักษณ์ของปัจจัยและการกำหนดระดับปัจจัยสำหรับการออกแบบการทดลองแบบบอกซ์-เบห์นเคน 124

6.2 ลำดับการทดลองที่ได้จากการออกแบบการทดลอง แบบบอกซ์-เบห์นเคน 124

6.3 ผลการหาค่าความแข็งแรงของแผ่นบอร์ดไฟเบอร์ซีเมนต์จากการออกแบบการทดลองแบบบอกซ์-เบห์นเคน 127

6.4 ประมาณการต้นทุนค่าเยื่อเมื่อเตรียมที่ค่าฟรีเนสต่างๆ 139

6.5 เปรียบเทียบกำลังการผลิตต่อวันเมื่อเดินเครื่องจักรที่ความหนาฟิล์มต่างๆ ของแผ่นบอร์ดความหนา 11 มิลลิเมตร 140

6.6 ประมาณการต้นทุนการผลิตในขั้นตอนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เมื่อใช้แรงอัด Pressure step ต่างๆ 140

7.1 การตั้งค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการทดสอบเพื่อยืนยันผล 142

7.2 ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงของแผ่นบอร์ด 145

7.3 แผนควบคุมการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ 152

7.4 แผนการฝึกอบรมพนักงาน 154

7.5 เปรียบเทียบผลของความสามารถของกระบวนการก่อนและหลังการปรับปรุง 156

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	กระบวนการผลิตวัสดุทดแทนไม้ไฟเบอร์ซีเมนต์	2
1.2	กราฟพาเรโตแสดงมูลค่าของเสียจากข้อบกพร่องแต่ละประเภท	7
1.3	กราฟเปรียบเทียบความแข็งแรงของวัสดุที่มีความแข็งแรงและวัสดุเปราะ	11
1.4	แสดงสมรรถนะของกระบวนการแบบระยะยาวของความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์ ปี 2554	14
2.1	การควบคุมคุณภาพในรูปของการแก้ไขปัญหาคุณภาพ	21
2.2	หลักการของพาเรโต	23
2.3	ความผันแปรของข้อมูลวัดตามคุณสมบัติของระบบการวัด	25
2.4	แนวคิดของ Within-group variation และ Overall variation	35
2.5	ความเชื่อมโยงของ Cp และ Pp กับ Within-group variation และ Overall variation	36
2.6	แนวทางการแก้ปัญหากระบวนการที่ไม่มีความสามารถ	37
2.7	การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล ก) ไม่มีอันตรกิริยา ข) มีอันตรกิริยา	43
2.8	การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน สำหรับ 3 ตัวแปร	46
2.9	เครื่องทดสอบความแข็งแรงของวัสดุ (Universal Testing Machine)	48
2.10	การทดสอบแรงดัดโค้งแบบ 3 จุด	49
2.11	ระบบการผลิตแบบแฮทเช็ค	51
2.12	ระบบการผลิตแบบโฟล์วออน	52
2.13	เปรียบเทียบลักษณะของเส้นใยชนิดต่างๆ	56
2.14	ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ	59
3.1	จำนวนของเสียจากสาเหตุการเปราะแตกหักง่าย เดือน มกราคม ถึง มิถุนายน 2555	67
3.2	สมรรถนะของกระบวนการแบบระยะยาวของค่าความแข็งแรงของแผ่นบอร์ดความหนา 11 มิลลิเมตร	68
4.1	ผลการวัดค่าความแข็งแรงที่ปรากฏบนหน้าจอคอมพิวเตอร์หลังจากทำการวิเคราะห์	75

รูปที่		หน้า
4.2	กราฟผลการทดสอบความแข็งแรง	76
4.3	การประเมินคุณสมบัติด้านเชิงเส้นตรง	79
4.4	ผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์ของวิธี Nested ANOVA	84
4.5	ผลลัพธ์ในส่วน Session ของวิธี Nested ANOVA	85
5.1	แผนภาพกระบวนการผลิตแผ่นบอร์ดไฟเบอร์ซีเมนต์	89
5.2	กระบวนการเตรียมเยื่อ	90
5.3	กระบวนการผสมขั้นสุดท้าย	92
5.4	กระบวนการขึ้นรูปแผ่นบอร์ด	93
5.5	กระบวนการบ่มผลิตภัณฑ์	94
5.6	แผนภาพพาเรโตแสดงความสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์	102
5.7	แผนภาพพาเรโตแสดงความสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์	117
6.1	ขั้นตอนการทดลองและการเก็บตัวอย่าง	126
6.2	ผลการทดสอบสมมติฐานการแจกแจงปกติของส่วนตกค้างของตัวแปรผลตอบ	128
6.3	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างและเวลาการเก็บข้อมูล	129
6.4	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างและค้าที่ถูกฟิตของตัวแปรตอบสนอง	130
6.5	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรผลตอบ	131
6.6	ผลการวิเคราะห์การคัดเลือกปัจจัยด้วยวิธีการคัดเลือกแบบถอยหลัง	133
6.7	พื้นผิวตอบสนองของความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีนัยสำคัญและค่า MOR	134
6.8	กราฟโครงร่างของความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีนัยสำคัญและค่า MOR	135
6.9	ผลการหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด	137
6.10	ผลการวิเคราะห์ค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม	137
7.1	ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของข้อมูล	146
7.2	ผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีชี้วัดสมรรถนะของกระบวนการระยะยาว (Ppk) ของค่า MOR จากการทดลองเพื่อยืนยันผล	147
7.3	การแยกเยื่อกระดาษตามช่วงค่าฟรีเนส	149

รูปที่		หน้า
7.4	ผลการใช้แผนภูมิควบคุมกระบวนการผลิตหลังการปรับปรุง	155
7.5	ผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีชี้วัดสมรรถนะของกระบวนการระยะยาว (Ppk) ของค่า MOR ก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการ	157
7.6	การรายงานค่าสมรรถนะของกระบวนการระยะยาว (Ppk) ของค่า MOR	158

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ไฟเบอร์ซีเมนต์เป็นวัสดุก่อสร้าง ประกอบไปด้วยวัตถุดิบหลัก ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และเส้นใยไฟเบอร์ โดยนำมาใช้เป็น กระเบื้องหลังคา งานตกแต่งผนัง งานตกแต่งฝ้า งานตกแต่งพื้น เป็นต้น ทั้งนี้ วัสดุก่อสร้างจำพวกไฟเบอร์ซีเมนต์ถูกนำมาใช้แทนวัสดุก่อสร้างที่ผลิตจากแร่ใยหิน ซึ่งพบว่าเป็นอันตรายต่อสุขภาพ ส่งผลให้เกิดโรคมะเร็งปอด เยื่อหุ้มปอดอักเสบ จึงมีการประกาศยกเลิกการผลิตและใช้งานแร่ใยหินในบางประเทศ คุณสมบัติเด่นของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์ คือ ทนน้ำ ทนไฟ ปลอดภัยจากแมลง และทนต่อทุกสภาพอากาศ จึงเป็นที่นิยมใช้ในปัจจุบัน

อุตสาหกรรมวัสดุก่อสร้างประเภทไฟเบอร์ซีเมนต์ นับเป็นอีกหนึ่งธุรกิจที่มีการเติบโต เนื่องจากเป็นวัสดุก่อสร้างที่ใช้ทดแทนไม้ธรรมชาติ ซึ่งผู้บริโภคมีการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการเลือกใช้วัสดุก่อสร้างที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ประกอบกับจุดเด่นของวัสดุก่อสร้างไฟเบอร์ซีเมนต์มีความทนทานสูง จึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือก แม้ว่าในอุตสาหกรรมไฟเบอร์ซีเมนต์จะมีผู้แข่งขันจำนวนน้อยราย แต่ล้วนเป็นคู่แข่งขันรายใหญ่ มีจุดแข็งทั้งในด้านกำลังการผลิต ความน่าเชื่อถือของตราสินค้า และมีช่องการจัดจำหน่ายของตนเอง ดังนั้น การที่ธุรกิจจะสามารถแข่งขันในตลาดได้ ต้องเพิ่มศักยภาพในการแข่งขัน ด้วยการสร้างผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ โดยองค์กรต้องมีการจัดการคุณภาพที่ดี ซึ่งประกอบด้วย การควบคุมคุณภาพ เป็นการตรวจสอบ การวัด และการทดสอบที่มุ่งจะควบคุมวัตถุดิบ กระบวนการ และการกำจัดสาเหตุของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นจากการดำเนินการทั้งหมด การประกันคุณภาพ เพื่อให้เกิดความมั่นใจได้ว่าผลิตภัณฑ์หรือบริการมีคุณภาพตามที่ลูกค้าต้องการ และการบริหารคุณภาพ โดยทุกคนที่เกี่ยวข้องทั้งภายในและภายนอกองค์การรับผิดชอบต่องานที่ตนเองกระทำอย่างเต็มที่เพื่อให้สินค้าและบริการเป็นไปตามต้องการของลูกค้า นอกจากนี้ สิ่งที่ทุกองค์กรต้องมีเพื่อเพิ่มความสามารถในการแข่งขันในสภาวะ

ที่ตลาดมีการแข่งขันสูง คือ การปรับปรุงคุณภาพอย่างต่อเนื่อง ซึ่งมีความคิดพื้นฐานในการลดของเสียที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ ช่วยลดข้อร้องเรียนของลูกค้าทั้งภายในและภายนอกองค์กร เพื่อให้ลูกค้าเกิดความมั่นใจในคุณภาพสินค้าตั้งแต่ซื้อผลิตภัณฑ์ จนตลอดอายุการใช้งาน

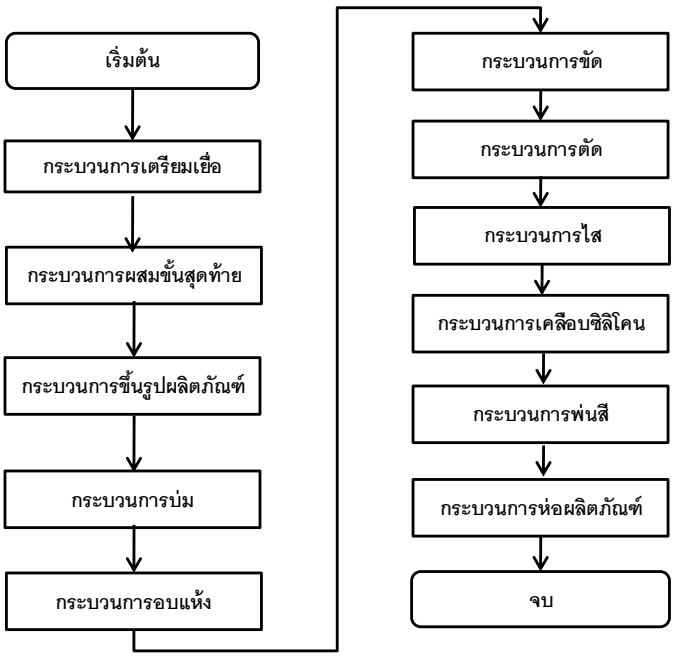
1.2 ข้อมูลทั่วไปของโรงงานกรณีศึกษา

โรงงานกรณีศึกษาเป็นโรงงานผลิตวัสดุก่อสร้างทดแทนไม้ไฟเบอร์ซีเมนต์ โดยผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่เป็นส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์และเส้นใยเซลลูโลส ผ่านกระบวนขึ้นรูปโดยใช้เทคโนโลยีการขึ้นรูปแบบโฟลว์ ออน จากประเทศสวิตเซอร์แลนด์ มีกำลังการผลิตประมาณ 84,000 ตันต่อปี ทั้งนี้ ในปี 2555 ขนาดตลาด (Market size) ของวัสดุก่อสร้างทดแทนไม้มีประมาณ 30.7 ล้านตารางเมตร โรงงานกรณีศึกษามีส่วนแบ่งตลาด (Market share) ประมาณ 3.7 ล้านตารางเมตร คิดเป็น 12% โดยวางตำแหน่งทางการตลาด เป็นสินค้าพรีเมี่ยม เน้นการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีความหลากหลายเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า ทั้งนี้ กลยุทธ์ที่ใช้ คือ เพิ่มกำลังการผลิตให้สามารถส่งมอบสินค้าให้ทันกับความต้องการของลูกค้า เน้นการเพิ่มส่วนแบ่งทางการตลาด เพิ่มความเข้มแข็งด้านการเป็นผลิตภัณฑ์สีเขียว เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และส่งเสริมกิจกรรมด้านความรับผิดชอบต่อสังคมและการพัฒนาที่ยั่งยืน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อรักษากำไรก่อนหักดอกเบี้ย ภาษี ค่าเสื่อมราคา และค่าใช้จ่าย (EBITDA) อย่างน้อย 30% และเพิ่มส่วนแบ่งทางการตลาดภายในประเทศให้ได้ 13% ภายในปี 2558

จากเป้าหมายของโรงงานดังที่ได้กล่าวมาและเพื่อให้สามารถแข่งขันในตลาดกับคู่แข่ง ซึ่งมีจุดแข็งด้านความเข้มแข็งของตราสินค้า ความหลากหลายของผลิตภัณฑ์และช่องทางการจัดจำหน่ายที่มากกว่า ทางโรงงานจึงเน้นการพัฒนาด้านคุณภาพสินค้าและการสร้างนวัตกรรมเพื่อให้สามารถแข็งขันในตลาดได้ โดยให้ความสำคัญในการปรับปรุงคุณภาพสินค้า จากการแต่งตั้งคณะกรรมการปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ และดำเนินการปรับปรุง เพื่อให้เกิดการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง

1.3 กระบวนการผลิต

กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์ เริ่มจากเยื่อกระดาษจะถูกทำให้แตกตัวโดยวิธีเชิงกล จนมีสภาพเป็นเส้นใย จากนั้นจะถูกนำไปผสมกับปูนซีเมนต์ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลัก แคลเซียมคาร์บอเนตและน้ำ ส่วนผสมที่ได้จะถูกกรองดึงความชื้นออกและฟอร์มขึ้นเป็นแผ่นทีละชั้น จนได้แผ่นบอร์ดตามความหนาที่ต้องการ จากนั้นผ่านการบ่มด้วยอุณหภูมิและความชื้นเพื่อให้ปูนซีเมนต์เกิดการแข็งตัว เมื่อแผ่นบอร์ดถูกบ่มครบตามอายุ จะถูกนำไปอบแห้งเพื่อไล่ความชื้นออกและเข้าสู่กระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ กระบวนการผลิตเป็นดังรูปที่ 1.1 ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์ จะถูกใช้ในการตกแต่งส่วนต่างๆ ของบ้าน เช่น ไม้เชิงชาย ไม้ระแนง ไม้บัว ไม้ฝา ไม้พื้น เป็นต้น โดยจะมีรูปร่างลักษณะและคุณสมบัติสามารถใช้งานได้เหมือนไม้จริง



รูปที่ 1.1 กระบวนการผลิตวัสดุทดแทนไม้ไฟเบอร์ซีเมนต์

กระบวนผลิตผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์ มีกระบวนการผลิตหลัก 2 ส่วน ได้แก่ กระบวนการขึ้นรูปแผ่นบอร์ดและกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ โดยมีรายละเอียดกระบวนการผลิตโดยสรุปดังนี้

1.3.1 **กระบวนการผลิตขึ้นรูปผลิตภัณฑ์** มีกระบวนการผลิต 6 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การเตรียมเยื่อกระดาษ 2) การผสมขั้นสุดท้าย 3) การขึ้นรูปแผ่น 4) การบ่มครั้งที่ 1 5)การบ่มครั้งที่ 2 และ 6) การอบแห้ง โดยมีรายละเอียดการผลิตดังนี้

1) **กระบวนการเตรียมเยื่อกระดาษ**

กระบวนการเตรียมเยื่อกระดาษ คือ กระบวนการเปลี่ยนรูปจากเยื่อกระดาษซึ่งมีลักษณะเป็นชิ้นเล็กๆ ให้กลายเป็นเส้นใยที่พร้อมสำหรับการใช้งาน

2) **กระบวนการผสมขั้นสุดท้าย**

กระบวนการผสมขั้นสุดท้าย คือ ขั้นตอนการผสมครั้งสุดท้าย ก่อนการขึ้นรูปซึ่งเป็นกระบวนการต่อเนื่องจากกระบวนการเตรียมเยื่อ โดยหน้าที่หลักของกระบวนการนี้ คือการทำให้ส่วนผสม ซึ่งได้แก่ ปูนซีเมนต์ แคลเซียมคาร์บอเนต และเซลลูโลสไฟเบอร์ ซึ่งได้จากขั้นตอนการเตรียมเยื่อกระดาษ ให้เป็นเนื้อเดียวกัน

3) **กระบวนการขึ้นรูปแผ่นบอร์ด**

การขึ้นรูปแผ่นบอร์ด เป็นการนำส่วนผสมจากกระบวนการผสมครั้งสุดท้าย มาทำการขึ้นรูปให้ได้เป็นแผ่นบอร์ดที่มีขนาดความกว้าง ความยาว และความหนา ที่ต้องการ

4) **กระบวนการบ่มครั้งที่** 1

แผ่นบอร์ดที่ได้มาจากกระบวนการขึ้นรูปแผ่นบอร์ด จะถูกนำไปผ่านกระบวนการบ่มในห้องบ่มที่ 1 เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งในระดับหนึ่ง ทำให้สามารถนำไปผ่านกระบวนการแยกแผ่นโดยไม่เกิดการเสียรูป

5) **กระบวนการบ่มครั้งที่** 2

แผ่นบอร์ดที่มาจากกระบวนการแยกแผ่นจะต้องถูกนำไปบ่มอีกครั้งหนึ่งในห้องบ่มที่ 2 เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งเพิ่มขึ้น โดยจะต้องมีความแข็งมากพอที่จะสามารถนำไปเข้ากระบวนการอบแห้ง โดยที่ผลิตภัณฑ์เหล่านี้ไม่เกิดการเสียรูป

6) **กระบวนการอบแห้ง**

หลังจากที่แผ่นบอร์ดผ่านกระบวนการบ่มครั้งที่ 2 แล้ว แผ่นบอร์ดจะถูกอบแห้งในห้องอบแห้ง เพื่อลดความชื้นของแผ่นบอร์ดให้อยู่ในค่าที่กำหนด ก่อนเข้าสู่กระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์

1.3.2 **กระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์** หลังจากที่แผ่นบอร์ดผ่านกระบวนการอบแห้งแล้ว จะถือว่าผลิตภัณฑ์นั้นพร้อมที่จะส่งไปยังกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ เพื่อทำการแปรรูปผลิตภัณฑ์ให้เป็นไปตามความต้องการของลูกค้า ซึ่งกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ 6 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การขัดผิวหน้า 2) การตัด 3) การไส 4) การเคลือบซิลิโคน 5) การพ่นสี และ 6) การห่อผลิตภัณฑ์ โดยมีวิธีการทำงานดังนี้

1) กระบวนการขัดผิวหน้า

เพื่อตกแต่งสภาพผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ให้มีลักษณะเป็นลายเสี้ยนคล้ายลักษณะของไม้ธรรมชาติ และเพื่อขัดตกแต่งรอยตื้นบนผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ให้หมดไป

2) กระบวนการตัด

เป็นการตัดแผ่นบอร์ดขนาดใหญ่ โดยใช้เครื่องตัดซึ่งสามารถตัดแผ่นบอร์ด ให้มีความกว้างต่างๆ กัน

3) กระบวนการไส

เป็นขั้นตอนในการไสหน้าไม้ ให้เกิดเป็นรูปร่างต่างๆ ตามที่ลูกค้าต้องการ เช่น ไม้เชิงชาย ไม้ระแนง ไม้บัว เป็นต้น

4) กระบวนการเคลือบซิลิโคน

เป็นการเคลือบสารกันน้ำลงบนผลิตภัณฑ์ เพื่อให้มีคุณสมบัติในการป้องกันความชื้น ซึ่งจะส่งผลต่อคุณสมบัติด้านความคงทนของผลิตภัณฑ์

5) กระบวนการพ่นสี

เป็นการตกแต่งโดยใช้พ่นสี หรือการเคลือบซิลิโคน เพื่อให้แผ่นไม้มีความสวยงามและคงทนมากยิ่งขึ้น

6) การห่อผลิตภัณฑ์

เป็นขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการผลิต การห่อผลิตภัณฑ์โดยใช้พลาสติกห่อหุ้มสินค้าสามารถมองเห็นสินค้าจริงได้ และป้องกันความชื้นไม่ให้เข้าสู่เนื้อไม้ขณะกองเก็บ

1.4 การศึกษาสภาพปัญหาในปัจจุบัน

จากรายงานมูลค่าของเสียที่เกิดขึ้น 2554 ซึ่งเป็นมูลค่าของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตและมูลค่าของเสียที่เกิดขึ้นจากการร้องเรียนของลูกค้า โดยสามารถอธิบายได้ดังนี้

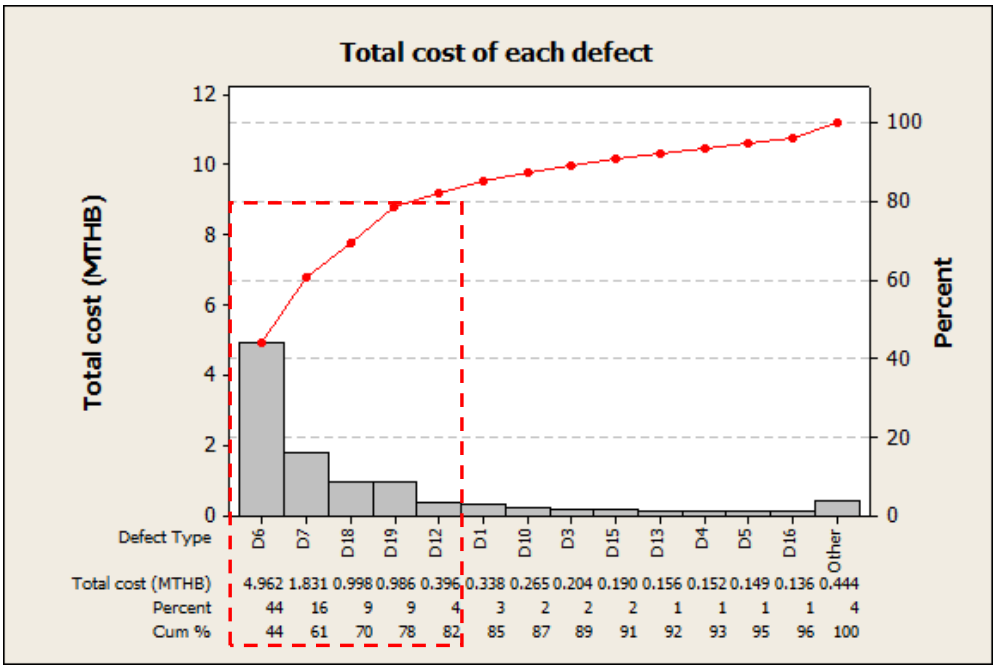
1) มูลค่าของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต หมายถึง ของเสียที่เกิดขึ้นตั้งแต่กระบวนการขึ้นรูปแผ่นบอร์ดจนถึงกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ สามารถจำแนกตามประเภทข้อบกพร่องได้ 21 ข้อบกพร่อง ดังตารางที่ 1.1 ของเสียดังกล่าวจะถูกนำมาคำนวณเป็นต้นทุนของเสียจากกระบวนการผลิต โดยในปี 2554 คิดเป็นจำนวนเงิน 8,182,144 บาท
2) มูลค่าของเสียที่เกิดจากข้อร้องเรียนของลูกค้า ซึ่งเป็นตัวแทนจำหน่ายสินค้า โดยมูลค่าของเสียที่เกิดจากข้อร้องเรียนของลูกค้าทั้งหมดเนื่องจากสินค้าแตกหัก จำแนกออกเป็นสินค้าแตกหักจากการขนย้ายและกองเก็บ สินค้าแตกหักจากการขนส่งและลงของและสินค้าแตกหักในห่อ ในปี 2554 คิดเป็นจำนวนเงิน 3,024,887 บาท

เมื่อพิจารณาของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตในปี 2554 ทั้งของเสียที่เกิดขึ้นระหว่างการผลิตและของเสียที่เกิดขึ้นหลังจากส่งมอบให้กับลูกค้า สามารถจำแนกได้เป็น 21 ข้อบกพร่อง ดังตารางที่ 1.1 ซึ่งหากต้องทำการแก้ไขปรับปรุงทุกข้อบกพร่องจะสามารถทำได้ยาก เนื่องจากข้อจำกัดด้านทรัพยากรและเวลา ดังนั้น จึงต้องมีการเลือกพิจารณาพารามิเตอร์และกระบวนการที่มีความสำคัญที่สุดเพื่อดำเนินการปรับปรุงก่อน ทั้งนี้ ได้มีการจัดลำดับความสำคัญของพารามิเตอร์และกระบวนการผลิตตามแนวคิดจากงานวิจัยของ (ประภาศักดิ์ จิรเศรษฐพงศ์, 2553) การพิจารณาจัดลำดับความสำคัญของพารามิเตอร์ของผลิตภัณฑ์ในขั้นสุดท้าย (FPP) เป็นไปตามตารางที่ 1.1 โดยพิจารณาจากระดับค่าความวิกฤตเชิงเทคนิคและค่าความวิกฤตเชิงต้นทุนของข้อบกพร่องแต่ละประเภทในปี 2554

ตารางที่ 1.1 ระดับความวิกฤตเชิงเทคนิคและความวิกฤตเชิงต้นทุนของข้อบกพร่องแต่ละประเภทในปี 2554

ลำดับ	ชนิด	ข้อบกพร่อง	ความวิกฤตเชิงเทคนิค	ความวิกฤตเชิงต้นทุน(บาท)		
				มูลค่าของเสียจากกระบวนการผลิต	มูลค่าของเสียจากการร้องเรียนของลูกค้า	รวม
1	D1	แยกชั้น	Critical	338,153	-	338,153
2	D2	บอร์ดลั่น,บอร์ดแคบ	Minor	6,826	-	6,826
3	D3	ผิวหน้าร่อน	Critical	204,247	-	204,247
4	D4	เหลือง,เป็นขุย,แผ่นอ่อน	Critical	152,238	-	152,238
5	D5	แผ่นไม่เซ็ทตัว	Major	148,873	-	148,873
6	D6	เปราะ,แตกหักง่าย(ความแข็งแรงต่ำ)	Critical	1,937,202	3,024,887	4,962,089
7	D7	ลายน้ำ,ลายงา,รูปตัววี	Critical	1,831,355	-	1,831,355
8	D8	เป็นหลุมลึก,ขัดไม่ได้น	Major	88,945	-	88,945
9	D9	แผ่นบาง	Major	131,773	-	131,773
10	D10	หัว-หลังถลอก	Critical	265,169	-	265,169
11	D11	แผ่นโก่ง	Critical	25,411	-	25,411
12	D12	หัวผุ	Minor	395,556	-	395,556
13	D13	หน้า-หลังไม้เป็นคลื่น	Critical	156,272	-	156,272
14	D14	เศษสิด	Minor	105,153	-	105,153
15	D15	แผ่นร้าว	Critical	189,658	-	189,658
16	D16	ความกว้างไม่ได้ขนาด	Critical	136,154	-	136,154
17	D17	ความยาวไม่ได้ขนาด	Minor	30,634	-	30,634
18	D18	เหลี่ยมไม่ได้ขนาด,มิดไม่คม	Critical	997,503	-	997,503
19	D19	หัวแตก-หัก-บิ่น	Critical	986,238	-	986,238
20	D20	ร่องลึกจากการขัด	Minor	46,531	-	46,531
21	D21	สีด่าง	Minor	8,252	-	8,252

ลำดับของมูลค่าของเสียจากตารางที่ 1.1 สามารถแสดงในกราฟพาเรโตดังรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.2 กราฟพาเรโตแสดงมูลค่าของเสียจากข้อบกพร่องแต่ละประเภท

จากรูปที่ 1.2 พบว่ามีพารามิเตอร์ที่ก่อให้เกิดมูลค่าของเสียรวม 80% รวมทั้งพารามิเตอร์ที่มีความวิกฤตเชิงเทคนิคระดับ Critical ซึ่งส่งผลต่อความพึงพอใจของลูกค้าโดยตรง รวมทั้งหมด 13 พารามิเตอร์ ดังนี้

ข้อบกพร่องประเภทที่ D6 คือ เปราะ,แตกหักง่าย (ความแข็งแรงต่ำ)

ข้อบกพร่องประเภทที่ D7 คือ ลายน้ำ,ลายงา,รูปตัววี

ข้อบกพร่องประเภทที่ D18 คือ เหลี่ยมไม่ได้ขนาด,มีดไม่คม

ข้อบกพร่องประเภทที่ D19 คือ หัวแตก-หัก-บิ่น

ข้อบกพร่องประเภทที่ D12 คือ หัวผุ

ข้อบกพร่องประเภทที่ D1 คือ แยกชั้น

ข้อบกพร่องประเภทที่ D3 คือ ผิวหน้าร่อน

ข้อบกพร่องประเภทที่ D4 คือ เหลือง เป็นขุย แผ่นอ่อน

ข้อบกพร่องประเภทที่ D10 คือ หัว-หลังถลอก

ข้อบกพร่องประเภทที่ D11 คือ แผ่นโก่ง

ข้อบกพร่องประเภทที่ D13 คือ หน้า-หลังไม้เป็นคลื่น

ข้อบกพร่องประเภทที่ D15 คือ แผ่นร้าว

ข้อบกพร่องประเภทที่ D16 คือ ความกว้างไม่ได้ขนาด

เมื่อพารามิเตอร์ของผลิตภัณฑ์สุดท้า ได้ถูกจัดลำดับแล้ว ขั้นตอนต่อไป คือ การเลือกพารามิเตอร์ที่จะปรับปรุง ในงานวิจัยนี้ได้เลือกที่จะปรับปรุงพารามิเตอร์ของผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย 1 พารามิเตอร์ คือ D6 เปราะ แตกหักง่าย (ความแข็งแรงต่ำ) เนื่องจาก

1. พารามิเตอร์นี้เป็นพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อค่าความความวิกฤตเชิงต้นทุนมากที่สุด นั่นคือ มีผลกระทบต่อมูลค่าของเสียมากที่สุด คิดเป็น 44.28 เปอร์เซ็นต์

2. ผู้บริหารให้ความสนใจในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยได้ออกประกาศบริษัทแต่งตั้งคณะกรรมการปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์

3. ตามแนวคิดซิกซ์ ซิกมา แนะนำว่าในโครงการปรับปรุงหนึ่งๆ ควรเลือกจำนวนข้อบกพร่องที่จะนำมาปรับปรุง 1-2 ข้อบกพร่อง โดยปกติจะเลือก 1 ข้อบกพร่องเนื่องจากจะทำให้โครงการมีโอกาสประสบความสำเร็จสูง หากเป็นกรณีที่โรงงานยังใหม่ต่อการทำโครงการซิกซ์ ซิกมา ควรจะเลือกปรับปรุงเพียง 1 ข้อบกพร่องในโครงการใดๆ ทั้งนี้ เนื่องจากโรงงานกรณีศึกษายังไม่มีการใช้กระบวนการปรับปรุงคุณภาพที่เป็นระบบ เช่น แนวคิดซิกซ์ ซิกมา มาประยุกต์ใช้ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกข้อบกพร่อง D6 เปราะ แตกหักง่าย (ความแข็งแรงต่ำ) มาปรับปรุงเพียงเรื่องเดียวก่อน

เมื่อพารามิเตอร์ผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายได้ถูกเลือกแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการพิจารณาจัดลำดับกระบวนการที่เกี่ยวข้องและส่งผลโดยตรงต่อพารามิเตอร์ผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย D6 เปราะ แตกหักง่าย (ความแข็งแรงต่ำ) เพื่อกำหนดกระบวนการที่จะปรับปรุงคุณภาพ โดยการจัดลำดับจะใช้แผนผังเมทริกซ์ โดยทำการให้คะแนนความสัมพันธ์ของกระบวนการต่างๆ ที่มีต่อพารามิเตอร์ที่จะปรับปรุง โดยพิจารณาร่วมกันกับคณะกรรมการปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ เกณฑ์การให้คะแนน พิจารณาได้ดังนี้

0 = กระบวนการนั้นไม่มีความสัมพันธ์กับ FPP

1 = กระบวนการมีความสัมพันธ์กับ FPP ในระดับเล็กน้อย

4 = กระบวนการมีความสัมพันธ์กับ FPP ในระดับปานกลาง

9 = กระบวนการมีความสัมพันธ์กับ FPP ในระดับมาก

จากการพิจารณาระดับความสัมพันธ์ของกระบวนการต่างๆที่มีต่อพารามิเตอร์ผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย D6 เปราะ แตกหักง่าย (ความแข็งแรงต่ำ) ตั้งแต่กระบวนการเตรียมเยื่อจนถึงกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีทั้งหมด 11 ขั้นตอน ซึ่งแสดงดังตารางที่ 1.2 สามารถสรุปได้ดังนี้

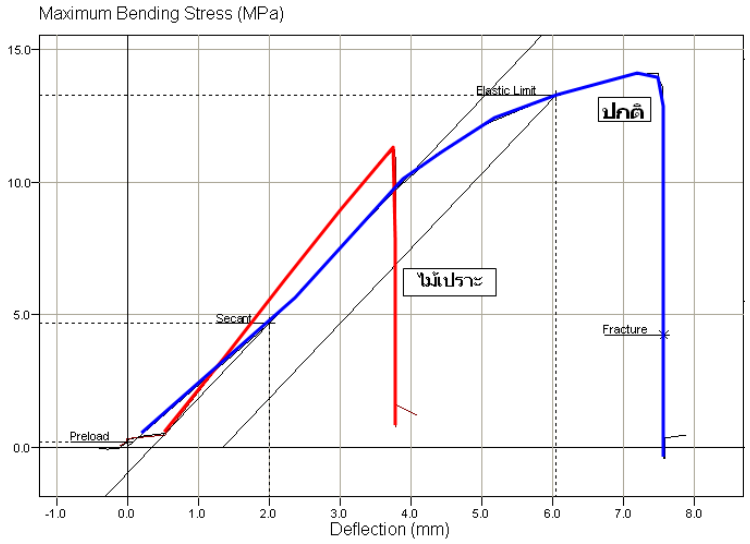
- กระบวนการที่ 1 การเตรียมเยื่อ มีความสัมพันธ์ระดับมากกับ FPP D6 เปราะ แตกหักง่าย (ความแข็งแรงต่ำ)
- กระบวนการที่ 2 การผสมขั้นสุดท้าย มีความสัมพันธ์ระดับปานกลางกับ FPP D6 เปราะ แตกหักง่าย (ความแข็งแรงต่ำ)
- กระบวนการที่ 3 การขึ้นรูปแผ่นบอร์ด มีความสัมพันธ์ระดับปานกลางกับ FPP D6 เปราะ แตกหักง่าย (ความแข็งแรงต่ำ)
- กระบวนการที่ 4 การบ่ม มีความสัมพันธ์ระดับปานกลางกับ FPP D6 เปราะ แตกหักง่าย (ความแข็งแรงต่ำ)

ตารางที่ 1.2 แผนผังเมทริกซ์สำหรับการพิจารณาความสัมพันธ์ของกระบวนการกับพารามิเตอร์ D6 เปราะ แตกหักง่าย (ความแข็งแรงต่ำ) ที่จะปรับปรุง

ลำดับ	กระบวนการ	ความวิกฤตเชิงต้นทุนของพารามิเตอร์ D6:เปราะ แตกหักง่าย (ความแข็งแรงต่ำ)
1	การเตรียมเยื่อ	9
2	การผสมขั้นสุดท้าย	4
3	การขึ้นรูปแผ่นบอร์ด	4
4	การบ่ม	4
5	การอบแห้ง	0
6	การขัดผิวหน้าแผ่นบอร์ด	0
7	การตัด	0
8	การไส	0
9	การเคลือบซิลิโคน	0
10	การพ่นสี	0
11	การห่อผลิตภัณฑ์	0
รวม		**21**

ทั้งนี้ ในงานวิจัยนี้จึงพิจารณาศึกษา 4 กระบวนการที่ส่งผลต่อพารามิเตอร์ของผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย D6 เปราะ แตกหักง่าย (ความแข็งแรงต่ำ) คือ กระบวนการที่ 1 การเตรียมเยื่อ กระบวนการที่ 2 การผสมขั้นสุดท้าย กระบวนการที่ 3 การขึ้นรูปแผ่นบอร์ด และกระบวนการที่ 4 การบ่ม ซึ่งการที่ผลิตภัณฑ์เปราะ แตกหักง่ายนั้น เกิดจากผลิตภัณฑ์มีการเสียรูปเมื่อได้รับแรง โดยวัสดุจะดูดซับแรงเพียงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุที่มีความเหนียวจะพวกพลาสติก ทั้งนี้ การเปราะ แตกหักง่ายจะมีความเกี่ยวข้องกับความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ (Strength) ซึ่งบ่งบอกถึงความคงทนต่อการผิดรูปของผลิตภัณฑ์ ที่มีผลของแรงมากระทำ วัสดุที่เปราะแตกหักง่ายจะมีความแข็งแรงต่ำ ซึ่งการวัดค่าความแข็งแรงจะดูจากวัดเครื่องทดสอบวัสดุเอนกประสงค์ (Universal Testing Machine) เป็นเครื่องมือทดสอบความแข็งแรงของวัสดุ ที่ใช้ทดสอบวัสดุที่มีลักษณะเป็นชิ้นตัวอย่าง (Specimen) โดยค่าที่ได้แสดงออกมาเป็น เมกะปาสคาล(MPa)

เปรียบเทียบกราฟทดสอบความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็งแรงอยู่ในเกณฑ์ปกติและผลิตภัณฑ์เปราะ (ความแข็งแรงต่ำ) ได้ดังรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 กราฟเปรียบเทียบความแข็งแรงของวัสดุที่มีความแข็งแรงและวัสดุเปราะ

จากรูปที่ 1.3 เมื่อให้แรงลงไปบนชิ้นงานไฟเบอร์ซีเมนต์เพิ่มมากขึ้น โดยแกน Y เป็นค่าแรงที่ให้บนมีหน่วยเป็น เมกะปาสคาล (MPa) ชิ้นงานไฟเบอร์ซีเมนต์จะเกิดการยืดตัวตามแรงกดก่อนเกิดการหัก โดยระยะที่เกิดการยืดเป็นไปตามแกน X มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร (mm) ทั้งนี้ จะถูกคำนวณเป็นค่าความแข็งแรงของชิ้นงาน ชิ้นงานเปราะเมื่อได้รับแรงเพียงเล็กน้อยก็จะเกิดการหัก มีค่าความแข็งแรงต่ำ ในขณะที่ชิ้นงานที่มีความแข็งแรงกว่าจะสามารถรับแรงที่มากระทำได้มากกว่าก่อนเกิดการหัก

ดังนั้น การลดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทเปราะ แตกหักง่าย (ความแข็งแรงต่ำ) จะเน้นไปที่การเพิ่มความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ จากการระดมสมองของคณะกรรมการปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ สามารถสรุปความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ของกระบวนการที่ส่งผลต่อความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์ ได้ดังตารางที่ 1.3

ตารางที่ 1.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง FPP กับ IPP และ PP

	พารามิเตอร์ของกระบวนการ (PP)	พารามิเตอร์ในกระบวนการผลิต (IPP)	พารามิเตอร์ของผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย (FPP)
กระบวนการ			
P1:การเตรียมเยื่อ	ค่าฟรีเนสกระดาษ DLK สัดส่วนกระดาษ DLK:ONP	ค่าฟรีเนสน้ำเยื่อ	
P2:การผสมขั้นสุดท้าย	ค่าความเข้มข้นของน้ำเยื่อ สัดส่วนปูนซีเมนต์กับเยื่อ สัดส่วนปูนกับแคลเซียมคาร์บอเนต	ค่าความเข้มข้นของส่วนผสม	ความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์
P3:การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์	แรงอัด ความหนาแผ่นฟิล์ม ความเร็วการเดินเครื่องจักร	ความหนาแน่นแผ่นบอร์ด	
P4:การบ่ม	อุณหภูมิการบ่ม ระยะเวลาการบ่ม ความชื้นสัมพัทธ์	ความชื้นแผ่นบอร์ด	

จากตารางที่ 1.3 สามารถอธิบายความสำคัญระหว่างพารามิเตอร์ของผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย(FPP) กับ พารามิเตอร์ในกระบวนการผลิต (IPP) และ พารามิเตอร์ของกระบวนการ (PP) ในแต่ละกระบวนการ ได้ดังนี้

กระบวนการเตรียมเยื่อ คือ กระบวนการเปลี่ยนรูปจากเยื่อกระดาษให้กลายเป็นเส้นใยที่พร้อมสำหรับการใช้งาน ซึ่งเส้นใยในผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์มีหน้าที่เพิ่มความแข็งแรงในการต้านทานแรงดัด (Modulus of Rupture) และความเหนียว (Toughness) ให้กับผลิตภัณฑ์เมื่อถูกใช้งาน ทั้งนี้ ความแข็งแรงจะขึ้นกับปริมาณเส้นใย ความยาวเส้นใยและการกระจายตัวที่เหมาะสมของขนาดเยื่อ

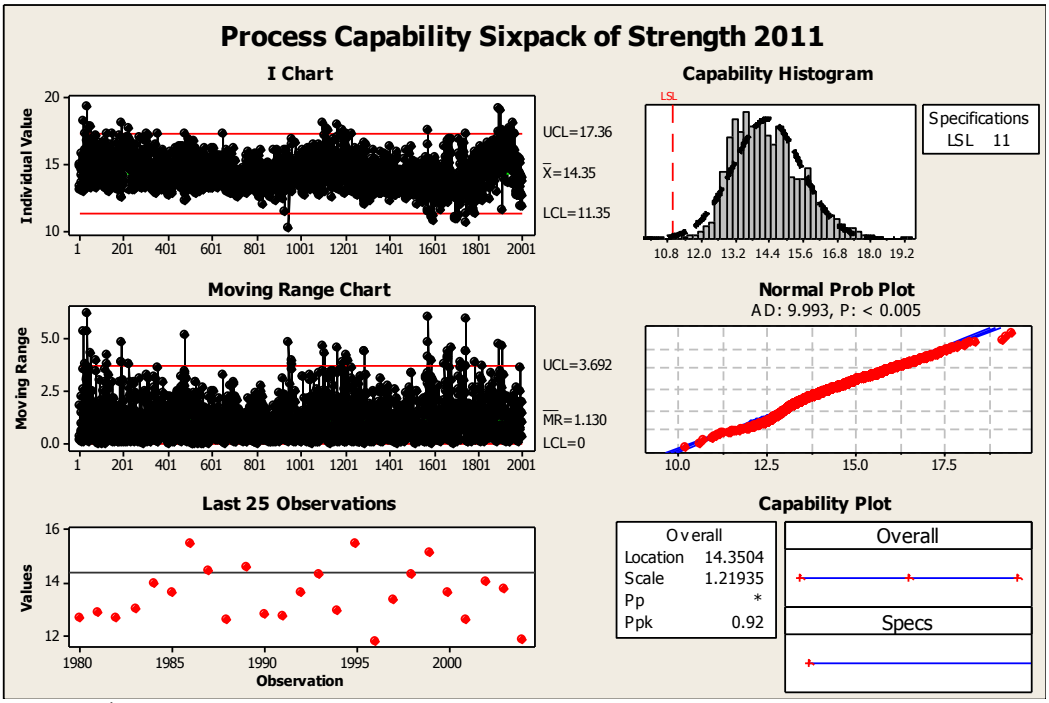
กระบวนการผสมขั้นสุดท้าย คือ ขั้นตอนการผสมครั้งสุดท้าย ก่อนการขึ้นรูปซึ่งเป็นกระบวนการต่อเนื่องจากกระบวนการเตรียมเยื่อ โดยหน้าที่หลักของกระบวนการนี้ คือ การทำให้ส่วนผสม ได้แก่ ปูนซีเมนต์ แคลเซียมคาร์บอเนต และเซลลูโลสไฟเบอร์ ซึ่งได้จากขั้นตอนการเตรียมเยื่อกระดาษ ให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน ทั้งนี้ สัดส่วนของส่วนผสมต่างๆ ต้องอยู่ในค่าควบคุม ซึ่งจะถูกวัดเป็นค่าความเข้มข้นของส่วนผสม โดยสัดส่วนของส่วนผสมจะส่งผลต่อความแข็งแรง

ของผลิตภัณฑ์สุดท้าย เช่น สัดส่วนปูนซีเมนต์และเยื่อ สัดส่วนของปูนซีเมนต์และแคลเซียมคาร์บอเนต เป็นต้น

กระบวนการขึ้นรูปแผ่นบอร์ด เป็นการนำส่วนผสมจากกระบวนการผสมขั้นสุดท้าย มาทำการขึ้นรูปให้ได้เป็นแผ่นบอร์ดที่มีขนาดความกว้าง ความยาว และความหนา ที่ต้องการ โดยส่วนผสมที่อยู่ในรูปของเหลวจะถูกลำเลียงผ่านสายพานยาว โดยด้านล่างเป็นปั๊มสุญญากาศดูดความชื้นออกจากส่วนผสม ความชื้นของแผ่นฟิล์มจะลดลงเรื่อยๆ และจะถูกขึ้นรูปโดยลูกกลิ้ง (Forming roller) แผ่นฟิล์มจะถูกควบคุมความหนาด้วยลูกกลิ้งสำหรับควบคุม (Calibration roller) โดยจะถูกขึ้นรูปเป็นซ้อนกันเป็นชั้นๆ การที่แผ่นฟิล์มแต่ละชั้นจะยึดติดกันได้มากหรือน้อยขึ้นกับแรงดันระหว่างลูกกลิ้งสำหรับขึ้นรูป (Forming roller) เมื่อได้ความหนาของแผ่นบอร์ดตามต้องการ แผ่นบอร์ดจึงถูกตัดออก ความเร็วในการเดินเครื่องจักรยังส่งผลต่อการยึดติดกันของแผ่นฟิล์มในแต่ละชั้นอีกด้วย

กระบวนการบ่ม เป็นวิธีการที่ช่วยให้ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ซึ่งจะส่งผลทำให้การพัฒนาความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์เป็นไปอย่างต่อเนื่อง โดยจะมีการควบคุมอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และระยะเวลาการบ่ม

ทั้งนี้ จากการพิจารณาสมรรถนะของกระบวนการแบบระยะยาว (Ppk) ของค่าความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ในปี 2554 เป็นดังรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.4 แสดงสมรรถนะของกระบวนการแบบระยะยาวของความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์ ปี 2554

จากรูปที่ 1.4 พบว่า ค่าสมรรถนะของกระบวนการแบบระยะยาว (Ppk) ของความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์ ปี 2554 มีค่าเท่ากับ 0.92 ซึ่งต่ำกว่า 1.33 หมายถึง กระบวนการไม่มีความสามารถ จึงควรมีการปรับปรุงกระบวนการต่างๆ ที่กล่าวมาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของปัจจัยที่ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรง ซึ่งจะช่วยลดข้อบกพร่องประเภทผลิตภัณฑ์เปราะ แตกหักง่าย (ความแข็งแรงต่ำ) ซึ่งเป็นข้อบกพร่องที่ก่อให้เกิดต้นทุนของเสียมากที่สุดของโรงงาน โดยแนวทางในการเพิ่มค่า Ppk นั้น สามารถทำได้ 2 แนวทาง คือ แนวทางที่ 1 การปรับค่าความแข็งแรงเฉลี่ยให้มีค่าสูงขึ้นและแนวทางที่ 2 คือ การลดค่าความผันแปรของค่าความแข็งแรง

1.5 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1) ปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อเพิ่มค่าดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการแบบระยะยาว (Ppk) ของค่าความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์

2) กำหนดแผนการควบคุมคุณภาพในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์

1.6 ขอบเขตการวิจัย

ทำการปรับปรุงเฉพาะคุณสมบัติด้านความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์ โดยศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความแข็งแรงครอบคลุมเฉพาะกระบวนการเตรียมเยื่อจนถึงการบ่มผลิตภัณฑ์ในสายการผลิตที่ 2

1.7 ข้อจำกัดของการวิจัย

ในการทดลองในกระบวนการผลิตต้องได้รับความยินยอมจากผู้จัดการโรงงาน 1 ซึ่งรับผิดชอบดูแลหน่วยงานเตรียมเยื่อจนถึงการบ่มโดยตรง เพื่อคำนึงถึงความปลอดภัยเป็นหลักและไม่กระทบต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ในเรื่องอื่นๆ

1.8 ผลที่ได้รับจากงานวิจัย

1) ค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการ (PP) ที่สามารถเพิ่มค่าดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการแบบระยะยาว (Ppk) ของค่าความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์

2) แผนการควบคุมคุณภาพในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์

1.9 ประโยชน์ที่ได้รับ

1) ทราบผลกระทบของพารามิเตอร์ของกระบวนการ (PP) และกระบวนการที่มีผลกระทบต่อการควบคุมค่าความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์

2) ทราบระดับของพารามิเตอร์ของกระบวนการ (PP) ที่เหมาะสมที่ส่งผลให้ค่าดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการแบบระยะยาว (Ppk) ของค่าความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์สูงมากขึ้น

3) ต้นทุนของเสียอันเนื่องจากการเปราะ แตกหักง่ายลดลง

1.10 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ในการปรับปรุงความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ในงานวิจัยนี้ ได้ดำเนินการวิจัยตามแนวทางของ ซิกซ์ ซิกมา โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง
2. ระยะนิยามปัญหา (Define Phase)
   2.1 ศึกษาสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบันที่เกี่ยวข้องกับมูลค่าของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตและมูลค่าของเสียจากการร้องเรียนของลูกค้า
   2.2 จัดตั้งทีมงานสำหรับแก้ไขปัญหาและปรับปรุงกระบวนการ
   2.3 จัดลำดับความสำคัญของพารามิเตอร์ผลิตภัณฑ์สุดท้ายและกระบวนการเพื่อเลือกหัวข้อปัญหาและกระบวนการที่ต้องทำการปรับปรุง
   2.4 ศึกษากระบวนการที่เกี่ยวข้องกับพารามิเตอร์ของผลิตภัณฑ์สุดท้ายและศึกษาข้อมูลสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการดังกล่าว
   2.5 วิเคราะห์ดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการ (Ppk) ของความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ก่อนการปรับปรุง
   2.6 กำหนดเป้าหมายและขอบเขตของโครงการปรับปรุง
   2.7 สรุปผลและวางแผนขั้นตอนต่อไป
3. ระยะวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา (Measure Phase)
   3.1 ประเมินความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัด (Measurement System Analysis) ค่าความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์
   3.2 สรุปผลและวางแผนขั้นตอนต่อไป
4. ระยะวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase)
   4.1 ศึกษากระบวนการผลิตอย่างละเอียดและวิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลต่อความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์
   4.2 ระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่อาจมีผล (Key Process Input Variable หรือ KPIV)
      4.2.1 หาสาเหตุที่เป็นไปได้ของความผันแปรของความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ก่อนการปรับปรุงตามหลักการ 5M 1E
      4.2.2 กำหนดปัจจัยนำเข้าที่อาจมีผล (KPIV) โดยใช้ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix) และเทคนิค FMEA จัด

เรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยเบื้องต้น จากการระดมสมองของทีมงาน เพื่อตัดปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลน้อยต่อความผันแปรของความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ออกไป

4.3 วิเคราะห์และสรุปผลและวางแผนขั้นตอนต่อไป

5. ระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improvement Phase)

5.1 นำปัจจัยที่มีนัยสำคัญที่ได้จากระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา มาออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Design) เพื่อให้ได้ปัจจัยนำเข้าที่สามารถเพิ่มค่าดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการแบบระยะยาว (Ppk) ของค่าความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์

5.2 ทำการทดลองตามแผนที่วางไว้

5.3 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

6. ระยะตรวจติดตามควบคุมและปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง (Control phase)

6.1 ทำการทดสอบเพื่อยืนยันผล โดยการเก็บข้อมูลหลังการได้ระดับของปัจจัยที่สรุปจากระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

6.2 จัดทำมาตรฐานวิธีการปฏิบัติงานและแผนการฝึกอบรมพนักงานเพื่อปรับปรุงปัจจัยอื่นๆ ที่ได้จากระยะวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

6.3 กำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการตั้งค่าพารามิเตอร์เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการแบบระยะยาว (Ppk) ของค่าความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์สูงขึ้นและจัดทำแผนควบคุมคุณภาพของกระบวนการหลังการปรับปรุง

6.4 วิเคราะห์ค่าดัชนีชี้วัด Ppk หลังการปรับปรุง

6.5 ระบุข้อเสนอแนะและโอกาสในการปรับปรุงปัญหาต่อไป

7. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.11 คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย

ค่าความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในงานวิจัย หมายถึง ค่าโมดูลัสของการยืดหยุ่น (Modulus of Rupture) ใช้อักษรย่อ MOR เป็นค่าความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ เมื่อได้รับแรงมากระทำ หน่วย เมกะปาสคาล

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความหมายของคุณภาพ

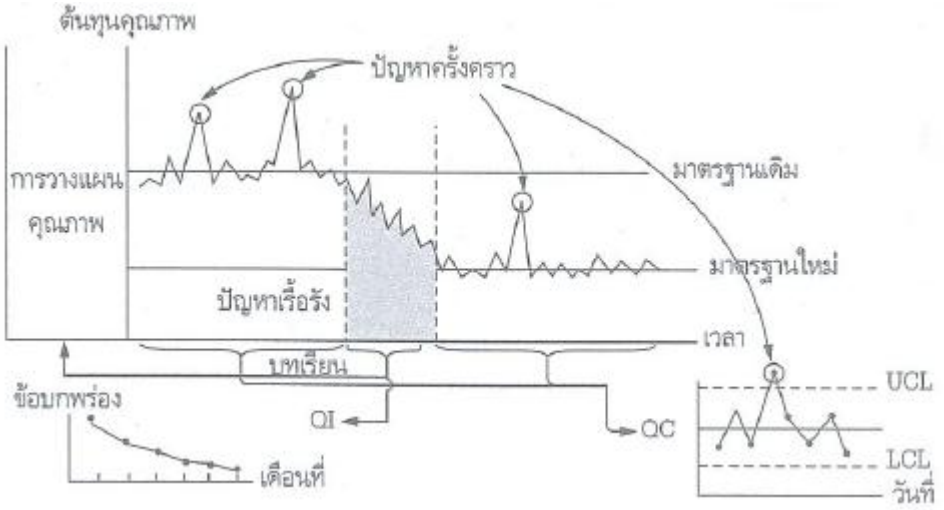
คุณภาพ หมายถึง ความเหมาะสมในการใช้งาน (Fitness for use) ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับคุณภาพของการออกแบบ (Quality of design) คือ การออกแบบให้มีคุณภาพตรงตามการใช้งานที่แตกต่างกัน และคุณภาพตามข้อกำหนด (Quality of conformance) ซึ่งประกอบด้วย กระบวนการผลิต การอบรมและการดูแลกำลังคน ประเภทของการควบคุมกระบวนการ การทดสอบและกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบ (Montgomery, 2005) ทั้งนี้ ปัจจุบันความหมายของคุณภาพยังรวมไปถึงการที่ผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการผลิตมีความแปรปรวนน้อยอีกด้วย ดังนั้น คุณภาพของสินค้า จึงเป็นระดับที่กำหนดไว้ด้วยคุณสมบัติของสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ เช่น คุณภาพด้านการใช้งาน คุณภาพด้านความเชื่อถือได้ คุณภาพด้านความทนทาน เป็นต้น ซึ่งผู้ผลิตจะกำหนดเป็นมาตรฐานของการผลิต เพื่อให้ผู้บริโภคเชื่อถือและตัดสินใจซื้อสินค้าหรือผลิตภัณฑ์นั้นๆ เรียกว่า การควบคุมคุณภาพ ประกอบไปด้วย 2 วัตถุประสงค์

1) การควบคุมการผลิตขณะกำลังผลิต เพื่อเฝ้าระวังปัญหาและสาเหตุที่เกิดขึ้นขณะผลิต
2) การควบคุมการตรวจสอบสินค้าและผลิตภัณฑ์ เพื่อประโยชน์ในการตรวจสอบสินค้าหรือผลิตภัณฑ์หลังการผลิต

ทั้งนี้ ในกระบวนการควบคุมคุณภาพจะมีการนำสถิติเข้ามาใช้ เพื่อเป็นเครื่องมือเฝ้าระวังปัญหาและวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา

2.2 การปรับปรุงคุณภาพ

.ในกระบวนการผลิตสินค้ามักพบปัญหาด้านคุณภาพต่างๆ เช่น พารามิเตอร์ไม่อยู่ในเกณฑ์ที่ควบคุม เกิดตำหนิในผลิตภัณฑ์ มีความผันแปรในกระบวนการผลิตสูง เป็นต้น ซึ่งปัญหาคุณภาพ คือ ความแตกต่างของผลิตภัณฑ์หรือระดับคุณภาพในปัจจุบันกับระดับคุณภาพที่ต้องการให้เป็น จากรูปที่ 2.1 พบว่า การควบคุมคุณภาพจะให้ความสำคัญกับการแก้ไขปัญหาคุณภาพที่ผิดปกติ ซึ่งเกิดขึ้นอย่างเป็นครั้งคราว ในขณะที่การปรับปรุงคุณภาพจะหมายถึงการแก้ปัญหาจากระบบที่เกิดขึ้นอย่างเรื้อรัง



รูปที่ 2.1 การควบคุมคุณภาพในรูปของการแก้ไขปัญหาคุณภาพ
(กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2553ก)

2.3 เครื่องมือคุณภาพ

2.3.1 ซิกซ์ ซิกมา (Six sigma)

ซิกซ์ ซิกมา เป็นแนวคิดที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพ โดยมีการดำเนินการอย่างเป็นระบบ อาศัยความร่วมมือจากหลายส่วนในองค์กร แนวทางการปรับปรุงคุณภาพตามแนวคิดซิกซ์ ซิกมานั้น สามารถแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอน ได้แก่

ขั้นตอนการนิยามปัญหา (Define phase) เป็นขั้นตอนแรกในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพตามแนวคิดซิกซ์ ซิกมา โดยทำการระบุปัญหาที่ต้องการปรับปรุง เมื่อได้ปัญหาแล้วจะดำเนินการกำหนดเป้าหมายในการแก้ปัญหาเป็นตัววัดของโครงการ พิจารณาเทียบเคียงกับผลงานที่ดีที่สุดที่สามารถทำได้ในอดีต (Entitlement) เพื่อการตัดสินใจบนพื้นฐานของระดับคุณภาพที่สามารถทำได้ในสภาพปัจจุบัน (Baseline)

ขั้นตอนการวัด (Measure phase) ในขั้นตอนนี้จะเริ่มกำหนดระบบการวัด โดยทำการทวนสอบความผันแปรจากระบบการวัดว่ามาจากแหล่งใดเพื่อการกำจัดหรือลดความผันแปรดังกล่าว เรียกกระบวนการนี้ว่า การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement system analysis ; MSA) และในขั้นตอนนี้ยังเป็นการวัดค่าระบบปัจจุบันให้มีความชัดเจนขึ้นจากขั้นตอนการนิยามปัญหา เพื่อใช้กำหนดเป้าหมายในการปรับปรุง

ขั้นตอนการวิเคราะห์ (Analyze phase) เป็นการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาเพื่อดำเนินการปรับปรุง โดยเครื่องมือคุณภาพที่ถูกนำมาใช้ เช่น การหาความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลของปัญหา (Cause and Effect) การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing) การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis ; FMEA) เป็นต้น

ขั้นตอนการปรับปรุง (Improve phase) เมื่อทราบถึงพารามิเตอร์ของกระบวนการที่เป็นสาเหตุแท้จริงของปัญหาแล้ว ในขั้นตอนต่อมาจะเป็นการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของพารามิเตอร์ดังกล่าว โดยเครื่องมือคุณภาพที่สนับสนุนการปรับปรุง คือ การออกแบบการทดลอง (Design of experiments ; DOE)

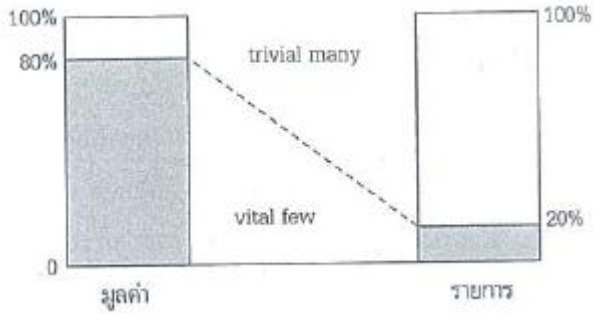
ขั้นตอนการควบคุม (Control phase) ขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการแก้ไขปัญหาแบบซิกซ์ ซิกมา เป็นการติดตามการปรับปรุง เพื่อให้มั่นใจว่าผลการปรับปรุงสามารถนำไปใช้ได้จริงและควบคุมกระบวนการหลังการปรับปรุงให้เกิดความผิดพลาดน้อยที่สุด

จุดเด่นของกระบวนการแก้ปัญหาแบบซิกซ์ ซิกมา คือเป็นการแก้ปัญหาแบบองค์รวม ซึ่งเกิดจากความร่วมมือกันของหลายส่วนในองค์กรและได้รับการสนับสนุนจากผู้บริหาร ทำให้การ

แก้ไขปัญหาเป็นไปอย่างถาวร รวมถึงการทำให้ผู้แก้ปัญหาทำความเข้าใจกับองค์รวมของธุรกิจได้อย่างง่าย

2.3.2 แผนภูมิพาเรโต

แผนภูมิพาเรโต สร้างขึ้นเพื่อใช้จำแนกข้อมูลเป็นกลุ่มตามสาเหตุของปัญหาหรือสาเหตุของข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ โดยเรียงลำดับตามความมากน้อยของปัญหา ซึ่งจะใช้เป็นแนวทางในการตัดสินใจแก้ไขปัญหาเร่งด่วนและปัญหารอง ตามลำดับ โดยหลักการของแผนภูมิพาเรโต ระบุว่า สิ่งที่มีความสำคัญมากจะมีจำนวนน้อย และสิ่งที่มีความสำคัญเล็กน้อยจะมีจำนวนมาก โดยในการศึกษากรณีตัวอย่างต่างๆ จะพบว่า สิ่งที่มีความสำคัญจะมีค่าประมาณ 80% ของมูลค่าทั้งหมด จะมาจากรายการเพียงเล็กน้อย ซึ่งมีค่าประมาณ 20% ของจำนวนรายการทั้งหมด จึงอาจเรียกหลักการพาเรโตว่า หลักการ 80-20 ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 หลักการของพาเรโต (กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2553ก)

2.3.3 การวิเคราะห์ระบบการวัด

ในกระบวนการประกันคุณภาพ จะต้องมีการวัด เพื่อให้สามารถทราบคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการผลิต ซึ่งจะมีผลต่อการตัดสินใจในการประกันคุณภาพผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้ ถ้าไม่ทราบค่าวัด ก็จะไม่ทราบพฤติกรรมของกระบวนการและไม่สามารถตัดสินใจเกี่ยวกับกระบวนการได้ โดยการวัดเป็นการกำหนดให้สิ่งที่สนใจอยู่ในรูปของค่าตัวเลข ซึ่งในการที่จะสามารถวัดค่าได้นั้น ต้องมีองค์ประกอบของปัจจัยต่างๆ คือ เครื่องมือวัด พนักงานวัด วิธีการ

วัด และสิ่งแวดล้อมขณะทำการวัด รวมเรียกองค์ประกอบต่างๆ เหล่านี้ว่า ระบบการวัด ทั้งนี้ ระบบการวัดจะมีผลต่อการควบคุมและการปรับปรุงกระบวนการ ดังนี้

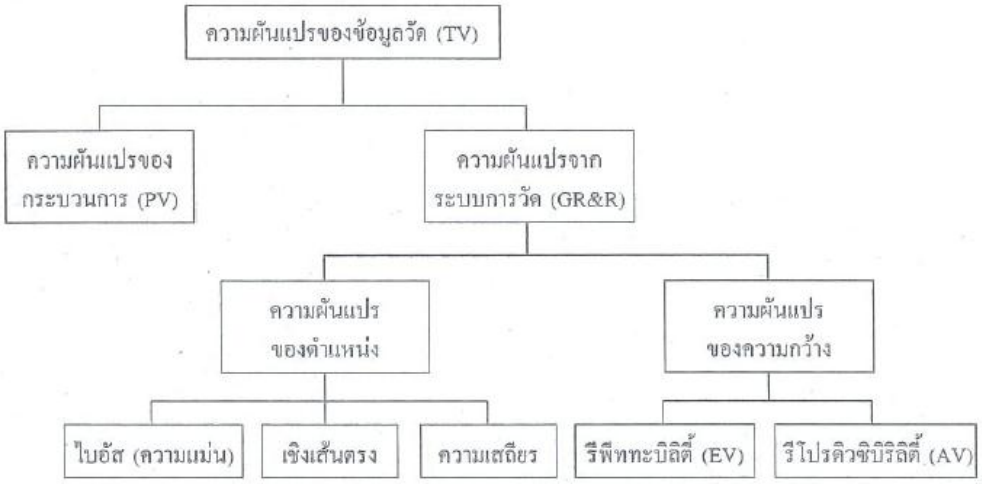
1) ผลกระทบของค่าวัดต่อการตัดสินใจเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ เนื่องจากความผันแปรของค่าวัดจากระบบการวัดที่ทำการวัดผลิตภัณฑ์หนึ่ง อาจทำให้เกิดความผิดพลาดในการตัดสินใจได้ แบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่พบว่าผลิตภัณฑ์ดี แต่มีการตัดสินใจจากข้อมูลของระบบการวัดว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่บกพร่อง ถือเป็นความเสี่ยงของผู้ผลิต (Producer's risk)และกรณีที่พบว่าผลิตภัณฑ์บกพร่อง แต่มีการตัดสินใจจากข้อมูลระบบการวัดว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่ดีถือเป็นความเสี่ยงผู้บริโภค (Consumer's risk)
2) ผลกระทบของค่าวัดต่อการตัดสินใจเกี่ยวกับกระบวนการ ในการควบคุมกระบวนการนั้น จำเป็นต้องดำเนินการให้กระบวนการบรรลุตามเงื่อนไขต่างๆ คือ อยู่ในภาวะควบคุมทางสถิติกระบวนการมีตำแหน่งตรงค่าเป้าหมายและความผันแปรจากกระบวนการมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ โดยเครื่องมือที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการ คือ แผนภูมิควบคุม ซึ่งความผันแปรของค่าวัดอาจทำให้เกิดความผิดพลาดในการตัดสินใจได้ 2 กรณี คือ กรณีที่ข้อมูลแสดงให้เห็นว่ากระบวนการออกนอกการควบคุม ทั้งที่กระบวนการยังคงอยู่ภายใต้การควบคุม เรียกว่า สัญญาณเตือนผิดพลาด (False alarm) และกรณีที่ข้อมูลแสดงให้เห็นว่ากระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุม ทั้งที่กระบวนการอยู่นอกการควบคุม เรียกว่า อัตราความผิดพลาด (Miss rate)
3) ผลกระทบของค่าวัดต่อการปรับปรุงกระบวนการ การปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการ จะตัดสินใจจากข้อมูลที่วัดได้จากกระบวนการ คือ ค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการ (Cp) กล่าวคือ

$$\sigma^2_{\text{ค่าสังเกต}} = \sigma^2_{\text{กระบวนการ}} + \sigma^2_{\text{ระบบการวัด}}$$

โดยค่า Cp ของระบบการวัดจะมีผลโดยตรงกับการตัดสินใจ เพราะ ในกรณีที่ความผันแปรมีค่ามาก อาจทำให้เข้าใจผิดว่า Cp จากกระบวนการมีความผันแปรน้อย

อาจทำให้เสียโอกาสในการปรับปรุงกระบวนการได้ จึงต้องทำการปรับปรุงความสามารถของระบบการวัดก่อนตัดสินใจปรับปรุงกระบวนการเสมอ

เนื่องจากระบบการวัดส่งผลต่อการตัดสินใจทั้งต่อกระบวนการและผลิตภัณฑ์ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว จึงต้องมีการวิเคราะห์ระบบการวัด เพื่อให้ทราบถึงความผันแปรของระบบการวัด โดยในการวิเคราะห์ระบบการวัดนั้น สามารถจำแนกความผันแปรออกเป็นความผันแปรตามคุณสมบัติต่างๆ ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ความผันแปรของข้อมูลวัดตามคุณสมบัติของระบบการวัด
(กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2553ข)

จากรูปที่ 2.3 สามารถจำแนกความผันแปรของข้อมูลที่ได้จากการวัดออกเป็น 2 ประเภท คือ ความผันแปรของกระบวนการ สามารถวัดออกมาในรูปของความสามารถของกระบวนการและสมรรถนะของกระบวนการ และความผันแปรของระบบการวัด โดยสามารถแบ่งออกเป็นความผันแปรตามคุณสมบัติของระบบการวัด ได้ดังนี้

1) ความผันแปรของตำแหน่ง แบ่งออกเป็น

- ไบอัส (Bias) คือ ความแตกต่างระหว่างค่าจริง หรือ ค่าอ้างอิง กับค่าเฉลี่ยของค่าที่วัดได้บนคุณลักษณะและชิ้นงานวัดเดียวกัน โดยคุณสมบัติด้านไบอัสนี้ จะเป็นตัววัดความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ (Systematic error)

วิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านไบอัสของระบบการวัด

1. เลือกชิ้นงานมาตรฐาน ที่สามารถสอบกลับไปยังมาตรฐานที่สูงกว่าได้ กำหนดให้ค่าเฉลี่ยนี้เป็น “ค่าอ้างอิง” หรือ “ค่ามาสเตอร์”
2. ให้พนักงานที่มีความสามารถในการวัดเป็นอย่างดี ทำการวัดชิ้นงานมาสเตอร์นี้อย่างน้อย 10 ครั้ง โดยใช้เครื่องมือวัดที่ต้องทำการทดสอบและหาค่าเฉลี่ย
3. คำนวณค่าไบอัสจาก ค่าไบอัส = ค่าเฉลี่ยของของค่าที่วัด–ค่าอ้างอิง
4. ทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าไบอัส
5. ประเมินผลค่าไบอัสเทียบกับค่าคลาดเคลื่อนอนุโลม หรือเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ

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

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

ในการประเมินผลค่าไบอัสของระบบการวัด จะต้องตัดสินใจภายใต้เกณฑ์การยอมรับดังนี้

% ไบอัส < 5%	อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยไม่ต้องแก้ไข
5% ≤ % ไบอัส < 10%	อาจจะยอมรับได้ โดยต้องพิจารณาองค์ประกอบอื่นๆ เช่น การประยุกต์ใช้ ค่าใช้จ่าย ฯลฯ
% ไบอัส ≥ 10%	ไม่สามารถยอมรับได้ ต้องค้าหาสาเหตุแล้วทำการแก้ไข

- คุณสมบัติเชิงเส้นตรง (Linearity) คือ ระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าไบอัสของระบบการวัด เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่ามาตรฐานของงานตามย่านวัดที่กำหนด ทั้งนี้ คุณสมบัติเชิงเส้นตรง อาจจะมีค่าคงที่หรือมีค่าไม่คงที่ตามค่าไบอัสก็ได้ ดังนั้น เกณฑ์การยอมรับค่าคุณสมบัติเชิงเส้นตรงจึงขึ้นกับลักษณะเฉพาะที่ทำการวัดซึ่งมีความแตกต่างกันออกไป

  วิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงเส้นของระบบการวัด

  1. เลือกงานมาตรฐาน 5-10 ชิ้น ให้ครอบคลุมตลอดย่านการวัด
  2. กำหนดค่ามาตรฐานให้กับชิ้นงานวัด
  3. เลือกพนักงานวัดที่มีความสามารถ 1 คน วัดชิ้นงานมาสเตอร์ดังกล่าว 10 ถึง 12 ครั้ง
  4. ในแต่ละชิ้นงานมาสเตอร์ คำนวณค่าไบอัส จากสูตร

     ค่าไบอัส = ค่าเฉลี่ยของค่าวัด – ค่ามาสเตอร์
  5. พลอตกราฟระหว่าง ค่าไบอัส (แกนตั้ง) และค่ามาสเตอร์ (แกนนอน)
  6. คำนวณค่า R^2 (>80%) และทดสอบนัยสำคัญของความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงด้วย ANOVA หรือ Regression
  7. คำนวณ %เชิงเส้นตรงของความคลาดเคลื่อนยินยอมและ %เชิงเส้นตรงของความผันแปรของกระบวนการ จาก ความชัน x 100% เทียบกับเกณฑ์

% เชิงเส้นตรง < 5%	อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยไม่ต้องแก้ไข
5% ≤%เชิงเส้นตรง < 10%	อาจจะยอมรับได้ โดยต้องพิจารณาองค์ประกอบอื่นๆ เช่น การประยุกต์ใช้ ค่าใช้จ่าย ฯลฯ
% เชิงเส้นตรง ≥ 10%	ไม่สามารถยอมรับได้ ต้องค้าหาสาเหตุแล้วทำการแก้ไข (ต้องแนะนำให้ผู้ใช้ได้รับทราบถึงย่านวัดที่มีคุณสมบัติเชิงเส้นตรง)

- คุณสมบัติด้านเสถียร (Stability) คือ ระบบการเปลี่ยนไปของค่าไบอัสตลอดระยะเวลาในการใช้งานของระบบการวัด เมื่อดำเนินการวัดชิ้นงานมาตรฐานชิ้นหนึ่ง

2) ความผันแปรด้านความกว้าง แบ่งออกเป็น

- รีพีททะบิลิตี้ (Repeatability)หรือ ความสามารถในการทำซ้ำ หมายถึง ความผันแปรของค่าวัดรอบค่าที่ควรจะเป็น (Expected value) ของระบบการวัดที่ทำการวัดโดยพนักงานคนเดียว อุปกรณ์วัดเดียวกันในการวัดงานชิ้นเดียวกันซ้ำๆ โดยทั่วไปในอุตสาหกรรม มักหมายถึง ความผันแปรของอุปกรณ์
- รีโปรดิวซิบิลิตี้ (Reproducibility) หรือ ความผันแปรระหว่างเงื่อนไขของระบบการวัด หมายถึง ความผันแปรที่แสดงถึงค่าเฉลี่ยของค่าวัดจากอุปกรณ์วัดเดียวกันในการวัดชิ้นงานเดียวกันด้วยเงื่อนไขที่แตกต่างกัน มักหมายถึง ความแตกต่างของพนักงานวัด

ในการการประเมินผลคุณสมบัติด้านความเที่ยงของระบบการวัด มีขั้นตอนใน การศึกษา ดังนี้

1. วิธีการและเวลาสอบเทียบเครื่องมือวัด โดยปกติต้องมีการสอบเทียบเครื่องมือวัด ก่อนทำการศึกษาความคลาดเคลื่อนด้านความแม่นในระบบการวัด
2. จำนวนพนักงานวัดที่ใช้สำหรับการศึกษา GR&R พิจารณาจากในระบบการวัดนั้น มีพนักงานวัด ซึ่งเป็นผู้ใช้เครื่องมือวัดในการกำหนดค่าตัวเลขกับชิ้นงานเพื่อการตัดสินใจจำนวนกี่คน ในกรณีที่ระบบการวัดมีพนักงานวัดจำนวนหลายคน ให้ทำการสุ่มพนักงานวัดมาทำการศึกษาอย่างน้อย 2 คน โดยต้องเป็นพนักงานที่ผ่านการฝึกอบรมมาเป็นอย่างดีแล้ว และเป็นผู้ที่ทำงานวัดในอุปกรณ์วัดที่ทำการศึกษาเป็นประจำ

3. จำนวนสิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา GR&R โดยปกติจะแนะนำไว้ที่ 10 ชิ้นตัวอย่าง กรณีไม่สามารถดำเนินการได้ ต้องเตรียม (จำนวนของสิ่งตัวอย่าง) x (จำนวนพนักงานวัด) มีค่ามากกว่า 15 ทั้งนี้ กรณีที่มีการตรวจสอบแบบทำลาย ต้องกำหนดลอตของสิ่งตัวอย่างด้วยเนื่องจากมีความผันแปรภายในลอตรวมอยู่กับรีพีททะบิลิตี้เสมอ จึงมีความจำเป็นต้องเลือกงานในลอตให้มีความใกล้เคียงกันให้มากที่สุดเพื่อลดความผันแปรภายในสิ่งตัวอย่าง
4. จำนวนซ้ำของการวัดซ้ำ โดยปกติแนะนำให้ทำการวัดซ้ำที่แต่ละสิ่งตัวอย่างด้วยจำนวนซ้ำเท่าๆ กัน แต่ละคนวัดซ้ำ 2-3 ครั้งต่อชิ้นงานแต่ละชิ้นทั้งนี้ ในการกำหนดขนาดของสิ่งตัวอย่างและจำนวนครั้งของการวัดซ้ำนี้ (Fasser and Brettner, 1992) ได้แนะนำไว้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ขนาดสิ่งตัวอย่างสำหรับการทดสอบด้วยข้อมูลผันแปร

จำนวนผู้ทดสอบ (พนักงานวัด)	จำนวนอุปกรณ์วัด	จำนวนชิ้นงานที่น้อยที่สุด	จำนวนการวัดซ้ำในแต่ละชิ้นงาน
1	1	10	5
1	2	15	3
2	1	15	3
2	2	10	2
1 หรือ 2	3 หรือมากกว่า	10	2
3 หรือมากกว่า	1 หรือ 2	10	2
3 หรือมากกว่า	3 หรือมากกว่า	10	2

5. การกำหนดอุปกรณ์วัดหรือเกจ ต้องเป็นอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่ใช้งานอยู่เป็นประจำและมีระบบการบำรุงรักษาและสอบเทียบมาแล้ว นอกจากนี้ต้องมีคุณสมบัติที่สามารถแยกความแตกต่างจากค่าวัดของชิ้นงานที่กำหนด โดยต้องวัดได้เป็น 1 ใน 10 ของค่าผันแปรต่ำที่สุด
6. การกำหนดแผนการทดลอง ในการทดลองเพื่อวิเคราะห์ระบบการวัดต้องดำเนินการตามหลัก 2 ประการ คือ การสุ่ม (Randomization) เป็นการกระจายผลจากสาเหตุที่ไม่สามารถควบคุมได้ และการทำซ้ำ (Replication) เป็นการเฉลี่ยออกผลจากสาเหตุที่ไม่สามารถควบคุมได้ โดยในการออกแบบตารางสำหรับการทดสอบ สามารถใช้โปรแกรม Minitab โดยอาศัยคำสั่ง

   Stat >Quality Tools>Gage Study >Create Gage R&R Study Worksheet

7. ดำเนินการทดลองตามแผนการทดลองที่วางไว้ โดยในระหว่างการทดลอง ควรมีการจัดการและได้รับการเฝ้าระวังโดยบุคลากรที่มีความเข้าใจในกระบวนการวัดและตระหนักถึงแหล่งความผันแปรต่างๆ เป็นอย่างดี
8. การวิเคราะห์ผลการทดลอง ในการประเมินผลรีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้ ต้องทำการประเมินผลคุณภาพของข้อมูล คือการแยกความแตกต่างของค่าวัด ความคงรูป และความต้องกันของระบบการวัด แล้วจึงทำการประเมินประเมินผลรีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้ ซึ่งมีวิธีการประเมินผล 3 วิธี คือ
   - วิธีอาศัยค่าพิสัย (Range Method) ใช้ในกรณีการทดลองช่วงสั้นๆ และไม่มีการวัดซ้ำ ข้อดี คือ ประเมินผลได้ง่าย ข้อเสีย คือ ไม่สามารถแยกรีพีททะบิลิตี้ออกจากรีโปรดิวซิบิลิตี้ได้

- วิธีอาศัยค่าเฉลี่ยและพิสัย (Average and range method) ใช้กับการทดลองซ้ำในแต่ละตัวอย่างของพนักงานวัดแต่ละคน แต่ไม่สามารถแยกความผันแปรจากสาเหตุร่วมระหว่างชิ้นงานและพนักงานวัดออกจากค่ารีพีททะบิลิตี้ได้
- วิธีอาศัยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ใช้กับการวิเคราะห์ผลการศึกษาเพื่อพิจารณาสาเหตุของความผันแประหว่างพนักงานและชิ้นงาน ว่ามีนัยสำคัญหรือไม่โดยสามารถแยกความผันแปรจากสาเหตุร่วมระหว่างชิ้นงานและพนักงานวัดออกจากค่ารีพีททะบิลิตี้ได้ ทั้งนี้ ปัจจุบันสามารถใช้โปรแกรม Minitab เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ผลได้ ซึ่งผลการวิเคราะห์จากวิธี ANOVA จะให้ผลการคำนวณอยู่ในรูปค่า Precision-to-Tolerance Ratio (P/T) หรือ Precision-to-Total Variation (P/TV) โดยจะต้องเทียบผลการวิเคราะห์กับเกณฑ์ AIAG เพื่อให้ทราบว่าระบบการวัดมีความแม่นยำระดับใด

P/T และ P/TV < 10%	อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยไม่ต้องแก้ไข
10% ≤P/T และ P/TV < 30%	อาจจะยอมรับได้ โดยต้องพิจารณาองค์ประกอบอื่นๆ เช่น การประยุกต์ใช้ ค่าใช้จ่าย ฯลฯ
P/T และ P/TV < 30%	ไม่สามารถยอมรับได้ ต้องค้าหาสาเหตุแล้วทำการแก้ไข

2.3.4 การวิเคราะห์สมรรถภาพของกระบวนการ

ในการปรับปรุงคุณภาพต้องทำการประเมินผลความสามารถของกระบวนการที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน เพื่อการพิจารณาว่ามีการควบคุมกระบวนการดีหรือไม่ แล้วจึงพิจารณาระดับความสามารถของกระบวนการทั้งเชิงปริมาณ (Capacity) และเชิงคุณภาพ (Capability) เมื่อทราบความสามารถของกระบวนการแล้วจึงกำหนดแนวทางและโครงการที่เหมาะสมสำหรับการ

ควบคุมคุณภาพต่อไป ทั้งนี้ ความสามารถของกระบวนการ หมายถึง สิ่งที่กระบวนการควรจะทำได้ โดยการปรับปรุงคุณภาพควรจะอยู่ภายใต้เป้าหมายในการปรับค่าของสิ่งที่กระบวนการควรจะทำได้ให้ดีขึ้น นอกจากนี้ ต้องมีการวัดสิ่งที่กระบวนการทำได้จริง เรียกว่า การวิเคราะห์สมรรถภาพของกระบวนการ (Process capability analysis) ซึ่งจะแสดงความสามารถของกระบวนการในการผลิตสินค้าได้ตรงตามข้อกำหนดของลูกค้า ซึ่งกำหนดในลักษณะของขีดจำกัดข้อกำหนด (Specification Limits) โดยคำนึงถึงความแปรปรวนของกระบวนการและการเข้าใกล้ค่ากลางของกระบวนการเทียบกับค่าเป้าหมาย

จากความหมายของความสามารถของกระบวนการ จะเกี่ยวข้องกับคำสำคัญ ดังนี้

- กระบวนการ (Process) การเชื่อมต่อของกิจกรรมต่างๆ อย่างเป็นระบบ ซึ่งทำให้เกิดผลลัพธ์เป็นผลิตภัณฑ์ที่ตรงตามความต้องการของลูกค้า ในการศึกษาความสามารถของกระบวนการ จะพิจารณากระบวนการเป็น ระบบของสาเหตุ (Cause system) ซึ่งต้องทำความเข้าใจถึงปัญหาและสาเหตุของปัญหาที่ต้องการแก้ไข
- สภาวะภายใต้การควบคุม (In statistical control) หมายถึง สภาวะที่เป็นเงื่อนไขของปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตอยู่ในสภาวะปกติ ไม่ได้อยู่ในสภาวะทดลองหรือสภาวะที่ไม่เคยเป็นมาก่อน ทั้งนี้ การพิจารณาว่ากระบวนการที่ศึกษาความสามารถอยู่ภายนอกสภาวะควบคุมหรือไม่นั้น สามารถทวนสอบได้โดยใช้แผนภูมิควบคุม โดยก่อนทำการศึกษาความสามารถของกระบวนการต้องทราบว่าปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถของกระบวนการอยู่ภายใต้เงื่อนไขปกติหรือเงื่อนไขภายใต้สภาวะควบคุม
- ความสามารถ (Capability) หมายถึง ความสามารถที่ขึ้นกับสมรรถนะของกระบวนการที่ได้รับการทดสอบ เพื่อให้บรรลุผลลัพธ์ที่สามารถวัดได้ โดยทั่วไปในกระบวนการผลิตมักจะทำการวัดค่าของคุณสมบัติในเชิงกายภาพ ทั้งนี้สามารถจำแนกความสามารถออกเป็นความสามารถโดยธรรมชาติ เป็นความสม่ำเสมอของผลิตภัณฑ์ที่เป็นผลผลิตจากกระบวนการที่ทำการศึกษาภายใต้

สภาวะควบคุม และความสามารถที่ได้รับการวัด เป็นค่าความสามารถของกระบวนการที่ได้รับการประเมินผลผ่านข้อมูลที่ได้มาจากการกำหนดตัวเลขให้กับคุณลักษณะที่สนใจของผลิตภัณฑ์จากกระบวนการที่ศึกษา

- ความผันแปร (Variability) ภายใต้การควบคุมกระบวนการ ผู้ดำเนินการต้องทำให้ความผันแปรของกระบวนการเป็นไปโดยธรรมชาติ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ ความผันแปรโดยธรรมชาติในระยะสั้น เป็นผลจากการออกแบบกระบวนการ การลดความผันแปรต้องออกแบบกระบวนการใหม่ และความผันแปรโดยธรรมชาติระยะยาว เป็นผลจากการควบคุมกระบวนการ การที่จะลดความผันแปรดังกล่าว ต้องแก้ไขมาตรฐานของการควบคุมสำหรับกระบวนการใหม่

ดัชนีวัดสมรรถภาพกระบวนการ

ดัชนีที่ใช้ในการวัดสมรรถภาพของกระบวนการ มีดังนี้

1) อัตราส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่อง

ในการประเมินค่าสมรรถนะของกระบวนการ จะต้องกำหนดสัดส่วนของผลิตภัณฑ์บกพร่องที่ได้จากกระบวนการ หรือค่าโอกาสที่จะเกิดข้อบกพร่องจากผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้จากกระบวนการ โดยใช้ค่าเฉลี่ย (μ) และความผันแปร ($\boldsymbol{\sigma}$) ของกระบวนการ ในการประมาณค่าสัดส่วนของเสีย ตามสมการ สมมติตัวแปร x เป็นตัวแปรแทนค่าที่สนใจและมีการกระจายตัวแบบปกติ (Normal distribution)

$$p = P(x < LSL) + P(x > USL)$$

$$\hat{p} = \emptyset\left(\frac{LSL - \bar{\bar{x}}}{\hat{\sigma}_x}\right) + 1 - \emptyset\left(\frac{USL - \bar{\bar{x}}}{\hat{\sigma}_x}\right)$$

2) อัตราส่วนที่ใช้ในการวัดสมรรถภาพกระบวนการ Cp, Cpk, Pp, Ppk

สมรรถภาพของกระบวนการสามารถวัดได้ในรูปแบบระยะสั้น (Short-term capability, Cpk) จะถูกประมาณโดยการใช้ค่าความผันแปรภายในระยะเวลาสั้น ซึ่งจะใช้ค่าเฉลี่ยของความผันแปรภายในกลุ่มตัวอย่าง (Within-group variation) ส่วนสมรรถภาพของกระบวนการระยะยาว (Long-term capability, Ppk) จะถูกประมาณโดยใช้ค่าความผันแปรภายในระยะยาว โดยใช้ค่าความผันแปรของข้อมูลทั้งหมด (Overall variation)

กำหนดให้

Cpk คือ ดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการแบบระยะสั้น

Ppk คือ ดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการแบบระยะยาว

USL คือ ข้อกำหนดด้านบน

LSL คือ ข้อกำหนดด้านล่าง

$\hat{\sigma}_{\mathrm{ST}}$ คือ ความแปรผันของกระบวนการระยะสั้น

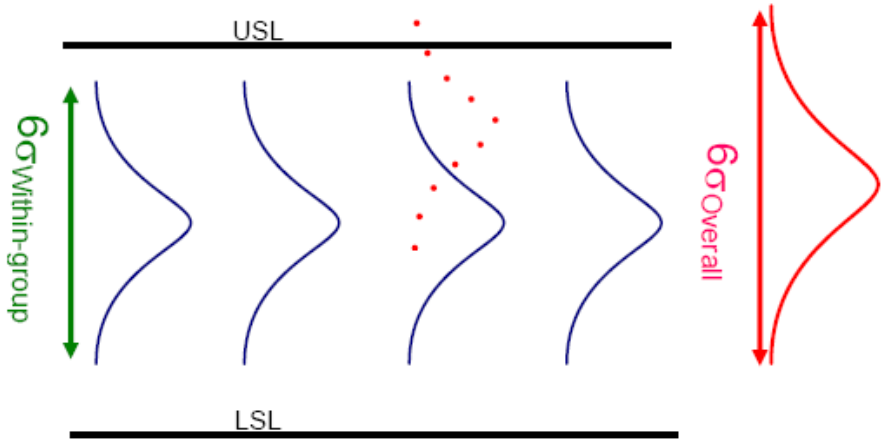
$\hat{\sigma}_{\mathrm{LT}}$ คือ ความผันแปรของกระบวนการระยะยาว

ค่า Cpk

$$C_{pk} = min\left[C_{pu} = \frac{USL - \mu}{3\hat{\sigma}_{ST}}, C_{pl} = \frac{\mu - LSL}{3\hat{\sigma}_{ST}}\right]$$

ค่า Ppk

$$P_{pk} = min\left[P_{pu} = \frac{USL - \mu}{3\hat{\sigma}_{LT}}; P_{pl} = \frac{\mu - LSL}{3\hat{\sigma}_{LT}}\right]$$



รูปที่ 2.4 แนวคิดของ within-group variation และ overall variation

ตัววัดศักยภาพของกระบวนการ (Potential capability) คือ Cp และ Pp โดยที่ Cp เป็นตัววัดความสามารถในระยะสั้น (Short-term potential capability)ส่วน Pp วัดความสามารถของกระบวนการในระยะยาว (Long-term potential capability)

กำหนดให้

Cp คือ ดัชนีความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการแบบระยะสั้น

Pp คือ ดัชนีความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการแบบระยะยาว

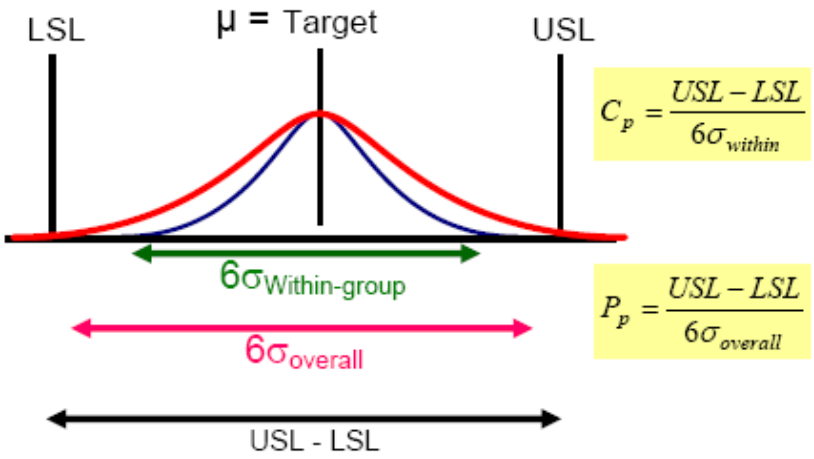
ค่า Cp

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\hat{\sigma}_{ST}}$$

ค่า Pp

$$P_p = \frac{USL - LSL}{6\hat{\sigma}_{LT}}$$

หากกระบวนการอยู่ในสภาวะควบคุม ตัววัดทั้งสองควรมีค่าใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 2.5 แสดงความเชื่อมโยงของ Cp และ Pp กับ within-group variation และ overall variation



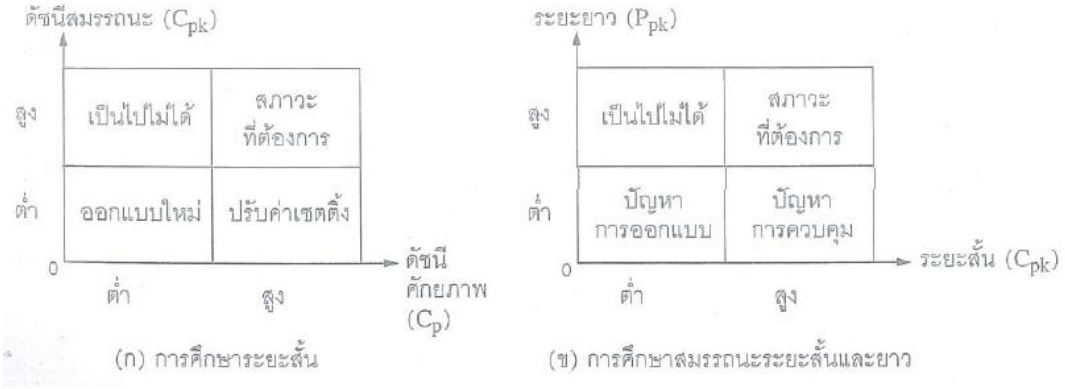
รูปที่ 2.5 ความเชื่อมโยงของ Cp และ Pp กับ within-group variation และ overall variation

ในการคำนวณค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการในระยะสั้น (Bothe, 1997) ได้กำหนดลำดับของความสามารถของกระบวนการ ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ลำดับของความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการตามค่าดัชนี Cp

ค่าดัชนี Cp	**ลำดับของความสามารถของกระบวนการ**
2.00≤ Cp	ดีเหลือเชื่อ
1.67 ≤Cp <2.00	ดีเลิศ
1.33 ≤Cp <1.67	ดี
1.00 ≤ Cp <1.33	พอใช้
0.67 ≤Cp <1.00	เลว
Cp <0.67	เลวมาก

เมื่อทำการศึกษาความสามารถของกระบวนการแล้ว พิจารณาผลที่วัดได้เทียบกับเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ในกรณีที่กระบวนการไม่มีความสามารถ ต้องดำเนินการหาสาเหตุของความผันแปรของกระบวนการ โดยสรุปแนวทางได้ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แนวทางการแก้ปัญหากระบวนการที่ไม่มีความสามารถ

(กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2551ค)

ทั้งนี้ เมื่อดำเนินการปรับปรุงแล้ว ต้องดำเนินการติดตามผลความสามารถของกระบวนการ ในกรณีที่เป็นไปตามที่กำหนด ให้ทำกระบวนการดังกล่าวให้เป็นมาตรฐาน

2.3.5 การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ

FMEA หรือ Failure Mode and Effect Analysis หมายถึง การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ ซึ่ง AIAG (2001) ได้ให้คำนิยามของFMEA ว่าเป็นกลุ่มของกิจกรรมเชิงระบบที่มีจุดมุ่งหมายเพื่อ

1) รับรู้และประเมินถึงแนวโน้มข้อบกพร่อง (Potential failure)ของผลิตภัณฑ์ หรือกระบวนการหนึ่งและผลกระทบ (Effects) จากข้อบกพร่องดังกล่าว
2) การปฏิบัติการที่สามารถกำจัดหรือลดโอกาสการเกิดข้อบกพร่อง
3) การดำเนินการจัดทำกระบวนการทั้งหมดให้อยู่ในรูปเอกสาร

โดยทั่วไปแล้วจำแนก FMEA ได้เป็น *2* ประเภท คือ FMEAสำหรับการออกแบบและFMEA สำหรับกระบวนการ ซึ่งเป็นเทคนิคที่วิศวกรหรือทีมงานที่รับผิดชอบใช้ในการวิเคราะห์ พิจารณาข้อบกพร่องและสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่อง เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าข้อบกพร่องและสาเหตุนั้นได้รับการพิจารณาแล้ว ทั้งนี้ เหตุผลสำคัญที่ต้องมีการดำเนินการจัดทำ FMEA คือ ความต้องการการปรับปรุง โดยต้องดำเนินการอย่างสอดคล้องกับวัฒนธรรมขององค์กร

ในการดำเนินการ FMEA มีแนวคิดพื้นฐานในการดำเนินการ 3 ประการ คือ

1) จัดตั้งคณะทำงาน FMEA โดยประกอบไปด้วยบุคลากรประมาณ 6-8 คน อยู่ในระดับจัดการและมีความรู้ในด้านเทคนิคที่เกี่ยวข้อง คณะทำงานควรมาจากหลายส่วนในลักษณะข้ามสายงาน (Cross-functional team) ประกอบด้วย ฝ่ายพัฒนาและวิจัยผลิตภัณฑ์ ฝ่ายวิศวกรรม ฝ่ายประกันคุณภาพ ฝ่ายผลิต โดยในการทำงานต้องพยายามให้สมาชิกคนหนึ่งเรียนรู้เทคนิค ความรู้และเทคโนโลยีจากสมาชิกแต่ละคน
2) การวิเคราะห์หน้าที่ของกระบวนการและผลิตภัณฑ์ โดยเริ่มจากการกำหนดกระบวนการที่ต้องทำการศึกษา วิเคราะห์ว่ามีสิ่งใดที่จะทำให้หน้าที่ของผลิตภัณฑ์และกระบวนการไม่ได้รับการตอบสนอง ซึ่งหมายถึง ข้อบกพร่อง (Failure) ที่คาดว่าจะเกิดขึ้น และเรียกลักษณะของข้อบกพร่องนี้ว่า “ลักษณะของข้อบกพร่อง (Failure mode)” เมื่อทำการวิเคราะห์หน้าที่ของผลิตภัณฑ์และกระบวนการเพื่อกำหนดลักษณะข้อบกพร่อง และได้กำหนดถึงสาเหตุของลักษณะข้อบกพร่อง ตลอดจนผลกระทบที่เกิดขึ้นแล้ว ผู้วิเคราะห์จะต้องทำการประเมินค่าความเสี่ยง (Risk) โดยอาศัยตัวเลขประเมินลำดับก่อนหลังของความเสี่ยง (Risk priority number ; RPN) คือ

$$RPN = S \times O \times D$$

เมื่อ S = ความรุนแรง (Severity) ที่พิจารณาจากผลกระทบของลักษณะข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นกับลูกค้า

O = โอกาสที่เกิดขึ้น (Occurrence) ของลักษณะข้อบกพร่องที่พิจารณาจากความเป็นไปได้ (Likelihood) ในการเกิดสาเหตุของข้อบกพร่อง

D = ความสามารถในการตรวจจับ(Detection) พิจารณาจากคุณสมบัติด้านความสามารถของระบบการควบคุมที่ใช้ในปัจจุบัน

หลังจากการวิเคราะห์ความเสี่ยง RPN ของลักษณะข้อบกพร่องแต่ละตัวแล้ว นำข้อบกพร่องที่มีความรุนแรงมาก ซึ่งมีจำนวนไม่มากนัก (Vital few failure mode) มากำหนดเป็นโครงการเพื่อลดความเสี่ยงต่อไป

3) การปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง

การปรับปรุงอย่างต่อเนื่องเป็นแนวคิดประการสุดท้ายของ FMEA ทั้งนี้ เอกสารที่เกี่ยวข้องกับ FMEA จะต้องได้รับการทบทวนอย่างต่อเนื่อง โดยต้องมีความเข้าใจระบบที่กำลังพิจารณา มีความเข้าใจต่อสาเหตุของความผันแปรที่เกิดขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากสาเหตุความผันแปรจากธรรมชาติ (Common causes) และสาเหตุความผันแปรจากความผิดพลาด (Special causes) โดยความผันแปรจากธรรมชาตินี้ สามารถคาดการณ์ได้ จึงใช้ในการประเมินผลและวิเคราะห์ความเสี่ยงเพื่อปรับปรุงกระบวนการ ในขณะที่ความผันแปรที่มีสาเหตุจากความผิดพลาดไม่สามารถคาดการณ์ได้ ต้องทำการตรวจจับและควบคุมภายใต้ระบบการควบคุมของกระบวนการ ดังนั้น ในการจัดทำ FMEA ที่ดีต้องอยู่บนพื้นฐานของแนวความคิดการวิเคราะห์ความผันแปรจากสาเหตุธรรมชาติ แล้วทำการลดความผันแปรลงอย่างต่อเนื่อง

ขั้นตอนการทำ FMEA

โดยทั่วไปขั้นตอนในการจัดทำ FMEA มีดังนี้

1. การกำหนดกลยุทธ์ โดยทำการเลือกกระบวนการบางกระบวนการมาทำวิเคราะห์พิจารณาจากประเด็นต่างๆ เช่น การเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยี มีการเปลี่ยนแปลงผลิตภัณฑ์จากเดิม มีปัญหาของกระบวนการเกิดขึ้นอย่างเรื้อรัง มีความผันแปรค่อนข้างสูง โดยไม่ทราบว่ามาจากสาเหตุใด เป็นต้น
2. การทบทวนกระบวนการ เริ่มจากการทำแผนภูมิการไหลของกระบวนการ เพื่อให้ทราบกระบวนการผลิตทุกขั้นตอน และความสัมพันธ์ของปัจจัยป้อนเข้า (Input) และผลผลิต (Output) โดยในการศึกษาควรอยู่ภายใต้หลักการ 3 จริง คือ ไปยังสถานที่

เกิดเหตุการณ์จริง เพื่อสังเกตของจริง ภายใต้สภาพแวดล้อมจริง เพื่อค้นหาสภาวะที่ผิดปกติ

3. การระดมสมองเพื่อค้าหาแนวโน้มของลักษณะข้อบกพร่อง ในการดำเนินงานขั้นตอนนี้ สมาชิกในกลุ่มคณะทำงานควรมีความเข้าใจในหน้าที่และแนวคิดในการทำงานของกระบวนการ เพื่อกำหนดแนวโน้มของลักษณะข้อบกพร่อง จากนั้นให้สมาชิกแต่ละคนมีอิสระในการใช้ความคิดผ่านการวิเคราะห์หน้าที่ของกระบวนการ ทำการรวบรวมความคิดที่สมาชิกได้เสนอมาและพยายามให้สมาชิกแต่ละคนพยายามเสริมต่อความคิดจากการอภิปราย เพื่อให้สามารถบ่งชี้ปัญหาได้ครอบคลุมมากที่สุด
4. การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องแต่ละรายการ เริ่มจากการพิจารณาถึงลูกค้าที่หมายถึง กระบวนการถัดไปจนถึงผู้ใช้สุดท้าย ว่าข้อบกพร่องดังกล่าวมีผลกระทบต่อลูกค้าถัดไปในการนำผลิตภัณฑ์จากกระบวนการที่พิจารณาไปทำการผลิตต่ออย่างไร ส่วนลูกค้าที่เป็นผู้ใช้สุดท้ายจะพิจารณาจากผลกระทบต่อประโยชน์ใช้สอยที่ลดลงที่ลูกค้าพึงได้รับและความรุนแรง (Severity – S) จากผลกระทบที่พิจารณา จากนั้นพิจารณาสาเหตุการเกิดลักษณะข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นและประเมินโอกาสในการเกิด (Occurrence – O) จากความเป็นไปได้ (Likelihood) ที่สาเหตุดังกล่าวจะเกิดขึ้น ขั้นตอนสุดท้ายจะพิจารณาระบบการควบคุมกระบวนการที่ใช้ในปัจจุบัน ว่ามีความสามารถในการบ่งชี้ลักษณะข้อบกพร่องก่อนที่จะเกิดหรือก่อนส่งผลิตภัณฑ์ให้ลูกค้า โดยการประเมินความสามารถในการตรวจจับ (Detection - D) ของระบบ
5. การประเมินตัวเลขแสดงความเสี่ยง โดยพิจารณาจากองค์ประกอบ 3 ประการ คือ ความรุนแรงของลักษณะข้อบกพร่อง(S) โอกาสในการเกิดสาเหตุ (O) และความสามารถในการตรวจจับลักษณะข้อบกพร่อง (D) ทำการคำนวณค่า RPN หรือตัวเลขแสดงลำดับของความเสี่ยง (Risk Priority Number) จากสูตร

$$RPN = S \times O \times D$$

เมื่อได้คะแนน RPN ทำการทวนสอบผลคะแนน RPN โดยอาศัยหลักการพาเรโต ที่กำหนดให้ลักษณะข้อบกพร่องที่มีความสำคัญจะมีจำนวนเพียงเล็กน้อยและลักษณะข้อบกพร่องที่มีความสำคัญเล็กน้อยจะมีจำนวนมาก

6. การกำหนดมาตรการตอบโต้เพื่อลดความเสี่ยง ภายหลังจากการวิเคราะห์ความเสี่ยง ให้เลือกข้อพกพร่องที่มีความรุนแรงหรือมีความเสี่ยงมาก มาพิจารณากำหนดมาตรการตอบโต้ โดยให้ดำเนินการปฏิบัติการในรูปคณะทำงานที่ได้รับมอบหมาย
7. การประเมินผลความเสี่ยงภายหลังปฏิบัติการตอบโต้ โดยทำการประเมินความเสี่ยงในรูป RPN อีกครั้ง เพื่อตรวจสอบว่าความเสี่ยงลดลงหรือไม่ ในกรณีที่ไม่ตรงตามที่กำหนด ให้พิจารณาหาสาเหตุและดำเนินการแก้ไข
8. การติดตามผลและการจัดทำมาตรฐาน ในกรณีที่มาตรการตอบโต้ที่นำไปปฏิบัติมีประสิทธิผลดีแล้ว ให้ดำเนินการจัดทำเป็นมาตรฐานต่อไป

2.3.6 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment : DOE)

การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ (Statistical Design of experiment) หมายถึง กระบวนการวางแผนการทดลอง เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสมสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธีการทางสถิติ ซึ่งจะช่วยให้ได้ข้อสรุปที่สมเหตุสมผล

หลักการพื้นฐานของการออกแบบการทดลอง

1) เรพลิเคชัน (Replication) หมายถึง การทำซ้ำต่อหน่วยการทดลองในการทดลองครั้งหนึ่งๆ นั่นคือ จะมีหน่วยทดลองมากกว่า 1 หน่วยที่ได้รับการทดลองแบบเดียวกัน ประโยชน์ของการทำซ้ำ คือ เพิ่มความแม่นยำให้แก่ผลการทดลอง และใช้ประมาณค่าความคลาดเคลื่อนของการทดลอง หากทำซ้ำน้อยเกินไป อาจทำให้ผลการทดลองไม่น่าเชื่อถือ แต่หากทำซ้ำมากเกินไปจะส่งผลให้เกิดการสิ้นเปลืองงบประมาณ

2) แรนดอมไมเซชัน (Randomization) เป็นหลักการพื้นฐานสำหรับการใช้วิธีการเชิงสถิติในการออกแบบการทดลองและลำดับข้อมูลแต่ละครั้งเป็นแบบสุ่ม วิธีการกำหนดว่าข้อมูลหรือความผิดพลาดจะต้องเป็นตัวแปรแบบสุ่มที่มีการกระจายแบบอิสระ จะทำให้สมมติฐานเป็นจริง ประโยชน์ของการแรนดอมไมซ์การทดลอง ทำให้เราสามารถลดผลของปัจจัยภายนอกที่อาจจะปรากฏในการทดลองได้

3) บล็อกกิง (Blocking) เป็นการรวมกลุ่มลักษณะที่คล้ายกันของหน่วยทดลอง โดยให้หน่วยทดลองมีความคล้ายคลึงกันภายในบล็อก และมีความแตกต่างกันระหว่างบล็อก ทำให้สามารถลดความคลาดเคลื่อนและเพิ่มความเที่ยงตรง (Precision) ให้แก่การทดลองได้

แนวทางในการออกแบบการทดลอง

ขั้นตอนในการดำเนินการทดลองอาจทำได้ดังนี้

1) ทำความเข้าใจถึงปัญหา โดยพัฒนาแนวคิดเกี่ยวกับวัตถุประสงค์ของการทดลอง การออกแบบการทดลองทุกครั้งควรทำเป็นทีมงาน เพื่อให้เกิดความชัดเจนและเข้าใจเกี่ยวกับสภาพปัญหานั้นๆ

2) เลือกปัจจัย ระดับ และขอบเขต ผู้ทดลองจะต้องเลือกปัจจัยที่จะนำมาเปลี่ยนแปลงในระหว่างทำการทดลอง กำหนดขอบเขตการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยและกำหนดระดับ (Level) ที่จะเกิดขึ้นในการทดลอง

3) เลือกตัวแปรผลตอบ ในการเลือกตัวแปรผลตอบ ผู้ทดลองควรจะแน่ใจว่าตัวแปรนี้จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการที่ศึกษาอยู่

4) เลือกการออกแบบการทดลอง การเลือกการออกแบบการทดลองควรพิจารณาขนาดของตัวอย่าง การเลือกลำดับที่เหมาะสมในการการเก็บข้อมูล และการเลือกระหว่างการใช้บล็อกหรือการแรนดอมไมเซชัน โดยจะต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการทดลอง ทั้งนี้ การออกแบบการทดลองมีหลายประเภท ดังนี้

- แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomized Design)

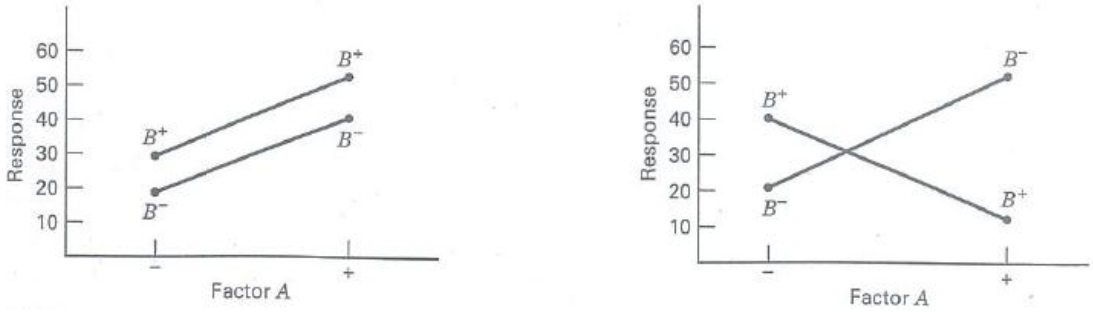
เป็นการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบปัจจัยเดียว (Single Factor Analysis of Variance) เนื่องจากมีปัจจัยที่นำมาพิจารณาเพียงหนึ่งปัจจัย ลำดับในการทดลองต้องเป็นแบบสุ่มเพื่อทำให้สิ่งแวดล้อมที่ทดลอง มีความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันให้มากที่สุด ข้อสรุปที่ได้จากการทดลองจะนำไปประยุกต์ได้กับระดับของปัจจัยที่เราพิจารณาเท่านั้น ไม่สามารถใช้กับระดับอื่นที่มีค่าใกล้เคียงที่เราไม่ได้พิจารณาหรือทำการทดลองได้

- แผนการทดลองแบบบล็อกสุ่ม (Randomize Complete Block Design)

ในการทดลองใดๆ จะเกิดความผันแปรอันเนื่องจากปัจจัยรบกวน (Nuisance Factor) ซึ่งในกรณีที่ทราบว่ามีปัจจัยรบกวนอยู่ แต่ไม่สามารถควบคุมได้ เราจะใช้เทคนิคการทดลองแบบสุ่ม (Randomization) ช่วยในการป้องกันปัจจัยรบกวนที่แอบแฝงอยู่ในการทดลอง แต่ในบางกรณีเราทราบว่ามีปัจจัยรบกวนอยู่และสามารถควบคุมได้ จะใช้เทคนิคการบล็อก (Blocking) เพื่อกำจัดผลที่เกิดขึ้นในขณะทำการเปรียบเทียบทางสถิติระหว่างทรีทเมนต์ของระบบได้ หลักการคือพยายามจัดหน่วยทดลองที่มีความคล้ายคลึงกันให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน ทำให้ความแปรปรวนระหว่างหน่วยทดลองในบล็อกเดียวกันมีค่าต่ำ และความแตกต่างระหว่างบล็อกมีค่าสูง ในแต่ละบล็อกจะมีทุกทรีทเมนต์ ลำดับที่แต่ละทรีทเมนต์ถูกรันภายในแต่ละบล็อกถูกกำหนดขึ้นอย่างสุ่ม

- แผนการทดลองเชิงแฟกทอเรียล (Factorial Design)

การทดลองเชิงแฟคทอเรียล หมายถึง การทดลองที่พิจารณาถึงผลที่เกิดจากการรวมกันของระดับ (Level) ของปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการทดลองนั้น โดยผลของปัจจัยหนึ่งนั้นหมายถึง การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับผลตอบ (Response) ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยนั้นๆ เรียกว่า ผลหลัก (Main Effect) นอกจากนี้ในการทดลองบางอย่าง ผลตอบของปัจจัยหนึ่งจะขึ้นกับระดับของปัจจัยอื่นๆ เรียกว่า การมีอันตรกิริยา (Interaction) ต่อกันระหว่างปัจจัยที่เกี่ยวข้อง โดยพิจารณาได้จากรูปความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนอง ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล ก) ไม่มีอันตรกิริยา ข) มีอันตรกิริยา

(Montgomery, 2012)

จากรูป ก เส้นกราฟทั้งสองเส้นไม่ตัดกัน แสดงว่าไม่มีอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย ส่วนรูป ข เส้นกราฟทั้งสองเส้นตัดกัน แสดงว่าปัจจัยทั้งสองมีอันตรกิริยาต่อกัน ซึ่งถือเป็นประโยชน์ของการทดลองเชิงแฟกทอเรียล ที่มีประสิทธิภาพมากกว่าการทดลองแบบทีละปัจจัย ช่วยให้ไม่สรุปผลการทดลองผิดพลาดเมื่อเกิดอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยขึ้น นอกจากนี้ การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลทำให้สามารถประมาณผลของปัจจัยหนึ่งที่ระดับต่างๆ ของปัจจัยอื่นได้ ช่วยให้เราสามารถหาข้อสรุปที่สมเหตุสมผล (Valid) ตลอดเงื่อนไขของการทดลองได้ การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลยังสามารถแบ่งออกเป็นการทดลองแบบต่างๆ ดังนี้

- การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 2 ปัจจัย

เป็นการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลที่ง่ายที่สุดจะเกี่ยวข้องกับ 2 ปัจจัย คือ A และ B ปัจจัย A จะประกอบด้วย a ระดับ และปัจจัย B จะประกอบด้วย b ระดับ ในแต่ละเรพลิเคตของการทดลองจะประกอบด้วย ab การทดลอง และโดยปกติจะมีจำนวนเรพลิเคตทั้งหมด n ครั้ง

- การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k(2^k Factorial Design)

เป็นการทดลองที่มี k ปัจจัย ซึ่งแต่ละปัจจัยประกอบไปด้วย 2 ระดับ คือ ระดับต่ำ แทนด้วยสัญลักษณ์ –1 หรือ (-) และ ระดับสูง แทนด้วยสัญลักษณ์ 1 หรือ (+) การออกแบบการทดลองแบบ 2^k มีประโยชน์มากต่องานทดลองช่วงแรก ที่มีปัจจัยจำนวนมากที่ต้องการตรวจสอบ การออกแบบการทดลองนี้ทำให้มีจำนวนการทดลองน้อยที่สุดเพื่อศึกษาผลของปัจจัยทั้ง k ชนิด ดังนั้น การออกแบบ 2^k จึงถูกนำมาใช้เพื่อกรองปัจจัยที่มีอยู่เป็นจำนวนมากให้เหลือน้อยลง

- การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 3^k (3^k Factorial Design)

เป็นการทดลองที่มี k ปัจจัย ปัจจัยละ 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ แทนด้วยสัญลักษณ์ –1 หรือ (-) ระดับกลาง แทนด้วยสัญลักษณ์ 0 หรือ (0) ระดับสูง แทนด้วยสัญลักษณ์ 1 หรือ (+) เหมาะสำหรับการทดลองที่สนใจตัวแปรตอบสนองที่มีลักษณะเป็นส่วนโค้ง

- การออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียล (Fractional Factorial Design)

เป็นการทดลองที่ใช้ในกรณีที่มีหลายปัจจัย ทำให้ต้องทำการทดลองมาก ดังนั้น การออกแบบการทดลองนี้จะให้ความสัมพันธ์ของทรีทเมนต์(Traetment Combination) บางตัวถูกตัดออกไปโดยอาศัยหลักการคอนฟาวด์ (Confound) ซึ่งจะทำให้ข้อมูลที่ใช้ในการทดลองลดลง

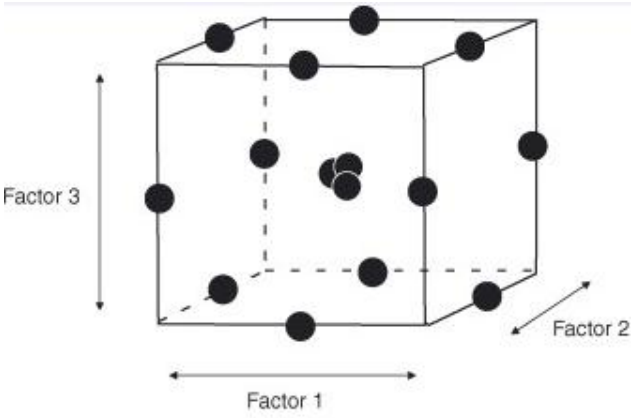
- แผนการทดลองแบบพื้นที่ผิวผลตอบ (Response Surface Methodology)

เป็นการใช้เทคนิคทางคณิตศาสตร์และสถิติในการสร้างแบบจำลองและวิเคราะห์ปัญหาโดยที่ผลตอบที่สนใจขึ้นกับหลายตัวแปร มีวัตถุประสงค์เพื่อ หาค่าที่ดีที่สุดของผลตอบ แบ่งเป็นแผนการออกแบบการทดลองส่วนผสมกลาง (Central Composite Design,CCD) และการออกแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken Design) มีรายละเอียดดังนี้

- แผนการออกแบบการทดลองส่วนผสมกลาง การออกแบบ CCD มีโครงสร้างมาจาก 2^k แฟกทอเรียล โดยออกแบบระดับของตัวแปรเป็น 5 ระดับ ในช่วงตัวแปรที่สนใจ มีพื้นที่การออกแบบเป็นทรงกลม (Sphere) และเพิ่มการออกแบบที่จุดศูนย์กลางมากกว่า 3 ครั้ง เพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าความผันแปรของตัวแบบ โดยรัศมีของทรงกลมมีค่าเท่ากับรากที่สองของรัศมีวงกลม เมื่อกำหนดให้รัศมีวงกลมมีค่าเท่ากับ K

- แผนการออกแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน เป็นการออกแบบการทดลองสามระดับสำหรับฟิตพื้นผิวผลตอบ การออกแบบนี้ถูกสร้างจากการรวมการออกแบบแฟกทอเรียล 2^k กับการออกแบบบล็อกไม่บริบูรณ์ ผลของการออกแบบจะมีประสิทธิภาพมากในด้านจำนวนรันที่ต้องการ และการออกแบบนี้ยังมีความสามารถหมุนหรือเกือบหมุนได้อีกด้วย จากรูปที่ 2.8 แสดงให้เห็นถึงการออกแบบบ็อกซ์-เบห์นเคนที่มี 3 ตัวแปรและรูปทางเรขาคณิต จะเห็นว่า เป็นการออกแบบรูปทรงกลม ที่ทุกจุดวางอยู่บนรูปทรงกลมรัศมีรากที่สองของ 2 นอกจากนี้ การออกแบบบ็อกซ์-เบห์นเคนไม่ได้รวมเอาจุดใดๆ ที่เป็นจุดยอดของรูปลูกบาศก์ที่สร้างขึ้นจากขีดจำกัดบนและล่างของแต่ละตัวแปรเอาไว้ ซึ่งเป็นประโยชน์มากเมื่อจุดที่อยู่บนมุมของลูกบาศก์ คือ การรวมของระดับปัจจัย (Factor-Level Combination) ที่แพงมากหรือเป็นไปไม่ได้ที่จะทำการทดลองเนื่องจากข้อจำกัดของกระบวนการ

Run	X_1	X_2	X_3
1	-1	-1	0
2	-1	1	0
3	1	-1	0
4	1	1	0
5	-1	0	-1
6	-1	0	1
7	1	0	-1
8	1	0	1
9	0	-1	-1
10	0	-1	1
11	0	1	-1
12	0	1	1
13	0	0	0
14	0	0	0
15	0	0	0



รูปที่ 2.8 การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน สำหรับ 3 ตัวแปร

5) ทำการทดลอง ต้องติดตามดูกระบวนการอย่างใกล้ชิด เพื่อให้แน่ใจว่าการดำเนินการทุกอย่างเป็นไปตามแผน ทั้งนี้ การวางแผนในตอนแรกจะมีความสำคัญอย่างมากต่อความสำเร็จที่จะเกิดขึ้น

6) วิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ เพื่อวิเคราะห์ผลลัพธ์และข้อสรุปว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้หรือไม่ ข้อได้เปรียบของวิธีการทางสถิติคือ ทำให้ผู้มีอำนาจในการตัดสินใจมีเครื่องมือช่วยที่มีประสิทธิภาพ เมื่อนำมาผนวกกับความรู้เกี่ยวกับกระบวนการ จะทำให้ได้ข้อสรุปมีเหตุผลสนับสนุนและน่าเชื่อถือ

7) สรุปและข้อเสนอแนะ หลังจากการวิเคราะห์ข้อมูล ผู้ทดลองต้องนำผลการวิเคราะห์มาสรุป และทดลองเพื่อยืนยันผล เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อสรุปที่เกิดขึ้นด้วย

2.4 ความแข็งแรงของวัสดุ

วัสดุ คือ สิ่งต่างๆ หรือสสารที่ประกอบด้วยสารเคมี สิ่งต่างๆ ที่อยู่รอบตัวเราล้วนเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากวัสดุทั้งสิ้น

2.4.1 สมบัติของวัสดุ

สมบัติที่สำคัญที่ใช้ในการพิจารณาเลือกวัสดุเพื่อใช้งาน สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

1) สมบัติทางเคมี (Chemical properties) เป็นสมบัติที่บอกลักษณะเฉพาะตัวที่เกี่ยวกับโครงสร้างและองค์ประกอบของธาตุต่างๆ ที่เป็นวัสดุนั้น ตามปกติสมบัติทางเคมีนี้ จะสามารถทราบได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการเท่านั้น โดยจะใช้วิธีการวิเคราะห์แบบทำลายหรือไม่ทำลายตัวอย่าง

2) สมบัติทางกายภาพ (Physical Properties) เป็นสมบัติที่เกี่ยวกับการเกิดอันตรกิริยาของวัสดุนั้นกับพลังงานในรูปต่างๆ เช่น สี ความหนาแน่น การหลอมเหลว เป็นต้น การทดสอบสมบัตินี้จะไม่ทำให้วัสดุนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีหรือถูกทำลาย

3) สมบัติเชิงกล (Mechanical properties) เป็นสมบัติเฉพาะของวัสดุเมื่อถูกกระทำด้วยแรง โดยทั่วไปจะเกี่ยวกับการยืดและหดตัวของวัสดุ (Elastic and inelastic properties) ความแข็ง ความแข็งแรง เป็นต้น

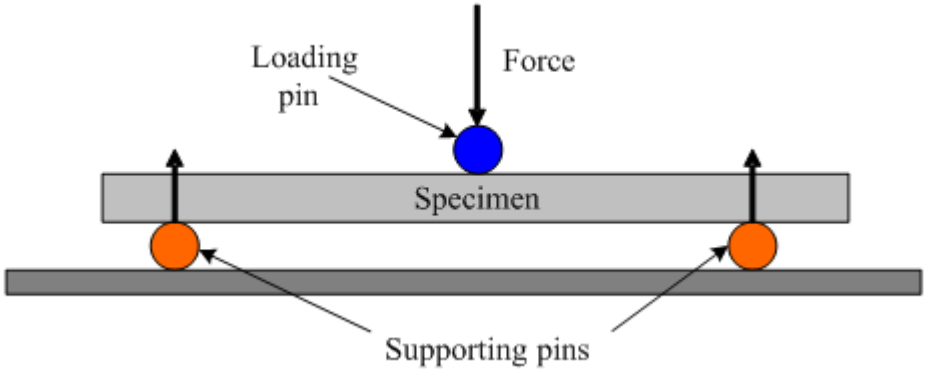
โดยทั่วไปวัสดุประเภทไฟเบอร์ซีเมนต์ ที่ใช้ในการก่อสร้าง ซึ่งต้องการความแข็งแรงจึงมักทำการทดสอบสมบัติเชิงกลเป็นหลัก โดยดัชนีชี้วัดสำคัญคือการวัดค่าความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ (Strength) สามารถทดสอบได้หลายแบบ ได้แก่ ความแข็งแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) ความแข็งแรงกดหรือแรงอัดสูงสุด (Ultimate Compressive Strength) ความแข็งแรงจากแรงดัด (Ultimate Bending Strength) ซึ่งสามารถสังเกตได้จากกราฟความเค้น – ความเครียด ตรงจุดแตกหัก (Breaking Point) นั้น เราจะเรียกว่า เป็นจุดความแข็งแรงที่จุดแตกหักนั่นเอง การทดสอบความแข็งแรงของวัสดุนี้ สามารถทดสอบได้โดยใช้เครื่องทดสอบความแข็งแรงของวัสดุ หรือ Universal Testing Machine ดังแสดงในรูปที่ 2.9

รูปที่ 2.9 เครื่องทดสอบความแข็งแรงของวัสดุ (Universal Testing Machine)

ในการทดสอบความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์จะทดสอบความแข็งแรงจากแรงดัด (Bending strength) ทดสอบโดยกดชิ้นตัวอย่างให้เกิดการงอตัวโดยหัวกด (Indentor) ซึ่งกดลงตั้งฉากกับชิ้นตัวอย่างที่อยู่ในลักษณะแนวนอน โดยมีตัวรองรับ (Supporting jig) เป็นตัวกำหนดช่วงห่าง (Span) การทดสอบแบบนี้คล้ายกับว่าเป็นการรวมการทดสอบการดึงและการอัดไว้ด้วยกัน ซึ่งแรงอัดจะเกิดบนชิ้นตัวอย่าง ส่วนแรงดึงจะเกิดขึ้นที่ใต้ชิ้นตัวอย่าง การทดสอบนี้สามารถทดสอบได้เป็น 2 ลักษณะ คือ การทดสอบแรงดัดแบบ 3 จุด (Three point bending) และการทดสอบแรงดัดโค้งแบบ 4 จุด (Four point bending) ซึ่งจะกล่าวเฉพาะการทดสอบแรงดัดแบบ 3 จุด

2.4.2 การทดสอบแรงดัดแบบ 3 จุด

เป็นการทดสอบโดยจะมีตัวกดสำหรับให้แรงกด 1 จุด ซึ่งจะอยู่ด้านบนของชิ้นตัวอย่าง และจะมีตัวรองรับที่กำหนดระยะห่างอยู่ด้านล่างชิ้นตัวอย่าง 2 จุด ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การทดสอบแรงดัดโค้งแบบ 3 จุด

สูตรการคำนวณ

$$M = (3 * P * L) / (2 * b * d^2)$$

เมื่อ M = ความแข็งแรงจากแรงดัดโค้ง (Modulus of Rupture)

P = แรงที่กระทำ

L = ความยาวของชิ้นงานทดสอบ

b = ความกว้างของชิ้นงานทดสอบ

d = ความหนาของชิ้นงานทดสอบ

2.5 ผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์

ผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์ เป็นวัสดุก่อสร้างซึ่งผลิตขึ้นทดแทนวัสดุก่อสร้างที่ทำมาจากแร่ใยหิน (Asbestos) ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพ โดยเป็นสาเหตุให้เกิดโรคแอสเบสโตสิส (Asbestosis) โรคมะเร็งปอด และโรคเมโสเธลิโอมา (Mesothelioms) ผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์

ถูกนำมาใช้เป็น ผลิตภัณฑ์กระเบื้องมุงหลังคา และผลิตภัณฑ์ที่ใช้เป็นส่วนประกอบต่างๆ ของบ้าน ได้แก่ ไม้ระแนง ไม้เชิงชาย ไม้พื้น ไม้ฝา เป็นต้น

ส่วนผสมหลักของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์ ประกอบด้วย

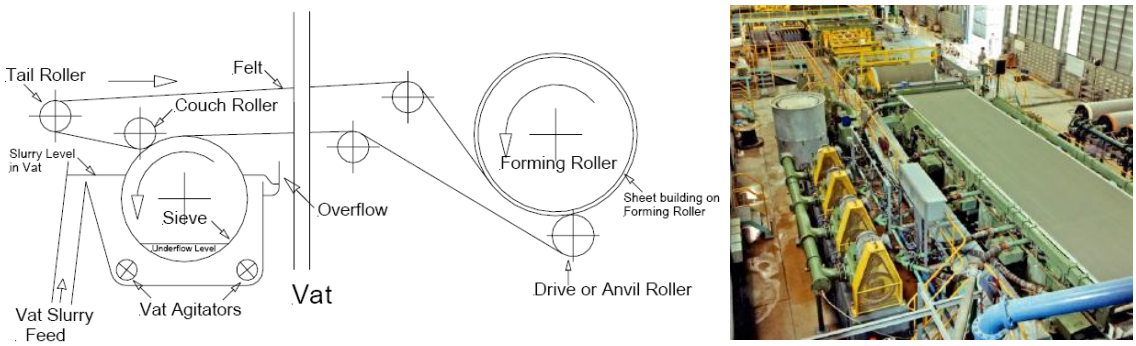
- ปูนซีเมนต์ เป็นวัตถุดิบหลักที่ใช้มากที่สุดในส่วนผสม โดยจะให้ค่าความแข็งแรงด้านแรงอัดแก่ผลิตภัณฑ์
- แคลเซียมคาร์บอเนต เป็นวัตถุดิบที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรงด้านแรงอัดเช่นเดียวกับปูนซีเมนต์ โดยจะเข้าแทรกอยู่ระหว่างอนุภาคของปูนซีเมนต์ ทำให้เกิดความคงตัวขณะทำปฏิกิริยามากกว่าปูนซีเมนต์ (ไม่หดหรือยืดตัว)
- เส้นใยเซลลูโลสไฟเบอร์ เป็นวัตถุดิบที่ให้ความแข็งแรงและความยืดหยุ่น (Elasticity) ของผลิตภัณฑ์ เป็นตัวเชื่อมประสานอนุภาคของส่วนผสมต่างๆ ให้ยึดติดกันหรือเข้ากัน

กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์ เริ่มจากการเตรียมเส้นใยโดยการทำให้แตกตัวในน้ำ จากนั้นจะถูกนำไปผสมกับปูนซีเมนต์ แคลเซียมคาร์บอเนตและส่วนผสมอื่นๆ ส่วนผสมจะถูกกรองดึงความชื้นออก และฟอร์มขึ้นเป็นแผ่นทีละชั้น จนได้แผ่นบอร์ดความหนาที่ต้องการ แผ่นบอร์ดจะถูกนำเข้าบ่มจนแข็งตัว และอบแห้งเพื่อไล่ความชื้น แผ่นบอร์ดที่แห้งแล้วจะถูกนำเข้าแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์รูปแบบต่างๆ ต่อไป คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์เมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์วัสดุก่อสร้างแบบเดิม คือ มีความแข็งแรงเนื่องจากผลิตจากปูนซีเมนต์ ทนทานต่อความชื้น ทนไฟ มีความคงทนต่อทุกสภาพอากาศ ปลอดภัยจากปลวกและแมลง ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพเนื่องจากไม่มีส่วนผสมของแร่ใยหิน

2.6 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

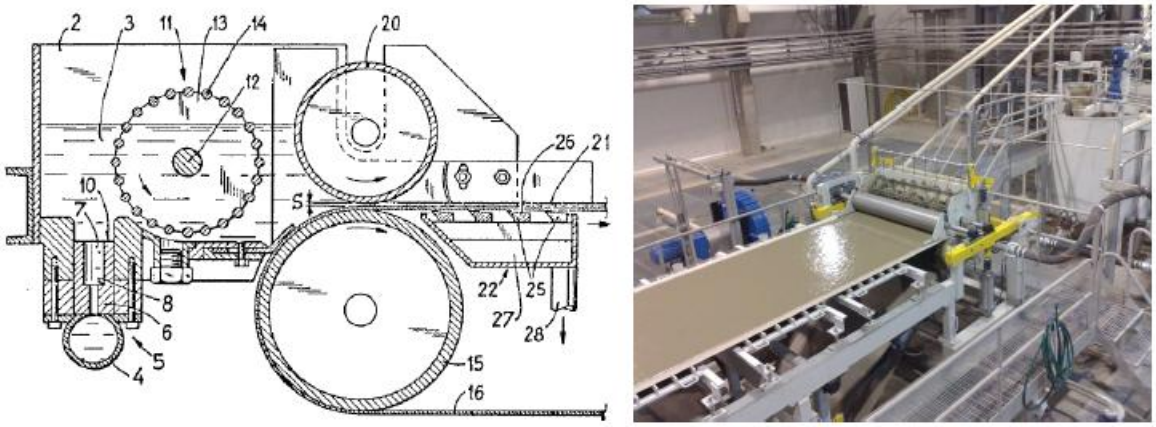
2.6.1 เทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์

เทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์ ที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ ระบบการผลิตแบบแฮทเช็ค (Hatschek process) ถูกพัฒนาขึ้นใสช่วงปลายศตวรรษที่ 19 โดย Ludwig Hatschek ชาวออสเตรเลีย โดยใช้ผสมระหว่างปูนซีเมนต์ 90% และเส้นใยจากแร่ใยหิน 10% ผสมกับน้ำ นำส่วนผสมใส่เข้าไปในเครื่องทำกระดาษ กระบวนการผลิตถูกเรียกโดยทั่วไปว่า ระบบการผลิตแบบแฮทเช็ค ลักษณะเครื่องจักร เป็นดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ระบบการผลิตแบบแฮทเช็ค (Blau และ Holenstein, 2012)

เมื่อมีการพัฒนากระบวนการผลิตไฟเบอร์ซีเมนต์โดยใช้วัตถุดิบอื่นเพื่อทดแทนแร่ใยหินเพิ่มมากขึ้นในยุโรป จึงมีการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตไฟเบอร์ซีเมนต์ เรียกว่า ระบบการผลิตแบบโฟลว์ ออน (Flow-on process) ช่วงปี 1977 ถึง 1979 โดย BELL ทั้งนี้ อุปกรณ์บางส่วนของระบบการผลิตแบบแฮทเช็ค คือ ถังแวท (Vat) และตะแกรงกรองส่วนผสม (Sieve cylinder) จะถูกแทนที่ด้วยเครื่องขึ้นรูปแผ่นฟิล์ม (Layer former) ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ระบบการผลิตแบบโฟล์ว ออน (Blau และ Holenstein, 2012)

เปรียบเทียบอุปกรณ์การผลิตของระบบการผลิตแบบแฮทเช็คและระบบการผลิตแบบโฟลว์ ออน ซึ่งอุปกรณ์ของกระบวนการผลิตทั้งสองระบบค่อนข้างมีความใกล้เคียงกัน ข้อแตกต่างหลัก คือ วิธีการในการขึ้นรูปแผ่นฟิล์มบนผ้ากรองและปริมาณน้ำในส่วนผสมในระบบความหนาแน่นของส่วนผสมในระบบการผลิตแบบโฟลว์ ออน จะสูงกว่า มีค่าประมาณ 30% ปริมาณน้ำส่วนเกินจะถูกกำจัดออกโดยเครื่องจักที่มีความซับซ้อนและจะถูกนำกลับมาใช้ใหม่ เครื่องจักรในระบบการผลิตแบบโฟลว์ ออน จะมีความซับซ้อนน้อยกว่า จึงสามารถเดินเครื่องจักรได้ง่ายกว่า ส่วนผสมจะกระจายตัวลงบนผ้ากรอง ซึ่งวางอยู่บน Flow-on box เพื่อดูดความชื้นออกจากส่วนผสม ในขณะที่ผ้ากรองจะเคลื่อนที่ตลอดเวลา เพื่อขึ้นรูปฟิล์มมีความหนาประมาณ 0.7 มิลลิเมตร โดยสามารถปรับความหนาได้ ขึ้นกับระยะห่างระหว่างผ้ากรองและ Calibrating roll ระบบในการกรองดึงน้ำออกจากส่วนผสม จะทำโดยใช้ 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรก ดึงน้ำโดยใช้ Scraper box (ไม่ใช้ปั๊มสุญญากาศ) ขั้นตอนที่สอง ดึงความชื้นโดยใช้ Suction box (ใช้ปั๊มสุญญากาศ) และขั้นตอนที่สาม ขณะขึ้นรูปโดยใช้ Pressure roll เนื่องจากเครื่องจักรในระบบการผลิตแบบโฟล์ว ออน ไม่จำเป็นต้องมี ตะแกรงกรองส่วนผสม (Sieve cylinder) จึงทำให้ค่าบำรุงรักษาเครื่องจักรและทำความสะอาดต่ำกว่า นอกจากนี้ ข้อดีของการใช้ระบบการผลิตแบบโฟล์ว ออน เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการผลิตแบบแฮทเช็ค คือ ความสามารถในการผลิตแผ่นบอร์ดไฟเบอร์ซีเมนต์ได้ง่ายกว่า เนื่องจากในระบบการผลิตแบบแฮทเช็คมีถังแวท วัตถุดิบที่เป็นของแข็งจะตกตะกอนได้ง่ายภายในถัง การขึ้นรูปแผ่นฟิล์มโดยใช้ Sieve cylinder จะทำได้ยาก

กว่า ทำให้ระบบการผลิตแบบโฟล์ว ออน สามารถผลิตแผ่นบอร์ดที่มีความหนาแน่นต่ำกว่าได้ นอกจากนี้ การที่ความหนาแน่นของส่วนผสมที่เข้าไปใน Flow-on box มีความเข้มข้นสูงกว่าและไม่ต้องใช้น้ำในการฉีดที่ Sieve cylinder ดังนั้น จึงสามารถลดปริมาณน้ำที่หมุนวนในระบบได้ ช่วยลดปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต พลังงานที่ใช้และต้นทุนในการบำรุงรักษาเครื่องจักร ส่วนข้อเสียเปรียบของระบบการผลิตแบบโฟล์ว ออน คือ ผลผลิตที่ได้จะน้อยกว่าและคุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นบอร์ดที่ได้จะแตกต่างจากระบบการผลิตแบบแฮทเช็ค เช่น ความแข็งแรงต่ำกว่าเล็กน้อย เป็นต้น ทั้งนี้ ความแตกต่างระหว่างระบบการผลิตแบบแฮทเช็คและระบบการผลิตแบบโฟล์วออน สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.3

เทคโนโลยีการผลิตแบบโฟล์ว ออน แนะนำให้ใช้สำหรับสภาวะดังนี้

- ใช้ในการผลิตไฟเบอร์ซีเมนต์แผ่นเรียบ ใช้วัตถุดิบซึ่งสร้างปัญหาในกระบวนการผลิตแบบแฮทเช็ค เช่น สารตัวเติมที่มีน้ำหนักน้อย
- กระบวนการผลิตที่ผลิตในเวลาสั้นๆ มีการเปลี่ยนแปลงสูตรการผลิตบ่อย
- ใช้ในโรงงานที่มีเป้าหมายลดปริมาณน้ำที่หมุนเวียนในระบบ ซึ่งช่วยลดปริมาณน้ำเสียจากกระบวนการผลิต
- โรงงานที่มีเป้าหมายในการลดการใช้พลังงานและต้นทุนการบำรุงรักษา

เทคโนโลยีการผลิตแบบโฟล์ว ออน ไม่แนะนำให้ใช้สำหรับสภาวะดังนี้

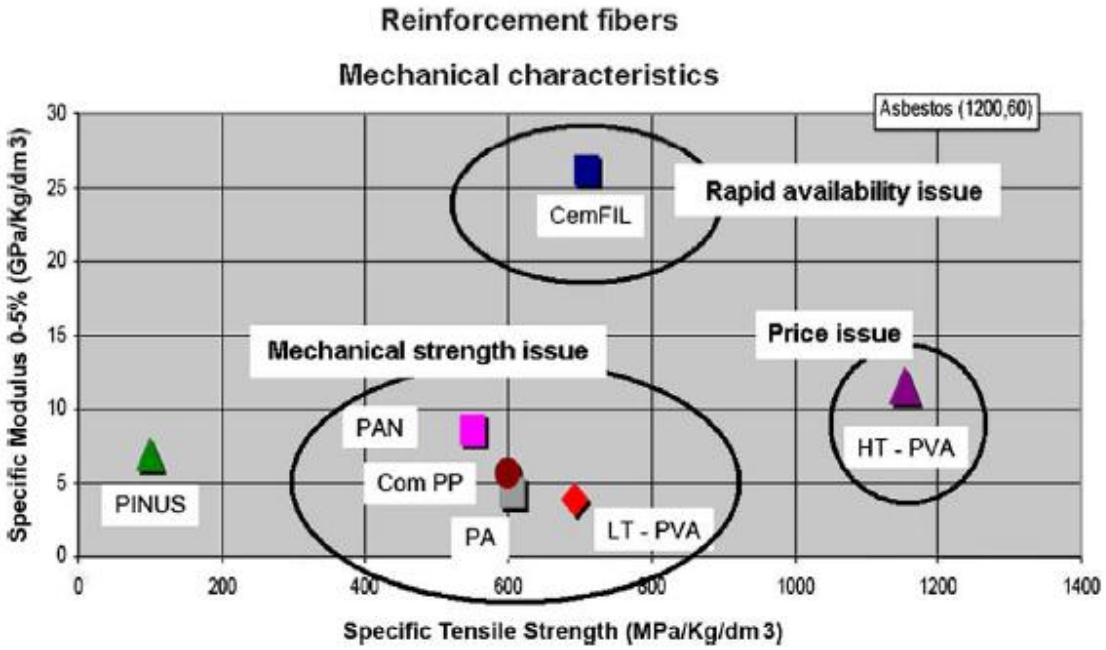
- ต้องการผลผลิตปริมาณสูง
- ใช้ในการผลิตกระเบื้องลอน

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบระบบการผลิตแบบแฮทเช็ค และ แบบโฟล์ว ออน

คุณสมบัติ	Hatschek(4 vats)	Flow-on
1. Invesment costs	higher	lower
2. Production rate	100%	approx. 60-80%
3. Power consumption	100%	approx. 70%
4. Back water	100%	approx. 30%
5. Slurry density	approx. 1,070 g/l (AC)	approx. 1,140 g/l
6. Slurry recipe	limited	less restriction
7. 6-mm sheet thickness	4 - 6 layers(on forming drum)	8 - 9 layers (on forming drum)
8. Flat sheets	proven	proven
9. Corrugated sheets	proven	poor
10. Layer bond	lower	higher
11. Sheet flexural strength	higher	lower
12. Sheet "flexibility" (handling)	higher	lower
13. L/C strength ratio	~ 0.6 - 0.7	~ 0.7 - 0.9
14. Raw material	fibers flow to the cones	fiber savings
15. Dewatering	faster	slower
16. Vacuum	100%	approx. 50%
17. Dead material in circulation	more	less
18. Start of the board machine	longer	very short
19. Maintenance, cleaning	more	less
20. Production	standard flat and corrugated sheets	high- and low-density flat sheets

2.6.2 แนวทางการปรับปรุงความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์

ไฟเบอร์ซีเมนต์เป็นวัสดุก่อสร้าง ประกอบไปด้วยวัตถุดิบหลัก ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และเส้นใยไฟเบอร์ โดยนำมาใช้เป็น กระเบื้องหลังคา งานตกแต่งผนัง งานตกแต่งฝ้า งานตกแต่งพื้น เป็นต้น คุณสมบัติที่สำคัญ คือ ผลิตภัณฑ์ต้องมีความแข็งแรง จึงมีการศึกษาแนวทางการปรับปรุงความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์อย่างกว้างขวาง เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงและความทนทานเพิ่มมากขึ้น ตัวอย่างเช่น Khorami and Ganjian (2011) ได้มีการนำเยื่อที่ได้จากกระบวนการทางการเกษตร มาทดลองใช้ในกระบวนการผลิตแผ่นบอร์ดไฟเบอร์ซีเมนต์ ซึ่งพบว่า ค่าความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์จะขึ้นอยู่กับชนิด ขนาด ความยาว ขนาด อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างและรูปแบบของเส้นใยที่นำมาใช้ นอกจากเส้นใยธรรมชาติแล้ว ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์ยังมีการใช้เส้นใยสังเคราะห์จำพวกพอลิเมอร์ เช่น พอลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) พอลีโพพิลีน (PP) โพลีเอสเตอร์ (Polyester) เป็นต้น ซึ่งพบว่า เส้นใยดังกล่าวมีความเหนียวและมีความทนทานในสภาพด่างจากปูนซีเมนต์มากกว่าเส้นใยธรรมชาติ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น แต่เส้นใยสังเคราะห์เหล่านี้มีราคาค่อนข้างสูง (Ikai et al., 2010; Alamshahi et al.,2012; Felekoglu et al.,2009) จึงต้องพิจารณาต้นทุนด้านวัตถุดิบร่วมด้วย ทั้งนี้ ลักษณะเฉพาะของเส้นใยชนิดต่างๆ ที่ถูกใช้ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์ เป็นดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 เปรียบเทียบลักษณะของเส้นใยชนิดต่างๆ (Ikai et al., 2010)

การเติมสารผสมเพิ่ม เช่น ซิลิกาฟูม เถ้าลอย ซีพิโอไลต์ เมตะเกาลิน ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น (Gutierrez et al.,2005; Kavas et al., 2004; Bezerra et al., 2006) ในขณะที่สารบางประเภทที่เติมลงในกระบวนการ จะส่งผลให้ความแข็งแรงต่อผลิตภัณฑ์ลดลง เช่น สารที่ช่วยทำให้ตะกอนเกิดการตกตะกอน (Flocculant) ช่วยในการกักส่วนผสมที่มีขนาดอนุภาคเล็กไม่ให้หลุดลอดไปในกระบวนการกรอง ช่วยในกระบวนการกำจัดน้ำออก และการขึ้นรูป ซึ่งเกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของเครื่องจักร แต่การเลือกใช้ปริมาณสารตกตะกอนที่ไม่เหมาะสมทั้งชนิดและขนาด จะส่งผลต่อความหนาแน่นของแผ่นบอร์ด ทำให้แผ่นบอร์ดมีความหนาแน่นลดลงซึ่งจะส่งผลให้ความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ลดลงตามไปด้วย (Negro et al., 2005 a,b) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาสภาวะของกระบวนการ โดย Aruntas et al., 2008 ได้ศึกษาผลของการสภาวะการบ่มผลิตภัณฑ์เปรียบเทียบระหว่างการบ่มในสภาวะที่มีความชื้นอย่างต่อเนื่องและการบ่มในบรรยากาศปกติ พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมสาร Super plasticizer ที่ 1.5% ในสภาวะการบ่มที่มีความชื้นตลอดเวลา ให้ค่าความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์สูงที่สุด Soroushian et al.,2012; Tonoli et al., 2010 ทำการบ่มผลิตภัณฑ์ในสภาวะที่มีคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อเร่งให้เกิดปฏิกิริยา

คาร์บอเนชั่น โดยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จะทำปฏิกิริยากับ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$)ที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์ เกิดเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ดังสมการ

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$$

ทั้งนี้ การบ่มผลิตภัณฑ์ในสภาวะที่มีคาร์บอนไดออกไซด์นั้น จะมีค่าความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มสูงขึ้นกว่าการบ่มในสภาวะปกติ อีกทั้ง การเกิดปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่นยังช่วยลดรูพรุนในเนื้อผลิตภัณฑ์และเพิ่มความทนทานของเส้นใยเมื่ออยู่ในซีเมนต์ด้วย

Kus et al., 2006 ได้ศึกษาผลของพารามิเตอร์ต่างๆในกระบวนการผลิตที่ส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกลของกระเบื้องลอน คือ อุณหภูมิของส่วนผสม ความเร็วของผ้า Felt จำนวนชั้นฟิล์มและแรงอัดแผ่นบอร์ด ผลการทดลองพบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์มากที่สุด คือ อุณหภูมิของส่วนผสม โดยส่วนผสมที่มีค่าอุณหภูมิต่ำ (31 องศาเซลเซียส) จะให้ค่าความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์สูงกว่าที่อุณหภูมิปกติ (41 องศาเซลเซียส) ส่วนปัจจัยที่ส่งผลต่อความแข็งแรงน้อยที่สุด คือ จำนวนชั้นฟิล์ม ซึ่งพบว่าไม่มีความแตกต่างกันของค่าความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ที่มีจำนวนชั้นฟิล์มมาก (9 ชั้น) และจำนวนชั้นฟิล์มน้อยกว่า (7 ชั้น) แรงอัดแผ่นบอร์ดมีผลต่อความแข็งแรง ซึ่งแผ่นกระเบื้องที่ถูกอัดด้วยแรงอัดที่สูงกว่า (36 kg/cm) จะมีค่าความแข็งแรงสูงกว่าตัวอย่างที่ถูกอัดด้วยแรงต่ำกว่า (19 kg/cm) ส่วนการเดินเครื่องจักรที่ความเร็วผ้า Felt สูง (50 m/min) จะส่งผลให้แผ่นกระเบื้องมีความแข็งแรงสูงกว่า ที่ความเร็วผ้า Felt ต่ำ (32 m/min) ทั้งนี้ การที่สามารถเดินเครื่องจักรที่ความเร็วผ้า Felt สูงได้ จะส่งผลให้ยอดการผลิตสูงขึ้นด้วย ในการศึกษานี้ ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์โดยตั้งค่าระดับปัจจัยเป็น 2 ระดับ คือ สูงและต่ำ และนำผลที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบกัน โดยไม่ได้ทำการเปรียบเทียบตามหลักสถิติ ว่าในแต่ละระดับของปัจจัยส่งผลต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ทั้งนี้ หากมีการนำการออกแบบการทดลองมาปรับใช้ เช่น การทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^k จะสามารถวิเคราะห์ผลการทดลองตามหลักสถิติซึ่งมีความน่าเชื่อถือมากกว่าและสามารถบอกอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย เพื่อหลีกเลี่ยงการสรุปผลที่ผิดพลาดได้

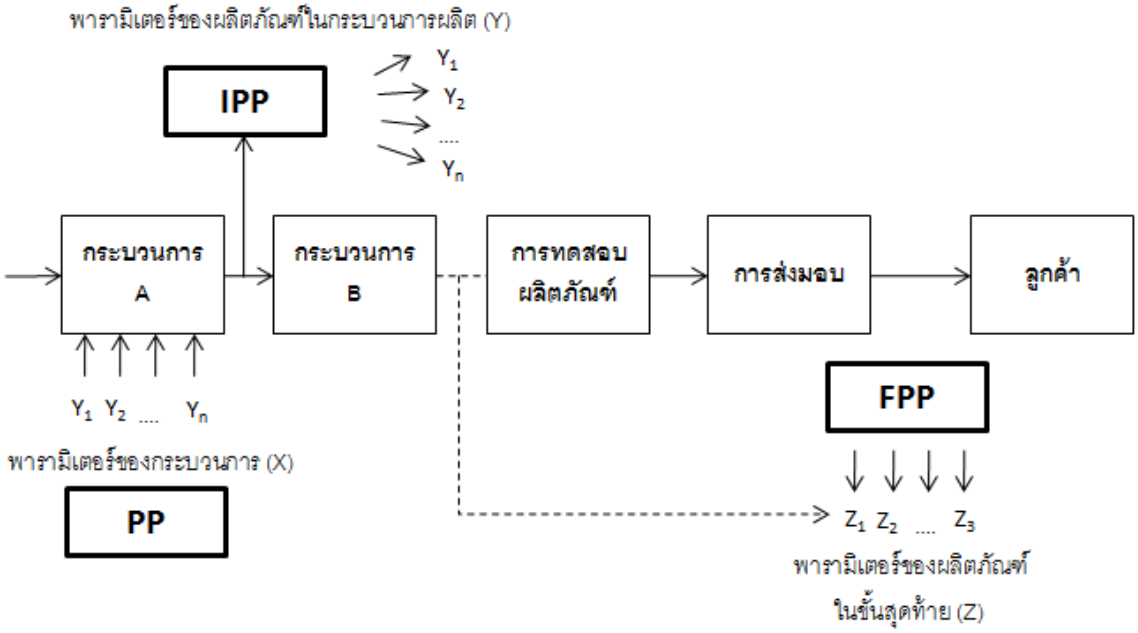
จากงานวิจัยข้างต้น จะเห็นได้ว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์มีจำนวนมาก แต่การศึกษาผลของปัจจัยต่างๆ นั้น ยังเป็นการศึกษาเฉพาะบางปัจจัยเท่านั้น ซึ่งในกระบวนการผลิตจริง จะมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับคน เครื่องจักร วัตถุดิบ วิธีการผลิต วิธีการวัด รวมทั้งสภาพแวดล้อม ดังนั้น จึงต้องมีการศึกษาให้ครอบคลุมและเลือกปัจจัยที่มีผลมากเพื่อทำการปรับปรุงก่อน

2.6.3 การจัดลำดับความสำคัญของพารามิเตอร์

ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์หนึ่งๆ ประกอบไปด้วยหลายขั้นตอน ซึ่งจะต้องมีการควบคุมพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่ออกจากกระบวนการผลิตนั้นๆ มีคุณภาพตรงตามความต้องการของลูกค้า แต่เนื่องจากในกระบวนการผลิตต้องมีการควบคุมพารามิเตอร์หลายตัว การที่จะสามารถควบคุมพารามิเตอร์ทุกตัวนั้นจะทำให้เกิดการสิ้นเปลืองทรัพยากรและส่งผลให้ไม่สามารถควบคุมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ ประภาศักดิ์ จิรเศรษฐพงศ์, 2553 ได้เสนอแนวทางในการจัดลำดับความสำคัญของกระบวนการและเลือกพารามิเตอร์ในการใช้แผนภูมิควบคุม โดยมุ่งเน้นการพัฒนาจากการควบคุมพารามิเตอร์ของผลิตภัณฑ์ในขั้นสุดท้ายที่กระบวนการปลายน้ำไปสู่การควบคุมพารามิเตอร์ของกระบวนการต้นน้ำ เพื่อให้ตอบสนองและแก้ไขปัญหาที่เกิดในกระบวนการได้รวดเร็วยิ่งขึ้น โดยใช้แนวทางในการแบ่งพารามิเตอร์เพื่อใช้ในการดำเนินการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ โดยแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

- พารามิเตอร์ของผลิตภัณฑ์ในขั้นสุดท้าย (Final Product Parameter หรือ FPP)
- พารามิเตอร์ในกระบวนการผลิต (In-process Product Parameter หรือ IPP)
- พารามิเตอร์ของกระบวนการ (Process Parameter หรือ PP)

ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการดำเนินการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ เป็นดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ

ตัวอย่างความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ เช่น กระบวนการผลิตรถยนต์ พารามิเตอร์ของผลิตภัณฑ์ในขั้นสุดท้าย (FPP) ที่ลูกค้าต้องการ คือ อัตราเร่ง แรงม้า เป็นต้น โดยผู้ผลิตต้องควบคุมพารามิเตอร์ในกระบวนการผลิต (IPP) เช่น ขนาดความกว้างกระบอกสูบ ความหนาฝาสูบ ทั้งนี้ พารามิเตอร์เหล่านี้ จะมีความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์ของกระบวนการ (PP) โดยตรง ยกตัวอย่างเช่น หากต้องการควบคุม ความหนาของกระบอกสูบ ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ในกระบวนการผลิต (IPP) ต้องควบคุม ความเร็วรอบ ตำแหน่งหรือความลึกของการเจียรผิวโลหะด้วยเครื่องเจียร เป็นต้น ในการควบคุมกระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด คือ ต้องทำการควบคุมตั้งแต่พารามิเตอร์ของกระบวนการ (PP) เนื่องจากมีผลโดยตรงต่อลักษณะคุณภาพของผลิตภัณฑ์ หากพบปัญหาที่เกิดกับพารามิเตอร์ของกระบวนการ (PP) จะสามารถแก้ไขได้รวดเร็ว ในขณะที่การแก้ไขปัญหาที่เกิดกับพารามิเตอร์ของ

ผลิตภัณฑ์ในขั้นสุดท้าย (FPP) เป็นการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นปลายทางแล้ว ดังนั้น จึงต้องมีความเข้าใจถึงความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการ

การจัดลำดับความสำคัญของพารามิเตอร์ของผลิตภัณฑ์ในขั้นสุดท้าย จะพิจารณาจากค่าความวิกฤติเชิงเทคนิค (Technical criticality) และค่าความวิกฤติเชิงต้นทุน (Cost criticality) สามารถอธิบายได้ดังนี้

ความวิกฤติเชิงเทคนิค เป็นระดับความรุนแรงของของเสียที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีผลโดยตรงต่อลูกค้า แบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ

Critical level คือ ข้อบกพร่องที่รุนแรง ไม่สามารถนำผลิตภัณฑ์ไปใช้งานหรือไปซ่อมได้

Major level คือ ข้อบกพร่องสำคัญระดับปานกลาง อาจสามารถนำผลิตภัณฑ์นั้นไปซ่อมได้ การแก้ไขปัญหายังทำได้ยาก

Minor level คือ คือ ข้อบกพร่องสำคัญระดับต่ำ สามารถนำผลิตภัณฑ์นั้นไปซ่อมหรือไปทำเป็นผลิตภัณฑ์อื่นได้ การแก้ไขปัญหาสามารถทำได้ แต่อาจยังไม่ได้รับการแก้ไขอย่างจริงจัง

ค่าความวิกฤติเชิงต้นทุน พิจารณาจากมูลค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นจากข้อบกพร่องแต่ละประเภทหรือพารามิเตอร์ในขั้นสุดท้าย โดยรวมมูลค่าของความสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตและมูลค่าความสูญเสียจากข้อร้องเรียนของลูกค้า

โดยหากทำการควบคุมพารามิเตอร์ของกระบวนการได้ดีแล้ว ก็จะส่งผลให้พารามิเตอร์ของผลิตภัณฑ์สุดท้ายดีตามไปด้วย

2.6.4 แนวทางการประยุกต์ใช้แนวคิดซิกซ์ ซิกมา

แนวคิดซิกซ์ ซิกมา ถูกนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมต่างๆ วัตถุประสงค์เพื่อลดความผันแปรในกระบวนการ และปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์และกระบวนการ เหตุผลสำคัญที่แนวคิดซิกซ์ ซิกมา ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นแนวคิดที่มีระบบดำเนินการตามขั้นตอน DMAIC มีการใช้เครื่องมือทางคุณภาพที่หลากหลายในแต่ละขั้นตอน เช่น

การออกแบบการทดลอง (DOE) การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process capability analysis) การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement system analysis) เป็นต้น

อุตสาหกรรมที่มีการนำแนวคิดซิกซ์ ซิกมามาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพ เช่น อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ (Sokovic et al., 2006) โดยการชี้บ่งตัวแปรในกระบวนการหลักที่ส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตสูง จากหลักการพาเรโตและการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA) จากนั้นทำการปรับปรุงกระบวนการดังกล่าว ผลจากการปรับปรุงสามารถลดระยะเวลาการผลิต ระยะเวลาการควบคุมและปริมาณของเสีย ส่งผลให้ต้นทุนลดลง นอกจากนี้ แนวคิดซิกซ์ ซิกมา ยังช่วยลดต้นทุนของเสียในกระบวนการผลิต เช่น กระบวนการผลิตเทปโฟมอะคริลิคที่ใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ (ปาริชาติ บุญเกลี้ยง, 2552) ซึ่งพบว่ามีปัญหาจากขนาดหน้ากว้างออกนอกค่าการยอมรับจนต้องทิ้งเทปนั้น การปรับปรุงดำเนินการตาม 5 ขั้นตอนของแนวคิดซิกซ์ ซิกมา เริ่มจากการจัดทำผังกระบวนการและการระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่อาจมีผลต่อความผันแปรของหน้ากว้างเทปโฟม จากนั้นใช้ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล และการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบในการจัดลำดับความสำคัญของปัจจัย ทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความผันแปรของหน้ากว้างเทปโฟม หลังการปรับปรุงพบว่า ค่าเฉลี่ยของขนาดความหว้างเทปโฟมมีค่าเข้าใกล้เป้าหมายมากขึ้น ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานลดลง ส่งผลให้ค่า Cp และ Cpk เพิ่มสูงขึ้นมากกว่าก่อนการปรับปรุงและมากกว่า 1.33 ทั้งนี้ ต้นทุนของเสียมีค่าลดลง 99.7% คิดเป็น 4,713,002 บาทต่อปี แนวคิดซิกซ์ ซิกมายังถูกนำไปใช้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพในกระบวนการกลั่นของโรงงานผลิตแนฟทา (Falcon et al., 2011) เพื่อให้มีการบริโภคพลังงานน้อยที่สุด เนื่องจากมีปัจจัยเข้าในกระบวนการจำนวนมาก จึงมีการนำการการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) และหลักการพาเรโตมาใช้ในการคัดเลือกตัวแปรที่สำคัญ เพื่อทำการปรับปรุงโดยใช้การวิเคราะห์พหุตัวแปร (Multivariate analysis) สมการที่ได้ใช้คำนวณค่าพลังงานที่เหมาะสมในการใช้งานได้ จึงช่วยลดพลังงานที่ใช้ในกระบวนการ ในกระบวนการเชื่อมโดยใช้หุ่นยนต์ (Aksoy และ Orbak, 2009) มีการนำแนวคิดซิกซ์ ซิกมาเข้าไปใช้ในการลดปริมาณจำนวนงานซ่อม (Reworked parts) โดยเริ่มพิจารณาจากปัญหาของการเกิดงานซ่อมย้อนหลังและการวิเคราะห์สถานะของกระบวนการปัจจุบัน พบว่า ค่า Cp และ Cpk ของกระบวนการมีค่า

น้อยกว่า 1 ซึ่งไม่สามารถยอมรับได้ว่ากระบวนการมีความสามารถ จึงวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาและทำการปรับปรุงอุปกรณ์ต่างๆ โดยใช้วิธีการทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis test) เปรียบเทียบผลก่อนและหลังการปรับปรุง ผลจากการปรับปรุงพบว่า อุปกรณ์มีการทำงานที่ดีขึ้น ส่งผลให้ ค่า Cp และ Cpk ของกระบวนการมีค่ามากกว่า 1.33 ซึ่งสามารถยอมรับได้ว่ากระบวนการมีความสามารถ และจำนวนงานซ่อมลดลงเฉลี่ย 47.83% ซึ่งสูงกว่าเป้าหมายที่ตั้งไว้ที่ 40% ในอุตสาหกรรมอาหารได้มีการนำแนวคิดซิกซ์ ซิกมาไปใช้อย่างแพร่หลาย เช่น การลดความผันแปรของค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์อาหารผง (เรไร เฟื่องอาวรณ์, 2553) ให้ตรงกับค่าเป้าหมายมากขึ้น โดยเริ่มจากการระบุตัวแปรที่มีผลต่อค่าความชื้นจากการจัดทำผังกระบวนการ ทำการคัดกรองตัวแปรด้วยการวิเคราะห์ผลกระทบของตัวแปร เมื่อได้ตัวแปรที่สำคัญแล้ว ดำเนินการปรับปรุงโดยใช้วิธีออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบ ชนิดการออกแบบส่วนประสมกลาง เพื่อหาการตั้งค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม หลังการปรับปรุงกระบวนการ พบว่า ค่าความสามารถด้านสมรรถนะแบบระยะยาว (Ppk) ของค่าความชื้น มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.94 เป็น 1.70 ซึ่งยอมรับได้ว่ากระบวนการมีความสามารถ และพบผลิตภัณฑ์ที่มีค่ามากกว่าข้อกำหนดลดลงจากเดิม 2,352 ppm เหลือ 0.17 ppm

จากตัวอย่างงานวิจัยในอุตสาหกรรมต่างๆ ที่มีการนำแนวคิดซิกซ์ ซิกมา มาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพ ลดของเสียจากกระบวนการผลิต ลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มดัชนีชี้วัดสมรรถนะกระบวนการ โดยอาศัยระเบียบวิธีการที่เป็นขั้นตอนชัดเจน เริ่มตั้งแต่การนิยามปัญหา (Define phase) การวัด(Measure phase) การวิเคราะห์ (Analyze phase) การปรับปรุง (Improve phase) และการควบคุมกระบวนการ (Control phase) อีกทั้ง ในแต่ละขั้นตอนผู้วิจัยสามารถเลือกเครื่องมือมาใช้ตามความเหมาะสมในแต่ละกระบวนการ จึงเป็นสาเหตุหลักที่ผู้วิจัยนำแนวคิดซิกซ์ ซิกมา มาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์ ซึ่งเป็นวัสดุก่อสร้างที่ต้องการความแข็งแรงและทนทาน เนื่องจากในกระบวนการผลิตพบปัญหาด้านคุณภาพในหลายด้าน การพิจารณาแก้ไขปัญหาทำเป็นกรณี ไม่ได้ทำการเลือกปัญหาที่ส่งผลต่อกระทบมากที่สุดมาพิจารณาแก้ไขก่อน อีกทั้ง การแก้ไขปัญหาไม่ได้ทำการค้นหาสาเหตุที่แท้จริง ทำให้เกิดปัญหาเดิมซ้ำอีก จุดเด่นของแนวคิดซิกซ์ ซิกมา ประการสำคัญ คือ มีแนวทางในการคัดเลือกปัญหาอย่างเหมาะสมและกำหนดเป้าหมายในการปรับปรุงอย่างชัดเจน

ทำให้ปัญหาที่มีผลกระทบมากถูกพิจารณาเลือกมาทำการแก้ไขปรับปรุงก่อน ในขั้นตอนนี้ จะมีการกำหนดวัตถุประสงค์ เป้าหมายและขอบเขตของการปรับปรุงรวมทั้งจัดตั้งทีมงานผู้รับผิดชอบในการปรับปรุงดังกล่าว จากนั้นมีการวัดเพื่อให้ทราบสถานะของกระบวนการปัจจุบันและทำการวิเคราะห์ระบบการวัด เพื่อให้เกิดมั่นใจในเครื่องมือวัดและผู้วัด ขั้นตอนต่อไป คือ การวิเคราะห์ ซึ่งมีการนำตัวแปรที่คาดว่าเป็นสาเหตุของปัญหา โดยมีเครื่องมือที่หลากหลาย ขึ้นกับวัตถุประสงค์ เช่น เพื่อเก็บข้อมูลของสาเหตุที่มีศักยภาพที่จะเป็นตัวแปรที่ส่งผลให้เกิดปัญหา จะใช้แผ่นตรวจสอบ (Check sheets) การระดมสมอง (Brainstorming) เพื่อจัดลำดับของสาเหตุ เครื่องมือที่ใช้ เช่น การวิเคราะห์เหตุและอาการขัดข้อง (FMEA) แผนภูมิพาเรโต (Pareto chart) หรือเพื่อทดสอบการมีผลอย่างมีนัยสำคัญของตัวแปร โดยอาศัยเครื่องมือทางสถิติ เช่น การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis test) การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เป็นต้น ทั้งนี้ขึ้นกับผู้วิจัยในการเลือกเครื่องมือมาใช้ให้เหมาะสมกับสภาพปัญหา เมื่อได้ตัวแปรที่สำคัญแล้ว ในขั้นตอนปรับปรุงทางผู้วิจัยต้องทำการปรับปรุงกระบวนการ เทคนิคที่นิยมใช้ เช่น การออกแบบการทดลอง (DOE) ซึ่งต้องเลือกแบบการทดลองที่เหมาะสม เมื่อได้ระดับของปัจจัยแล้ว ผู้วิจัยต้องมีการจัดทำแผนควบคุม (Control plan) เพื่อควบคุมกระบวรการหลังการปรับปรุงต่อไป

บทที่ 3
การนิยามปัญหา (Define Phase)

จากข้อบกพร่องปัญหาผลิตภัณฑ์เปราะ แตกหักง่าย (ความแข็งแรงต่ำ) ซึ่งส่งผลให้เกิดความสูญเสียมากที่สุดนั้น ทางผู้บริหารของโรงงานได้ให้ความสำคัญในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยการจัดตั้งคณะกรรมการปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ขึ้น ประกอบไปด้วยกรรมการจากหน่วยงานต่างๆ ทั้งนี้ ในการแก้ไขปัญหาและปรับปรุงกระบวนการ ทางผู้วิจัยซึ่งเป็นกรรมการและเลขานุการได้นำเสนอแนวทางการปรับปรุงตามแนวทางซิกซ์ ซิกมา ในการปรับปรุงเนื่องจากทางโรงงานยังไม่เคยนำแนวทางดังกล่าวมาใช้ในการปรับปรุงโครงการมาก่อน โดยแนวทางซิกซ์ ซิกมา มีข้อดี คือ เป็นการปรับปรุงอย่างมีระบบและอาศัยความร่วมมือจากหลายส่วนในองค์กร ทั้งนี้ ขั้นตอนแรกของแนวทางซิกซ์ ซิกมา เริ่มด้วยการนิยามปัญหา ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.1 การจัดตั้งคณะกรรมการปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์

ในการปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ จำเป็นต้องเกี่ยวข้องในหลายกระบวนการ เนื่องจากทุกขั้นตอนล้วนส่งผลต่อความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ อีกทั้ง ในแต่ละกระบวนการยังมีผู้รับผิดชอบที่มีความรู้ความเชี่ยวชาญที่แตกต่างกัน ทางผู้บริหารจึงได้แต่งตั้งคณะกรรมการปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาวิเคราะห์สภาพปัญหาต่างๆ ที่ส่งผลต่อความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ เสนอแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์ให้เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดและมีการพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์อย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้ คณะกรรมการปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ ประกอบไปด้วยกรรมการจากหน่วยงานต่างๆ ดังนี้

ผู้อำนวยการสายการผลิตและบริหารคุณภาพ มีหน้าที่ เป็นประธานคณะกรรมการ ช่วยอำนวยความสะดวก ให้คำปรึกษาและอนุมัติการดำเนินโครงการ

ผู้จัดการโรงงาน มีหน้าที่ ประสานงานภายในหน่วยงานของตนเอง รวมทั้งจัดหาทรัพยากรที่จำเป็นในการดำเนินโครงการและให้คำปรึกษาด้านเทคนิค

ผู้จัดการส่วนประกันคุณภาพ (ผู้วิจัย) มีหน้าที่ ประสานงานการดำเนินโครงการในส่วนงานต่างๆ ได้แก่ การประชุมวางแผนดำเนินงาน การติดตามความคืบหน้าของโครงการ ตลอดการดำเนินโครงการ

วิศวกรผลิต มีหน้าที่ สนับสนุนข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการผลิต ในส่วนต่างๆ ร่วมวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์

วิศวกรควบคุมคุณภาพ มีหน้าที่ สนับสนุนข้อมูลด้านคุณภาพ ข้อมูลจากการทดลอง ร่วมวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์และกระบวนการวัด

3.2 การศึกษาและสำรวจปัญหาของโรงงานก่อนการปรับปรุง

3.2.1 ผลกระทบของปัญหา

จากปัญหาไม้เปราะ แตกหักง่าย (ความแข็งแรงต่ำ) ส่งผลกระทบในด้านต่างๆ ดังนี้

1) ด้านจำนวนของเสียจากกระบวนการผลิต

เนื่องจากจำนวนของเสียจากกระบวนการผลิตถูกกำหนดเป็นตัวชี้วัดการดำเนินการ (KPI) ของโรงงาน โดยกำหนดจำนวนของเสีย (ตัน) ต้องไม่เกิน 3% เมื่อเทียบกับยอดการผลิต จากข้อมูลจำนวนของเสีย (ตัน) ต่อยอดการผลิต ตั้งแต่เดือนมกราคม ถึง มิถุนายน 2555 มี 3 เดือน ที่จำนวนของเสียเกิน 3% ดังตารางที่ 3.1 ซึ่งพบว่า มากกว่าเป้าหมายที่ตั้งไว้ โดยปัญหาที่พบมากที่สุด คือ ปัญหาไม้เปราะ แตกหักง่าย (ความแข็งแรงต่ำ) ดังนั้น จึงควรดำเนินการหาสาเหตุของปัญหาและดำเนินการแก้ไข เพื่อให้จำนวนของเสียลดลงและอยู่ในค่าเป้าหมาย คือ ไม่เกิน 3%

ตารางที่ 3.1 จำนวนของเสีย (ตัน) ต่อยอดผลิต เดือน มกราคม – มิถุนายน 2555

เดือน	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน
จำนวนของเสียต่อยอดผลิต (%)	1.50	6.33	3.09	2.45	2.69	3.46

2) ด้านมูลค่าการเคลมสินค้า

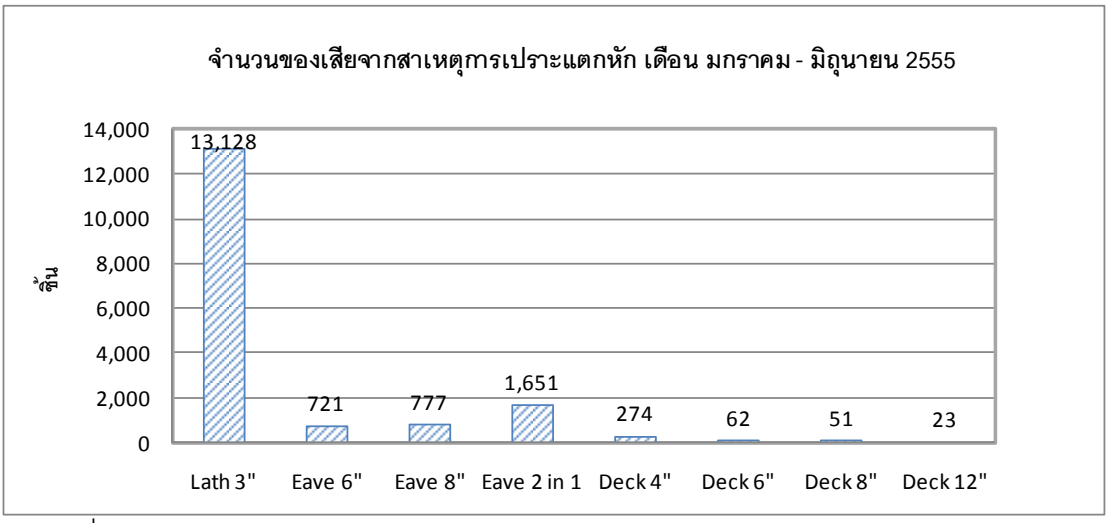
จากข้อมูลมูลค่าการเคลมสินค้าของลูกค้า ซึ่งเป็นตัวแทนจำหน่ายสินค้า พบว่า มูลค่าของเสียที่เกิดจากการที่สินค้าแตกหักเนื่องจากการขนย้าย การกองเก็บ การขนส่ง การลงของและสินค้าแตกหักในห่อ ตั้งแต่เดือน มกราคม ถึง มิถุนายน 2555 คิดเป็น 0.38% ซึ่งตามนโยบายการเคลมสินค้ากำหนดไว้ว่า มูลค่าการเคลมสินค้าต้องไม่เกิน 0.25%

3) ด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์

จากข้อมูลค่า Ppk ของค่าความแข็งแรงผลิตภัณฑ์ พบว่า มีค่าต่ำกว่า 1.33 ซึ่งเป็นค่าที่สามารถยอมรับได้ว่ากระบวนการมีความสามารถ ทั้งนี้ การที่ค่า Ppk ต่ำกว่า 1.33 แสดงว่ามีผลิตภัณฑ์อยู่นอกเหนือข้อกำหนดผลิตภัณฑ์ ในที่นี้คือผลิตภัณฑ์มีค่าความแข็งแรงต่ำกว่า 14.00 เมกะปาสคาล ซึ่งเป็นข้อกำหนดต่ำที่สุดที่จะยอมรับผลิตภัณฑ์ ส่งผลให้เกิดของเสียในกระบวนการผลิต อีกทั้ง หากผลิตภัณฑ์ส่งถึงลูกค้า ในกรณีที่เป็นผู้แทนจำหน่ายแล้วเกิดการแตกหัก ลูกค้าจะส่งสินค้ากลับมายังโรงงาน เพื่อทำการเปลี่ยนสินค้าหรือขอเป็นมูลค่าการเคลมสินค้า ส่งผลให้เกิดต้นทุนในการขนส่งรวมทั้งเกิดเป็นมูลค่าการเคลมสินค้า ในกรณีที่สินค้าถูกส่งไปยังลูกค้าคนสุดท้าย เมื่อนำสินค้าไปทำการติดตั้งและเกิดการแตกหัก ทางโรงงานต้องดำเนินการตรวจสอบ หากพบว่าเกิดจากคุณภาพสินค้า ต้องดำเนินการเปลี่ยนสินค้าให้ลูกค้าและค่าแรงในการติดตั้ง ซึ่งเกิดเป็นต้นทุนในการเคลมสินค้า นอกจากนี้ ยังส่งผลต่อความเชื่อมั่นในคุณภาพสินค้าด้วย

3.2.2 การเลือกผลิตภัณฑ์เพื่อทำการปรับปรุง

จากการรวบรวมข้อมูลของเสียของโรงงานในช่วงเดือน มกราคม ถึง มิถุนายน 2555 พบว่า ของเสียที่เกิดจากปัญหาผลิตภัณฑ์ เปราะแตกหักง่าย จำนวนมากที่สุด คือ ไม้ระแนง หน้า 3 นิ้ว จำนวนของเสียทั้งหมด 13,128 ชิ้น จากจำนวนของเสียทั้งหมด 101,467 ชิ้น คิดเป็น 12.94% ของของเสียทั้งหมด ดังรูปที่ 3.1 ทางคณะกรรมการปรับปรุงคุณภาพสินค้า จึงพิจารณาทำการปรับปรุงคุณภาพของไม้ระแนง หน้า 3 นิ้ว เป็นอันดับแรก เมื่อได้แนวทางในการปรับปรุงแล้ว จึงนำไปปรับปรุงกับแผ่นบอร์ดความหนาอื่นๆ เนื่องจากกระบวนการผลิตเหมือนกัน



รูปที่ 3.1 จำนวนของเสียจากสาเหตุการเปราะแตกหักง่าย เดือน มกราคม ถึง มิถุนายน 2555

1) การประเมินโอกาสในการปรับปรุงค่า Ppk และแนวทางการปรับปรุง

เนื่องจากไม้ระแนงหน้า 3 นิ้ว ถูกแปรรูปจากแผ่นบอร์ดความหนา 11 มิลลิเมตร ในขั้นตอนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ เมื่อนำข้อมูลความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตในช่วงเดือน มกราคม ถึง มิถุนายน 2555 มาหาค่าดัชนีชี้วัดความสมรรถนะของกระบวนการแบบระยะยาว (Ppk) เป็นดังตารางที่ 3.2

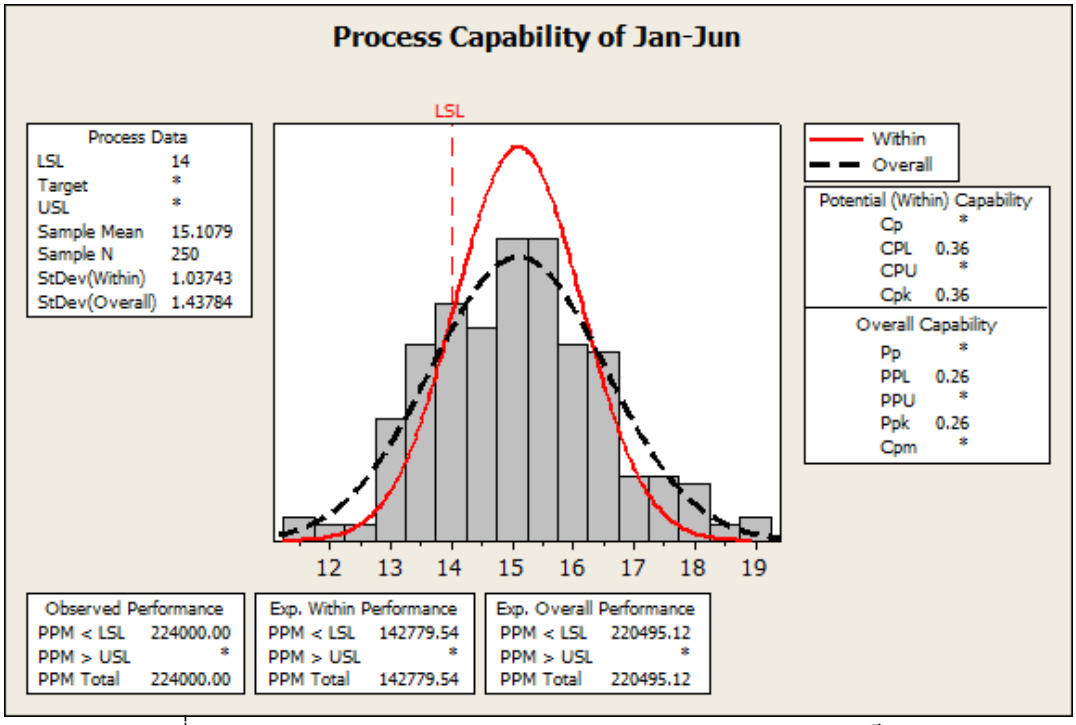
ตารางที่ 3.2 ดัชนีชี้วัดความสมรรถนะของกระบวนการแบบระยะยาว (Ppk) ของค่าความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์แผ่นบอร์ดความหนา 11 มิลลิเมตร ช่วงเดือน มกราคม – มิถุนายน 2555

Month	No. of data	Min	Max	Mean	SD(Within)	Cpk	SD(Overall)	LSL	Ppk
Jan	33	12.32	16.13	14.38	1.025	0.12	1.068	14.00	0.12
Feb	40	11.60	16.14	14.12	1.090	0.04	1.092	14.00	0.04
Mar	50	11.67	17.62	14.93	1.161	0.27	1.288	14.00	0.24
Apr	26	14.13	18.15	15.64	0.726	0.75	1.033	14.00	0.53
May	44	11.67	18.94	14.98	1.199	0.27	1.494	14.00	0.22
Jun	57	13.83	18.93	16.24	0.966	0.77	1.258	14.00	0.59
Jan-Jun	250	11.60	18.94	15.11	1.037	0.36	1.438	14.00	0.26

จากตารางที่ 3.2 ค่าดัชนีชี้วัดความสมรรถนะของกระบวนการแบบระยะยาว (Ppk) ความแข็งแรงของแผ่นบอร์ดความหนา 11 มิลลิเมตร ตั้งแต่เดือนมกราคม ถึง เดือนมิถุนายน 2555 มี

ค่าต่ำกว่า 1.33 ซึ่งเป็นค่าที่สามารถยอมรับได้ว่ากระบวนการมีความสามารถตามเกณฑ์ของ AIAG (1995) ค่าความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ จึงมีค่าสูงที่สุดอยู่ที่ 18.94 MPa ในเดือน พฤษภาคม 2555 และมีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 11.60 MPa ในเดือน กุมภาพันธ์ 2555 ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่มีค่าความแข็งแรงต่ำกว่า 14.00 MPa ถือได้ว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีค่าความแข็งแรงต่ำกว่าเกณฑ์การยอมรับ และเปราะแตกหักได้ง่าย ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการในระยะสั้น (Cpk) ในการผลิตแต่ละเดือน พบว่า มีค่าต่ำกว่า 1.33 ตลอดตั้งเดือน มกราคม ถึง มิถุนายน 2555 จะเห็นได้ว่ากระบวนการมีความแปรปรวนทั้งในรอบการผลิตในแต่ละเดือนและความแปรปรวนในระยะยาว ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงมีช่วงกว้างมากตั้งแต่ 11.60 ถึง 18.94 MPa ดังนั้น จึงต้องหาปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดความแปรปรวนดังกล่าว

เมื่อนำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าค่าดัชนีชี้วัดความสมรรถนะของกระบวนการแบบระยะยาว (Ppk) ความแข็งแรงของแผ่นบอร์ดความหนา 11 มิลลิเมตร ก่อนการปรับปรุง พบว่า มีค่า Ppk เท่ากับ 0.26



รูปที่ 3.2 สมรรถนะของกระบวนการแบบระยะยาวของค่าความแข็งแรงของแผ่นบอร์ดความหนา 11 มิลลิเมตร

เนื่องจากค่า Ppk ของกระบวนการก่อนการปรับปรุงมีค่า 0.26 ซึ่งมีค่าค่อนข้างต่ำ จึงต้องมีการปรับปรุงกระบวนการเพื่อเพิ่มค่า Ppk โดยแนวทางในการปรับปรุงสามารถทำได้ 2 แนวทาง คือ แนวทางที่ 1 การเพิ่มค่าความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ และ แนวทางที่ 2 การลดค่าความผันแปรของค่าความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์

แนวทางที่ 1 การเพิ่มค่าความแข็งแรงเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์

จากข้อมูลความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์แผ่นบอร์ดความหนา 11 มิลลิเมตร พบว่า ค่าความแข็งแรงสูงสุดที่สามารถทำได้อยู่ที่ 18.94 MPa ซึ่งหากสามารถปรับปรุงกระบวนการ โดยหาปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมและควบคุมปัจจัยต่างๆ ให้ได้ 18.94 MPa ตลอด ก็จะสามารถเพิ่มค่าความแข็งแรงเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์ได้ ส่งผลให้ค่า Ppk สูงขึ้นด้วย ดังสมการที่ 1.1

$$P_{pk} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma_{LT}} \qquad 1.1$$

กำหนดให้

LSL หมายถึง ข้อกำหนดด้านล่าง

μ หมายถึง ค่าความแข็งแรงเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์

σ_{LT} หมายถึง ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานระยะยาว แสดงถึงค่าความผันแปรระยะยาวของกระบวนการ

การคำนวณ หากสามารถควบคุมปัจจัยและสามารถผลิตแผ่นบอร์ดที่มีความแข็งแรง 18.94 MPa ได้ค่า Ppk ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 1.14 ดังแสดง

$$\mathrm{P_{pk}} = \frac{18.94 - 14.00}{(3)(1.438)} = 1.14$$

จากผลการคำนวณ พบว่า ค่า Ppk มีค่าเพิ่มมากขึ้น เมื่อค่าความแข็งแรงเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มมากขึ้น จึงสามารถนำแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตได้ ทั้งนี้ จาก

ค่า Ppk ที่ทางโรงงานสามารถทำได้สูงที่สุด คือ 1.14 ในกรณีที่ค่าความแข็งแรงเฉลี่ยอยู่ที่ 18.94 MPa ซึ่งยังไม่เป็นไปตามเกณฑ์ 1.33 ดังนั้น จึงต้องมีการปรับปรุงกระบวนการเพื่อให้ค่าความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์มากกว่า 18.94 MPa เพื่อให้ค่า Ppk มากกว่า 1.14 หรือใช้การลดความแปรปรวนร่วมด้วยตามแนวทางที่ 2

แนวทางที่ 2 การลดความผันแปรของค่าความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์

จากสมการที่ 1 จะเห็นได้ว่า นอกจากการเพิ่มค่า Ppk ของกระบวนการจะสามารถทำได้โดยเพิ่มค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงแล้ว อีกหนึ่งแนวทางที่สามารถทำได้ คือ การลดความผันแปรของค่าความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ (σ_{LT}) ซึ่งมีความสัมพันธ์กันดังนี้

กรณีที่ ค่า σ_{LT} มีค่ามากขึ้น ค่า Ppk จะมีค่าน้อยลง

กรณีที่ ค่า σ_{LT} มีค่าน้อยลง ค่า Ppk จะมีค่ามากขึ้น

การลดความผันแปรของค่าความแข็งแรงนั้น ทางทีมงานต้องหาปัจจัยต่างๆ ในกระบวนการผลิตที่ส่งผลให้เกิดความผันแปรดังกล่าว จากนั้นหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมและควบคุมปัจจัยต่างๆ ให้คงที่ เพื่อให้สามารถผลิตสินค้าออกมาให้มีความแข็งแรงสูงและมีความแปรปรวนต่ำ ซึ่งจะช่วยลดของเสียในกระบวนการผลิตและลดมูลค่าความสูญเสียที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ไม่ได้คุณภาพโดยแนวทางในการเพิ่มค่า Ppk นั้น จะใช้แนวทางที่ 1 คือ การเพิ่มค่าความแข็งแรงเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์ร่วมกับแนวทางที่ 2 คือ การลดความผันแปรของค่าความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์

3.3 การกำหนดเป้าหมายการปรับปรุง

1) ลดค่าความผันแปรแบบระยะยาวของค่าความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์
2) เพิ่มค่า Ppk ของกระบวนการผลิตให้มากกว่า 1.33 ซึ่งเป็นค่าที่สามารถยอมรับได้ว่ากระบวนการมีความสามารถ

3.4 ขอบเขตงานวิจัย

ครอบคลุมกระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้องกับการผลิตแผ่นบอร์ดความหนา 11 มิลลิเมตร ตั้งแต่กระบวนการเตรียมเยื่อจนถึงการบ่มผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 3.3 Project Charter

Project Charter	
Project Title : การปรับปรุงความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์	
Business Case : ปัญหาผลิตภัณฑ์เปราะ แตกหักง่าย ส่งผลให้จำนวนของเสียในกระบวนการผลิตมากกว่าเป้าหมายที่ 3% และมูลค่าการเคลมสินค้าจากลูกค้ามากกว่า 0.25% จึงควรดำเนินการปรับปรุงความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ให้มีค่าสูงขึ้น	**Objective Statement** : เพิ่มค่า Ppk ของกระบวนการผลิตแผ่นบอร์ดความหนา 11 มิลลิเมตร ให้มีค่ามากกว่า 1.33 ซึ่งเป็นค่าที่สามารถยอมรับกระบวนการว่ามีความสามารถ
Problem Statement : ค่า Ppk ของค่าความแข็งแรงแผ่นบอร์ดความหนา 11 มิลลิเมตร ช่วงเดือน มกราคม – มิถุนายน 2555 มีค่าน้อยกว่า 1.33 ส่งผลให้เกิดของเสีย คิดเป็น 378,162 บาท	**Project Assumption** : ดำเนินการประชุมคณะกรรมการปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ ทุกวันพฤหัสบดี
Project Scope : ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์แผ่นบอร์ดความหนา 11 มิลลิเมตร	**Project Metric** : Business Metric : ความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ Primary Metric : ค่า Ppk ของค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้น Secondary Metric : พื้นที่การจัดเก็บของเสียลดลง Consequential Metric :ต้นทุนการผลิต Financial Metric : ต้นทุนของเสียและมูลค่าการเคลม
Project Constraint : ระยะเวลาการดำเนินงานวิจัย เดือน มกราคม 2555 – กุมภาพันธ์ 2556	**Team Member** : ผู้อำนวยการสายการผลิตและบริหารคุณภาพ ผู้จัดการโรงงาน ผู้จัดการส่วนประกันคุณภาพ (ผู้วิจัย) วิศวกรผลิต วิศวกรควบคุมคุณภาพ

3.5 การวางแผนการดำเนินโครงการปรับปรุงค่า Ppk

การดำเนินการปรับปรุงความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ เป็นไปตามแผนงานในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 แผนการดำเนินการวิจัยปรับปรุงความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	2555												2556	
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
1. **ศึกษาสภาพปัญหาของโรงงาน**														
2. **เสนอหัวข้อวิทยานิพนธ์**														
3. **ระยะศึกษาข้อมูลและนิยามปัญหา** (Define Phase)														
3.1 การจัดตั้งคณะกรรมการปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์														
3.2 ศึกษาและสำรวจปัญหาของโรงงานก่อนทำการปรับปรุง														
3.3 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง														
3.4 ระบุปัญหาและกำหนดเป้าหมายของงานวิจัย														
3.5 วางแผนงานวิจัย														
4. **ระยะวัด** (Measure Phase)														
4.1 การวิเคราะห์ระบบการวัด														
5. **ระยะหาสาเหตุของปัญหาและการเก็บข้อมูล** (Analyze Phase)														
5.1 ศึกษารายละเอียดของกระบวนการผลิต														
5.2 ระบุปัจจัยนำเข้า (KPIV) และปัจจัยออก (KPOV)														
5.3 สรุปตัวแปรที่อาจส่งผลต่อค่าความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์														
5.4 การคัดกรองสาเหตุของปัจจัยด้วย C&E Matrix														
5.5 การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA)														
5.6 สรุปตัวแปรที่ต้องทำการปรับปรุง														
6. **ระยะปรับปรุง** (Improvement Phase)														
6.1 เสนอแนวทางในการแก้ไขปัญหาตามสาเหตุของปัญหา														
6.2 ดำเนินการแก้ไขปัญหาตามที่คณะกรรมการเห็นชอบ														
6.3 สรุปผลการแก้ไขปัญหา														
7. **ระยะติดตามควบคุม** (Control Phase)														
7.1 เก็บข้อมูลและวิเคราะห์ค่าดัชนีชี้วัด Ppk หลังปรับปรุง														
7.2 เปรียบเทียบค่า Ppk ก่อนและหลังปรับปรุง														
7.3 จัดทำมาตรฐานการปฏิบัติงาน														
7.4 เสนอแนวทางการปรับปรุงปัญหาในโอกาสต่อไป														
8. **จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์**														

3.6 สรุปการนิยามปัญหา

ในขั้นตอนการนิยามปัญหา ซึ่งเป็นขั้นตอนแรกในการปรับปรุงกระบวนการตามแนวทางซิกซ์ ซิกมา โดยได้มีการจัดตั้งคณะกรรมการปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ โดยอาศัยความร่วมมือจากทั้งฝ่ายผลิตและฝ่ายควบคุมคุณภาพ เพื่อร่วมวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาไม้เปราะ แตกหักง่าย (ความแข็งแรงต่ำ) และเพิ่มค่าสมรรถนะของกระบวนการในระยะยาว (Ppk) โดยแนวทางในการปรับปรุงสามารถทำได้ 2 แนวทาง คือ การเพิ่มค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ และการลดความผันแปรของค่าความแข็งแรง จากนั้นทำการระบุปัญหา วัตถุประสงค์ เป้าหมาย กำหนดตัวชี้วัด ขอบเขตการศึกษาและผู้รับผิดชอบ รวมทั้งกำหนดระยะเวลาในการดำเนินการ

บทที่ 4
การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measure Phase)

การทดสอบความแข็งของวัสดุเป็นวิธีที่ช่วยในการพิจารณาว่าวัสดุที่ผลิตขึ้นนั้น มีความแข็งแรงเพียงพอที่จะนำไปใช้งานหรือไม่ โดยเฉพาะวัสดุก่อสร้างที่ต้องการความแข็งแรง โดยอาศัยการทดสอบจากเครื่องทดสอบความแข็งแรงของวัสดุ (Universal Testing Machine) ดังรูปที่ 2.9 ซึ่งสามารถหาค่าความแข็งแรงของวัสดุในรูปของแรงดึง แรงอัด แรงเฉือน หรือแรงดัดโค้ง ทั้งนี้ วิธีการทดสอบจะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับประเภทของวัสดุ โดยในการทดสอบความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์นั้น จะทำการทดสอบแบบความเค้นแรงดัดโค้ง (Bending stress) คือ ค่าความเค้นที่ได้จากการทดสอบกดชิ้นงานตัวอย่างให้เกิดการงอตัวโดยใช้หัวกด (Indentor) ซึ่งกดลงตั้งฉากกับชิ้นตัวอย่างที่อยู่ในลักษณะแนวนอนโดยมีตัวรองรับ (Supporting jig) เป็นตัวกำหนดช่วงห่าง (Span) โดยในการทดสอบในงานวิจัยนี้ ได้ใช้วิธีการทดสอบแรงดัดโค้งแบบ 3 จุด เป็นการทดสอบความเค้นโดยจะมีตัวกดสำหรับให้แรงกด 1 จุด ซึ่งจะอยู่ด้านบนของชิ้นตัวอย่าง และจะมีตัวรองรับที่กำหนดระยะห่างอยู่ด้านล่างชิ้นตัวอย่าง 2 จุด ดังรูปที่ 2.10

4.1 หลักการทำงานของเครื่อง

การทำงานของเครื่องทดสอบความแข็งแรงของวัสดุอาศัยการเคลื่อนที่ลงของคาน ที่มีตัววัดแรง (Load cell) ติดอยู่กับหัวกด โดยการเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการหมุนของแท่งเกลียวภายในโครงรองรับคาน ซึ่งจะถูกขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าสามารถปรับค่าความเร็วได้ เมื่อมีการเคลื่อนที่ชิ้นตัวอย่างจะยืดออกและเกิดแรงต่อต้านแรงที่กระทำจากคาน หัววัดแรงที่ติดกับคานจะทำหน้าที่วัดแรงแล้วส่งข้อมูลไปยังหน่วยควบคุมการทำงานของเครื่อง จากนั้นหน่วยควบคุมการทำงานของเครื่องจะส่งข้อมูลไปยังหน่วยแสดงผลซึ่งเป็นตัวเลขและกราฟบนคอมพิวเตอร์

4.2 การเตรียมชิ้นตัวอย่าง

การเตรียมชิ้นงานตัวอย่างไฟเบอร์ซีเมนต์เพื่อทำการทดสอบ สามารถทำได้ดังนี้

1) สุ่มตัวอย่างแผ่นบอร์ดไฟเบอร์ซีเมนต์ ขนาดความกว้าง 2510 มิลลิเมตร ความยาว 1280 มิลลิเมตร หลังจากผลิตภัณฑ์ผ่านเครื่องอบแห้งโดยสุ่มเก็บแผ่นบอร์ดความหนา 11 มิลลิเมตร

2) นำแผ่นบอร์ดมาตัดแบ่งเป็นชิ้นทดสอบตามแนวทิศทางการเดินเครื่องจักร (Machine direction) โดยตัดชิ้นทดสอบ ความกว้าง 76±2 มิลลิเมตร ความยาว 314±2 มิลลิเมตร

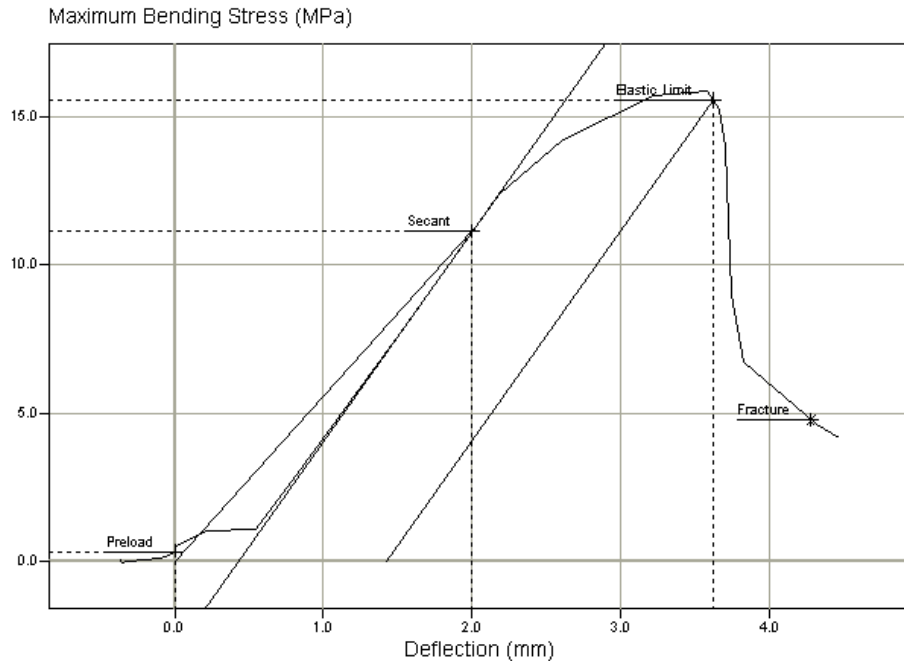
3) เมื่อได้ชิ้นงานทดสอบ ให้ทำการวัดความกว้างและความหนาของชิ้นงานทดสอบในหน่วยมิลลิเมตร เขียนค่าที่วัดได้ลงบนชิ้นงานทดสอบ เพื่อนำค่าไปใส่ลงในโปรแกรมก่อนทำการวิเคราะห์ เพื่อให้โปรแกรมสามารถคำนวณค่าความแข็งแรงออกมาได้

4) เปิดเครื่องทดสอบความแข็งแรง LLOYD EZ20 และโปรแกรมการคำนวณ Nexygen จากนั้นทำการตั้งค่าเครื่องโดยตั้งความกว้างของตัวรองรับ 264 มิลลิเมตร และความเร็วหัววัด 6 มิลลิเมตร/นาที

5) ทำการทดสอบตัวอย่างตามวิธีการใช้งานเครื่องทดสอบความแข็งแรง โดยผลการวิเคราะห์จากเครื่องและกราฟจะเป็นดังรูปที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ

Date	Sample Ref.	Height	Width	Span	MOE	MOR	Max Load	Max Deflection
31/7/2555	F11/031/13200709/31/MD1	11.79 ...	69.71 ...	264.00...	7680 MPa	16.29 ...	398.55 N	4.6842 mm

รูปที่ 4.1 ผลการวัดค่าความแข็งแรงที่ปรากฏบนหน้าจอคอมพิวเตอร์หลังจากทำการวิเคราะห์



รูปที่ 4.2 กราฟผลการทดสอบความแข็งแรง

6) การอ่านผลการทดสอบ จากรูปที่ 4.3 แสดงผลการวัดค่าความแข็งแรง โดยค่าความแข็งแรง แสดงเป็นค่าโมดูลัสของการแตกหัก (Modulus of Rupture) หรือค่า MOR เท่ากับ 16.29 เมกะปาสคาล เป็นต้น

7) ในการแสดงผลการทดสอบนั้น โปรแกรม Nexygen ยังแสดงผลการวิเคราะห์อื่นๆ ดังนี้

- Height : ค่าความหนาของชิ้นงานทดสอบ มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร
- Width : ค่าความกว้างของชิ้นงานทดสอบ มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร
- Span : ระยะห่างของตัวรองรับ ที่ใช้ในการทดสอบ โดยจะขึ้นกับความหนาของไม้
- MOE : ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of elasticity) อัตราส่วนของแรงเค้นต่อความเครียด เป็นความสามารถของวัสดุในการเสียรูปและคืนรูปอย่างสมบูรณ์ โดยไม่ปรากฏการเสียรูปถาวรเมื่อนำแรงที่กระทำออก มีหน่วยเป็น เมกะปาสคาล (Mpa)

- MOR : ค่าโมดูลัสแตกหัก (Modulus of rupture) เป็นค่าหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจากแรงดัดสูงสุดที่กระทำต่อชิ้นงานทดสอบแล้วทำให้ชิ้นงานทดสอบเกิดการแตกหัก มีหน่วยเป็น เมกะปาสคาล (Mpa)
- Max Load : เป็นค่าแรงน้ำหนักสูงสุดที่กระทำต่อชิ้นงานทดสอบแล้วทำให้ชิ้นงานทดสอบเกิดการแตกหัก มีหน่วยเป็นนิวตัน (N)
- Max Defection : เป็นระยะยืดของชิ้นงานทดสอบเมื่อมีแรงมากระทำ จำเกิดการแตกหัก มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร (mm)

4.3 การประเมินความถูกต้องของเครื่องทดสอบความแข็งแรงของชิ้นงานทดสอบ

4.3.1 การประเมินความถูกต้องของเครื่องทดสอบตามใบรายงานผลการสอบเทียบ

ในการประเมินความถูกต้องของเครื่องทดสอบความแข็งแรงนั้น เนื่องจากโรงงานกรณีศึกษาได้รับการรับรองระบบมาตรฐานการจัดการคุณภาพ ISO 9001:2008 ซึ่งในข้อกำหนด 7.6 การควบคุมเครื่องมือวัด ได้กำหนดให้เครื่องมือวัดต้องได้รับการสอบเทียบ ทั้งนี้ เครื่องทดสอบความแข็งแรงถูกกำหนดให้มีการสอบเทียบ ความถี่ 1 ครั้ง/ปี โดยเครื่องมือทดสอบได้รับการสอบเทียบตามมาตรฐาน BS EN ISO 7500-1 : 2004 การทวนสอบและสอบเทียบเครื่องวัดด้านแรงเนื่องจากเครื่องวัดความแข็งแรงโดยจะทำการใส่แรงมาตรฐานที่ 1000 N 2000 N 3000 N 4000 N และ 5000 N ทำการวัดและอ่านค่าแรง3 ครั้ง ในหน่วยนิวตัน (N) จากนั้นนำมาค่าเฉลี่ยผลการสอบเทียบเป็นดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าแรงที่อ่านได้จากการวัดค่าแรงมาตรฐาน

Indicated Force	Standard Force Reading			Mean Value	Relative Error of Accuracy	Expanded Uncertainty
	Run 1	Run 2	Run 3			
N	N	N	N	N	%	% (±)
1000	998.4	998.8	998.8	998.67	0.13	0.07
2000	1999.1	1998.2	1998.3	1998.53	0.07	0.08
3000	2996.8	2997.2	2996.9	2996.97	0.10	0.07
4000	3994.3	3994.4	3995.1	3994.60	0.13	0.07
5000	4992.2	4992.4	4993.6	4992.73	0.15	0.07

ในการตีความผลการสอบเทียบว่าเครื่องมือวัดนั้น ผ่านเกณฑ์การสอบเทียบหรือไม่นั้น จะอ้างอิงจากมาตรฐาน ISO14253-1:1998 กล่าวคือ การที่จะตัดสินได้ว่าเครื่องมือวัดผ่านเกณฑ์การสอบเทียบได้นั้น ค่าของ (Error + Uncertainty) < Require accuracy เมื่อ

Error หมายถึง ค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่อ่านได้กับมาตรฐานที่ป้อน ในที่นี้คำนวณเป็นค่า %Relative Error of Accuracy โดยคำนวณจาก

$$\%\text{Relative Error of Accuracy} = \frac{\text{ค่ามาตรฐาน} - \text{ค่าที่อ่านได้}}{\text{ค่ามาตรฐาน}} \times 100$$

Uncertainty หมายถึง ค่าความไม่แน่นอนของการวัดในการสอบเทียบมาตรฐาน ซึ่งหน่วยงานภายนอกที่ทำการสอบเทียบจะทำการคำนวณและรายงานมาในใบรายงานผลการสอบเทียบ

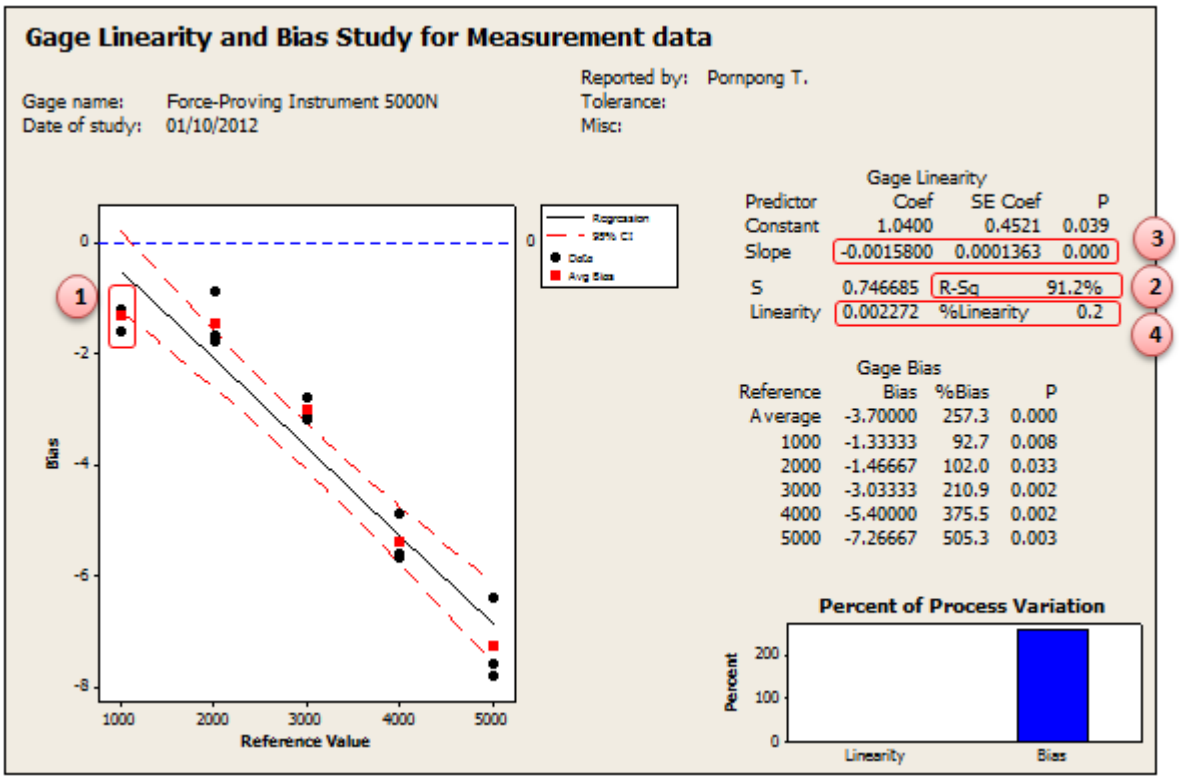
Require accuracy หมายถึง เกณฑ์ความถูกต้องที่ยอมรับได้

ทั้งนี้ เกณฑ์ความถูกต้องที่ยอมรับได้ ที่ทางโรงงานตั้งไว้อยู่ 2% การทวนสอบว่าเครื่องมือวัดมีความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์หรือไม่ ทำได้โดยนำค่า Relative error of accuracy (%) รวมกับค่า

Uncertainty ในช่วงที่ใช้งาน เช่น ที่ 1000 N พบว่า มีค่าเท่ากับ 0.02% ซึ่งไม่เกิน 2% จึงสรุปได้ว่าเครื่องมือวัดดังกล่าวผ่านเกณฑ์การสอบเทียบในช่วงที่ใช้งานที่ 1000 N เป็นต้น

4.3.2 การประเมินคุณสมบัติเชิงเส้นตรง

ในการประเมินความถูกต้องของเครื่องมือทดสอบ ควรมีการศึกษาคุณสมบัติเชิงเส้นตรง (Linearity) ของระบบการวัดร่วมด้วย โดยค่าคุณสมบัติเชิงเส้นตรง หมายถึง ระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าไบอัสของระบบการวัด เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่ามาตรฐานของงานตามย่านวัดที่กำหนด โดยในการวิเคราะห์ระบบการวัดนั้น ต้องการให้คุณสมบัติเชิงเส้นตรงมีค่าต่ำกว่า 5% เนื่องจากไม่ต้องการให้ค่าไบอัสมีค่าเพิ่มมากขึ้น เมื่อเพิ่มค่ามาตรฐานของงานที่ใช้วัด ทั้งนี้ได้นำผลที่ได้จากการสอบเทียบเครื่องมือวัดจากตารางที่ 4.1 มาใช้ประเมินผลคุณสมบัติเชิงเส้นตรงของระบบการวัด โดยใช้โปรแกรม Minitab ได้ผลการวิเคราะห์ ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 การประเมินคุณสมบัติด้านเชิงเส้นตรง

จากผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab ดังรูปที่ 4.5 สามารถอธิบายได้ดังนี้

1. ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 91.2% หมายความว่า ความผันแปรในข้อมูลไบอัส 100 หน่วย^{2}จะอธิบายได้ว่ามีสาเหตุมากจากค่าอ้างอิงจำนวน 91.2 หน่วย^2 ซึ่งถือว่าข้อมูลมีความเหมาะสมในการใช้วิเคราะห์ระบบการวัด ทั้งนี้โดยทั่วไปแนะนำว่า ควรมีค่าไม่ต่ำกว่า 70% (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2553ข)
2. ค่าความชัน ซึ่งหมายถึง การเปลี่ยนแปลงของค่าไบอัสโดยเฉลี่ยเมื่อค่าอ้างอิงเปลี่ยนแปลงไป 1 หน่วย มีค่าเท่ากับ -0.00158 ที่สามารถตัดสินแบบยืนยันผลได้ว่ามีความแตกต่างจากศูนย์อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าระบบการวัดที่ศึกษามีผลจากคุณสมบัติเชิงเส้นตรง
3. ดัชนีเส้นตรง สามารถคำนวณได้ดังนี้

ดัชนีเชิงเส้นตรง = ค่าความชัน x ความผันแปรของกระบวนการ

= | -0.00158 | x 1.438

= 0.0027

ค่าดัชนีเชิงเส้นตรงมีค่า 0.0027 หมายความว่า ภายใต้ความผันแปรของกระบวนการจะทำให้ค่าไบอัสมีการเปลี่ยนแปลงไปโดยเฉลี่ย 0.0027 หรือคิดเป็นร้อยละของความผันแปรของกระบวนการได้ ดังสูตร

$$\%\text{เชิงเส้นตรงจองความผันแปรกระบวนการ} = \frac{\text{ดัชนีเชิงเส้นตรง}}{\text{ความผันแปรของกระบวนการ}} \times 100\%$$

$$= \frac{0.0027}{1.438} \times 100\%$$

$$= 0.19\%$$

จากค่าร้อยละของความผันแปรของกระบวนการได้เท่ากับ 0.19% ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 5% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยไม่ต้องมีการแก้ไข (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2553ข)

4.4 การวิเคราะห์ความแม่นยำของผู้ใช้เครื่องมือวัดความแข็งแรง

การวิเคราะห์ระบบการวัดนั้น นอกจากจะทำการประเมินผลค่าความผันแปรของระบบการวัดเพื่อประกอบการตัดสินใจตามเกณฑ์การยอมรับแล้ว ต้องทำการวิเคราะห์หาสาเหตุความผันแปรที่มีต่อค่าวัด ทั้งนี้ ในการวิเคราะห์ความแม่นยำของผู้ใช้เครื่องวัดความแข็งแรง ได้ทำการประเมินผลด้านรีพีททิบิลิตี้ (Repeatibility) แสดงความผันแปรที่เกิดจากการวัดซ้ำของพนักงาน และรีโปรดิวซิบิลิตี้ (Reproducibility) แสดงความผันแปรระหว่างพนักงานวัดโดยทางทีมงานได้อ้างอิงตามการวิเคราะห์ระบบการวัด MSA (ประมวลผลด้วย Minitab 15) (กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2553ข) ซึ่งอ้างอิงจากมาตรฐาน AIAG (2002)

ขั้นตอนการเตรียมการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด

1) การกำหนดแนวทางในการศึกษา : ทำการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดความแข็งแรง โดยศึกษาคุณสมบัติด้านรีพีททิบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้ของพนักงานที่ทำการวัด
2) การกำหนดจำนวนของพนักงานวัด : พนักงานควบคุมคุณภาพที่ใช้เครื่องทดสอบความแข็งแรง จำนวน 2 คน
3) การเลือกชิ้นงานสำหรับทดสอบ : สุ่มเก็บตัวอย่างแผ่นบอร์ดหลังออกจากเครื่องอบ โดยเก็บตัวอย่างแผ่นบอร์ดความหนา 11 มิลลิเมตร จำนวน 15 แผ่นบอร์ด โดยสุ่มเก็บตัวอย่างในหลายๆ รอบการผลิต เพื่อให้ตัวอย่างที่ได้ครอบคลุมช่วงความแปรผันของกระบวนการผลิต
4) การกำหนดอุปกรณ์วัดหรือเกจ : เครื่องทดสอบความแข็งแรง LLOYD รุ่น EZ20 จำนวน 1 เครื่อง
5) การเลือกจำนวนซ้ำของการวัด : ในการกำหนดขนาดสิ่งตัวอย่าง ทางทีมงานได้อ้างอิงจากการวิเคราะห์ระบบการวัด MSA (ประมวลผลด้วย Minitab 15) (กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2553ข) ซึ่งอ้างอิงมาจาก Fasser and Brettner (1992, p.191) โดยกำหนดให้ใช้ตัวอย่างจำนวน 15 ตัวอย่าง จำนวนการวัดซ้ำในแต่ละชิ้นงาน 3 ซ้ำ

ทั้งนี้ เนื่องจากเป็นการทดสอบแบบทำลาย จึงกำหนดให้ใช้ตัวอย่างจากแผ่นบอร์ดแผ่นเดียวกันในการทดสอบ 1 ตัวอย่าง

6) การกำหนดแผนการทดลอง : ในการออกแบบตารางสำหรับการทดสอบ ทำโดยใช้โปรแกรม Minitab Release 15 ซึ่งดำเนินการด้วยหลักการสำคัญ 2 ประการ คือ การสุ่ม (Randomization) และการทำซ้ำ (Replication)

คำสั่งที่ใช้ในการออกแบบตารางสำหรับการทดสอบด้วยโปรแกรม Minitab Release 15 เป็นดังนี้

1. เลือก Stat > Quality Tools > Gage Study > Create Gage R&R Study Worksheet
2. ในช่อง Number of parts ใส่ค่า 15
3. ในช่อง Number of operators ใส่ค่า 2
4. ในช่อง Number of replicates ใส่ค่า 3
5. เมื่อใส่ค่าในช่องครบ โปรแกรม Minitab Release 15 จะทำการสร้างตารางการทดสอบให้ โดยแสดงในตารางที่ 1.3

อธิบายขั้นตอนในการประเมินผลระบบการวัด โดยให้พนักงานฝ่ายประกันคุณภาพ 2 คน ซึ่งเป็นผู้ทำการทดสอบความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ ทำการทดสอบตัวอย่างตามตารางที่ 4.2 โดยเลือกชิ้นตัวอย่างทดสอบตามที่ได้กำหนดหมายเลขไว้ ในการทดสอบนี้เป็นการทดสอบแบบทำลาย เนื่องจากตัวอย่างที่ใช้ทดสอบต้องถูกหักด้วยเครื่องทดสอบ ไม่สามารถนำกลับมาทดสอบอีกครั้งได้ ทำการวัดตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

ตารางที่ 4.2 ลำดับการวัดค่าความแข็งแรงของตัวอย่างเพื่อประเมินความแม่นยำ

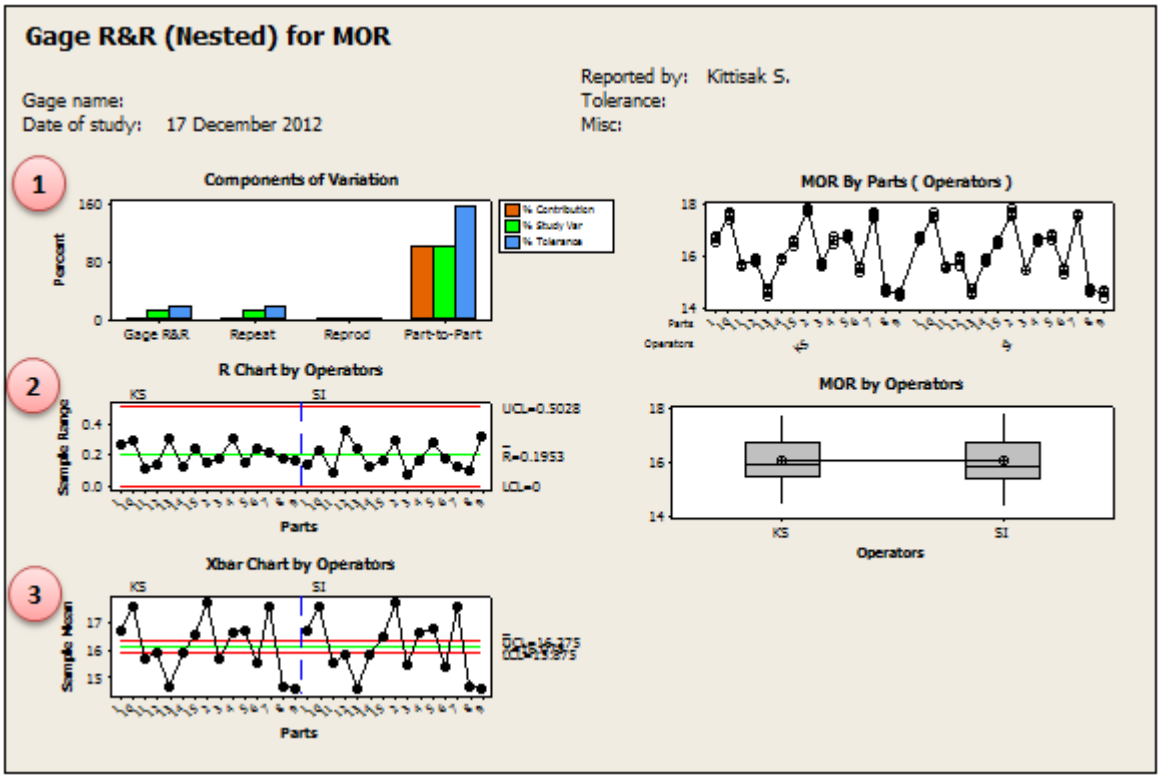
RunOrder	Parts	Operators
1	6	KS
2	13	KS
3	9	KS
4	1	KS
5	15	KS
6	2	KS
7	12	KS
8	14	KS
9	3	KS
10	11	KS
11	8	KS
12	5	KS
13	7	KS
14	4	KS
15	10	KS
16	3	SI
17	6	SI
18	8	SI
19	7	SI
20	14	SI
21	5	SI
22	10	SI
23	15	SI
24	2	SI
25	12	SI
26	1	SI
27	13	SI
28	11	SI
29	9	SI
30	4	SI
31	6	KS
32	2	KS
33	5	KS
34	3	KS
35	9	KS
36	11	KS
37	14	KS
38	12	KS
39	15	KS
40	8	KS
41	7	KS
42	4	KS
43	13	KS
44	1	KS
45	10	KS

RunOrder	Parts	Operators
46	2	SI
47	14	SI
48	1	SI
49	10	SI
50	12	SI
51	15	SI
52	5	SI
53	9	SI
54	7	SI
55	13	SI
56	3	SI
57	8	SI
58	11	SI
59	4	SI
60	6	SI
61	14	KS
62	15	KS
63	3	KS
64	7	KS
65	8	KS
66	13	KS
67	12	KS
68	4	KS
69	9	KS
70	1	KS
71	10	KS
72	2	KS
73	5	KS
74	6	KS
75	11	KS
76	13	SI
77	4	SI
78	6	SI
79	9	SI
80	14	SI
81	11	SI
82	8	SI
83	12	SI
84	2	SI
85	7	SI
86	15	SI
87	5	SI
88	3	SI
89	10	SI
90	1	SI

เมื่อพนักงานควบคุมคุณภาพวัดค่าความแข็งแรงของตัวอย่างจนครบแล้ว นำผลการทดสอบมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Minitab Release 15 เนื่องจากเป็นการทดสอบแบบทำลาย จึงเลือกการวิเคราะห์ระบบการวัดด้วยวิธีสุ่มซ้อน (Nested Gage ANOVA) ซึ่งใช้ในกรณีที่ไม่สามารถดำเนินการวัดโดยให้พนักงานทำการวัดซ้ำบนชิ้นงานเดียวกันได้ (กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2553ข) โดยเลือกคำสั่งดังนี้

Stat > Quality Tools > Gage Study > Gage R&R Study (Nested)

ผลการวิเคราะห์ เป็นดังรูปที่ 4.4 และ



รูปที่ 4.4 ผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์ของวิธี Nested ANOVA

Gage R&R Study - Nested ANOVA

Gage R&R (Nested) for MOR

Gage name:
Date of study: 17 December 2012
Reported by: Kittisak S.
Tolerance:
Misc:

Gage R&R (Nested) for MOR

Source	DF	SS	MS	F	P
Operators	1	0.0384	0.03844	0.011	0.917 (4)
Parts (Operators)	28	96.4681	3.44529	291.042	0.000 (5)
Repeatability	60	0.7103	0.01184		
Total	89	97.2168			

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.01184	1.02
Repeatability	0.01184	1.02
Reproducibility	0.00000	0.00
Part-To-Part	1.14448	98.98
Total Variation	1.15632	100.00

Lower process tolerance limit = 14

Source	StdDev (SD) (6)	Study Var (6 * SD) (7)	%Study Var (%SV) (8)	%Tolerance (SV/Toler) (9)
Total Gage R&R	0.10880	0.65281	10.12	15.73
Repeatability	0.10880	0.65281	10.12	15.73
Reproducibility	0.00000	0.00000	0.00	0.00
Part-To-Part	1.06981	6.41883	99.49	154.65
Total Variation	1.07532	6.45194	100.00	155.44

Number of Distinct Categories = 13 (10)

รูปที่ 4.5 ผลลัพธ์ในส่วน Session ของวิธี Nested ANOVA

โดยสามารถอธิบายผลได้ดังนี้

1. จากกราฟ Component of Variation พบว่า ค่าความแปรปรวนอันเนื่องมาจากความแตกต่างของชิ้นงาน (Part to Part) เท่ากับ 98.98% ซึ่งมีค่ามากกว่าความแปรปรวน

อันเนื่องมาจากระบบการวัดของเครื่องมือทดสอบ (Total Gage R&R) ที่มีค่าเพียง 1.02% เท่านั้น ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า ความผันแปรส่วนใหญ่ของระบบการวัดนี้มาจากความแตกต่างของลักษณะชิ้นงาน

2. จากแผนภูมิควบคุมพิสัย (R Chart) พบว่า พนักงานทั้ง 2 คน มีการวัดที่สม่ำเสมอ สังเกตจากค่าพิสัยของข้อมูลไม่เกินค่าขอบเขตของการควบคุมทางสถิติ และมีคุณสมบัติด้านความสามารถในการแยกความแตกต่างของระบบการวัด (Resolution) เพียงพอ จากค่า R ที่แตกต่างกันมากกว่า 3 ค่า ที่อยู่ภายใต้พิกัดควบคุม
3. จากแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย (X bar chart) พบว่า ค่าเฉลี่ยของค่าวัดส่วนใหญ่อยู่นอกขอบเขตการควบคุมทั้งขอบเขตบนและขอบเขตล่าง (UCL และ LCL) เนื่องจากความผันแปรส่วนใหญ่มาจากชิ้นงานที่มีลักษณะแตกต่างกัน แต่ค่าความผันแปรจากเครื่องมือทดสอบมีค่าน้อย
4. เนื่องจากค่า P-value ของพนักงานวัดมีค่าเท่ากับ 0.917 จึงสามารถสรุปได้ว่าพนักงานวัดไม่มีอิทธพลอย่างมีนัยสำคัญต่อความผันแปรของข้อมูลในระบบการวัด
5. เนื่องจากค่า P-value ของพนักงานวัดมีค่าน้อยกว่า 0.0005 สามารถสรุปได้ว่าชิ้นงานที่ใช้ทดสอบให้ผลต่อค่าวัดที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
6. ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลทั้งหมด เท่ากับ 1.07532 MPa โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากความแตกต่างของชิ้นงานเป็นส่วนใหญ่เท่ากับ 1.06981 MPa และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากระบบการวัดเพียง 0.10880 MPa
7. ความผันแปรที่ได้จากระบบการวัดหรือประชากร (Study Variance : SV) ทั้งหมดเท่ากับ 6.45194 MPa โดยเป็นความผันแปรจากชิ้นงาน 6.41883 MPa และความผันแปรจากระบบการวัดเท่ากับ 0.65281 MPa
8. พิจารณาค่าความผันแปรของระบบการวัด เมื่อทำการประเมินผลเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ (%SV หรือ P/TV) จากค่า P/TV เท่ากับ 10.12% ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 10% และ 30% ทั้งนี้ จากการอ้างอิงตาม AIAG อาจจะยอมรับความสามารถของระบบการวัดได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับความสำคัญในสิ่งที่ประยุกต์ใช้ โดยคณะกรรมการได้มีความเห็นร่วมกันในการยอมรับกระบวนการวัดดังกล่าว เนื่องจาก

เป็นการทดสอบแบบทำลาย ไม่ได้ใช้ชิ้นงานชิ้นเดียวกันในการวัด ค่าที่วัดอาจมีความแตกต่างกันได้ อีกทั้งค่า P/TV มีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่ยอมรับกระบวนการ คือ 10% เพียงเล็กน้อย

9. ค่าความคลาดเคลื่อนอนุโลมของข้อกำหนดเฉพาะ (Precision to Tolerance ratio : P/T) คิดเป็น 15.73% ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 10% และ 30% ทั้งนี้ จากการอ้างอิงตาม AIAG อาจจะยอมรับความสามารถของระบบการวัดได้ โดยคณะกรรมการได้มีความเห็นร่วมกันในการยอมรับกระบวนการวัดดังกล่าว เนื่องจากเป็นการทดสอบแบบทำลาย ไม่ได้ใช้ชิ้นงานชิ้นเดียวกันในการวัด ค่าที่วัดอาจมีความแตกต่างกันได้ อีกทั้งค่า P/T มีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่ยอมรับกระบวนการ คือ 10% เพียงเล็กน้อย
10. ค่า Number of Distinct Categories มีค่าเท่ากับ 13 หมายความว่า ระบบการวัดนี้สามารถแยกกลุ่มของข้อมูลวัดได้ 13 กลุ่มที่มีความแตกต่างกัน แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากระบบการวัดนี้ สามารถประมาณค่าความผันแปรของกระบวนการวัดได้ ทั้งนี้ค่า ndc ที่มีค่ามากกว่า 5 ประเภทนั้น จะส่งผลต่อการควบคุมกระบวนการ โดยสามารถใช้สร้างแผนภูมิควบคุมเชิงผันแปรที่ตรวจจับความผันแปรได้ดีและมีความเหมาะสมกับการประมาณค่าพารามิเตอร์และดัชนี Cp และ Cpk ได้

4.5 สรุปผลการวิเคราะห์ระบบการวัด

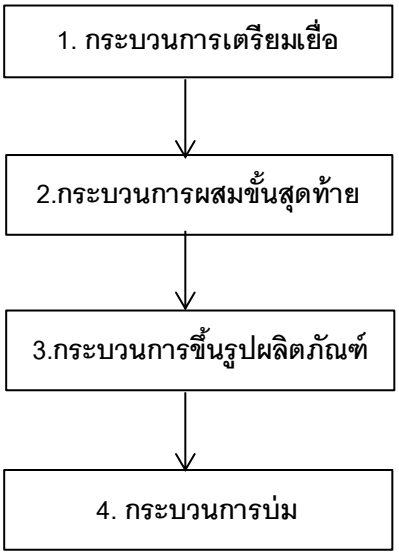
ในระยะวัดนี้ ทางทีมงานได้ทำการวิเคราะห์ระบบการวัดค่าความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ หรือ ค่า MOR โดยแบ่งออกเป็นการวิเคราะห์ความถูกต้องของเครื่องทดสอบความแข็งแรงของวัสดุจากการสอบเทียบโดยหน่วยงานภายนอก พบว่า ความถูกต้องของเครื่องมือวัดอยู่ในเกณฑ์ควบคุมของโรงงาน จากนั้น นำผลการสอบเทียบมาทดสอบค่า %เชิงเส้นตรง พบว่า มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ ไม่ต้องทำการแก้ไข และในระยะนี้ ยังได้ทำการวิเคราะห์ระบบการวัดเพื่อประเมินผลด้านรีพีททิบิลิตี้แสดงความผันแปรที่เกิดจากการวัดซ้ำของพนักงานและรีโปรดิวซิบิลิตี้ แสดงความผันแปรระหว่างพนักงานวัดโดยทางทีมงาน จากผลการวิเคราะห์ สามารถยอมรับกระบวนการดังกล่าวได้

บทที่ 5
การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze Phase)

การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาไม้เปราะ แตกหักง่ายหรือความแข็งแรงของแผ่นบอร์ดต่ำ เพื่อดำเนินการปรับปรุงนั้น ทางทีมงานได้เลือกเครื่องมือคุณภาพที่นำมาประยุกต์ใช้คือ การหาความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลของปัญหา (Cause and Effect) และการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis ; FMEA) เพื่อให้สามารถหาสาเหตุของปัญหาได้อย่างครบถ้วน

5.1 รายละเอียดกระบวนการผลิต

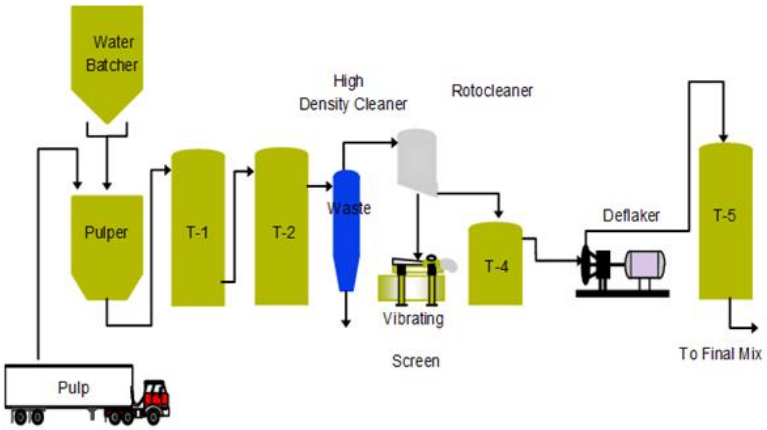
การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา เริ่มจากการเขียนแผนภาพกระบวนการ (Process map) และรายละเอียดกระบวนการ (Process details) เพื่อทบทวนสถานะปัจจุบันของกระบวนการและสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับหน้าที่และแนวความคิดของกระบวนการ โดยอยู่ภายใต้หลักการ 3 จริง คือ ไปยังสถานที่เกิดเหตุการณ์จริง เพื่อสังเกตของจริง ภายใต้สภาพแวดล้อมจริงแผนภาพกระบวนการผลิตแผ่นบอร์ดไฟเบอร์ซีเมนต์ ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 แผนภาพกระบวนการผลิตแผ่นบอร์ดไฟเบอร์ซีเมนต์

จากรูป 5.1 สามารถอธิบายรายละเอียดของกระบวนการได้ดังนี้

5.1.1 กระบวนการเตรียมเยื่อ



รูปที่ 5.2 กระบวนการเตรียมเยื่อ

ขั้นตอนที่ 1 : นำกระดาษดีแอลเค ที่จะใช้ตีมากองเรียงกันไว้ในจุดที่กำหนดไว้

ขั้นตอนที่ 2 : สุ่มตัวอย่างเยื่อดีแอลเคและส่งตัวอย่างไปยังห้องทดลองเพื่อหาค่าฟรีเนสประจำวัน

ขั้นตอนที่ 3 : กำหนดสูตรการตีเยื่อจากค่าฟรีเนสประจำวันและจำนวนแบทช์ที่จะทำการตีในแต่ละวันลงในโปรแกรม Fiber weight control

ขั้นตอนที่ 4 : ชั่งน้ำหนักกระดาษแต่ละชนิดตามสูตรที่กำหนดไว้ โดยน้ำหนักกระดาษที่ชั่งจะถูกควบคุมโดยโปรแกรม Fiber weight control ซึ่งน้ำหนักกระดาษจะไม่สามารถชั่งเกินค่าที่กำหนดได้ เนื่องจากโปรแกรมจะไม่ทำการบันทึกค่าน้ำหนัก

ขั้นตอนที่ 5 : ละลายสารส้มและซิลิกาฟูมในถังกวน (Mixer)

ขั้นตอนที่ 6 : เติมน้ำลงในถังเปิดตัวเยื่อ (Pulper)

ขั้นตอนที่ 7 : ใส่กระดาษลงในถังเปิดตัวเยื่อ ตีเยื่อกระดาษ 5 นาที จากนั้นเติมสารละลายสารส้ม ตี 35 นาที และเติมสารละลายซิลิกาฟูม ทำการตีวัตถุดิบทั้งหมดจนครบเวลา 65 นาที

ขั้นตอนที่ 8 : ปั๊มส่งเยื่อจากถังเปิดตัวเยื่อไปยังถังพักน้ำเยื่อ-1 (TINA-1) โดยผ่านเครื่องคัดแยก (Separator) เยื่อกระดาษที่ตีไม่แตก รวมถึงสิ่งแปลกปลอมต่างๆ ที่ปนมากับกระดาษ เช่น เศษพลาสติก เศษกระดาษแข็ง เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 9 : ปั๊มเยื่อกระดาษจากถังพักน้ำเยื่อ-1 ไปยังถังพักน้ำเยื่อ-2 (TINA-2) โดยผ่านเครื่องรีดน้ำ (Verticle Press) ตัวที่ 1 และ 2 เพื่อควบคุมความเข้มข้นของน้ำเยื่อ โดยจะมีมิเตอร์วัดค่าความเข้มข้น (Consistency meter) ที่ทางออกของถังพักน้ำเยื่อ-2 เพื่อตรวจสอบค่าความเข้มข้นและปรับค่าความเข้มข้นให้เข้าใกล้ค่าที่กำหนดโดยอัตโนมัติ

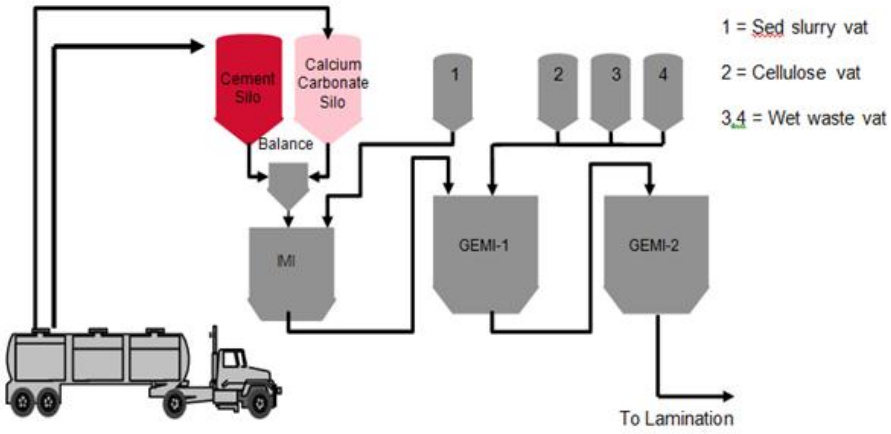
ขั้นตอนที่ 10 : ปั๊มเยื่อกระดาษจากถังพักน้ำเยื่อ-2 ไปยังเครื่องคัดแยก (Rotocleaner) โดยผ่านเครื่องคัดแยกอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ (High density cleaner) เพื่อคัดแยกอนุภาคที่มีขนาดใหญ่และมีน้ำหนัก เช่น เศษก้อนหิน เศษพลาสติก เป็นต้น โดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก โดยอนุภาคของแข็งจะตกลงสู่ด้านล่าง

ขั้นตอนที่ 11 : น้ำเยื่อที่ผ่านเครื่องคัดแยกจะถูกส่งไปยังถังพักน้ำเยื่อ-4 (TINA-4) ส่วนเยื่อที่ไม่ผ่านการคัดแยกจะถูกนำมาแยกน้ำออก เพื่อนำน้ำกลับมาใช้ในระบบอีกครั้ง โดยผ่านตะแกรง (Vibrating screen) ส่วนที่แยกน้ำออกนั้น นำออกไปทิ้ง

ขั้นตอนที่ 12 : ปั๊มน้ำเยื่อจากถังพักน้ำเยื่อ-4 (TINA-4) ไปยังถังพักน้ำเยื่อ-5 (TINA-5) โดยผ่านเครื่องรีดน้ำตัวที่ 3 เพื่อควบคุมความเข้มข้นของน้ำเยื่อ เยื่อจะผ่าน Deflaker เพื่อแยกเยื่อกระดาษให้ออกจากกัน โดยเยื่อที่ผ่าน Deflaker จะมีการกระจายตัวและการเรียงตัวของส้นใยดีขึ้น โดยจะมีมิเตอร์วัดค่าความเข้มข้นของน้ำเยื่อที่ทางออกของถังพักน้ำเยื่อ-5 เพื่อตรวจสอบความเข้มข้นและปรับค่าความเข้มข้นให้เข้าใกล้ค่าที่กำหนด

ขั้นตอนที่ 13 : ปั๊มส่วนผสมจากถังพักเยื่อกระดาษ-5 ไปยังชุดผสมขั้นสุดท้าย (Final mix)

5.1.2 กระบวนการผสมขั้นสุดท้าย



รูปที่ 5.3 กระบวนการผสมขั้นสุดท้าย

ขั้นตอนที่ 14 : การผลิตจะดำเนินตามหน่วยงานวางแผน โดยส่วนผสมต่างๆ จะถูกกำหนดตามความหนาของแผ่นบอร์ดน้ำหนักวัตถุดิบจะถูกบันทึกไว้ในโปรแกรม Lynxbatch ซึ่งสามารถเรียกมาใช้งานตามการผลิตแผ่นบอร์ดแต่ละความหนา

ขั้นตอนที่ 15 : ถัง IMI

- เติมน้ำลงในถัง IMI ที่ระดับต่ำสุด (Low Level)
- ปูนซีเมนต์จะถูกชั่งลงในถังชั่งน้ำหนัก (Balance Tank) ตามน้ำหนักที่ถูกบันทึกในโปรแกรม Lynxbatchลงในถัง IMI
- แคลเซียมคาร์บอเนตจะถูกชั่งลงในถังชั่งน้ำหนัก (Balance Tank) ตามน้ำหนักที่ถูกบันทึกในโปรแกรม Lynxbatch ลงในถัง IMI
- เติมน้ำจากถังของแข็งตกตะกอน (Sed)
- กวนส่วนผสมตามระยะเวลาที่กำหนด

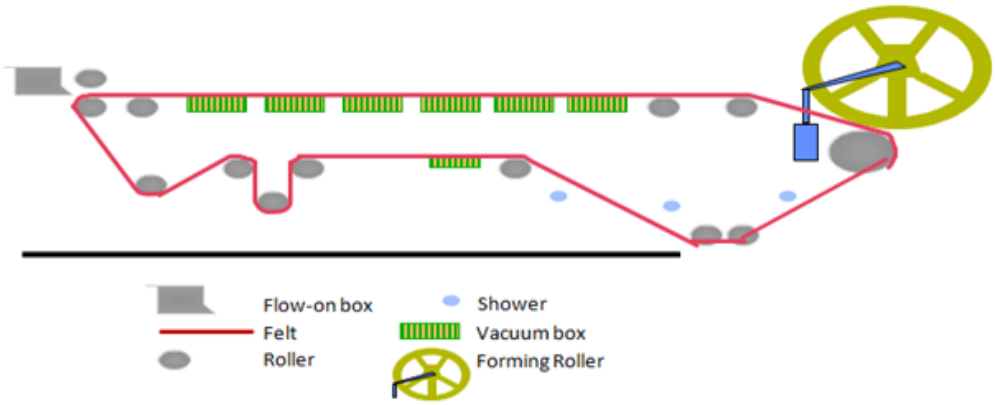
ขั้นตอนที่ 16 : เติมส่วนผสมลงในถังตวงส่วนผสมถังของแข็งตกตะกอน (Sed) ถังน้ำเยื่อ (Cellulose) และถังเศษเปียก (Wet waste)

ขั้นตอนที่ 17 : ถัง GEMI 1วัตถุดิบจากถังต่างๆ จะถูกเรียกมายังถัง GEMI 1 เมื่อระดับของ Slurry ในถัง GEMI 1 อยู่ที่ระดับต่ำสุด

ขั้นตอนที่ 18 : ถัง GEMI 2 ส่วนผสมจากถัง GEMI 1 จะถูกส่งไปยังถัง GEMI 2 จนระดับส่วนผสมในถัง GEMI 2 จนถึงระดับสูงสุด

ขั้นตอนที่ 19 : การเติมส่วนผสมจากถัง IMI --> GEMI 1 --> GEMI 2 จะถูกกำหนดจากระดับในถัง GEMI 1 หรือ GEMI 2 ลดต่ำลงถึงระดับที่ตั้งไว้ (Low level)

5.1.3 กระบวนการขึ้นรูปแผ่นบอร์ด



รูปที่ 5.4 กระบวนการขึ้นรูปแผ่นบอร์ด

ขั้นตอนที่ 20 : ส่วนผสมจากถัง GEMI 2 จะถูกส่งมายัง Flow-on box ซึ่งจะมีใบกวนทำหน้าที่ในการกระจายส่วนผสมที่ส่งออกจาก Flow-on box ไปยัง Felt ให้มีความสม่ำเสมอกัน

ขั้นตอนที่ 21 : ส่วนผสมจาก Flow-on box จะถูกปล่อยลงบน Felt ซึ่งเคลื่อนที่โดยอาศัยแรงหมุนของ Roller โดยระหว่างที่ส่วนผสมถูกปล่อยจาก Flow-on box นั้น จะถูกกั้นโดย Calibration roller เพื่อให้ความหนาของแผ่นฟิล์มมีค่าสม่ำเสมอกัน

ขั้นตอนที่ 22 : ส่วนผสมที่ถูกปล่อยลงบน Felt จะเคลื่อนที่ไปกับ Felt ผ่าน Scrapper box ซึ่งรองรับน้ำที่ไหลจากส่วนผสมและถูกดูดความชื้นออก โดย Vacuum Fan และ Vacuum box จำนวน 7 ตัว ทั้งนี้ ความชื้นของแผ่นฟิล์มจะลดลงเรื่อยๆ ลักษณะเป็นเส้นตรง

ขั้นตอนที่ 23 : น้ำที่ถูกดูดจาก Vaccuum box จะลงไปยังบ่อ Pit ซึ่งจะถูกดูดโดย Pit pump เพื่อไปทำการตกตะกอนที่ถัง Cone-1 และนำน้ำกลับมาใช้ในกระบวนการผลิตต่อไป

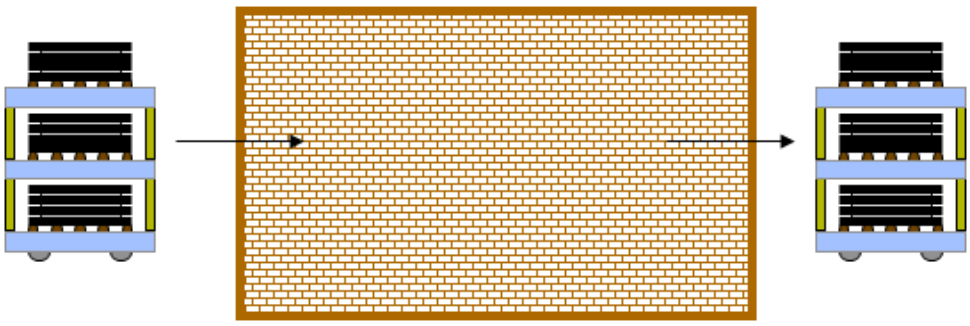
ขั้นตอนที่ 24 : เมื่อแผ่นฟิล์มถูกดูดความชื้นจนถึง Vacuum box ตัวที่ 7 จนมีความชื้นประมาณ 40% จากนั้นแผ่นฟิล์มจะถูกขึ้นรูปเป็นชั้นด้วย Forming roller โดยความหนาของแผ่นบอร์ดจะถูกกำหนดด้วยจำนวนรอบของแผ่นฟิล์มที่ถูกขึ้นรูปโดย Forming roller ซึ่งจะมีตัว Sensor จับความหนาของแผ่นบอร์ดเปียกอยู่

ขั้นตอนที่ 25 : ระหว่างการขึ้นรูปแผ่นโดย Forming roller นั้น แผ่นฟิล์มขณะขึ้นรูปจะถูกอัดด้วย Pressure roller ซึ่งอยู่ด้านล่างของ Forming roller ช่วยในการควบคุมความชื้นของแผ่นบอร์ดให้อยู่ในค่าที่ควบคุมไว้ ทั้งนี้ แรงในการอัด (Pressure step) จะมีค่าเป็นขั้นบันไดขึ้นอยู่กับจำนวนรอบของแผ่นฟิล์มที่ถูกขึ้นรูป

ขั้นตอนที่ 26 : เมื่อแผ่นบอร์ดได้ความหนาตามที่ต้องการจะถูกตัดโดยสลิงและถูกลำเลียงไปบนสายพานเพื่อตัดขอบด้านหัว-ท้ายและด้านข้าง จากนั้นแผ่นบอร์ดจะถูกส่งไปยังเครื่องเรียงแผ่นก่อนเข้าห้องบ่มครั้งที่ 1

ขั้นตอนที่ 27 : หลังจากแผ่นฟิล์มถูกขึ้นรูป Felt จะถูกทำความสะอาดโดย Shower เพื่อให้ผ้า Felt สะอาดไม่อุดตันจากเศษปูนซีเมนต์

5.1.4 กระบวนการบ่ม



รูปที่ 5.5 กระบวนการบ่มผลิตภัณฑ์

ขั้นตอนที่ 28 : แผ่นบอร์ดที่ถูกเรียงบนรถลำเลียง จะถูกนำไปผ่านกระบวนการบ่มในห้องบ่มครั้งที่ 1 โดยจะมีไอน้ำที่ถูกจ่ายมาจากหม้อไอน้ำ เพื่อให้ปูนซีเมนต์เกิดปฏิกิริยาและแผ่นบอร์ดมีความแข็งระดับหนึ่งให้สามารถนำไปผ่านกระบวนการแยกแผ่นได้โดยไม่เกิดการเสียรูป

ขั้นตอนที่ 29 : แผ่นบอร์ดที่ถูกบ่มจนครบกำหนดเวลาในห้องบ่มครั้งที่ 1 จะถูกแยกแผ่นบอร์ดออกจากแบบเหล็ก เพื่อนำผลิตภัณฑ์เข้าสู่กระบวนการบ่มครั้งที่ 2 โดยแบบเหล็กจะถูกทำความสะอาดและส่งกลับไปให้ในส่วนเรียงแผ่นบอร์ด (Stacking) เพื่อนำไปใช้งานต่อไป

ขั้นตอนที่ 30 : แผ่นบอร์ดที่ถูกแยกกองแล้ว จะถูกส่งไปบ่มครั้งที่ 2 ในห้องบ่มที่ 2 เพื่อให้ปูนซีเมนต์ทำปฏิกิริยาอย่างเต็มที่ ช่วยให้ไอน้ำในผลิตภัณฑ์มีการระเหยด้วยอัตราคงที่

5.2 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์

ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์ สามารถแบ่งออกเป็น 6 ประเภท ตามหลักการ 5M 1E ได้แก่

- พนักงานฝ่ายผลิต (Man)
- เครื่องจักร (Machine)
- วัตถุดิบ (Material)
- วิธีการผลิต (Method)
- วิธีการวัด (Measurement)
- สิ่งแวดล้อม (Environment)

จากการระดมสมองของทีมงานปรับปรุงความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ ซึ่งประกอบด้วย ผู้จัดการโรงงาน 1 วิศวกรฝ่ายผลิต ผู้จัดการส่วนประกันคุณภาพ และวิศวกรควบคุมคุณภาพ สามารถสรุปตัวแปรที่อาจจะส่งผลต่อความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ ได้ทั้งหมด 39 ตัวแปร (X1-X39) จากการพิจารณาตามรายละเอียดของกระบวนการ ทั้งนี้ สามารถให้ความหมายของแต่ละตัวแปรเพื่อสร้างความเข้าใจกันภายในทีมงาน ดังนี้

ตัวแปรที่ 1 (X1) : ค่าฟรีเนสกระดาษดีแอลเค (DLK) เป็นปัจจัยด้านวัตถุดิบ (Material)

กระดาษ DLK ถูกใช้เป็นวัตถุดิบหลักในกระบวนการเตรียมเยื่อ โดยกระดาษ DLK เป็นกระดาษที่ถูกนำกลับมาใช้ใหม่ ได้จากการรวบรวมเศษกระดาษกล่องจากโรงงานผลิตบรรจุภัณฑ์ในประเทศอเมริกา เนื่องจากกระดาษ DLK ถูกรวบรวมจากหลายแหล่ง จึงทำให้คุณภาพของเยื่อกระดาษซึ่งเกณฑ์ที่ใช้วัดคุณภาพกระดาษของโรงงานเป็นค่าฟรีเนสที่แสดงถึงความยาวเส้นใย มีค่าแตกต่างกันในแต่ละล็อตที่นำเข้า ซึ่งจะส่งผลต่อความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์สุดท้าย

ตัวแปรที่ 2 (X2) : สูตรการตีเยื่อ เป็นปัจจัยด้านวิธีการผลิต (Method)

จะมีการเปลี่ยนแปลงตามค่าฟรีเนสของกระดาษ DLK ที่หาในแต่ละวัน เพื่อใช้ในการกำหนดสูตร โดยเยื่อที่ใช้เป็นวัตถุดิบหลัก คือ เยื่อ DLK และเยื่อกระดาษหนังสือพิมพ์เก่า (ONP) ซึ่งมีความแตกต่างกันในเรื่องความยาวและความแข็งแรงของเส้นใย ซึ่งสัดส่วนของเยื่อจะส่งผลต่อความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์

ตัวแปรที่ 3(X3) : น้ำหนักกระดาษในแต่ละแบทช์ที่ทำการตีเยื่อ เป็นปัจจัยด้านวิธีการผลิต (Method) หากพนักงานชั่งกระดาษไม่เป็นไปตามสูตรที่ถูกกำหนดไว้ จะส่งผลให้สัดส่วนการตีเยื่อเปลี่ยนแปลงไป ส่งผลต่อความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์

ตัวแปรที่ 4(X4) : ความเข้มข้นของน้ำเยื่อในถังเปิดตัวเยื่อ (Consistency in Pulper) เป็นปัจจัยวิธีการผลิต (Method) จะมีผลต่อการแตกตัวของเส้นใย (Fiber Disintegration) ความเข้มข้นของน้ำเยื่อที่สูงหรือต่ำกว่าค่าคงที่กำหนด จะทำให้การแตกตัวของเยื่อเกิดได้ไม่สมบูรณ์ ทำให้มีเศษเยื่อขนาดใหญ่ค้างอยู่ค้างอยู่ที่เครื่องคัดแยก (Separator) มากผิดปกติ การควบคุมความเข้มข้นน้ำเยื่อทำได้โดยการควบคุมระดับของน้ำที่เติมลงในถังเปิดตัวเยื่อ โดยจะเติมน้ำที่ระดับ 75% ของถังเท่ากับ 10,560 ลิตร

ตัวแปรที่ 5 (X5) : น้ำหนักสารผสมเพิ่ม เป็นปัจจัยด้านวัตถุดิบ (Material) โดยสารผสมเพิ่มที่ใช้ในกระบวนการเตรียมเยื่อคือ สารส้มและซิลิกาฟูม ซึ่งเป็นตัวปรับประจุเยื่อ ช่วยให้เกิดปฏิกิริยาได้ดีกับปูนซีเมนต์ ซึ่งส่งผลต่อค่าความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์

ตัวแปรที่ 6 (X6) : ลำดับการเติมสารส้มและซิลิกาฟูม เป็นปัจจัยด้านวิธีการ (Method) เนื่องจากสารส้มและซิลิกาฟูมช่วยในการปรับประจุเยื่อ โดยเยื่อกระดาษจะมีประจุลบ สารส้มที่มีประจุเป็นบวกจะยึดเกาะกับเส้นใย ส่วนซิลิกาฟูมจะมีประจุเป็นลบยึดเกาะกับอนุภาคสารส้ม

ทั้งนี้ ลำดับการเติมเริ่มจากการเติมสารส้มผสมกับน้ำเยื่อแล้วจึงเติมซิลิกาฟูม ทั้งนี้ หากลำดับการเติมมีการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลต่อคุณภาพเส้นใยในการต้านทานความเป็นด่างของปูนซีเมนต์ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงลดลง

ตัวแปรที่ 7 (X7) : ระยะเวลาการตีเยื่อในถังเปิดตัวเยื่อ เป็นปัจจัยด้านวิธีการผลิต (Method) เวลาที่ใช้ในการตีเยื่อจะมีผลต่อการแตกตัวของเยื่อ โดยปกติจะกำหนดเวลาการตีในแต่ละแบทช์ไว้ที่ 65 นาที แต่เนื่องจากว่าในบางครั้งเยื่อที่นำมาใช้อาจมีส่วนผสมของกาวมากเกินไปทำให้แตกตัวได้ยาก อาจมีการเพิ่มเวลาการตี ซึ่งจะส่งผลให้คุณภาพเยื่อที่ได้แตกต่างกัน

ตัวแปรที่ 8 (X8) : ความเข้มข้นของเยื่อที่ถัง TINA-2 เป็นปัจจัยด้านวิธีการผลิต (Method) เนื่องจากทางออกของถัง TINA-2 จะมีการติดตั้งตัววัดความเข้มข้นของน้ำเยื่อ เพื่อใช้ในการควบคุมวาล์วเติมน้ำในการเจือจางน้ำเยื่อก่อนส่งเข้าระบบการทำความสะอาดเยื่อ และส่งเข้าสู่ Deflaker โดยความเข้มข้นของน้ำเยื่อที่ออกจากถัง TINA-2 จะถูกกำหนดไว้ที่ 3.55% ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมต่อการทำงานของ Deflaker หากค่าความเข้มข้นของน้ำเยื่อต่ำเกินไปจะส่งผลให้เยื่อฉีกขาดได้เมื่อเคลื่อนที่ผ่าน Deflaker ทำให้คุณสมบัติการเสริมแรงของเยื่อลดลง ในทางตรงกันข้ามหากความเข้มข้นของน้ำเยื่อมีค่าสูงเกินไปจะทำให้การกระจายเยื่อของ Deflaker เกิดได้ไม่ดี ทั้งนี้ การควบคุมค่าความเข้มข้นตรงจุดนี้จะเป็นแบบอัตโนมัติ แต่ในกรณีที่ค่าความเข้มข้นของเยื่อที่ส่งมาจากถังเปิดตัวเยื่อแกว่งมากกว่าปกติ หรือวาล์วเติมน้ำเกิดการอุดตันจะทำให้ไม่สามารถควบคุมค่าตามที่กำหนดไว้ได้

ตัวแปรที่ 9 (X9) : ความเข้มข้นของน้ำเยื่อที่ถัง TINA-5 เป็นปัจจัยด้านวิธีการวิเคราะห์ (Method) ตรงทางออกของถัง TINA-5 จะมีการติดตั้งตัวระบบควบคุมความเข้มข้นแบบอัตโนมัติเช่นเดียวกับถัง TINA-2เนื่องจากถัง TINA-5 เป็นถังพักน้ำเยื่อถังสุดท้ายก่อนส่งน้ำเยื่อเข้าสู่กระบวนการผสมขั้นสุดท้าย ค่าที่ควบคุมของเครื่องวัดความเข้มข้นอัตโนมัติ เท่ากับ 3.75-4.05% ซึ่งจะเปรียบเทียบกับค่าควบคุมที่ทดสอบโดยฝ่ายควบคุมคุณภาพที่ 37.5-40.5 กรัมต่อลิตร

ตัวแปรที่ 10 (X10) : ค่าฟรีเนสของน้ำเยื่อ เป็นปัจจัยด้านวัตถุดิบ (Material) โดยจะมีค่าควบคุมอยู่ในช่วง 430 – 530 CSF (Canadian Standard Freeness) ซึ่งมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ดังนี้

- ค่าฟรีเนสของเซลลูโลสไฟเบอร์ต่ำ เนื่องมีการกระจายตัวของไฟเบอร์มาก (มี Specific Area สูง) เส้นใยสั้น สามารถอุ้มปูนและน้ำได้มากขึ้น แต่มีค่าความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ต่ำ (ค่าความแข็งแรงต่ำ) และอาจทำให้เกิดของเสียเนื่องจากผิวหน้าของผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ไม่เรียบ เนื่องจากความชื้นของผลิตภัณฑ์มีค่าสูง
- ค่าฟรีเนสของเซลลูโลสไฟเบอร์สูง เนื่องจากมีการกระจายตัวของไฟเบอร์น้อย (มี Specific Area ต่ำ) เส้นใยยาว สามารถอุ้มปูนและน้ำได้น้อย ซึ่งอาจมีผลทำให้เกิดการแยกชั้นได้ เนื่องจากความชื้นของผลิตภัณฑ์มีค่าต่ำ

ตัวแปรที่ 11 (X11) : พนักงานควบคุมเครื่องจักรส่วนเตรียมเยื่อ เป็นปัจจัยด้านบุคคล (Man) พนักงานควบคุมเครื่องจักรยังไม่มีความรู้ความเข้าใจในกระบวนการเตรียมเยื่อและการปรับค่าเครื่องจักรที่ดีพอหรือมีประสบการณ์ในการปรับตั้งค่าเครื่องจักรต่างกัน ส่งผลให้การปรับเครื่องจักรแต่ละครั้งจะส่งผลต่อคุณภาพของน้ำเยื่อที่ได้

ตัวแปรที่ 12 (X12):การเก็บตัวอย่างน้ำเยื่อเพื่อใช้ในการทดสอบ เป็นปัจจัยด้านวิธีการวัด (Measurement) โดยพนักงานอาจเก็บตัวอย่างไม่ถูกตำแหน่งหรือไม่เป็นตัวแทนของทั้งหมด

ตัวแปรที่ 13 (X13) : การทดสอบน้ำเยื่อของพนักงานควบคุมคุณภาพเป็นปัจจัยด้านวิธีการวัด (Measurement) เนื่องจากพนักงานควบคุมคุณภาพปฏิบัติงานต่อเนื่องเป็นกะ ซึ่งพนักงานแต่ละคนอาจมีเทคนิคที่ใช้ในการวัดค่าแตกต่างกันออกไป ส่งผลให้ค่าการวัดไม่มีความแม่นยำ

ตัวแปรที่ 14 (X14) : ความสะอาดของน้ำที่ใช้ในการเตรียมเยื่อ เป็นปัจจัยด้านวัตถุดิบ (Material) เนื่องจากน้ำที่ใช้ในการตีเยื่อเป็นน้ำจากกระบวนการผลิตที่นำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งความสะอาดของน้ำที่ใช้ผสมจะส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์ หากน้ำมีความสกปรกมาก จะหน่วงการเกิดปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์ ทำให้ความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ลดลง

ตัวแปรที่ 15 (X15) : น้ำหนักปูนซีเมนต์และแคลเซียมคาร์บอเนต เป็นปัจจัยด้านวัตถุดิบ (Material) โดยน้ำหนักวัตถุดิบจะถูกชั่งให้มีค่าใกล้เคียงกับสูตรการผลิตที่กำหนดไว้ตามความหนาของแผ่นบอร์ดแต่ละชนิดและน้ำหนักวัตถุดิบจะถูกบันทึกลงในโปรแกรม Lynxbatch Program

ตัวแปรที่ 16 (X16) : สัดส่วนปูนซีเมนต์กับเยื่อ เป็นปัจจัยด้านวัตถุดิบ (Material) ในผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์ ปูนซีเมนต์จะถูกใช้เป็นวัตถุดิบหลักให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงด้านแรงอัด ในขณะที่เยื่อกระดาษเป็นตัวช่วยเสริมแรง โดยสัดส่วนของวัตถุดิบหลักทั้งสองชนิดจะต้องอยู่ในสัดส่วนที่เหมาะสม ซึ่งจะส่งผลต่อความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์

ตัวแปรที่ 17 (X17) : สัดส่วนปูนซีเมนต์กับแคลเซียมคาร์บอเนต เป็นปัจจัยด้านวัตถุดิบ (Material) เป็นวัตถุดิบที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรงด้านกำลังอัดเช่นเดียวกับปูนซีเมนต์ จัดเป็นตัวเติม (Filler) ในผลิตภัณฑ์ โดยจะให้ความคงตัวขณะทำปฏิกิริยามากกว่าปูนซีเมนต์ กล่าวคือ ไม่หดหรือขยายตัว ทั้งนี้ การเติมแคลเซียมคาร์บอเนตต้องเติมในปริมาณที่เหมาะสม เนื่องจากจะส่งผลต่อความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์

ตัวแปรที่ 18 (X18) : ความเข้มข้นของของแข็งในถังตกตะกอน (Solid content in Cone tank) คือ ปริมาณตะกอนที่ปนอยู่ในน้ำที่อยู่ในถัง Cone-1 เป็นปัจจัยด้านวัตถุดิบ (Material) ทั้งนี้ หากตะกอนที่มีอยู่ในน้ำมีปริมาณมากเกินไป จะส่งผลให้ท่อในระบบตันได้ง่าย การเดินเครื่องจักรไม่ดี ทั้งนี้ ถ้าปริมาณของแข็งที่มีอยู่ในถังตกตะกอนมีค่าสูง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความแข็งแรงต่ำ เปราะง่าย โดยค่าความเข้มข้นของของแข็งในถัง Cone-1 มีค่าควบคุมอยู่ไม่เกิน 120 กรัมต่อลิตร ค่าความเข้มข้นจะขึ้นอยู่กับการเดรนน้ำในถังตกตะกอนและความเร็วในการเดินเครื่องจักร

ตัวแปรที่ 19 (X19) : ความเข้มข้นของน้ำเยื่อ เป็นปัจจัยด้านวัตถุดิบ (Material) โดยค่าควบคุมอยู่ที่ 37.5 – 40.5 กรัมต่อลิตร โดยความเข้มข้นของน้ำเยื่อจะมีผลต่อความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ ดังนี้

- ความเข้มข้นของน้ำเยื่อสูง จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเบาและนิ่ม ความชื้นของผลิตภัณฑ์จะมีค่าสูง ผิวหน้าจะมีรอยย่น ค่าความแข็งแรงต่ำ
- ความเข้มข้นของน้ำเยื่อต่ำ จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเปราะ อาจส่งผลให้เกิดการแยกชั้น เนื่องจากมีความชื้นต่ำ

ตัวแปรที่ 20 (X20) : ความเข้มข้นของส่วนผสมที่นำกลับมาใช้ใหม่ (Intermediate Consistency) เป็นปัจจัยด้านวัตถุดิบ (Material) ส่วนผสมดังกล่าวเกิดจากการนำเศษขอบข้างแผ่นบอร์ดในขั้นตอนการขึ้นรูปแผ่นบอร์ดกลับมาตีกับน้ำแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ โดยค่าควบคุมอยู่ที่ 70-80 กรัมต่อลิตรทั้งนี้ ความเข้มข้นของส่วนผสมดังกล่าว หากนำมาใช้ปริมาณมากเกินไป จะส่งผลต่อความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์

ตัวแปรที่ 21 (X21) : ความเข้มข้นของส่วนผสมในถัง IMI คือ ค่าความเข้มข้นของส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ แคลเซียมคาร์บอเนตและน้ำจากถัง Cone-1 จัดเป็นปัจจัยด้านวัตถุดิบ (Material) โดยค่าควบคุมเท่ากับ 400-500 กรัมต่อลิตร

ตัวแปรที่ 22 (X22) : ความเข้มข้นของส่วนผสมในถัง GEMI 1-2 คือ ค่าความเข้มข้นของส่วนผสมจากถัง IMI น้ำเยื่อ ส่วนผสมที่นำกลับมาใช้ใหม่จัดเป็นปัจจัยด้านวัตถุดิบ

(Material)โดยค่าควบคุมอยู่ที่ 155-175 กรัมต่อลิตร ทั้งนี้ ความเข้มข้นของส่วนผสมในถัง GEMI 1-2 จะส่งผลต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ ดังนี้

- ความเข้มข้นของส่วนผสมในถัง GEMI 1-2 ต่ำการหลุดลอดของน้ำและปูนซีเมนต์บนผ้า Felt สูง ส่งผลให้ปริมาณไฟเบอร์ในผลิตภัณฑ์มีค่าสูง จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเบาและนิ่ม ค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลง อาจส่งผลให้เกิดการแยกชั้น
- ความเข้มข้นของส่วนผสมในถัง GEMI 1-2 สูง การหลุดลอดของน้ำและปูนซีเมนต์บนผ้า Felt ต่ำ ผลิตภัณฑ์มีความชื้นสูง ส่งผลให้ผิวหน้ามีรอยย่น เกิดเป็นของเสียด้านกายภาพ

ตัวแปรที่ 23 (X23) : ระยะเวลาการผสมแต่ละขั้นตอน เป็นปัจจัยด้านวิธีการผลิต (Method) เนื่องจากปูนซีเมนต์จะเริ่มทำปฏิกิริยาเมื่อผสมกับน้ำ หากเวลาการผสมนานเกินไป จะทำให้ปูนซีเมนต์บางส่วนเกิดปฏิกิริยา ประสิทธิภาพในการยึดเกาะลดลง ส่งผลให้ความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ลดลงด้วย

ตัวแปรที่ 24 (X24) : การเก็บตัวอย่างส่วนผสมขั้นสุดท้ายเพื่อใช้ในการทดสอบ เป็นปัจจัยด้านวิธีการวัด (Measurement) โดยพนักงานอาจเก็บตัวอย่างไม่ถูกตำแหน่งหรือไม่เป็นไปตามขั้นตอนที่กำหนด

ตัวแปรที่ 25 (X25) : การทดสอบส่วนผสมของพนักงานควบคุมคุณภาพเป็นปัจจัยด้านวิธีการวัด (Measurement) เนื่องจากพนักงานควบคุมคุณภาพปฏิบัติงานต่อเนื่องเป็นกะ ซึ่งพนักงานแต่ละคนอาจมีเทคนิคที่ใช้ในการวัดค่าแตกต่างกันออกไป ส่งผลให้ค่าการวัดไม่มีความแม่นยำ

ตัวแปรที่ 26 (X26) : การปรับค่าเครื่องจักรของพนักงานควบคุมการผลิตส่วนผสมขั้นสุดท้าย เป็นปัจจัยด้านบุคคล (Man) ซึ่งพนักงานควบคุมเครื่องจักรแต่ละคนมีความรู้และประสบการณ์ในการปรับค่าเครื่องจักรแตกต่างกัน

ตัวแปรที่ 27 (X27) : ความหนาของฟิล์ม (Film Thickness) เป็นปัจจัยด้านเครื่องจักร (Machine) เนื่องจากในขั้นตอนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ส่วนผสมจากขั้นตอนการผสมขั้นสุดท้ายจะถูกลำเลียงผ่านผ้า Felt และจะถูกดูดความชื้นออกเป็นแผ่นฟิล์มบาง โดยความหนาของแผ่นฟิล์มจะส่งผลต่อความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์

ตัวแปรที่ 28 (X28) : อายุผ้า Felt เป็นปัจจัยด้านเครื่องจักร (Machine) เนื่องจาก Felt เป็นผ้าสักหลาดทำหน้าที่ลำเลียงส่วนผสมจาก Flow on box ไปยัง Forming roller โดยระหว่างทางจาก Flow on box ถึง Forming roller นั้น จะมีการระบายน้ำผ่านผ้า Felt ออกสู่นอกระบบ

โดยคุณสมบัติที่ดีของ Felt จะต้องให้น้ำไหลผ่านตัวผ้า Felt ได้ แต่ต้องสามารถกรองไม่ให้เยื่อหลุดออกไปจากผ้า Felt หรือหลุดออกไปในปริมาณน้อย ทั้งนี้ ผ้า Felt ที่ถูกใช้งานระยะเวลาหนึ่งจะเกิดการอุดตันจากอนุภาคปูนซีเมนต์และแคลเซียมคาร์บอเนต ประสิทธิภาพการระบายน้ำลดลง ส่งผลให้เกิดลายน้ำ ลายงาเกิดเป็นของเสียด้านกายภาพ

ตัวแปรที่ 29 (X29) : ปริมาณสารช่วยลดฟอง (Defoamer) เป็นปัจจัยด้านวัตถุดิบ (Material) โดยการเติมสารลดฟองเพื่อลดปริมาณฟองที่เกิดจากกระบวนการผลิต ซึ่งหากฟองมีปริมาณมากอาจจะเข้าไปแทรกอยู่ในส่วนผสมและชั้นฟิล์ม ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างฟิล์ม ส่งผลต่อความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์

ตัวแปรที่ 30 (X30) : ปริมาณสารช่วยตกตะกอน (Flocculant) เป็นปัจจัยด้านวัตถุดิบ (Material) สารช่วยตกตะกอนเป็นสารจำพวกพอลิเมอร์ โดยจะเติมลงในน้ำที่ถูกดูดออกมาจากชั้นฟิล์ม ช่วยให้เกิดการตกตะกอนของอนุภาคเล็กๆ ก่อนที่น้ำจะถูกปั๊มไปยังถังตกตะกอน-1 และนำมาใช้ในกระบวนการผลิต หากปริมาณสารช่วยตกตะกอนน้อยเกินไป จะไม่เกิดการตกตะกอน หากมีปริมาณมากเกินไปจะทำให้ส่วนผสมสุดท้ายเกิดการจับตัวเป็นก้อนในขั้นตอนการขึ้นรูป ทำให้ความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ลดลง

ตัวแปรที่ 31 (X31) : การดูดความชื้นของ Vacuum box เป็นปัจจัยด้านเครื่องจักร (Machine) โดยจะส่งผลต่อค่าความชื้นของแผ่นบอร์ด หากความชื้นของแผ่นบอร์ดมีค่าสูงจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีความหนาแน่นต่ำ ความแข็งแรงจะมีค่าลดลง

ตัวแปรที่ 32 (X32) : แรงอัด Pressure step เป็นปัจจัยด้านเครื่องจักร (Machine) โดยทำหน้าที่ในการแผ่นฟิล์มให้ติดเข้ากับ Forming roller และช่วยในการควบคุมความชื้นในแผ่นบอร์ดเปียก หากความชื้นของแผ่นบอร์ดมีค่าสูงจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีความหนาแน่นต่ำ ความแข็งแรงจะมีค่าลดลง

ตัวแปรที่ 33 (X33) : ความเร็วในการเดินเครื่องจักร เป็นปัจจัยด้านเครื่องจักร (Machine) หากทำการเดินเครื่องจักรเร็วขึ้นหรือเพิ่มความเร็วของผ้า Felt จะทำให้ประสิทธิภาพการดูดความชื้นออกจากฟิล์มลดลง ส่งผลให้ความชื้นมีค่าสูง ความหนาแน่นต่ำ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีความแข็งแรงลดลง

ตัวแปรที่ 34 (X34) : การปรับค่าเครื่องจักรของพนักงานควบคุมการผลิตส่วนขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ เป็นปัจจัยด้านบุคคล (Man) ซึ่งพนักงานควบคุมเครื่องจักรแต่ละคนมีความรู้และประสบการณ์ในการปรับค่าเครื่องจักรแตกต่างกัน

ตัวแปรที่ 35 (X35) : อุณหภูมิของห้องบ่มที่ 1 เป็นปัจจัยด้านเครื่องจักร (Machine) ซึ่งถูกกำหนดไว้ที่ 50 °C การควบคุมอุณหภูมิทำได้โดยการใช้วาล์วควบคุม (Control valve) ในการควบคุมปริมาณของไอน้ำที่จะเข้าไปภายในห้องบ่มที่ 1 โดยที่ไอน้ำปริมาณมากจะทำให้อุณหภูมิมีค่าสูงขึ้นและในทางตรงกันข้ามปริมาณไอน้ำที่น้อย ก็จะทำให้อุณหภูมิลดน้อยตามไปด้วย ทั้งนี้อุณหภูมิและความชื้นจะมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์ ซึ่งจะส่งผลต่อความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์

ตัวแปรที่ 36 (X36) : เวลาที่แผ่นบอร์ดอยู่ในห้องบ่มที่ 1 คือ เวลาตั้งแต่รถลำเลียงผลิตภัณฑ์เข้าไปจนถึงเมื่อเวลาที่รถลำเลียงคันนั้นออกมา เพื่อที่จะไปเข้าสู่กระบวนการแยกแผ่น เป็นปัจจัยด้านวิธีการผลิต (Method) โดยค่าที่ควบคุมจะถูกกำหนดไว้ที่ 8-18 ชั่วโมง ซึ่งจำนวนเวลานี้จะถูกกำหนดโดยจำนวนของผลิตภัณฑ์บนรถลำเลียงซึ่งมาจากกระบวนการแยกกอง โดยเวลาที่อยู่ในห้องบ่มที่ 1 จะขึ้นอยู่กับค่าความเร็วในการผลิตจากหน่วยงานขึ้นรูป (m^2v)

ตัวแปรที่ 37 (X37) : เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ คือ เปอร์เซ็นต์ของความชื้นที่มีอยู่ในอากาศ โดยค่าเปอร์เซ็นต์ของความชื้นสัมพัทธ์จะมีค่าแปรเปลี่ยนไปตามปริมาณไอน้ำ เป็นปัจจัยด้านวิธีการผลิต (Method) โดยปริมาณไอน้ำมากจะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของความชื้นสัมพัทธ์มีค่ามาก ปริมาณไอน้ำที่น้อยจะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าน้อยตามไปด้วย โดยไอน้ำที่เข้ามายังห้องบ่มที่ 1 จะถูกกำหนดค่าของความดันไว้ที่ 1 บาร์ โดยอุปกรณ์ควบคุมที่เรียกว่า Pressure Regulator ปริมาณความชื้นจะส่งผลให้ปูนซีเมนต์เกิดปฏิกิริยาได้ดีขึ้น ส่งผลต่อความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์

ตัวแปรที่ 38 (X38) : ระยะเวลาการบ่มครั้งที่ 2 เป็นปัจจัยด้านวิธีการผลิต (Method) ลักษณะของห้องบ่มครั้งที่ 2 จะมีลักษณะเป็นห้องปิด ซึ่งช่วยในการทำปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์ เนื่องจากทำให้ไอน้ำที่อยู่ในผลิตภัณฑ์ระเหยออกจากตัวผลิตภัณฑ์ในระดับที่คงที่และสม่ำเสมอ ไม่รวดเร็วจนเกินไป ซึ่งจะทำให้ไอน้ำที่อยู่ข้างในของแผ่นบอร์ดระเหยได้ดี ทั้งนี้ หากไม่มีการบ่มครั้งที่ 2 ไอน้ำที่อยู่รอบแผ่นบอร์ดจะถูกดึงออกไปอย่างรวดเร็วและไม่สม่ำเสมอ ทำให้ไอน้ำเกิดการสะสมอยู่ภายใน แผ่นบอร์ดจะเกิดการโค้งงอ และเกิดการหดตัวเมื่อเวลาผ่านไป เพราะไอน้ำที่เหลืออยู่จะเกิดการระเหยออกมาภายหลัง ระยะเวลาที่แผ่นบอร์ดอยู่ในห้องบ่มที่ 2 จะช่วยให้ปูนซีเมนต์เกิดปฏิกิริยาได้ดีขึ้น ส่งผลต่อความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์

ตัวแปรที่ 39(X39) : เหตุการณ์ไม่ปกติที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต เป็นปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม (Environment) เช่น ปัญหาท่ออุดตัน ทำให้วัตถุดิบบางตัวไม่สามารถเข้าระบบในปริมาณที่กำหนด หรือ เครื่องจักรบางตัวเกิดการเสียทำให้ต้องมีการหยุดการผลิต ทั้งนี้ เนื่องจาก

เป็นกระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้องกับปูนซีเมนต์ซึ่งจะทำปฏิกิริยาทันทีที่ผสมกับน้ำ ทำให้คุณสมบัติของวัตถุดิบเปลี่ยนแปลงไป

ทั้งนี้ สามารถสรุปประเภทของตัวแปรต่างๆ ได้ดังตารางที่ 5.1และสามารถจำแนกประเภทของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตในขั้นตอนต่างๆได้ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.1 สรุปตัวแปรที่อาจส่งผลต่อความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์

กระบวนการ	ชื่อตัวแปร	ประเภทของสาเหตุ	สาเหตุของปัญหา
1. กระบวนการเตรียมเยื่อ	X1	ด้านวัตถุดิบ (Material)	ค่าฟรีเนสกระดาษดีแอลเค(DLK)
	X2	ด้านวิธีการผลิต (Method)	สูตรการตีเยื่อในแต่ละแบทช์
	X3	ด้านวิธีการผลิต (Method)	น้ำหนักกระดาษในแต่ละแบทช์ที่ทำการตีเยื่อ
	X4	ด้านวิธีการผลิต (Method)	ความเข้มข้นของน้ำเยื่อในถังเปิดตัวเยื่อ (Consistency in Pulper)
	X5	ด้านวัตถุดิบ (Material)	น้ำหนักสารผสมเพิ่ม (สารส้มและซิลิกาฟูม)
	X6	ด้านวิธีการผลิต (Method)	ลำดับการเติมสารส้มและซิลิกาฟูม
	X7	ด้านวิธีการผลิต (Method)	ระยะเวลาการตีเยื่อในถังเปิดตัวเยื่อ
	X8	ด้านวิธีการผลิต (Method)	ความเข้มข้นของเยื่อที่ถัง TINA-2
	X9	ด้านวิธีการผลิต (Method)	ความเข้มข้นของน้ำเยื่อที่ถัง TINA-5
	X10	ด้านวัตถุดิบ (Material)	ค่าฟรีเนสของน้ำเยื่อ
	X11	ด้านบุคคล (Man)	พนักงานควบคุมเครื่องจักรส่วนเตรียมเยื่อ
	X12	ด้านวิธีวัด (Measurement)	การเก็บตัวอย่างน้ำเยื่อเพื่อใช้ในการทดสอบ
	X13	ด้านวิธีวัด (Measurement)	การทดสอบน้ำเยื่อของพนักงานควบคุมคุณภาพ
	X14	ด้านวัตถุดิบ (Material)	ความสะอาดของน้ำที่ใช้ในการเตรียมเยื่อ
2. กระบวนการผสมขั้นสุดท้าย	X15	ด้านวัตถุดิบ (Material)	น้ำหนักปูนซีเมนต์และแคลเซียมคาร์บอเนต
	X16	ด้านวัตถุดิบ (Material)	สัดส่วนปูนซีเมนต์กับเยื่อ
	X17	ด้านวัตถุดิบ (Material)	สัดส่วนปูนซีเมนต์กับแคลเซียมคาร์บอเนต
	X18	ด้านวัตถุดิบ (Material)	ความเข้มข้นของของแข็งในถังตกตะกอน
	X19	ด้านวัตถุดิบ (Material)	ความเข้มข้นของน้ำเยื่อ
	X20	ด้านวัตถุดิบ (Material)	ความเข้มข้นของส่วนผสมที่นำกลับมาใช้ใหม่
	X21	ด้านวัตถุดิบ (Material)	ความเข้มข้นของส่วนผสมในถัง IMI
	X22	ด้านวัตถุดิบ (Material)	ความเข้มข้นของส่วนผสมในถัง GEMI 1-2
	X23	ด้านวิธีการผลิต (Method)	ระยะเวลาการผสมแต่ละขั้นตอน
	X24	ด้านวิธีวัด (Measurement)	การเก็บตัวอย่างส่วนผสมเพื่อใช้ในการทดสอบ
	X25	ด้านวิธีวัด (Measurement)	การทดสอบส่วนผสมของพนักงานควบคุมคุณภาพ
	X26	ด้านบุคคล (Man)	การปรับค่าเครื่องจักรของพนักงานควบคุมการผลิตส่วนผสมขั้นสุดท้าย
3. กระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์	X27	ด้านเครื่องจักร (Machine)	ความหนาของฟิล์ม (Film Thickness)
	X28	ด้านเครื่องจักร (Machine)	อายุผ้า Felt
	X29	ด้านวัตถุดิบ (Material)	ปริมาณสารช่วยลดฟอง(Defoamer)
	X30	ด้านวัตถุดิบ (Material)	ปริมาณสารช่วยตกตะกอน(Flocculant)
	X31	ด้านเครื่องจักร (Machine)	การดูดความชื้นของ Vacuum box
	X32	ด้านเครื่องจักร (Machine)	แรงอัดของ Pressure roller
	X33	ด้านเครื่องจักร (Machine)	ความเร็วในการเดินเครื่องจักร
	X34	ด้านบุคคล (Man)	การปรับค่าเครื่องจักรของพนักงานควบคุมการผลิตส่วนขึ้นรูปผลิตภัณฑ์
4. กระบวนการบ่ม	X35	ด้านเครื่องจักร (Machine)	อุณหภูมิของห้องบ่มที่ 1
	X36	ด้านวิธีการผลิต (Method)	เวลาที่แผ่นบอร์ดอยู่ในห้องบ่มที่ 1
	X37	ด้านวิธีการผลิต (Method)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์
	X38	ด้านวิธีการผลิต (Method)	ระยะเวลาการบ่มครั้งที่ 2
	X39	ด้านสิ่งแวดล้อม (Environmrnt)	เหตุการณ์ไม่ปกติระหว่างกระบวนการผลิต

ตารางที่ 5.2 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงของแผ่นบอร์ดทั้งหมด 39 ตัวแปร (X1-X39)

ประเภทของตัวแปรนำเข้า	ขั้นตอนการผลิตที่เกี่ยวข้องกับค่าเฉลี่ยและความผันแปรของค่าความแข็งแรง			
	กระบวนการเตรียมเยื่อ	กระบวนการผสมขั้นสุดท้าย	กระบวนการขึ้นรูปแผ่นบอร์ด	กระบวนการบ่ม
พนักงานฝ่ายผลิต (Man)	X11	X26	X34	
เครื่องจักร (Machine)			X27 X28 X31 X32 X33	X35
วัตถุดิบ (Material)	X1 X5 X10 X14	X15 X16 X17 X18 X19 X20 X21 X22	X29 X30	
วิธีการผลิต (Method)	X2 X3 X4 X6 X7 X8 X9	X23		X36 X37 X38
วิธีการวัด (Measurement)	X12 X13	X24 X25		
สิ่งแวดล้อม (Environment)	X39	X39	X39	X39

5.3 การคัดกรองสาเหตุของปัญหา

จากการระดมสมองของทีมงานเพื่อวิเคราะห์หาตัวแปรที่อาจส่งผลต่อความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์ พบว่า มีจำนวนตัวแปรที่อาจเกี่ยวข้องทั้งหมด 39 ตัวแปร ซึ่งมีจำนวนมาก ดังนั้น ทางทีมงานจึงคัดกรองตัวแปรซึ่งอาจเป็นสาเหตุของปัญหาโดยอาศัยเทคนิคการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) โดยวิเคราะห์ผลกระทบของตัวแปรที่คาดว่าจะส่งผลต่อค่าค่าความแข็งแรงเฉลี่ยและความผันแปรของค่าความแข็งแรง จากนั้นให้ทีมงานแต่ละคนลงคะแนนปัจจัยต่างๆ โดยก่อนการให้คะแนนมีการอธิบายและทำความเข้าใจเกี่ยวกับความหมายของแต่ละตัวแปรค่าเฉลี่ย ค่าความผันแปรและเกณฑ์การให้คะแนน เพื่อให้ทีมงานเข้าใจในทิศทางเดียวกัน โดยเกณฑ์การให้คะแนน เป็นดังนี้

9 คะแนน หมายถึง ปัจจัยนำเข้าที่มีผลกระทบอย่างมากต่อค่าเฉลี่ยหรือค่าความผันแปร

3 คะแนน หมายถึง ปัจจัยนำเข้าที่มีผลกระทบปานกลางต่อค่าเฉลี่ยหรือค่าความผันแปร

1 คะแนน หมายถึง ปัจจัยนำเข้าที่มีผลกระทบน้อยต่อค่าเฉลี่ยหรือค่าความผันแปร

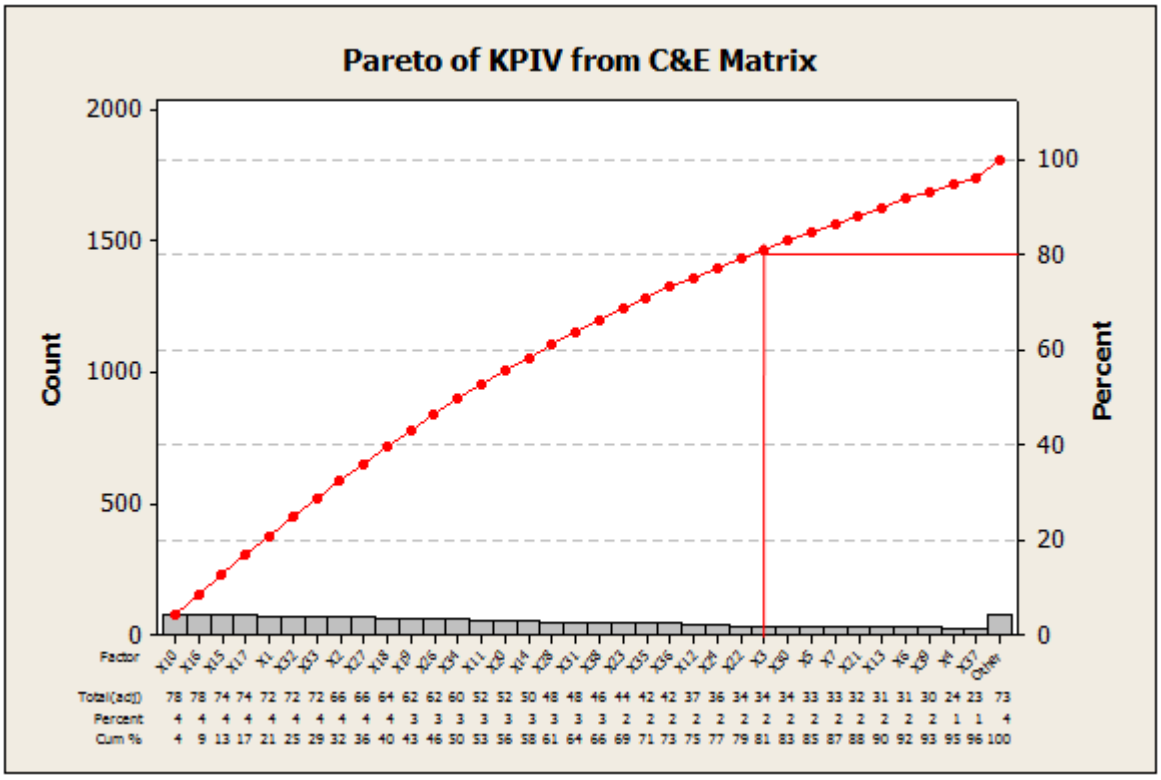
0 คะแนน หมายถึง ปัจจัยนำเข้าที่ไม่มีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยหรือค่าความผันแปร

จากนั้นนำคะแนนความสำคัญของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ย ค่าความผันแปร ของทีมงานแต่ละคนมารวมกัน โดยคะแนนรวมของปัจจัยเป็นดังตารางที่ 5.3ส่วนรายละเอียดการให้คะแนนของทีมงานแต่ละคนแสดงอยู่ในภาคผนวก 2

ตารางที่ 5.3 การวิเคราะห์สาเหตุและผลโดยใช้ C&E Matrix

กระบวนการ	ชื่อตัวแปร	ประเภทของสาเหตุ	ผลกระทบต่อค่าความแข็งแรงผลิตภัณฑ์		
			คะแนนรวม		
			ผลต่อค่าเฉลี่ย	ผลต่อความแปรปรวน	รวม
1. กระบวนการเตรียมเยื่อ	X1	ด้านวัตถุดิบ (Material)	39	33	72
	X2	ด้านวิธีการผลิต (Method)	33	33	66
	X3	ด้านวิธีการผลิต (Method)	19	15	34
	X4	ด้านวิธีการผลิต (Method)	13	11	24
	X5	ด้านวัตถุดิบ (Material)	17	16	33
	X6	ด้านวิธีการผลิต (Method)	17	14	31
	X7	ด้านวิธีการผลิต (Method)	23	10	33
	X8	ด้านวิธีการผลิต (Method)	7	4	11
	X9	ด้านวิธีการผลิต (Method)	11	11	22
	X10	ด้านวัตถุดิบ (Material)	45	33	78
	X11	ด้านบุคคล (Man)	21	31	52
	X12	ด้านวิธีวัด (Measurement)	16	21	37
	X13	ด้านวิธีวัด (Measurement)	16	15	31
	X14	ด้านวัตถุดิบ (Material)	25	25	50
2. กระบวนการผสมขั้นสุดท้าย	X15	ด้านวัตถุดิบ (Material)	37	37	74
	X16	ด้านวัตถุดิบ (Material)	39	39	78
	X17	ด้านวัตถุดิบ (Material)	37	37	74
	X18	ด้านวัตถุดิบ (Material)	33	31	64
	X19	ด้านวัตถุดิบ (Material)	31	31	62
	X20	ด้านวัตถุดิบ (Material)	27	25	52
	X21	ด้านวัตถุดิบ (Material)	13	19	32
	X22	ด้านวัตถุดิบ (Material)	17	17	34
	X23	ด้านวิธีการผลิต (Method)	25	19	44
	X24	ด้านวิธีวัด (Measurement)	12	24	36
	X25	ด้านวิธีวัด (Measurement)	12	10	22
	X26	ด้านบุคคล (Man)	31	31	62
3. กระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์	X27	ด้านเครื่องจักร (Machine)	39	27	66
	X28	ด้านเครื่องจักร (Machine)	21	27	48
	X29	ด้านวัตถุดิบ (Material)	9	9	18
	X30	ด้านวัตถุดิบ (Material)	17	17	34
	X31	ด้านเครื่องจักร (Machine)	27	21	48
	X32	ด้านเครื่องจักร (Machine)	39	33	72
	X33	ด้านเครื่องจักร (Machine)	39	33	72
	X34	ด้านบุคคล (Man)	33	27	60
4. กระบวนการบ่ม	X35	ด้านเครื่องจักร (Machine)	25	17	42
	X36	ด้านวิธีการผลิต (Method)	25	17	42
	X37	ด้านวิธีการผลิต (Method)	13	10	23
	X38	ด้านวิธีการผลิต (Method)	27	19	46
5. อื่นๆ	X39	ด้านสิ่งแวดล้อม (Environmrnt)	15	15	30

จากคะแนนรวมในการหาความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) นำคะแนนมาเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัย โดยพล็อตกราฟพาเรโต ได้ดังรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 แผนภาพพาเรโตแสดงความสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์

จากแผนภาพพาเรโตพบว่ามีปัจจัยนำเข้าทั้งหมด 26 ตัวแปร ที่อาจส่งผลต่อความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์ เมื่อพิจารณาตามกฎ 80 : 20 โดยสามารถจำแนกปัจจัยเรียงตามลำดับคะแนน ได้ดังนี้ X10 X16 X15 X17 X1 X32 X33 X2 X27 X18 X19 X26 X34 X11 X20 X14 X28 X31 X38 X23 X35 X36 X12 X24 X22 และ X3 ทั้งนี้ พบว่าปัจจัยนำเข้าที่ได้จากการหาความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและผลยังมีจำนวนมากอยู่ ดังนั้น ทางทีมงานจึงพิจารณาคัดกรองปัจจัยเพิ่มเติม โดยประยุกต์ใช้เกณฑ์การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA) เพื่อกลั่นกรองให้เหลือปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ ก่อนนำไปทดลองในขั้นตอนถัดไป

แนวคิดสำคัญของ FMEA คือ การวิเคราะห์กระบวนการ โดยเริ่มจากการกำหนดกระบวนการที่ต้องการศึกษา แล้วทำการชี้บ่งถึงหน้าที่ของกระบวนการ โดยวิเคราะห์ว่าหน้าที่ของกระบวนการดังกล่าวส่วนใดที่ไม่ได้รับการตอบสนอง ซึ่งจะหมายถึงข้อบกพร่อง (Failure) ที่คาดว่าจะเกิดขึ้น และเรียกลักษณะของข้อบกพร่องว่า ลักษณะข้อบกพร่อง (Failure mode) ทำการกำหนดสาเหตุและผลกระทบของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น โดยในงานวิจัยนี้ทำการพิจารณาผลกระทบของปัจจัยที่ส่งผลต่อความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์เท่านั้น ไม่ได้ทำตามกระบวนการของ FMEA ทั้งหมดทั้งนี้ สาเหตุที่ไม่ได้ถูกคัดกรองออกจากขั้นตอนการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผล (C&E Matrix) จะถูกนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยเทคนิค FMEA โดยได้ประยุกต์ใช้เกณฑ์ S, O, D ซึ่งอ้างอิงมาจาก AIAG (2001) และนำมาประยุกต์ใช้ให้เข้ากับงานวิจัยเพื่อคัดกรองให้เหลือปัจจัยนำเข้าที่มีความสำคัญมาทำการปรับปรุงไม่ได้มีวัตถุประสงค์ในการวิเคราะห์ข้อบกพร่องทั้งหมดของกระบวนการ ทั้งนี้ ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FMEA เป็นดังนี้

- ทำการระดมสมองจากทีมงานเดิมที่ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยตารางความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและผล (C&E Matrix) เพื่อวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องแต่ละรายการ
- พิจารณาผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการเกิดข้อบกพร่องนั้น ที่ส่งผลต่อความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ และให้คะแนนระดับความรุนแรง (Severity ; S) โดยเกณฑ์การให้คะแนนถูกกำหนดไว้ที่ค่า 1 ถึง 10 โดยค่าคะแนนที่มีค่ามาก มีความรุนแรงของผลกระทบมาก ในขณะที่ค่าคะแนนต่ำลงมา ค่าความรุนแรงของผลกระทบจะลดลงตามลำดับ ดังตารางที่ 5.4
- พิจารณาโอกาสที่เกิดขึ้น (Occurrence ; O) ของลักษณะข้อบกพร่อง โดยกำหนดเกณฑ์คะแนนเป็น เปอร์เซ็นต์ข้อมูลที่ได้จากการวัดค่าต่างๆ ออกนอกเกณฑ์ควบคุม หรือโอกาสในการเกิดเหตุการณ์นั้นๆ โดยนำข้อมูลที่วัดได้ตั้งแต่เดือน มกราคม – เมษายน 2555 มาทำการคำนวณ ตามสูตร

เปอร์เซ็นต์ข้อมูลออกนอกค่าควบคุม = $\frac{\text{จำนวนข้อมูลที่ออกนอกค่าควบคุม x 100}}{\text{จำนวนข้อมูลทั้งหมด}}$

ส่วนในกรณีเหตุการณ์ที่ไม่สามารถนำมาคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ข้อมูลที่ออกนอกค่าควบคุมได้ เช่น พนักงานไม่มีความรู้ในการปฏิบัติงาน การกำหนดค่าไม่เหมาะสม เป็นต้น การให้ค่าคะแนนให้เป็นไปตามการพิจารณาของทีมงานทั้งนี้ เกณฑ์การให้คะแนนถูกกำหนดไว้ที่ค่า 1 ถึง 10 โดยค่าคะแนนที่มีค่ามาก มีโอกาสในการเกิดมาก ในขณะที่ค่าคะแนนต่ำลงมา โอกาสในการเกิดจะลดลงตามลำดับ ดังตารางที่ 5.5

- พิจารณาการตรวจจับในปัจจุบัน (Detection ; D) ว่ามีความสามารถในการบ่งชี้ลักษณะข้อบกพร่องได้ดีเพียงใด ของการเกิดลักษณะข้อบกพร่องนั้นๆ ก่อนจะออกจากกระบวนการผลิต ทั้งนี้ เกณฑ์การให้คะแนนถูกกำหนดไว้ที่ค่า 1 ถึง 10 โดยค่าคะแนนที่มีค่ามาก มีระบบการตรวจจับดี ในขณะที่ค่าคะแนนต่ำลงมาความสามารถในการตรวจจับจะลดลง ตามลำดับ ดังตารางที่ 5.6
- เมื่อทำการประเมินผลความเสี่ยงโดยพิจารณาจากองค์ประกอบทั้ง 3 ประการ คือ ความรุนแรง (S) โอกาสในการเกิด (O) และความสามารถในการตรวจจับแล้ว (D) นำคะแนนทั้งหมดมาคำนวณค่าตัวเลขแสดงลำดับของความเสี่ยง หรือ RPN (Risk Priority Number) ตามสมการที่ 5.1

$$RPN = S \times O \times D \qquad 5.1$$

เมื่อได้ค่า RPN ตามตารางที่ 5.7 นำคะแนนมาทำการทวนสอบผลการให้คะแนน โดยนำมาพล็อตเป็นกราฟพาเรโต ดูลักษณะของกราฟ และนำปัจจัยที่อยู่ในกฎ 80:20 มาพิจารณาปรับปรุง ดังรูปที่ 5.7

ตารางที่ 5.4 เกณฑ์การให้คะแนนความรุนแรง (Severity ; S)

ผลกระทบจากข้อบกพร่อง	ความรุนแรงของผลกระทบ	คะแนน
ผลต่อความปลอดภัยในกระบวนการผลิต	มีผลกระทบต่อความปลอดภัยในกระบวนการผลิต	10
ผลต่อการควบคุมการผลิต	มีผลกระทบต่อการควบคุมการผลิตจนกระทั่งไม่สามารถผลิตต่อไปได้	9
ผลกระทบสูงมาก	มีผลกระทบสูงมากต่อการควบคุมค่าความแข็งแรง	8
ผลกระทบสูง	มีผลกระทบสูงต่อการควบคุมค่าความแข็งแรง	7
ผลกระทบปานกลาง	มีผลกระทบปานกลางต่อการควบคุมค่าความแข็งแรง	6
ผลกระทบต่ำ	มีผลกระทบต่ำต่อการควบคุมค่าความแข็งแรง	5
ผลกระทบต่ำมาก	มีผลกระทบต่ำมากต่อการควบคุมค่าความแข็งแรง	4
ผลกระทบเล็กน้อย	มีผลกระทบเล็กน้อยต่อการควบคุมค่าความแข็งแรง	3
เกือบไม่มีผลกระทบ	เกือบไม่มีผลกระทบต่อการควบคุมค่าความแข็งแรง	2
ไม่มีผลกระทบ	ไม่มีผลกระทบต่อการควบคุมค่าความแข็งแรง	1

ตารางที่ 5.5 เกณฑ์คะแนนของโอกาสในการเกิดสาเหตุ (Occurrence ; O)

ความถี่ในการเกิดเหตุการณ์	เปอร์เซ็นต์ที่ค่าจะออกนอกเกณฑ์ควบคุม	คะแนน
ความถี่ในการเกิดสูงมาก	81 - 100	10
	71 - 80	9
ความถี่ในการเกิดสูง	61 - 70	8
	51 - 60	7
ความถี่ในการเกิดปานกลาง	41 - 50	6
	31 - 40	5
ความถี่ในการเกิดต่ำ	21 - 30	4
	11 - 20	3
ความถี่ในการเกิดต่ำมาก	1 - 10	2
เกือบไม่มีโอกาสเกิด	0	1

ตารางที่ 5.6 เกณฑ์คะแนนของความสามารถในการตรวจจับลักษณะข้อบกพร่อง (Detection ; D)

การตรวจจับ	กฎเกณฑ์	ประเภทการตรวจสอบ			ขอบเขตวิธีการตรวจจับ	คะแนน
		A	B	C		
เกือบเป็นไปไม่ได้	ไม่มีระบบการตรวจจับใดๆ			X	ไม่มีการตรวจจับหรือตรวจสอบได้	10
ห่างไกลมาก	มีระบบควบคุม แต่ไม่สามารถตรวจจับข้อบกพร่องได้			X	การควบคุมกระทำได้โดยทางอ้อมหรือเป็นเพียงการสุ่มตรวจเท่านั้น	9
ห่างไกล	มีระบบควบคุม แต่มีโอกาสน้อยมากที่จะตรวจจับข้อบกพร่องได้			X	การควบคุมกระทำได้ด้วยการตรวจสอบด้วยตาเปล่า(visual Inspection) เท่านั้น	8
ต่ำมาก	มีระบบควบคุม แต่มีโอกาสน้อยมากที่จะตรวจจับข้อบกพร่องได้			X	การควบคุมกระทำได้ด้วยการตรวจสอบด้วยตาเปล่า(double visual Inspection) เท่านั้น	7
ต่ำ	มีระบบควบคุมและอาจตรวจจับข้อบกพร่องได้		X	X	การควบคุมกระทำได้ด้วยแผนภูมิ SPC	6
ปานกลาง	มีระบบควบคุมและอาจตรวจจับข้อบกพร่องได้		X		มีการควบคุมโดยใช้เครื่องมือวัด วัดชิ้นงานก่อนออกจากจุดปฏิบัติงาน หรือใช้เกจแบบ Go/No go กับงานทั้งหมดก่อนออกจากจุดปฏิบัติงาน	5
ค่อนข้างสูง	มีระบบควบคุมและมีโอกาสสูงที่จะตรวจจับข้อบกพร่องได้	X	X		มีการตรวจจับความผิดพลาดในกระบวนการถัดไปหรือมีการใช้เครื่องมือวัดวัดชิ้นงานชิ้นแรกในขั้นตอนงานการปรับตั้ง(set-up)	4
สูง	มีระบบควบคุมและมีโอกาสสูงที่จะตรวจจับข้อบกพร่องได้	X	X		มีการตรวจสอบความผิดพลาดที่จุดปฏิบัติงานหรือมีการตรวจจับความผิดพลาดในกระบวนการถัดไป โดยการตรวจสอบเพื่อการยอมรับ	3
สูงมาก	มีระบบควบคุม และเกือบจะมั่นใจได้ว่าสามารถตรวจจับข้อบกพร่องได้	X	X		มีการตรวจจับความผิดพลาดที่จุดปฏิบัติงานด้วยเครื่องมืออัตโนมัติ ทำให้ชิ้นงานบกพร่องไม่สามารถหลุดผ่านไปได้	2
สูงมาก	มีระบบควบคุม และมั่นใจได้ว่าสามารถตรวจจับได้	X			ไม่มีโอกาสเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่อง เพราะใช้ระบบป้องกันความผิดพลาด (Poka-Yoke) ในขั้นตอนการออกแบบผลิตภัณฑ์/กระบวนการ	1

หมายเหตุ : A = การป้องกันความผิดพลาด

B = การใช้อุปกรณ์วัด (Gauging)

C = ตรวจสอบโดยอาศัยบุคคล (Manual inspection)

ตารางที่ 5.7 การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA)

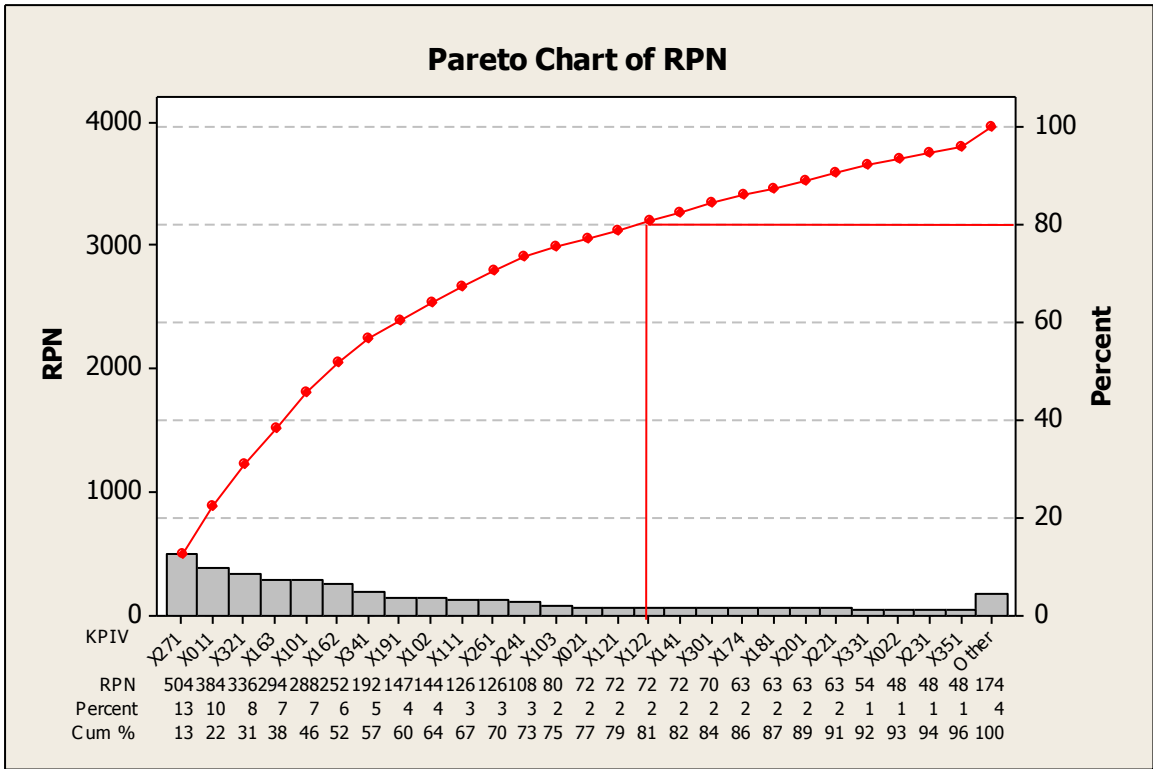
ลำดับ	กระบวนการ	ปัจจัยนำเข้าหลักที่ได้จากกระบวนการ C&E	ข้อบกพร่องของปัจจัยนำเข้าที่มีโอกาสเกิด	ตัวแปรย่อย	ผลกระทบต่อความต้องการของลูกค้าหรือปัจจัยที่ออกมาจากการเกิดข้อบกพร่องของปัจจัยนำเข้า	ความรุนแรงของผลกระทบที่เกิดขึ้น (S)	สาเหตุที่เป็นไปได้ที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องบนปัจจัยนำเข้า	ความถี่ในการเกิดเหตุการณ์ (O)	การควบคุมในปัจจุบัน	การตรวจวัด (D)	RPN
1	การเตรียมเยื่อ	ความแปรปรวนของค่าฟรีเนสน้ำเยื่อ(X10)	ความแปรปรวนของค่าฟรีเนสกระดาษ DLK	X101	เกิดความผันแปรของค่าความแข็งแรง	8	วัตถุดิบที่รับมามีค่าความแปรปรวนสูง	6	หาค่าฟรีเนสกระดาษ DLK ก่อนทำการตีเยื่อและทำการปรับสูตร	6	288
			การปรับสูตรการตีเยื่อไม่เหมาะสม	X102	เกิดความผันแปรของค่าความแข็งแรง	8	พนักงานไม่เข้าใจขั้นตอนการปรับสูตร	6	กำหนดวิธีการปรับสูตร	3	144
			การชั่งน้ำหนักกระดาษแต่ละชนิดไม่ถูกต้อง	X103	สัดส่วนเยื่อแตกต่างกัน ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงแตกต่าง	8	ไม่มีการตรวจสอบการชั่งกระดาษของพนักงาน	5	ใช้โปรแกรมในการควบคุมการชั่งน้ำหนัก	2	80
		ความแปรปรวนของกระดาษ DLK(X1)	ไม่สามารถควบคุมค่าฟรีเนสกระดาษ DLK ได้	X011	เกิดความผันแปรของค่าฟรีเนสน้ำเยื่อ	8	ไม่มีการแบ่งกลุ่มกระดาษ DLK จากค่าฟรีเนส	8	กำหนดสูตรการตีโดยค่าฟรีเนสกระดาษ DLK ก่อนทำการปรับสูตร	6	384
		การปรับสูตรการตีเยื่อไม่เหมาะสม (X2)	สูตรการตีเยื่อไม่เหมาะสม	X021	เกิดความผันแปรของค่าความแข็งแรง	8	การชั่งกระดาษไม่เป็นไปตามสูตรที่กำหนด	3	ใช้ตารางช่วยในการปรับสูตร	3	72
			พนักงานไม่ปรับสูตรตามที่กำหนด	X022	เกิดความผันแปรของค่าฟรีเนสน้ำเยื่อ	8	ไม่ได้กำหนดมาตรฐานการปรับสูตร	2	บันทึกการปรับสูตร	3	48
		พนักงานไม่เข้าใจวิธีการปรับค่าเครื่องจักร(X11)	พนักงานขาดความรู้ในการปรับตั้งเครื่องจักร	X111	เกิดความผันแปรของค่าความเข้มข้นน้ำเยื่อ	7	พนักงานไม่มีความรู้ในการปฏิบัติงาน	6	ตรวจสอบการทำงานของพนักงาน	3	126
		น้ำที่ใช้ในการตีเยื่อไม่สะอาด(X14)	การเซ็ทตัวของปูนซีเมนต์ไม่ดี	X141	ปูนซีเมนต์ไม่เซ็ทตัว ความแข็งแรงต่ำ	8	น้ำที่ใช้ไม่ได้ผ่านการบำบัด	3	ตรวจสอบค่าความสกปรกของน้ำทุกวัน	3	72
		การเก็บตัวอย่างน้ำเยื่อไม่เป็นตัวแทนของตัวอย่างทั้งหมด (X12)	วิธีการเก็บตัวอย่างไม่เหมาะสม	X121	ได้ค่าวัดที่ไม่ถูกต้อง	6	พนักงานไม่มีความรู้ในการปฏิบัติงาน	4	ตรวจสอบการทำงานของพนักงาน	3	72
			พนักงานเก็บตัวอย่างไม่ตรงกับตำแหน่งที่กำหนด	X122	ได้ค่าวัดที่ไม่ถูกต้อง	6	พนักงานไม่มีความรู้ในการปฏิบัติงาน	4	ตรวจสอบการทำงานของพนักงาน	3	72
		น้ำหนักกระดาษแต่ละแบทช์ที่ทำการตีเยื่อ(X3)	พนักงานชั่งน้ำหนักกระดาษไม่เป็นไปตามสูตรที่กำหนด	X301	เกิดความผันแปรของค่าความเข้มข้นน้ำเยื่อ	7	ไม่มีการตรวจสอบการชั่งกระดาษของพนักงาน	5	ใช้โปรแกรมในการควบคุมการชั่งน้ำหนัก	2	70
			เครื่องชั่งไม่ได้รับการสอบเทียบ	X302	เกิดความผันแปรของน้ำหนักกระดาษ	7	ไม่ทำการสอบเทียบตามแผน	1	ตรวจสอบบันทึกการสอบเทียบ	1	7

ตารางที่ 5.7 การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA)

ลำดับ	กระบวนการ	ปัจจัยนำเข้าหลักที่ได้จากกระบวนการ C&E	ข้อบกพร่องของปัจจัยนำเข้าที่มีโอกาสเกิด	ตัวแปรย่อย	ผลกระทบต่อความต้องการของลูกค้าหรือปัจจัยที่ออกมาจากการเกิดข้อบกพร่องของปัจจัยนำเข้า	ความรุนแรงของผลกระทบที่เกิดขึ้น (S)	สาเหตุที่เป็นไปได้ที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องบนปัจจัยนำเข้า	ความถี่ในการเกิดเหตุการณ์ (O)	การควบคุมในปัจจุบัน	การตรวจวัด (D)	RPN
2	การผสมขั้นสุดท้าย	ความแปรปรวนของน้ำหนักปูนซีเมนต์และน้ำเยื่อ(X16)	การชั่งน้ำหนักไม่ถูกต้อง	X161	น้ำหนักส่วนผสมไม่เป็นไปตามสูตร	7	เครื่องชั่งไม่ได้รับการตรวจสอบและสอบเทียบ	1	สอบเทียบเครื่องชั่งตามเวลา	1	7
			ความแปรปรวนของความเข้มข้นน้ำเยื่อ	X162	เกิดความผันแปรของความเข้มข้นของส่วนผสมสุดท้าย	7	ความแปรปรวนของค่าความเข้มข้นของน้ำเยื่อจากขั้นตอนการเตรียมเยื่อ	6	บันทึกค่าการปรับ	6	252
			การปรับค่าปริมาณน้ำเยื่อไม่เหมาะสม	X163	เกิดความผันแปรของความเข้มข้นของส่วนผสมสุดท้าย	7	ไม่ได้กำหนดมาตรฐานวิธีการปรับค่า	7	ตรวจสอบค่า %เยื่อ	6	294
		ความแปรปรวนของน้ำหนักปูนซีเมนต์และแคลเซียมคาร์บอเนต(X15)	เครื่องชั่งเสีย	X151	น้ำหนักส่วนผสมไม่เป็นไปตามสูตร	7	ไม่มีการตรวจสอบเครื่องชั่งก่อนการใช้งาน	2	บันทึกค่าน้ำหนักวัตถุดิบ	1	14
			เครื่องชั่งไม่แม่นยำ	X152	น้ำหนักส่วนผสมไม่เป็นไปตามสูตร	7	ไม่มีการสอบเทียบเครื่องชั่ง	1	สอบเทียบเครื่องชั่งตามเวลา	1	7
		ความแปรปรวนของสัดส่วนปูนซีเมนต์และแคลเซียมคาร์บอเนต(X17)	เครื่องชั่งเสีย	X171	น้ำหนักส่วนผสมไม่เป็นไปตามสูตร	7	ไม่มีการตรวจสอบเครื่องชั่งก่อนการใช้งาน	2	บันทึกค่าน้ำหนักวัตถุดิบ	1	14
			เครื่องชั่งไม่แม่นยำ	X172	น้ำหนักส่วนผสมไม่เป็นไปตามสูตร	7	ไม่มีการสอบเทียบเครื่องชั่ง	1	สอบเทียบเครื่องชั่งตามเวลา	1	7
			การตั้งสูตรการผสมไม่ถูกต้อง	X173	น้ำหนักส่วนผสมไม่เป็นไปตามสูตร	7	พนักงานเลือกสูตรผสมผิด	1	บันทึกการตั้งสูตรการผลิต	3	21
			ความแปรปรวนของค่าความเข้มข้นน้ำ Cone	X174	เกิดความผันแปรของความเข้มข้นของส่วนผสมสุดท้าย	7	ความเร็วการเดินเครื่องจักรไม่สม่ำเสมอ	3	การกำหนดเวลาการเดรนน้ำ Cone	3	63
		ความแปรปรวนของความเข้มข้นของของแข็งในถัง Cone(X18)	ระยะเวลาการตกตะกอนไม่เหมาะสม	X181	เกิดความผันแปรของความเข้มข้นของส่วนผสมสุดท้าย	7	ความเร็วการเดินเครื่องจักรไม่สม่ำเสมอ	3	การกำหนดเวลาการเดรนน้ำ Cone	3	63
		ความแปรปรวนของความเข้มข้นของน้ำเยื่อ(X19)	การปรับค่าความเข้มข้นจากกระบวนการเตรียมเยื่อไม่ถูกต้อง	X191	เกิดความผันแปรของความเข้มข้นของส่วนผสมสุดท้าย	7	พนักงานไม่มีความรู้ในการปฏิบัติงาน	7	ตรวจสอบการทำงานของพนักงาน	3	147
		พนักงานไม่เข้าใจวิธีการปรับค่าเครื่องจักร(X26)	พนักงานมีการปรับตั้งค่าเครื่องจักรไม่เหมาะสม	X261	เกิดความผันแปรของความเข้มข้นของส่วนผสมสุดท้าย	7	พนักงานไม่มีความรู้ในการปฏิบัติงาน	6	ตรวจสอบการทำงานของพนักงาน	3	126
		ความแปรปรวนของความเข้มข้นส่วนผสมที่นำกลับมาใช้ใหม่(X20)	สัดส่วนการผสมไม่คงที่	X201	เกิดความผันแปรของความเข้มข้นของส่วนผสมสุดท้าย	7	อัตราการป้อนเศษขอบข้างไม่คงที่	3	กำหนดอัตราการป้อนเศษ	3	63
		ระยะเวลาการผสมแต่ละขั้นตอนไม่เหมาะสม(X23)	การเกิดปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์แตกต่างกัน	X231	เกิดความผันแปรของค่าความแข็งแรง	8	การหยุดเครื่องจักรกระทันหัน	3	กำหนดเวลาในการผสม	2	48
		การเก็บตัวอย่างส่วนผสมไม่ถูกต้อง (X24)	วิธีการเก็บตัวอย่างไม่เหมาะสม	X241	ได้ค่าวัดที่ไม่ถูกต้อง	6	พนักงานไม่มีความรู้ในการปฏิบัติงาน	6	ตรวจสอบการทำงานของพนักงาน	3	108
			พนักงานเก็บตัวอย่างไม่ตรงกับตำแหน่งที่กำหนด	X242	ได้ค่าวัดที่ไม่ถูกต้อง	6	พนักงานไม่มีความรู้ในการปฏิบัติงาน	2	ตรวจสอบการทำงานของพนักงาน	3	36
		ความแปรปรวนของส่วนผสมในถัง GEMI 1-2(X22)	ความแปรปรวนของส่วนผสมก่อนผสมในถัง GEMI	X221	เกิดความผันแปรของความเข้มข้นของส่วนผสมสุดท้าย	7	ความแปรปรวนของส่วนผสมก่อนหน้า	3	ตรวจสอบค่าความเข้มข้น	3	63

ตารางที่ 5.7 การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA)

ลำดับ	กระบวนการ	ปัจจัยนำเข้าหลักที่ได้จากกระบวนการ C&E	ข้อบกพร่องของปัจจัยนำเข้าที่มีโอกาสเกิด	ตัวแปรย่อย	ผลกระทบต่อความต้องการของลูกค้าหรือปัจจัยที่ออกมาจากการเกิดข้อบกพร่องของปัจจัยนำเข้า	ความรุนแรงของผลกระทบที่เกิดขึ้น (S)	สาเหตุที่เป็นไปได้ที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องบนปัจจัยนำเข้า	ความถี่ในการเกิดเหตุการณ์ (O)	การควบคุมในปัจจุบัน	การตรวจวัด (D)	RPN
3	การขึ้นรูปแผ่นบอร์ด	แรงอัดของ Pressure roller สูงหรือต่ำเกินไป (X32)	การตั้งค่าแรงอัดของ Pressure roller ไม่เหมาะสม	X321	เกิดความผันแปรของค่าความหนาแน่นของแผ่น Fresh Sheet	8	ฝ่ายผลิตกำหนดค่าไม่เหมาะสม	7	ตรวจสอบค่าพารามิเตอร์	6	336
		ความเร็วไต้การเดินเครื่องจักรมากเกินไป(X33)	การตั้งค่าความเร็ว Felt สูง	X331	ค่าความแข็งแรงของแผ่นบอร์ดต่ำ	9	ฝ่ายผลิตกำหนดค่าไม่เหมาะสม	3	ตรวจสอบค่าพารามิเตอร์	2	54
		ความหนาของฟิล์มไม่เหมาะสม(X27)	ความหนาของฟิล์มมากเกินไป	X271	ค่าความแข็งแรงของแผ่นบอร์ดต่ำ	9	ฝ่ายผลิตกำหนดค่าไม่เหมาะสม	7	ตรวจสอบค่าพารามิเตอร์	8	504
		พนักงานไม่เข้าใจวิธีการปรับค่าเครื่องจักร(X34)	พนักงานมีการปรับตั้งค่าเครื่องจักรไม่เหมาะสม	X341	พารามิเตอร์ออกนอกค่าควบคุม	8	พนักงานไม่มีความรู้ในการปฏิบัติงาน	8	ตรวจสอบการทำงานของพนักงาน	3	192
		อายุผ้า Felt นาน(X28)	ผ้า Felt เกิดการอุดตัน	X281	ค่าความชื้นแผ่น Fresh sheet มีค่าสูง ความหนาแน่นต่ำ	6	วิธีการทำความสะอาดผ้า Felt ไม่เหมาะสม	2	กำหนดเวลาในการทำความสะอาดผ้า Felt	1	12
		การดูดความชื้นของ Vaccum box ไม่ดี(X31)	ผ้า Felt เกิดการอุดตัน	X311	ค่าความชื้นแผ่น Fresh sheet มีค่าสูง ความหนาแน่นต่ำ	6	วิธีการทำความสะอาดผ้า Felt ไม่เหมาะสม	2	กำหนดเวลาในการทำความสะอาดผ้า Felt	1	12
			การอุดตันของ Vacuum box	X312	ค่าความชื้นแผ่น Fresh sheet ไม่สม่ำเสมอ	6	ไม่มีการทำความสะอาด Vacuum box	2	กำหนดเวลาในการทำความสะอาดผ้า Vacuum box	1	12
4	การบ่ม	ระยะเวลาการบ่มที่ห้องบ่มที่ 2 น้อยเกินไป(X38)	ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์ไม่สมบูรณ์	X381	ค่าความแข็งแรงของแผ่นบอร์ดต่ำ	9	การนำแผ่นบอร์ดออกจากห้องบ่มก่อนเวลาที่กำหนด	1	ติดป้ายกำหนดเวลาการนำแผ่นบอร์ดออกจากห้องบ่ม	1	9
		อุณหภูมิห้องบ่มที่ 1 ต่ำหรือสูงเกินไป(X35)	ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์ไม่สมบูรณ์	X351	ค่าความผันแปรของค่าความแข็งแรง	8	ปริมาณไอน้ำที่ใช้ในการบ่มไม่เหมาะสม	2	บันทึกค่าอุณหภูมิ	3	48
		ระยะเวลาการบ่มที่ห้องบ่มที่ 1 ไม่เหมาะสม(X36)	การเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นต่างกัน	X361	ค่าความผันแปรของค่าความแข็งแรง	8	การกำหนดระยะเวลาการบ่มของแผ่นบอร์ดแต่ละชนิดไม่เหมาะสม	2	เกณฑ์การบ่มแผ่นบอร์ดแต่ละความหนา	1	16



รูปที่ 5.7 แผนภาพพาเรโตแสดงความสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อ
ความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์

ในการพิจารณาเลือกปัจจัยนำเข้าที่มีผลกระทบต่อความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์นั้น พิจารณาตามกฎ 80:20 พบว่าปัจจัยนำเข้าที่ทีมงานคัดเลือกมาพิจารณาทั้งหมด 16 ปัจจัย ดังนี้

X271 คือ ความหนาของฟิล์มไม่เหมาะสม

X011 คือ ความแปรปรวนของกระดาษดีแอลเค

X321 คือ แรงอัด Pressure stepไม่เหมาะสม

X163 คือ การปรับค่าปริมาณน้ำเยื่อไม่เหมาะสม

X101 คือ ความแปรปรวนของค่าฟรีเนสน้ำเยื่อ (ความแปรปรวนของค่าฟรีเนสกระดาษ)

X162 คือ ความแปรปรวนของความเข้มข้นน้ำเยื่อ

X341 คือ พนักงานส่วนขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ไม่มีความเข้าใจในการปรับตั้งค่าเครื่องจักร

X191 คือ การปรับค่าความเข้มข้นจากกระบวนการเตรียมเยื่อไม่ถูกต้อง

X102 คือ การปรับสูตรการตีเยื่อไม่เหมาะสม

X111 คือ พนักงานส่วนเตรียมเยื่อไม่มีความเข้าใจในการปรับตั้งค่าเครื่องจักร

X261 คือ พนักงานส่วนผสมขั้นสุดท้ายไม่มีความเข้าใจในการปรับตั้งค่าเครื่องจักร

X241 คือ วิธีเก็บตัวอย่างส่วนผสมขั้นสุดท้ายไม่เหมาะสม

X103 คือ ความแปรปรวนของค่าฟรีเนสน้ำเยื่อ (การชั่งน้ำหนักกระดาษไม่ถูกต้อง)

X021 คือ การปรับสูตรการตีเยื่อไม่เหมาะสม

X121 คือ การเก็บตัวอย่างน้ำเยื่อไปทดสอบไม่ถูกต้อง (วิธีการเก็บไม่เหมาะสม)

X122 คือ การเก็บตัวอย่างน้ำเยื่อไปทดสอบไม่ถูกต้อง (พนักงานเก็บตำแหน่งไม่ถูกต้อง)

เมื่อทีมงานได้เลือกสาเหตุหลักของปัญหาแล้ว ได้นำปัจจัยทั้ง 16 ปัจจัย มาทำการจัดกลุ่ม เพื่อพิจารณาแนวทางในการปรับปรุง โดยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 การตั้งค่าพารามิเตอร์ไม่เหมาะสม ได้แก่ ปัจจัย X271 X321 X101 พิจารณาแนวทางแก้ไข คือ การออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสม

กลุ่มที่ 2 การปรับปรุงกระบวนการ โดยการสร้างมาตรฐานวิธีปฏิบัติงาน ได้แก่ ปัจจัย X011 X162 X163 X191 X102 X103 X021 X121 X122 X241

กลุ่มที่ 3 การอบรมพนักงาน ได้แก่ ปัจจัย X341 X111 X261

ตารางที่ 5.8 สรุปสาเหตุของปัญหาและแนวทางการจัดการปรับปรุงแก้ไขตัวแปรที่สำคัญทั้ง 16 ตัวแปร

ชื่อตัวแปร	ประเภทของสาเหตุ	สาเหตุของปัญหา	วิธีการแก้ไข
กลุ่มที่ 1 การตั้งค่าปัจจัยไม่เหมาะสม			
X101	ด้านวัตถุดิบ(Material)	ความแปรปรวนของค่าฟรีเนสน้ำเยื่อ	ออกแบบการทดลอง
X271	ด้านเครื่องจักร(Machine)	ความหนาของฟิล์ม	ออกแบบการทดลอง
X321	ด้านเครื่องจักร(Machine)	แรงอัด Pressure step	ออกแบบการทดลอง
กลุ่มที่ 2			
X011	ด้านวัตถุดิบ(Material)	ความแปรปรวนของกระดาษดีแอลเค	วัดค่าฟรีเนสกระดาษดีแอลเคและแบ่งกลุ่มตามช่วงค่าฟรีเนส
X021	ด้านวิธีการผลิต(Method)	การปรับสูตรการตีเยื่อไม่เหมาะสม	จัดทำมาตรฐานกำหนดสูตรการตีเยื่อ
X102	ด้านวัตถุดิบ(Material)	การปรับสูตรการตีเยื่อไม่เหมาะสม	จัดทำมาตรฐานวิธีการเตรียมเยื่อ
X103	ด้านวัตถุดิบ(Material)	ความแปรปรวนของค่าฟรีเนสน้ำเยื่อ(การชั่งน้ำหนักกระดาษไม่ถูกต้อง)	จัดทำมาตรฐานวิธีการเตรียมเยื่อ
X121	ด้านวิธีการวัด(Measurement)	การเก็บตัวอย่างน้ำเยื่อไปทดสอบไม่ถูกต้อง (วิธีการเก็บไม่เหมาะสม)	จัดทำมาตรฐานวิธีการปฏิบัติงาน
X122	ด้านวิธีการวัด(Measurement)	การเก็บตัวอย่างน้ำเยื่อไปทดสอบไม่ถูกต้อง (พนักงานเก็บตำแหน่งไม่ถูกต้อง)	จัดทำมาตรฐานวิธีการปฏิบัติงาน
X162	ด้านวัตถุดิบ(Material)	ความแปรปรวนของความเข้มข้นน้ำเยื่อ	จัดทำมาตรฐานวิธีการเตรียมเยื่อ
X163	ด้านวัตถุดิบ(Material)	การปรับค่าปริมาณน้ำเยื่อ	จัดทำมาตรฐานวิธีการปรับปริมาณน้ำเยื่อ
X191	ด้านวัตถุดิบ(Material)	การปรับค่าความเข้มข้นจากกระบวนการเตรียมเยื่อไม่ถูกต้อง	จัดทำมาตรฐานวิธีการปฏิบัติงาน
X241	ด้านวิธีการวัด(Measurement)	วิธีเก็บตัวอย่างส่วนผสมขั้นสุดท้ายไม่เหมาะสม	จัดทำมาตรฐานวิธีการปฏิบัติงาน
กลุ่มที่ 3			
X111	ด้านบุคคล(Man)	พนักงานส่วนเตรียมเยื่อไม่มีความเข้าใจในการปรับตั้งค่าเครื่องจักร	จัดแผนการฝึกอบรมวิธีการปฏิบัติงาน ฝึกฝนการปฏิบัติงานและการประเมินผล
X261	ด้านบุคคล(Man)	พนักงานส่วนผสมขั้นสุดท้ายไม่มีความเข้าใจในการปรับตั้งค่าเครื่องจักร	จัดแผนการฝึกอบรมวิธีการปฏิบัติงาน ฝึกฝนการปฏิบัติงานและการประเมินผล
X341	ด้านบุคคล(Man)	พนักงานส่วนขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ไม่มีความเข้าใจในการปรับตั้งค่าเครื่องจักร	จัดแผนการฝึกอบรมวิธีการปฏิบัติงาน ฝึกฝนการปฏิบัติงานและการประเมินผล

5.4 สรุปผลการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

ในขั้นตอนการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา ทางทีมงานได้ทำการศึกษารายละเอียดของกระบวนการผลิต ตั้งแต่ขั้นตอนการเตรียมเยื่อ ขั้นตอนการผสมขั้นสุดท้าย ขั้นตอนการขึ้นรูปแผ่นบอร์ดและขั้นตอนการบ่มผลิตภัณฑ์ จากนั้น ทำการวิเคราะห์หาปัจจัยตามหลักการ 5M 1E พบว่า มีทั้งหมด 39 ปัจจัย ที่อาจส่งผลต่อความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากปัจจัยจำนวนมาก ทางทีมงานจึงใช้เทคนิคการหาความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลของปัญหา (Cause and Effect) และการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA) ในการคัดกรองปัจจัย โดยสามารถลดจำนวนปัจจัยลงเหลือ 16 ปัจจัย เพื่อทำการปรับปรุง ทั้งนี้ ทางทีมงานได้แบ่งกลุ่มปัจจัยออกเป็น 3 กลุ่ม ตามแนวทางการแก้ไข ได้แก่ กลุ่มที่ 1 การตั้งค่าพารามิเตอร์ไม่เหมาะสม แก้ไขโดยการออกแบบการทดลอง กลุ่มที่ 2 ปรับปรุงโดยการสร้างมาตรฐานวิธีปฏิบัติงาน และกลุ่มที่ 3 ปรับปรุงโดยการจัดแผนการฝึกอบรมให้พนักงาน

บทที่ 6
การแก้ไขปรับปรุงกระบวนการ (Improvement Phase)

จากการวิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงของแผ่นบอร์ดหรือค่า MOR โดยใช้การระดมสมองของทีมงานและใช้วิธีการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA) พบว่า มีปัจจัยที่ส่งผลต่อความแข็งแรงของแผ่นบอร์ดทั้งหมด 16 ปัจจัย โดยทีมงานได้แบ่งกลุ่มของปัจจัยเพื่อพิจารณาแนวทางในการปรับปรุง ดังนี้

กลุ่มที่ 1 การตั้งค่าพารามิเตอร์ไม่เหมาะสม ได้แก่ ปัจจัย X271 X321 X101 พิจารณาแนวทางแก้ไข คือ การออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสม

กลุ่มที่ 2 การปรับปรุงกระบวนการ โดยการสร้างวิธีปฏิบัติงาน ได้แก่ ปัจจัย X011 X162 X163 X191 X102 X103 X021 X121 X122 X241

กลุ่มที่ 3 การอบรมพนักงาน ได้แก่ ปัจจัย X341 X111 X261

6.1 รูปแบบการทดลองสำหรับหาพื้นผิวตอบสนอง

จากปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงของแผ่นบอร์ด ที่เกิดจากการตั้งค่าพารามิเตอร์ไม่เหมาะสมในกลุ่มที่ 1 ซึ่งประกอบด้วย 3 ปัจจัย คือ X101 ค่าฟรีเนสของน้ำเยื่อ (CSF) X271 ค่าความหนาของฟิล์ม (mm) และแรงอัด Pressure step (bar) โดยการหาระดับที่เหมาะสม (Optimization)ในการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ดังกล่าว เพื่อให้ได้ค่าความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์สูงที่สุดและมีค่าความแปรปรวนต่ำที่สุดนั้น ทางทีมงานได้พิจารณาเลือกใช้การออกแบบการทดลอง ทั้งนี้ รูปแบบการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าที่ดีที่สุดของ 3 ปัจจัยวิธีที่เป็นที่นิยมคือ การหาพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Methodology : RSM) ซึ่งจะต้องทำการทดลองอย่างน้อย 3 ระดับของแต่ละปัจจัย มีหลายรูปแบบ ดังนี้

- การออกแบบการทดลองแบบ 3 ระดับปัจจัย (3 Level Factorial Design) เป็นการทดลองที่พิจารณาถึงผลที่เกิดจากการรวมกันของระดับ (Level) ของปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ของการทดลองนั้น กรณีที่ต้องการทำการทดลองทั้งหมด m^k

- เมื่อ m คือ จำนวนปัจจัย และ k คือ ระดับของปัจจัย เมื่อต้องการศึกษา 3 ปัจจัย ปัจจัยละ 3 ระดับ คือ -1, 0, 1 ผู้ทำการทดลองจะต้องทดลองทั้งหมด 3^3เท่ากับ 27 การทดลอง

- การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design : CCD)เป็นการออกแบบการทดลองที่ทุกระดับของแต่ละปัจจัย โดยแต่ละจุดห่างจากจุดศูนย์กลางเท่ากันและมีการทดลองซ้ำที่จุดศูนย์กลาง ทั้งนี้ จะต้องทำการทดลองปัจจัยละ 5 ระดับ คือ $-\alpha$, -1, 0 , 1, α จำนวนการทดลองทั้งหมดเท่ากับ

  จำนวนการทดลองแบบส่วนประสมกลาง = $2^K + 2K + n_0$ 6.1

  เมื่อ K คือ จำนวนตัวแปรอิสระที่ต้องการออกแบบการทดลอง

  n_0คือจำนวนการทดลองซ้ำที่จุดกึ่งกลาง (Central point)

  คำนวณ

  จำนวนการทดลองแบบส่วนประสมกลาง = $2^3 + 2(3) + 6 = 20$

  ดังนั้น จำนวนการทดลองทั้งหมดเท่ากับ 20 การทดลอง ซึ่งแบ่งเป็น Cube points 8 การทดลอง Center points 6 การทดลอง และ Axial points 6 การทดลอง

- การออกแบบการทดลองแบบบอกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken Design) เป็นการออกแบบการทดลองแบบบล็อกที่ไม่สมบูรณ์ ที่จุดบนแกนอยู่ในระนาบเดียวกับจุดที่เป็นแฟคทอเรียลและมีการทำซ้ำที่จุดศูนย์กลาง ทำการทดลองปัจจัยละ 3 ระดับ คือ -1, 0, 1 จำนวนการทดลองทั้งหมด 15 การทดลอง

จากการเปรียบเทียบการออกแบบการทดลองรูปแบบต่างๆ เพื่อนำมาหาพื้นที่ผิวตอบทางทีมงานได้พิจารณาเลือกรูปแบบการทดลองแบบบอกซ์-เบห์นเคน ซึ่งมีการทดลองที่ระดับของ

ปัจจัย 3 ระดับ ทั้งนี้ การที่ไม่สามารถเลือกรูปแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางนั้น เนื่องจากข้อจำกัดของการตั้งค่าระดับของปัจจัย ซึ่งไม่สามารถปรับได้ถึง 5 ระดับได้ และเมื่อเปรียบเทียบการออกแบบการทดลองแบบบอกซ์-เบห์นเคนและแบบ 3 ระดับปัจจัยแล้ว การทดลองแบบบอกซ์-เบห์นเคน มีจำนวนการทดลองที่น้อยกว่า โดยทำการทดลองเพียง 15 การทดลอง ในขณะการทดลองแบบ 3 ระดับปัจจัยต้องทำการทดลอง 27 การทดลอง ดังนั้นเพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการทดลอง ทางทีมงานจึงพิจารณาเลือกแบบการทดลองบอกซ์-เบห์นเคน ทั้งนี้ ในการเลือกทำการทดลองบอกซ์-เบห์นเคน โดยไม่ทำการทดลองแบบทีละปัจจัย (One factor at a time experiment) หรือ การทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^3 ก่อนนั้น เนื่องจากปัจจัยที่ต้องการศึกษามีเพียง 3 ปัจจัย ที่สามารถกรองได้จากระยะวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ซึ่งมีจำนวนปัจจัยไม่มากนัก จึงพิจารณาเลือกทำการทดลองแบบการหาพื้นผิวผลตอบแบบบอกซ์-เบห์นเคน ซึ่งผลการทดลองที่ได้ สามารถตอบวัตถุประสงค์การทดลอง คือ ทราบว่าปัจจัยใดมีผลต่อตัวแปรผลตอบอย่างมีนัยสำคัญทราบอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย และสามารถหาจุดที่ดีที่สุดในการตั้งค่าระดับปัจจัยได้ซึ่งการทดลองแบบทีละปัจจัยไม่สามารถบอกอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยได้ อาจทำให้การสรุปผลการทดลองผิดพลาดนอกจากนี้ ในการทดลองนี้ต้องการศึกษาปัจจัยที่3 ระดับ แบบการทดลองบอกซ์-เบห์นเคนยังทำให้เห็นผลของจุดศูนย์กลางด้วย ซึ่งการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^3 สามารถตอบได้เพียงที่ระดับปัจจัยสูง (+) และต่ำ (-) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ในกรณีที่ระดับปัจจัยที่จุดศูนย์กลางมีผลจะไม่สามารถตอบได้ ซึ่งหากผลของการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^3 ให้ผลไม่แตกต่างกัน ผู้ทดลองอาจทำการตัดปัจจัยนั้นออกทั้งๆ ระดับปัจจัยที่จุดศูนย์กลางมีผล

ในการทดลองนี้จะทำการศึกษาปัจจัย 3 ปัจจัย ปัจจัยละ 3 ระดับ ซึ่งระดับของปัจจัยได้มาจากการประชุมร่วมกันของทีมงาน ซึ่งกำหนดจากช่วงของปัจจัยที่สามารถปรับตั้งค่าเครื่องจักรได้และไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์จนเกิดเป็นของเสีย โดยการกำหนดสัญลักษณ์ของปัจจัยและระดับของปัจจัยเป็นดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 การกำหนดสัญลักษณ์ของปัจจัยและการกำหนดระดับปัจจัยสำหรับการออกแบบการทดลองแบบบอกซ์-เบห์นเคน

ลำดับที่	ปัจจัยนำเข้า	สัญลักษณ์	หน่วย	ระดับของปัจจัย		
				ระดับต่ำ	จุดศูนย์กลาง	ระดับสูง
1	ค่าฟรีเนสน้ำเยื่อ	A	CSF	430	480	530
2	ความหนาของฟิล์ม	B	mm	0.45	0.55	0.65
3	แรงอัด Pressure step	C	bar	1.2	1.4	1.6

เมื่อทำการกำหนดสัญลักษณ์ของปัจจัยและกำหนดระดับแล้ว ใช้โปรแกรม Minitab 16 เพื่อช่วยออกแบบการทดลอง โดยลำดับการทดลองเป็นดังตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 ลำดับการทดลองที่ได้จากการออกแบบการทดลอง แบบบอกซ์-เบห์นเคน

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Freeness	Film Thickness	Pressure step
8	1	2	1	530	0.55	1.6
14	2	0	1	480	0.55	1.4
12	3	2	1	480	0.65	1.6
15	4	0	1	480	0.55	1.4
6	5	2	1	530	0.55	1.2
11	6	2	1	480	0.45	1.6
13	7	0	1	480	0.55	1.4
10	8	2	1	480	0.65	1.2
9	9	2	1	480	0.45	1.2
3	10	2	1	430	0.65	1.4
7	11	2	1	430	0.55	1.6
1	12	2	1	430	0.45	1.4
4	13	2	1	530	0.65	1.4
5	14	2	1	430	0.55	1.2
2	15	2	1	530	0.45	1.4

ในการทดลองมีข้อจำกัดในการปรับตั้งปัจจัยค่าฟรีเนสน้ำเยื่อ(A)เนื่องจากในกระบวนการเตรียมน้ำเยื่อในการผลิตนั้น ปริมาณน้อยที่สุดที่จะทำการเตรียม คือ 30ลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีปริมาณค่อนข้างมาก ดังนั้น ทางทีมงานจึงพิจารณาจัดลำดับการทดลอง โดยทำการทดลองแบ่งตามค่าฟรีเนสเยื่อ ดังนี้

ค่าฟรีเนสเยื่อ 430 CSF ลำดับการทดลองที่ 10, 11, 12, 14

ค่าฟรีเนสเยื่อ 480 CSF ลำดับการทดลองที่2, 3, 4, 6, 7, 8, 9

ค่าฟรีเนสเยื่อ 530 CSF ลำดับการทดลองที่1, 5, 13, 15

ทั้งนี้ ข้อดีของการจัดลำดับการทดลอง โดยแบ่งตามค่าฟรีเนสของน้ำเยื่อ ได้แก่

1. เนื่องจากปริมาณน้ำเยื่อที่น้อยที่สุด ที่สามารถเดินเครื่องจักรได้อย่างต่อเนื่อง คือ ต้องมีปริมาณเยื่อในถังพักเยื่อ-5 ปริมาณ 30 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งต้องตีเยื่อจำนวน 3 แบทช์ ใช้เยื่อในการตีแบทช์ละ 1,584 กิโลกรัม ดังนั้น การเตรียมเยื่อตามค่าฟรีเนสและทำการทดลองจนครบ จะช่วยลดปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองลงได้
2. ช่วยลดระยะเวลาในการทดลอง เนื่องจากขั้นตอนการเตรียมเยื่อ ซึ่งเริ่มตั้งแต่การเปิดตัวเยื่อในถังเปิดตัวเยื่อ การปรับค่าความเข้มข้น การกำจัดสิ่งปนเปื้อนจากเยื่อจนถึงถังพักเยื่อ-5 ใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง ดังนั้น การเตรียมเยื่อตามค่าฟรีเนสและทำการทดลองจนครบ จะสามารถช่วยลดระยะเวลาการทดลองลงได้

ในการเตรียมน้ำเยื่อเพื่อให้เป็นไปตามค่าระดับปัจจัยที่ตั้งไว้ คือ ค่าฟรีเนส 430 480 และ 530 mL CSF นั้น เนื่องจากมีข้อจำกัดในกระบวนการเตรียมเยื่อ ซึ่งไม่สามารถเตรียมได้ตรงค่าเป้าหมายได้ทุกครั้ง ในการทดลองจึงกำหนดช่วงการเตรียมไว้ที่ ค่าเป้าหมาย $\pm$5 mL CSF เช่น ที่ระดับค่าฟรีเนส 430 mL CSF กำหนดช่วงการยอมรับไว้ที่ 425 – 435 mL CSF เมื่อเตรียมน้ำเยื่อให้อยู่ในช่วงค่าฟรีเนสดังกล่าวได้แล้ว จึงสามารถเริ่มการทดลองได้

เมื่อทำการเตรียมน้ำเยื่อที่ค่าฟรีเนสที่ต้องการแล้ว จากนั้นน้ำเยื่อจะถูกส่งมาที่ขั้นตอนการผสมขั้นสุดท้ายเพื่อเติมปูนซีเมนต์และแคลเซียมคาร์บอเนต ส่วนผสมจะถูกไปขึ้นรูป โดยจะมีการปรับค่าปัจจัยความหนาของฟิล์ม (B) และแรงอัด Pressure step (C) ขึ้นรูปจนได้ความหนาแผ่นบอร์ด 11 มิลลิเมตร แผ่นบอร์ดจะถูกบ่มครั้งที่ 1 เป็นเวลา 10.7ชั่วโมง บ่มครั้งที่ 2 เป็นเวลา 6

วัน เมื่อครบกำหนดจะถูกนำเข้ากระบวนการอบแห้ง 9.5ชั่วโมง จึงจะสามารถนำแผ่นบอร์ดมาตัดตามขนาดที่กำหนดและทดสอบหาค่าความแข็งแรงต่อไป ขั้นตอนการทดลองและการเก็บตัวอย่างเป็นไปตามรูปที่ 6.1

รูปที่ 6.1 ขั้นตอนการทดลองและการเก็บตัวอย่าง

6.2 ผลการทดลองและการวิเคราะห์

ผลที่ได้จากการทดลองตามแผนที่ออกแบบไว้ เป็นดังตารางที่ 6.3 ผลการทดลองหาค่าความแข็งแรงของแผ่นบอร์ดไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ได้จากการทดลอง

ตารางที่ 6.3 ผลการหาค่าความแข็งแรงของแผ่นบอร์ดไฟเบอร์ซีเมนต์จากการออกแบบการทดลองแบบบอกซ์-เบห์นเคน

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Freeness	Film Thickness	Pressure step	MOR
8	1	2	1	530	0.55	1.6	18.65
14	2	0	1	480	0.55	1.4	17.68
12	3	2	1	480	0.65	1.6	18.47
15	4	0	1	480	0.55	1.4	17.71
6	5	2	1	530	0.55	1.2	18.40
11	6	2	1	480	0.45	1.6	18.89
13	7	0	1	480	0.55	1.4	17.41
10	8	2	1	480	0.65	1.2	18.07
9	9	2	1	480	0.45	1.2	17.46
3	10	2	1	430	0.65	1.4	19.21
7	11	2	1	430	0.55	1.6	19.87
1	12	2	1	430	0.45	1.4	19.79
4	13	2	1	530	0.65	1.4	17.28
5	14	2	1	430	0.55	1.2	19.60
2	15	2	1	530	0.45	1.4	18.41

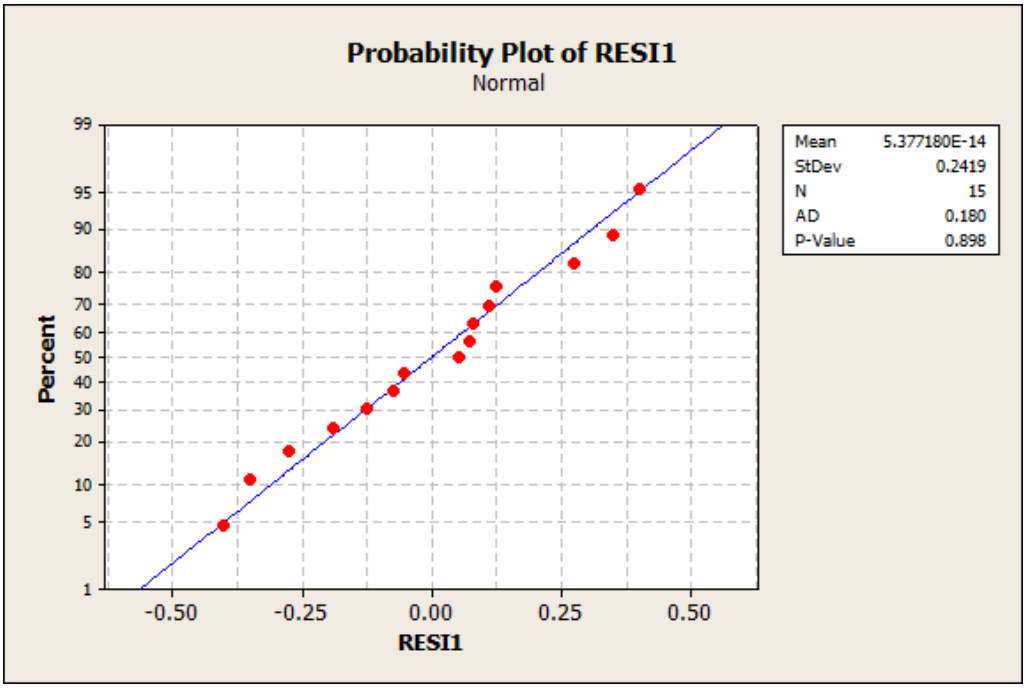
หลังจากทำการทดลองตามที่ได้วางแผนไว้แล้ว นำผลการทดลองที่ได้มาทำการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Minitab โดยทำการวิเคราะห์หัวข้อต่างๆ ดังนี้

6.2.1 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking)

ก่อนนำข้อสรุปที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนไปใช้งาน ต้องทำการตรวจสอบความเพียงพอ (Adequacy) ของแบบจำลองทางสถิติ โดยการตรวจสอบส่วนตกค้าง (Residual) ว่าเป็นไปตามสมมติฐาน $\varepsilon_{ij} \sim NID(0, \sigma^2)$ กล่าวคือ ε_{ij} มีการกระจายแบบปกติและเป็นอิสระ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และมีความแปรปรวนเท่ากับ σ^2หรือไม่ โดยใช้โปรแกรม Minitab 16 ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1) การทดสอบการแจกแจงแบบปกติของส่วนตกค้าง (Normal Probability Plot of the Residuals)

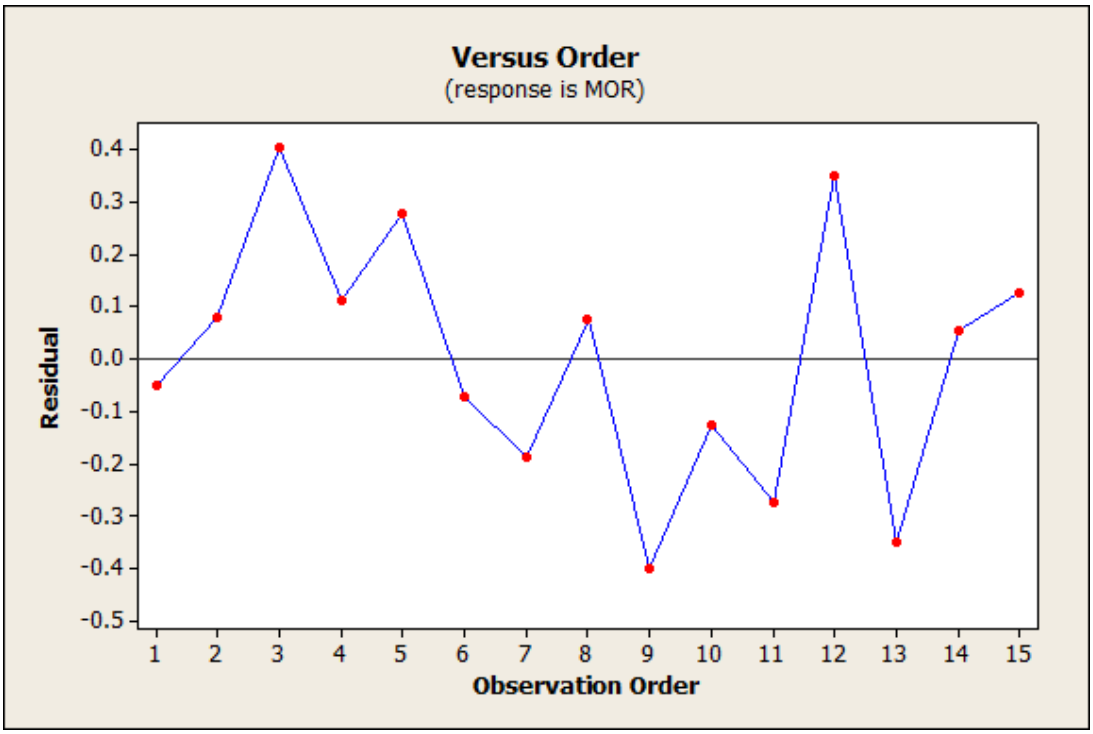
การทดสอบว่าส่วนตกค้างมีการกระจายตัวแบบปกติ สามารถทำได้โดยการสร้าง Normal Probability Plot ของส่วนตกค้าง ถ้าการแจกแจงของข้อมูลเป็นแบบปกติรูปที่พล็อตจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง จากการพิจารณา Normality Probability Plot ของส่วนตกค้าง (Residuals) ดังรูปที่ 6.2พบว่า ข้อมูลมีการเรียงตัวของส่วนตกค้างรอบๆ เส้นตรง ไม่พบว่ามีส่วนตกค้างบางค่าที่มากกว่าค่าอื่น และจากการวิเคราะห์ทางสถิติ ได้ค่า P-Value เท่ากับ 0.898 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าข้อมูลจากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ



รูปที่ 6.2 ผลการทดสอบสมมติฐานการแจกแจงปกติของส่วนตกค้างของตัวแปรผลตอบ

2) การทดสอบส่วนตกค้างตามลำดับเวลา

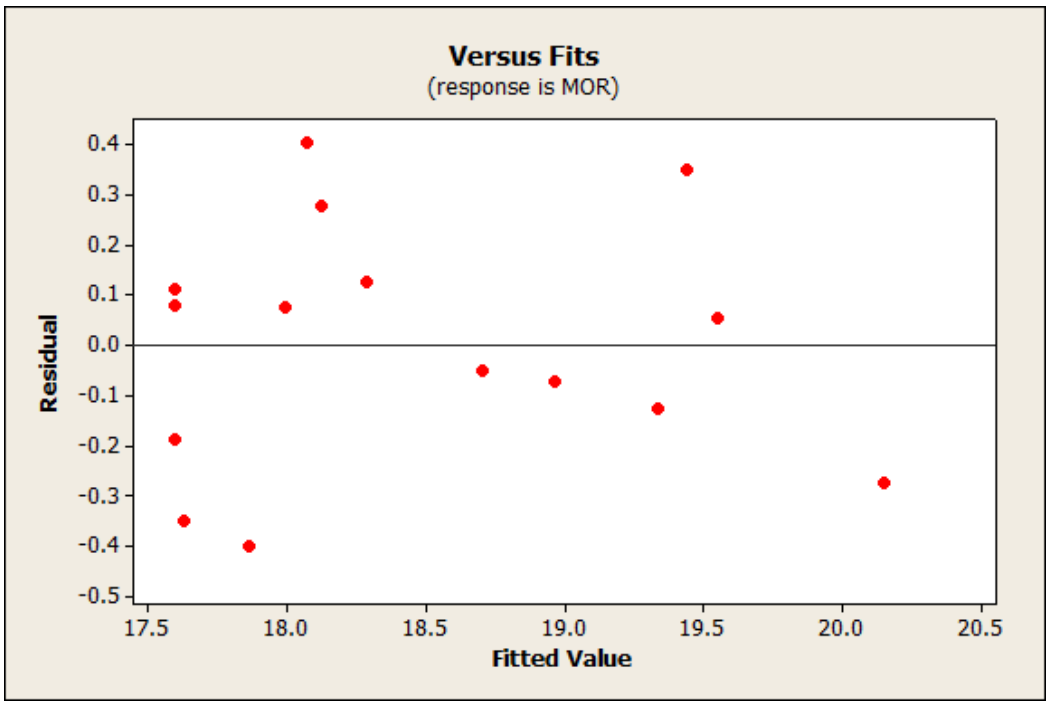
การทดสอบส่วนตกค้างตามลำดับเวลา ช่วยในการตรวจสอบสมมติฐานความเป็นอิสระของส่วนตกค้าง โดยทำการพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ของส่วนตกค้างตามลำดับเวลา เพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างและเวลาในการเก็บ จากรูปที่ 6.3 พบว่าข้อมูลส่วนตกค้างมีการกระจายตัวอยู่ทั้งด้านบวกและด้านลบ มีลักษณะเป็นอิสระต่อกันและไม่มีรูปแบบที่แน่นอน จึงสรุปได้ว่าข้อมูลจากการทดลองมีการกระจายตัวอิสระ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05



รูปที่ 6.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างและเวลาการเก็บข้อมูล

3) การทดสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวนของผลตอบ (Variance Stability)

การทดสอบความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน สามารถตรวจสอบได้โดยการพล็อตส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกฟิต (Fitted Value) ซึ่งจากกราฟรูปที่ 6.4 พบว่า การกระจายตัวของส่วนตกค้างไม่มีรูปแบบที่แน่นอน จึงสรุปได้ว่า ความแปรปรวนของข้อมูลส่วนตกค้างมีความเสถียร



รูปที่ 6.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างและค้าที่ถูกฟิตของตัวแปรตอบสนอง

จากการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองของตัวแปรตอบสนองที่นำมาทดลอง พบว่ามีความสอดคล้องกับสมมติฐาน $\varepsilon_{ij} \sim NID(0, \sigma^2)$ กล่าวคือ ส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ มีการกระจายตัวเป็นอิสระและมีความเสถียรภาพ ข้อมูลดังกล่าว จึงมีความถูกต้องน่าเชื่อถือ สามารถนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวนต่อไปได้

6.2.2การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลตอบสนอง

จากผลการทดลองนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อหาระดับของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรง (MOR) ของแผ่นบอร์ด โดยผลการวิเคราะห์เป็นดังรูปที่ 6.5 ทั้งนี้ ข้อมูลที่ได้จากการทดลองยังสามารถนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและผลตอบโดยใช้หลักการการสร้างแบบจำลองการถดถอย (Regression Analysis) ได้ดังสมการที่ 6.2

Response Surface Regression: MOR versus Freeness, Film Thickness, Step pressure

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for MOR

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	17.6000	0.2337	75.304	0.000
Freeness	-0.7163	0.1431	-5.004	0.004
Film Thickness	-0.1900	0.1431	-1.328	0.242
Step pressure	0.2937	0.1431	2.052	0.095
Freeness*Freeness	0.9900	0.2107	4.699	0.005
Film Thickness*Film Thickness	0.0825	0.2107	0.392	0.711
Step pressure*Step pressure	0.5400	0.2107	2.563	0.050
Freeness*Film Thickness	-0.1375	0.2024	-0.679	0.527
Freeness*Step pressure	-0.0050	0.2024	-0.025	0.981
Film Thickness*Step pressure	-0.2575	0.2024	-1.272	0.259

S = 0.404815 PRESS = 12.3592
R-Sq = 92.32% R-Sq(pred) = 0.00% R-Sq(adj) = 78.49%

Analysis of Variance for MOR

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	9.8448	9.84483	1.09387	6.68	0.025
Linear	3	5.0832	5.08323	1.69441	10.34	0.014
Freeness	1	4.1041	4.10411	4.10411	25.04	0.004
Film Thickness	1	0.2888	0.28880	0.28880	1.76	0.242
Step pressure	1	0.6903	0.69031	0.69031	4.21	0.095
Square	3	4.4206	4.42065	1.47355	8.99	0.019
Freeness*Freeness	1	3.3377	3.61883	3.61883	22.08	0.005
Film Thickness*Film Thickness	1	0.0062	0.02513	0.02513	0.15	0.711
Step pressure*Step pressure	1	1.0767	1.07668	1.07668	6.57	0.050
Interaction	3	0.3410	0.34095	0.11365	0.69	0.594
Freeness*Film Thickness	1	0.0756	0.07563	0.07563	0.46	0.527
Freeness*Step pressure	1	0.0001	0.00010	0.00010	0.00	0.981
Film Thickness*Step pressure	1	0.2652	0.26523	0.26523	1.62	0.259
Residual Error	5	0.8194	0.81937	0.16387		
Lack-of-Fit	3	0.7648	0.76477	0.25492	9.34	0.098
Pure Error	2	0.0546	0.05460	0.02730		
Total	14	10.6642				

Estimated Regression Coefficients for MOR using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	126.149
Freeness	-0.378660
Film Thickness	20.2500
Step pressure	-29.0100
Freeness*Freeness	0.000396000
Film Thickness*Film Thickness	8.25000
Step pressure*Step pressure	13.5000
Freeness*Film Thickness	-0.0275000
Freeness*Step pressure	-5.00000E-04
Film Thickness*Step pressure	-12.8750

รูปที่ 6.5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรผลตอบ

1) การคัดเลือกตัวแปรเพื่อใช้พยากรณ์ค่าเฉลี่ยของค่าความแข็งแรง (MOR)

เนื่องจากปัจจัยนำเข้าในการทดลองมีหลายตัวแปร ดังนั้น ในการคัดเลือกตัวแปรที่มีผลเข้าไปในสมการตัวแบบถดถอยเพื่อใช้ในการพยากรณ์ค่าเฉลี่ยของค่า MOR ให้สามารถทำนายตัวแปรผลตอบได้ถูกต้องที่สุด จึงต้องทำการคัดเลือกตัวแปรที่มีนัยสำคัญเข้าไปในสมการ วิธีที่เลือกใช้ในการคัดเลือกตัวแปร คือ วิธีการเลือกแบบถอยหลัง (Backward selection) เป็นการนำตัวแปรทำนายทั้งหมดเข้าสมการ จากนั้นจึงค่อยๆ ขจัดตัวแปรทำนายออกทีละตัว โดยจะหาสหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทำนายที่อยู่ในสมการแต่ละตัวกับตัวแปร เมื่อขจัดตัวแปรทำนายอื่นๆ ออกแล้ว หากทดสอบค่าสหสัมพันธ์แล้วพบว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ก็จะขจัดออกจากสมการแล้วดำเนินการทดสอบตัวแปรที่เหลืออยู่ในสมการต่อไป จนกระทั่งสหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ทำนายแต่ละตัวกับตัวแปรผลตอบเมื่อขจัดตัวแปรอิสระอื่นๆ ออกแล้ว พบว่ามีนัยสำคัญทางสถิติก็จะหยุดการคัดเลือก และได้สมการการทดสอบที่มีสัมประสิทธิ์การทำนายสูงสุด โดยจากข้อมูลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยนำเข้าทั้ง 3 ตัว ได้แก่ ค่าฟรีเนสน้ำเยื่อ ความหนาของฟิล์ม และแรงอัด Pressure step ที่ส่งผลต่อค่า MOR สามารถนำข้อมูลมาเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ โดยกำหนดสัญลักษณ์ของตัวแปร ดังนี้

ปัจจัย A ค่าฟรีเนสน้ำเยื่อ แทนด้วยสัญลักษณ์ X_A

ปัจจัย B ความหนาของฟิล์ม แทนด้วยสัญลักษณ์ X_B

ปัจจัย C แรงอัด Pressure step แทนด้วยสัญลักษณ์ X_C

ในการคัดเลือกตัวแปรโดยใช้วิธีการเลือกแบบถอยหลังนั้น จะใช้โปรแกรม Minitab ช่วยในการวิเคราะห์ ทดสอบที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ได้ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์เป็นดังรูปที่ 6.6

Stepwise Regression: MOR versus Freeness, Film Thickness, ...

Backward elimination. Alpha-to-Remove: 0.05

Response is MOR on 9 predictors, with N = 15

Step	1	2	3	4	5	6
Constant	126.1	126.5	123.1	130.4	139.3	139.3
Freeness	-0.379	-0.379	-0.377	-0.392	-0.392	-0.392
T-Value	-4.27	-4.95	-5.25	-5.80	-5.55	-5.12
P-Value	0.008	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000
Film Thickness	20	20	29	16		
T-Value	0.61	0.66	1.42	1.35		
P-Value	0.571	0.532	0.199	0.213		
Step pressure	-29	-29	-29	-29	-35	-36
T-Value	-1.57	-2.03	-2.13	-2.18	-2.72	-2.57
P-Value	0.178	0.089	0.070	0.060	0.024	0.028
Freeness^2	0.00040	0.00040	0.00039	0.00039	0.00039	0.00039
T-Value	4.70	5.15	5.46	5.59	5.35	4.94
P-Value	0.005	0.002	0.001	0.001	0.000	0.001
Film Thickness^2	8	8				
T-Value	0.39	0.43				
P-Value	0.711	0.683				
Step pressure^2	13.5	13.5	13.3	13.3	13.3	13.3
T-Value	2.56	2.81	2.96	3.03	2.90	2.68
P-Value	0.050	0.031	0.021	0.016	0.018	0.023
Freeness*Film Thickness	-0.027	-0.027	-0.027			
T-Value	-0.68	-0.74	-0.79			
P-Value	0.527	0.485	0.455			
Freeness*Step pressure	-0.000					
T-Value	-0.02					
P-Value	0.981					
Film Thickness*Step pressure	-12.87	-12.87	-12.87	-12.87	-1.47	
T-Value	-1.27	-1.39	-1.48	-1.52	-1.65	
P-Value	0.259	0.213	0.182	0.167	0.132	
S	0.405	0.370	0.347	0.339	0.354	0.384
R-Sq	92.32	92.32	92.08	91.37	89.40	86.18
R-Sq(adj)	78.49	82.07	84.16	84.90	83.51	80.65
Mallows Cp	10.0	8.0	6.2	4.6	3.9	4.0

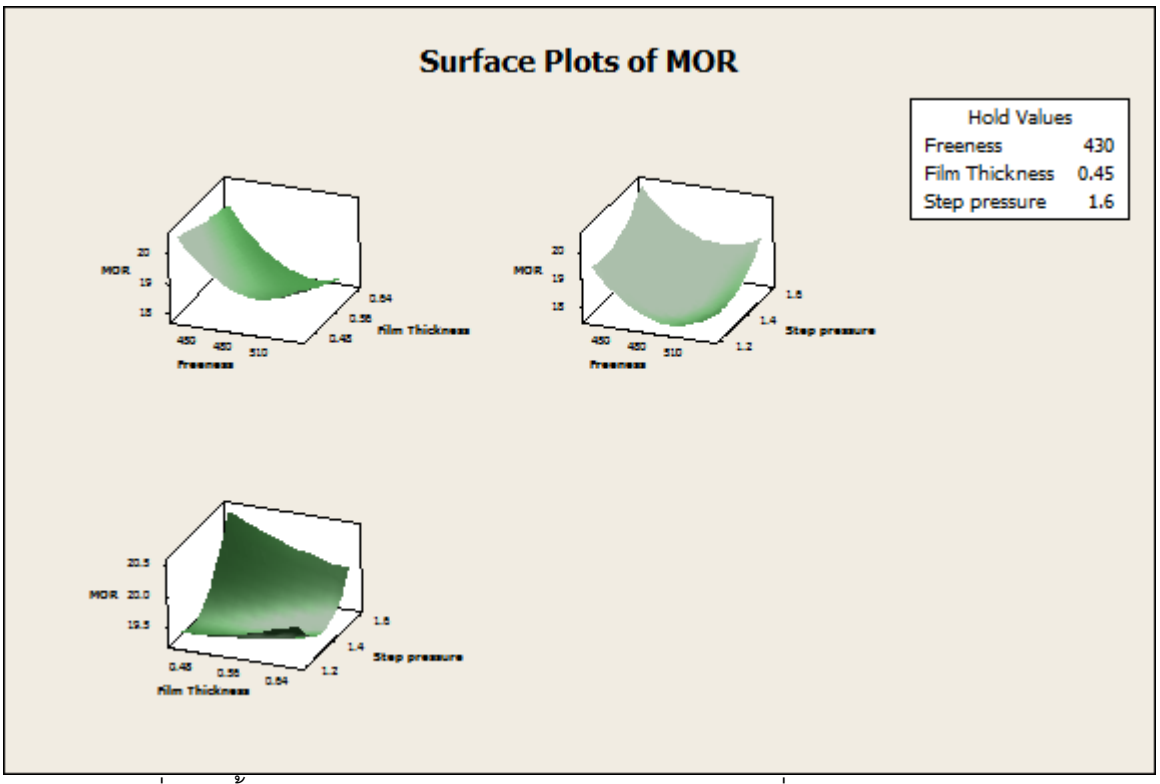
รูปที่ 6.6 ผลการวิเคราะห์การคัดเลือกปัจจัยด้วยวิธีการคัดเลือกแบบถอยหลัง

จากผลการวิเคราะห์ สามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการ 6.2

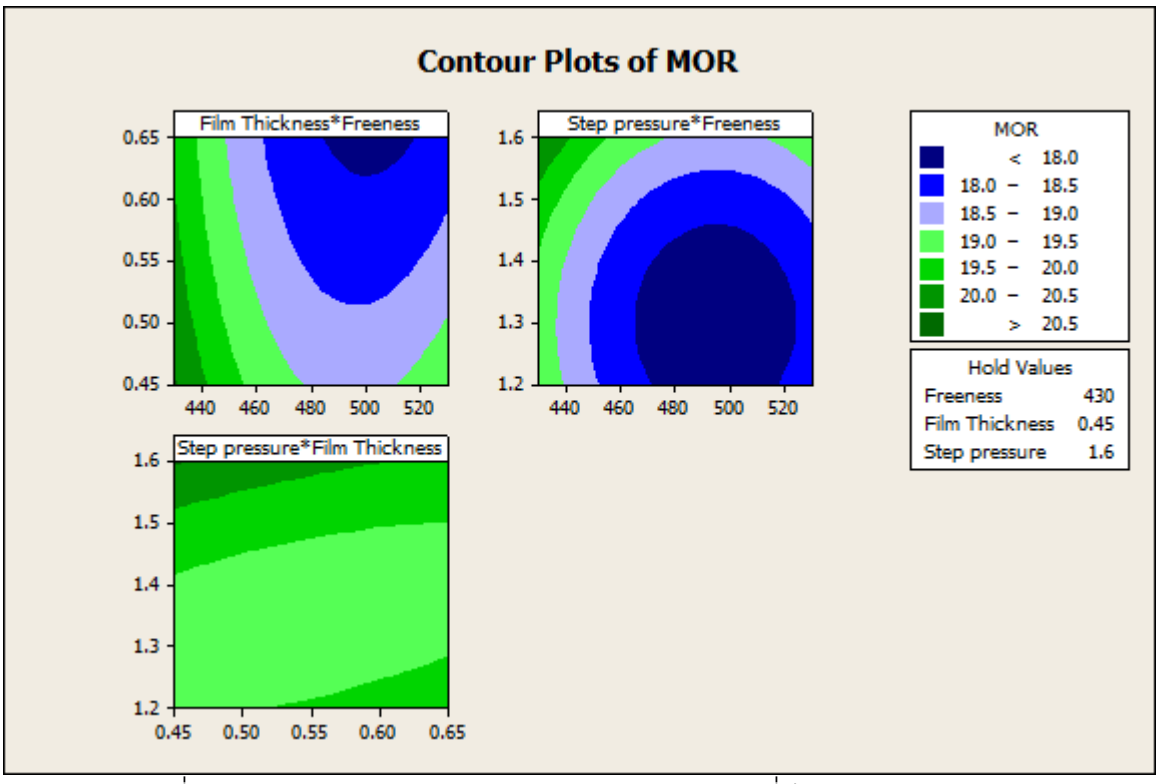
สมการแสดงความสัมพันธ์

$$Y_{MOR} = 139.3 - 0.392\ X_A - 36\ X_C + 0.00039\ X_A^2 + 13.3\ X_C^2 6.2$$

จากสมการที่ 6.2 พบว่า ปัจจัย A ค่าฟรีเนสน้ำเยื่อ (X_A) และปัจจัย C แรงอัด Pressure step (X_C) ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่า MOR ของแผ่นบอร์ด โดยทั้งสองปัจจัยส่งผลในรูปแบบของปัจจัยหลักและเทอมกำลังสอง เมื่อนำตัวแบบถดถอยที่ได้จากการทดลองแบบบอกซ์-เบห์นเคนมาทำการประมาณค่าผลตอบในรูปพื้นผิวตอบสนอง (Surface Plot) และกราฟโครงร่าง (Contour Plot) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและค่าผลตอบสนอง จะได้ดังรูปที่ 6.7 และ 6.8 ตามลำดับ



รูปที่ 6.7 พื้นผิวตอบสนองของความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีนัยสำคัญและค่า MOR



รูปที่ 6.8 กราฟโครงร่างของความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีนัยสำคัญและค่า MOR

2) การวิเคราะห์ความเหมาะสมของตัวแบบถดถอย

การประมาณค่าของผลตอบสนอง โดยใช้ตัวแบบถดถอยนั้น ต้องพิจารณาความเหมาะสมของข้อมูลที่นำมาใช้ โดยพิจารณาได้จากค่าการทดสอบความเหมาะสมของข้อมูล (Lack of Fit) ซึ่งสามารถตั้งสมมติฐานการทดสอบ ได้ดังนี้

H_0 :ตัวแบบถดถอยมีความเหมาะสมกับข้อมูล

H_1 :ตัวแบบถดถอยไม่เหมาะสมกับข้อมูล

จากการผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังรูปที่ 6.5 พบว่า ค่า P-Value ของค่าความเหมาะสมของข้อมูล (Lack of Fit) มีค่าเท่ากับ 0.098 จึงยอมรับสมมติฐานหลัก (H_0) กล่าวคือ ตัวแบบถดถอยมีความเหมาะสมกับข้อมูล สามารถนำไปใช้ในการประมาณค่า MOR ได้

6.2.3 การพิจารณาสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ

การพิจารณาความน่าเชื่อถือของแบบจำลองถดถอย เพื่อนำไปใช้ประมาณค่าผลตอบนั้น จะใช้ค่า R^2(adj) ซึ่งเป็นค่า R^2 ที่แสดงถึงเปอร์เซ็นต์ของความผันแปรที่อธิบายได้ โดยคำนึงถึงจำนวนตัวแปรที่มีความจำเป็นในแบบจำลองแล้ว ทั้งนี้ จากผลการวิเคราะห์ได้ค่า R^2(adj) เท่ากับ 80.65% กล่าวคือ ความผันแปรของตัวแปรผลตอบสามารถอธิบายได้จากตัวแบบถดถอย 80.65% ดังรูปที่ 6.6 จึงสรุปได้ว่า ตัวแบบถดถอยมีความน่าเชื่อถือเพียงพอในการนำไปประมาณค่า MOR

6.3 การหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะเหมาะสม

การหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมนั้น จะใช้ตัวแบบถดถอยที่ได้มาใช้พยากรณ์ค่าตัวแปรผลตอบ คือ ค่า MOR โดยใช้ฟังก์ชั่น Response Optimizer ในโปรแกรม Minitab 16 โดยกำหนดเป้าหมาย คือ การหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญจากการคัดเลือกตัวแปร ซึ่งคือปัจจัยค่าฟรีเนสของน้ำเยื่อ (A) และปัจจัยแรงดัน Pressure step (C) ที่ทำให้ค่า MOR มีค่าสูงที่สุด ผู้วิจัยได้ตั้งค่าเป้าหมายของค่า MOR ไว้ที่ 19.74 MPa เนื่องจากเป็นค่าเฉลี่ยของค่า MOR ที่ทำให้ค่า Ppk มีค่าเท่ากับ 1.33 ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย จากผลการวิเคราะห์ในรูปที่ 6.9 พบว่า ค่าที่เหมาะสมในการตั้งระดับปัจจัยเพื่อให้ได้ค่า MOR สูงที่สุด เป็นดังนี้

ปัจจัย A ค่าฟรีเนสของน้ำเยื่อ	430	CSF
ปัจจัย C แรงดัน Pressure step	1.6	bar

จากการตั้งค่าระดับปัจจัยดังกล่าว สามารถประมาณค่า MOR ของแผ่นบอร์ดได้ 20.1781 MPa

Response Optimization

Parameters

	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Import
MOR	Maximum	14	19.74	19.74	1	1

Global Solution

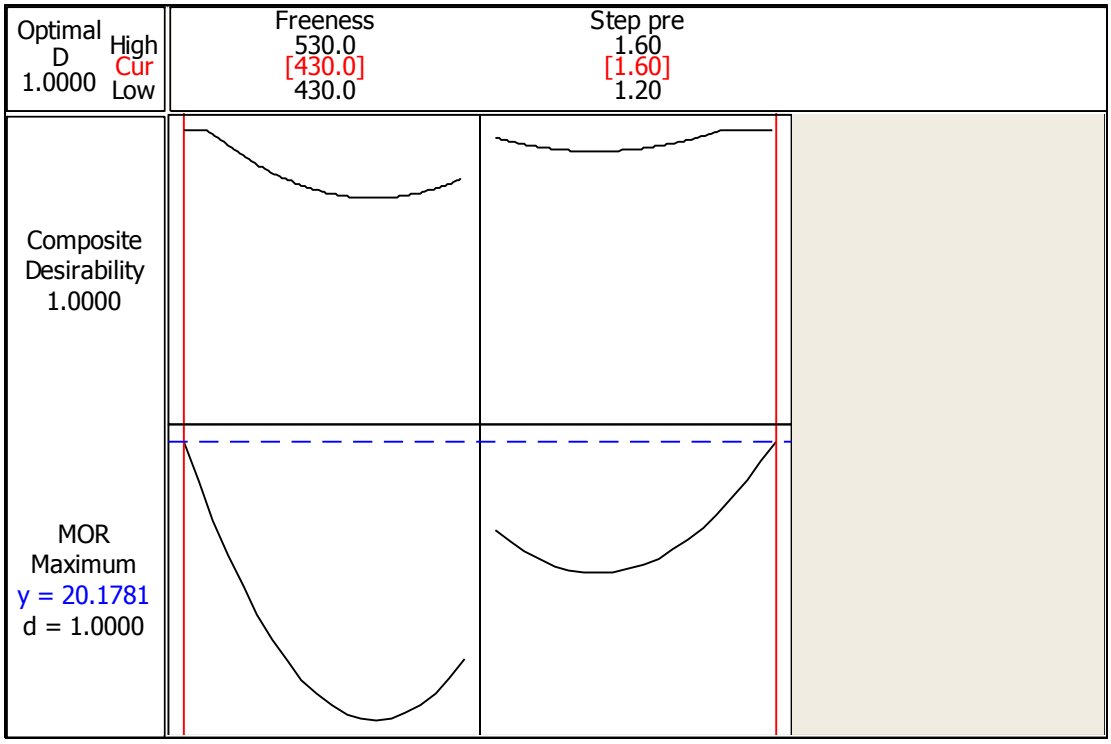
Freeness = 430
Step pressur = 1.6

Predicted Responses

MOR = 20.1781 , desirability = 1.000000

Composite Desirability = 1.000000

รูปที่ 6.9 ผลการหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด



รูปที่ 6.10 ผลการวิเคราะห์ค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม

จากผลการวิเคราะห์หาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม พบว่า ในการผลิตต้องทำการตั้งค่าระดับปัจจัยเพื่อให้ได้ค่า MOR สูงที่สุด โดยกำหนดค่าฟรีเนสน้ำเยื่ออยู่ที่ 430 mL CSF แรงอัด Pressure step 1.6 บาร์ ส่วนค่าความหนาแผ่นฟิล์มไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้ การตั้งค่าระดับปัจจัยดังกล่าวส่งผลให้เกิดข้อดีในการช่วยลดต้นทุนในกระบวนการผลิต และช่วยเพิ่มกำลังการผลิตได้ ดังนี้

- จากผลการทดลอง พบว่า ค่าฟรีเนสที่ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงสูงที่สุด คือ 430 mL CSF ซึ่งเป็นการตั้งค่าระดับปัจจัยต่ำ ทั้งนี้ ในกระบวนการเตรียมเยื่อปัจจุบันได้กำหนดค่าเป้าหมายของค่าฟรีเนสไว้ที่ 530 mL CSF เนื่องจากพนักงานมีความเข้าใจว่า ช่วงค่าฟรีเนสสูง น้ำเยื่อจะมีสัดส่วนของเยื่อใยยาวมากกว่าเยื่อใยสั้น ทำให้สามารถรับแรงได้มากกว่า ความแข็งแรงจึงสูง แต่จากผลการทดลอง พบว่า ที่ค่าฟรีเนส 430 mL CSF ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงสูงที่สุด เนื่องจากน้ำเยื่อที่มีค่าฟรีเนสต่ำนั้น จะสามารถกระจายตัวไปดีในส่วนผสมซีเมนต์เมทริกซ์ อีกทั้งมีสัดส่วนเยื่อใยสั้นมากกว่าน้ำเยื่อที่มีค่าฟรีเนสสูงกว่า จะช่วยประสานเนื้อผลิตภัณฑ์และป้องการการแตกร้าว จึงช่วยปรับปรุงความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ได้ (Tonoli et al., 2010) นอกจากนี้ การตั้งค่าฟรีเนสน้ำเยื่ออยู่ที่ 430 mL CSF ช่วยให้สามารถลดต้นทุนค่าวัตถุดิบเยื่อในกระบวนการผลิตได้ เนื่องจากค่าฟรีเนสของน้ำเยื่อจะขึ้นกับสัดส่วนเยื่อที่ใช้ ซึ่งประกอบด้วยเยื่อ DLK ซึ่งเป็นเยื่อใยยาว เหนียว ต้องทำการสั่งซื้อจากต่างประเทศ ช่วยในการรับแรงและเยื่อ ONP ซึ่งเป็นเยื่อกระดาษที่มีเส้นใยขนาดเล็กและสั้น ช่วยในการกรองปูนซีเมนต์และส่วนผสมต่างๆ ไม่ให้หลุดลอดออกไปในขั้นตอนการขึ้นรูปแผ่นบอร์ด ทั้งนี้ ราคาของเยื่อ DLK เท่ากับ 11,055 บาท/ตัน ส่วนราคาเยื่อ ONP เท่ากับ 9,200 บาท/ตัน ในกรณีที่ต้องการน้ำเยื่อที่มีค่าฟรีเนสสูงกว่าจะต้องใช้สัดส่วนเยื่อ DLK เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ต้นทุนวัตถุดิบสูงขึ้น โดยเปรียบเทียบต้นทุนเยื่อเมื่อเตรียมน้ำเยื่อที่ค่าฟรีเนสต่างๆ ได้ดังตารางที่ 6.4

ตารางที่ 6.4 ประมาณการต้นทุนค่าเยื่อเมื่อเตรียมที่ค่าฟรีเนสต่างๆ

ค่าฟรีเนสน้ำเยื่อ (mL CSF)	น้ำหนักเยื่อต่อแบทช์		ต้นทุนเยื่อ (บาท/แบทช์)	ต้นทุนเยื่อที่ลดลง (บาท/แบทช์)
	DLK	ONP		
430	949	635	16,334	752
480	1,152	432	16,710	376
530	1,355	229	17,086	0

ในปัจจุบันกระบวนการผลิตมีการปรับตั้งค่าระดับปัจจัยค่าฟรีเนสอยู่ที่ 530 CSF ทั้งนี้จากผลการทดลอง พบว่า การเตรียมน้ำเยื่อให้มีค่าฟรีเนสที่ต่ำกว่า 530 CSF เช่น ที่ 430 CSF สามารถลดต้นทุนค่าเยื่อจากการเตรียมที่ค่าฟรีเนส 530 CSF ได้เป็นเงิน 752 บาท ต่อการตีเยื่อ 1 แบทช์ ในกระบวนการตีเยื่อ มีการตีเฉลี่ยวันละ 18แบทช์ จึงสามารถลดต้นทุนค่าเยื่อได้ 13,536 บาท/วัน คิดเป็น 406,080 บาท/เดือน

- จากผลการวิเคราะห์พบว่า ค่าความหนาของฟิล์มไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญ ต่อค่าความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ ดังนั้น ในกระบวนการผลิตจริงจึงสามารถพิจารณาเลือกสภาวะการเดินเครื่องจักร โดยกำหนดค่าความหนาฟิล์มที่ 0.45 0.55 หรือ 0.65 มิลลิเมตรได้ แต่การเดินความหนาฟิล์มบาง จะทำให้กำลังการผลิตมีค่าลดลงกว่าการเดินฟิล์มที่หนากว่า โดยจำนวนตันของแผ่นบอร์ดที่เดินเครื่องจักรด้วยความหนาต่างกัน เป็นดังตารางที่ 6.5ดังนั้น ในกระบวนการผลิตจริง จึงพิจารณาเลือกเดินเครื่องจักรโดยกำหนดความหนาของฟิล์มที่ 0.65 มิลลิเมตร

ตารางที่ 6.5 เปรียบเทียบกำลังการผลิตต่อวันเมื่อเดินเครื่องจักรที่ความหนาฟิล์มต่างๆ ของแผ่นบอร์ดความหนา 11 มิลลิเมตร

ความหนาฟิล์ม (mm.)	จำนวนรอบตัด (Round)	ความเร็วผ้า Felt (m./min.)	เวลาผลิต (min)	กำลังการผลิต (Ton)
0.45	25	100	1440	96.90
0.55	20	100	1440	121.12
0.65	17	100	1440	142.49

- ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์หาระดับปัจจัยที่เหมาะสม โดยกำหนดระดับปัจจัยแรงอัดของ Pressure step อยู่ที่ 1.6 บาร์ จะส่งผลต่อความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ โดยจะทำให้แผ่นบอร์ดมีความหนาแน่นมากกว่าการใช้แรงอัดของ Pressure step ที่ 1.4 และ 1.2 บาร์ ซึ่งจะส่งผลให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มสูงขึ้นจากค่าแรงอัดที่ใช้ปัจจุบันที่ 1.4 บาร์ เนื่องจากเมื่อแรงอัดเพิ่มมากขึ้น ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้จึงมากขึ้นเมื่อคิดปริมาตรแผ่นบอร์ดเท่ากัน โดยคิดเป็น 73 บาท/ตัน หรือ 146,000บาท/เดือน (ปริมาณการผลิตแผ่นบอร์ดความหนา 11 มิลลิเมตร 2,000 ตัน/เดือน) ดังแสดงในตารางที่ 6.6

ตารางที่ 6.6 ประมาณการต้นทุนการผลิตในขั้นตอนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เมื่อใช้แรงอัด Pressure step ต่างๆ

แรงอัด Pressure step (bar)	ความหนาแน่นของแผ่นบอร์ด (g/cm^3)	ต้นทุนการผลิต (บาท/ตัน)	ต้นทุนที่เพิ่มขึ้น (บาท/ตัน)
1.2	1.23	4,490	-110
1.4	1.26	4,600	0
1.6	1.28	4,673	73

นอกจากนี้ เนื่องจากมีการอัดแรงขณะขึ้นรูปแผ่นบอร์ดมากกว่าส่งผลให้มีการรีดน้ำออกจากแผ่นบอร์ดมากกว่า สำหรับแผ่นบอร์ดที่มีความหนาไม่มาก เช่น แผ่น

บอร์ดที่มีความหนา 8 มิลลิเมตร ถึง 16 มิลลิเมตร จะไม่พบปัญหาดังกล่าว แต่หากนำไปใช้กับแผ่นบอร์ดที่มีความหนามาก เช่น 22 และ 25 มิลลิเมตร ต้องมีการพิจารณาการนำไปใช้หรือหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมใหม่ เนื่องจากเมื่อเพิ่มแรงอัด Pressure step มากขึ้น น้ำในแผ่นบอร์ดจะถูกรีดออกบริเวณร่อง Pressure step มากขึ้น หากไม่สามารถรีดน้ำได้ทัน น้ำจะถูกขับออกไปด้านซ้ายและขวาของร่อง Pressure stepจนถึงขอบแผ่นบอร์ด ทำให้บริเวณขอบของแผ่นบอร์ดมีความชื้นสูงกว่าบริเวณอื่น ส่งผลให้แผ่นบอร์ดร่วงที่ลูกโรลขณะขึ้นรูปได้ ทั้งนี้ จะเกิดขึ้นกับบอร์ดที่มีความหนามากกว่า 22 มิลลิเมตรขึ้นไป โดยแผ่นบอร์ดที่มีความหนา11 มิลลิเมตร ซึ่งใช้ในการทดลองจะไม่พบปัญหาดังกล่าว เนื่องจากจะถึงรอบตัดก่อนที่ขอบแผ่นบอร์ดจะถูกรีดน้ำออกจนเปียกและแผ่นร่วง จึงพิจารณาใช้แรงอัดของ Pressure step อยู่ที่ 1.6 บาร์ได้

- ต้นทุนการผลิตที่สามารถลดได้ (บาท/เดือน) = ต้นทุนที่ลดลง – ต้นทุนที่เพิ่มขึ้น
  = 406,080 – 146,000
  = 260,080 บาท/เดือน

6.4 สรุปผลขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ

ในขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ ได้ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองแบบพื้นที่ผิวผลตอบ แบบบอกซ์-เบห์นเคน ในการหาระดับของปัจจัย 3 ปัจจัย ที่ได้จากกระบวนการคัดกรองปัจจัย ได้แก่ ค่าฟรีเนสน้ำเยื่อ ความหนาของชั้นฟิล์ม และแรงอัด Pressure step จากผลการทดลองพบว่า ระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงสูงที่สุด คือ ค่าฟรีเนสน้ำเยื่อ 430 mL CSF ความหนาของชั้นฟิล์ม 0.45 มิลลิเมตร และแรงอัด 1.6 บาร์ แต่เนื่องจากค่าความหนาของชั้นฟิล์มไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ ในกระบวนการผลิตจริงจึงเลือกใช้ที่ความหนา 0.65 มิลลิเมตร เนื่องจากให้กำลังการผลิตสูงที่สุด

บทที่ 7
การทดสอบเพื่อยืนยันผลและการควบคุมกระบวนการ(Control Phase)

ระยะการติดตามควบคุมกระบวนการเป็นขั้นตอนสุดท้ายของแนวคิดซิกซ์ ซิกมา ประกอบด้วย การทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองจากระยะปรับปรุงกระบวนการ โดยเมื่อสามารถยืนยันผลได้แล้ว จึงจัดทำแผนควบคุมิ (Control Plan) เพื่อควบคุมกระบวนการให้เป็นไปตามมาตรฐานหลังการปรับปรุง นอกจากนี้ จัดทำเป็นระเบียบวิธีปฏิบัติงานและอบรมให้กับพนักงานในปัจจัยที่เกี่ยวข้องอื่นๆ จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี FMEA ในระยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา เพื่อลดความผันแปรที่เกิดขึ้นในกระบวนการ ซึ่งมีผลต่อค่า Ppk

7.1 การทดสอบเพื่อยืนยันผล

เป็นการทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองเพื่อหาระดับการตั้งค่าปัจจัยที่เหมาะสมในขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ เป็นดังตารางที่ 7.1

ตารางที่ 7.1 การตั้งค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการทดสอบเพื่อยืนยันผล

สัญลักษณ์ของปัจจัย	ปัจจัยนำเข้า	ระดับปัจจัย
A	ค่าฟรีเนสน้ำเยื่อ	430 mL CSF
B	ความหนาฟิล์ม	0.65 มิลลิเมตร
C	แรงอัด Pressure step	1.6 บาร์

7.1.1 การทดลอง

ในการทดลองเพื่อยืนยันผลการทดลองนั้น มีความเกี่ยวข้องตั้งแต่การเตรียมเยื่อ การผสมขั้นสุดท้าย การขึ้นรูปแผ่นบอร์ด การบ่ม การอบแห้ง รวมทั้งการทดสอบค่าความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ ซึ่งต้องอาศัยความร่วมมือจากส่วนต่างๆ ดังนั้น เพื่อให้เกิดความเข้าใจในการ

ดำเนินการทดลองในแนวทางเดียวกัน จึงมีการประชุมเพื่อกำหนดหน้าที่สำหรับผู้รับผิดชอบเกี่ยวกับการตั้งค่าระดับปัจจัยและรายละเอียดการทดลอง ดังนี้

- วิศวกรส่วนเตรียมเยื่อ มีหน้าที่ เตรียมน้ำเยื่อให้ได้ค่าฟรีเนสตามที่กำหนดไว้ โดยสุ่มน้ำเยื่อมาทำการตรวจสอบโดยเจ้าหน้าที่ควบคุมคุณภาพ เมื่อได้ค่าฟรีเนสน้ำเยื่อตามที่กำหนดไว้แล้ว ทำการแจ้งมายังวิศวกรส่วนขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เพื่อเริ่มการผลิตแผ่นบอร์ด
- วิศวกรส่วนขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ มีหน้าที่ ตรวจสอบการปรับตั้งค่าความหนาฟิล์มและแรงอัด Pressure step ตามที่กำหนดไว้ เมื่อได้รับแจ้งจากวิศวกรส่วนเตรียมเยื่อเมื่อน้ำเยื่อได้ค่าฟรีเนสตามที่กำหนดไว้แล้ว ให้เริ่มการผลิตแผ่นบอร์ดและทำสัญลักษณ์ลงบนแผ่นบอร์ดทุกชั่วโมง
- วิศวกรส่วนเครื่องอบแห้ง มีหน้าที่ นำแผ่นบอร์ดที่ทางส่วนขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เข้าบ่มและอบแห้งตามกำหนดเวลา เมื่อแผ่นบอร์ดออกจากเครื่องอบแห้ง ให้แจ้งวิศวกรควบคุมคุณภาพเพื่อดำเนินการเก็บตัวอย่างแผ่นบอร์ด
- วิศวกรส่วนควบคุมคุณภาพ มีหน้าที่ ควบคุมดูแลการทดสอบต่างๆ ให้เป็นไปตามที่กำหนดไว้ รวมทั้ง การทดสอบค่าความแข็งแรงของแผ่นบอร์ดและการรายงานผลการทดสอบ

เมื่อทำการชี้แจงถึงหน้าที่แต่ละส่วนงานแล้ว ดำเนินการทดลองขึ้นรูปแผ่นบอร์ดความหนา 11 มิลลิเมตร ตามขั้นตอนดังนี้

1. เตรียมน้ำเยื่อให้มีค่าฟรีเนสอยู่ที่ 430±5 mL CSF
2. ทำการผสมน้ำเยื่อกับส่วนผสมต่างๆ และขึ้นรูปแผ่นบอร์ด โดยปรับความหนาฟิล์มอยู่ที่ 0.65 มิลลิเมตร โดยการปรับจำนวนรอบตัดไว้ที่ 17 รอบ และตั้งค่าแรงอัดไว้ที่ 1.6 บาร์
3. ทำสัญลักษณ์ลงบนแผ่นบอร์ดทุกชั่วโมง ชั่วโมงละ 1 แผ่นบอร์ด
4. นำแผ่นบอร์ดเข้ากระบวนการบ่มและอบแห้งตามขั้นตอนการผลิตปกติ
5. เมื่อแผ่นบอร์ดออกจากเครื่องอบแห้ง สุ่มแผ่นบอร์ดที่ทำสัญลักษณ์ไว้ ตัดตัวอย่างตามมาตรฐานการทดสอบ

6. ทำการทดสอบหาค่า MORของแผ่นบอร์ด และบันทึกผลการวัดตามเวลาการผลิต

7.1.2 การวิเคราะห์ผลและสรุปการทดสอบยืนยันผล

เมื่อทดลองตั้งค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมแล้ว ทำการเดินเครื่องจักรตามแผนการผลิตแผ่นบอร์ดความหนา 11 มิลลิเมตร จากนั้นนำแผ่นบอร์ดที่สุ่มเก็บตัวอย่างทุกชั่วโมงมาทดสอบค่าMOR ซึ่งได้จำนวนตัวอย่างทั้งหมด 25 ตัวอย่าง โดยผลการทดสอบค่าความแข็งแรงของแผ่นบอร์ด เป็นดังตารางที่ 7.2 เมื่อนำข้อมูลผลการทดสอบค่า MOR นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์การกระจายตัวของข้อมูลและค่าดัชนีชี้วัดสมรรถนะของกระบวนการระยะยาว (Ppk) โดยใช้โปรแกรม Minitab

- การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูล

ทำการทดสอบข้อมูลว่ามีการกระจายตัวแบบปกติหรือไม่ โดยตั้งสมมติฐานการทดสอบดังนี้

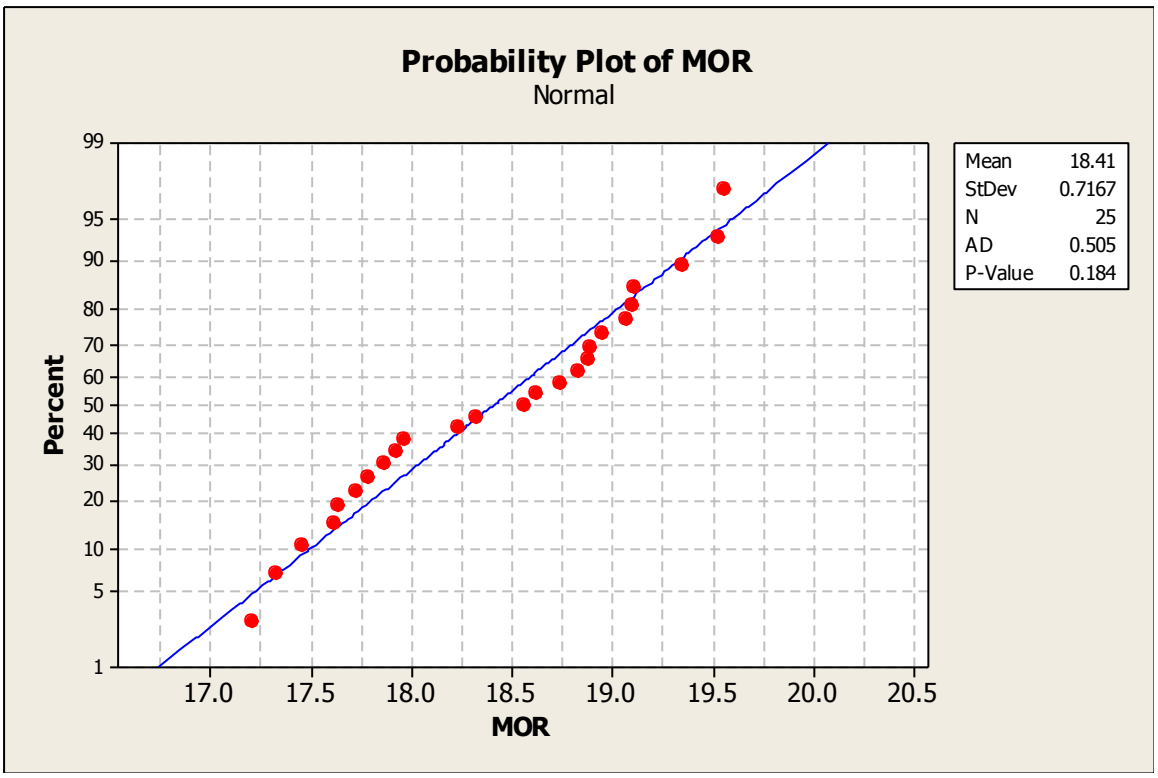
H_0 : ข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ

H_1 : ข้อมูลมีการกระจายตัวแบบไม่ปกติ

จากผลการวิเคราะห์ พบว่า ค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.184 จึงยอมรับ H_0กล่าวคือ ข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 7.2 ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงของแผ่นบอร์ด

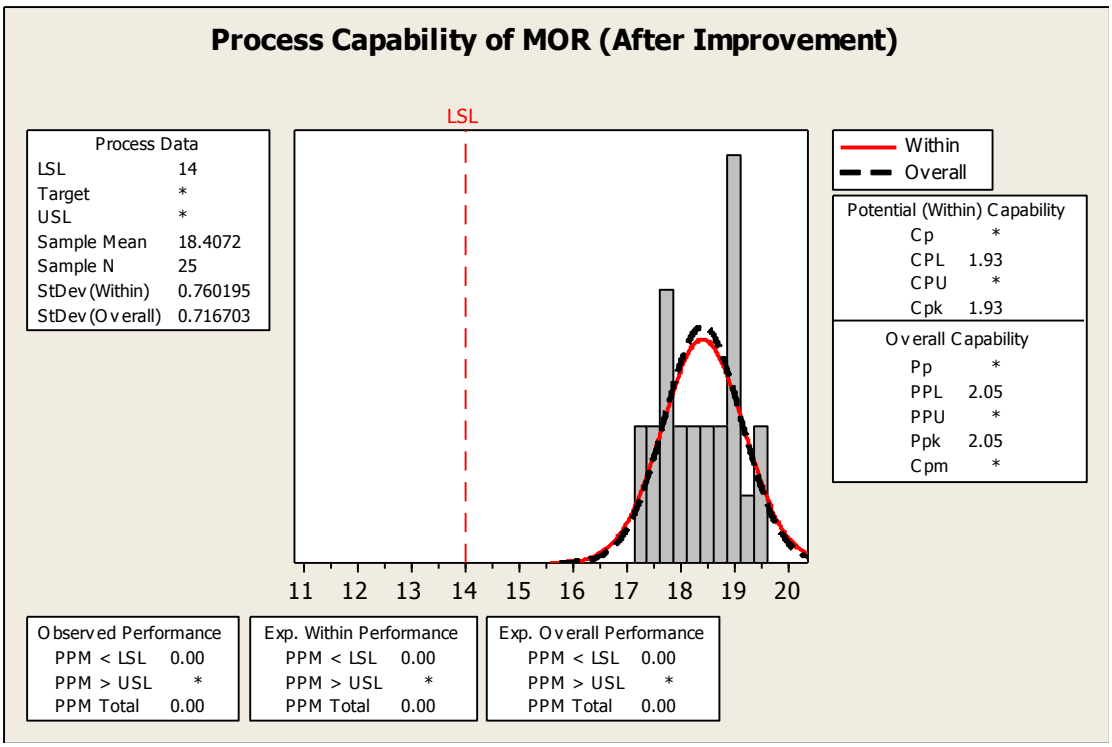
การทดลองที่	**เวลาที่เก็บตัวอย่าง**	**ค่าความแข็งแรง, MOR (Mpa)**	**เกณฑ์การยอมรับ ≥ 14.00 Mpa**
1	09.00	19.55	ผ่าน
2	10.00	18.62	ผ่าน
3	11.00	17.86	ผ่าน
4	12.00	18.32	ผ่าน
5	13.00	19.10	ผ่าน
6	14.00	18.95	ผ่าน
7	15.00	17.72	ผ่าน
8	16.00	17.96	ผ่าน
9	17.00	18.88	ผ่าน
10	18.00	18.23	ผ่าน
11	19.00	19.11	ผ่าน
12	20.00	17.63	ผ่าน
13	21.00	19.52	ผ่าน
14	22.00	19.34	ผ่าน
15	23.00	18.83	ผ่าน
16	0.00	17.21	ผ่าน
17	01.00	17.92	ผ่าน
18	02.00	18.56	ผ่าน
19	03.00	18.74	ผ่าน
20	04.00	17.33	ผ่าน
21	05.00	18.89	ผ่าน
22	06.00	17.61	ผ่าน
23	07.00	17.78	ผ่าน
24	08.00	17.45	ผ่าน
25	09.00	19.07	ผ่าน



รูปที่ 7.1 ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของข้อมูล

- ผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีชี้วัดสมรรถนะของกระบวนการระยะยาว (Ppk)

ผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีชี้วัดสมรรถนะของกระบวนการระยะยาว (Ppk) ด้วยโปรแกรม Minitab เป็นดังรูปที่ 7.2 จะเห็นได้ว่าค่า Ppk ของค่า MOR มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 18.41 MPa และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.72MPaส่วนค่า Ppk เท่ากับ 2.05



รูปที่ 7.2 ผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีชี้วัดสมรรถนะของกระบวนการระยะยาว (Ppk) ของค่า MOR จากการทดลองเพื่อยืนยันผล

7.2 การจัดทำมาตรฐานวิธีปฏิบัติงาน

เนื่องจากปัจจัยที่กรองได้จากเทคนิค FMEA ซึ่งมีแนวทางในการปรับปรุงด้วยการทบทวนและจัดทำมาตรฐานวิธีปฏิบัติงานนั้นประกอบไปด้วย 9 ปัจจัย ได้แก่ X011 X021 X102 X103 X121 X122 X162 X163 และ X191 พบว่า ปัจจัยทั้งหมดจะอยู่ในกระบวนการเตรียมเยื่อ ดังนั้นเพื่อเป็นการลดความแปรปรวนของปัจจัยต่างๆ ซึ่งส่งผลต่อค่าความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ จึงได้จัดให้มีการทบทวนขั้นตอนการปฏิบัติงานและจัดทำระเบียบวิธีการปฏิบัติงานในกระบวนการเตรียมเยื่อ มีรายละเอียดดังนี้

7.2.1 บุคลากรที่มีหน้าที่ในการทบทวนและจัดทำระเบียบวิธีการปฏิบัติงาน

ในการจัดทำระเบียบวิธีปฏิบัติงานในกระบวนการเตรียมเยื่อนั้น จำเป็นต้องได้รับความร่วมมือจากผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในหลายส่วน ดังนี้

- ผู้จัดการฝ่ายผลิตและฝ่ายควบคุมคุณภาพ เป็นผู้สนับสนุนให้มีการทบทวนและจัดทำมาตรฐานวิธีปฏิบัติงานให้คำปรึกษาและอนุมัติการใช้งานมาตรฐานวิธีปฏิบัติงาน
- วิศวกรและพนักงานส่วนเตรียมเยื่อ เป็นผู้มีความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับกระบวนการเตรียมเยื่อ และการปรับตั้งค่าเครื่องจักรนอกจากนี้ ยังเป็นผู้ที่นำมาตรฐานวิธีการปฏิบัติไปใช้งาน
- วิศวกรและพนักงานส่วนควบคุมคุณภาพ เป็นผู้มีความรู้ด้านการทดสอบค่าต่างๆ ในกระบวนการผลิต นำความรู้ด้านสถิติมาใช้ในการควบคุมกระบวนการและเป็นผู้ที่นำมาตรฐานวิธีการปฏิบัติไปใช้งาน
- เจ้าหน้าที่ประสานงานด้านระบบมาตรฐาน เป็นผู้นำเอกสารเข้าระบบ ISO 9001 และแจกจ่ายเอกสารไปยังผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง

7.2.2 ระเบียบวิธีปฏิบัติงานการเตรียมเยื่อ

1) วัตถุประสงค์

เพื่อใช้เป็นแนวทางในกระบวนการเตรียมเยื่อ ให้ได้น้ำเยื่อที่มีค่าฟรีเนสและค่าความเข้มข้นของน้ำเยื่อเป็นไปตามที่กำหนด ก่อนส่งเข้ากระบวนการถัดไป

2) ขอบเขต

ครอบคลุมตั้งแต่กระบวนการตั้งแต่การตรวจรับวัตถุดิบ การปรับสูตรการตีเยื่อ การวัดค่าความเข้มข้นและค่าฟรีเนสของน้ำเยื่อ การควบคุมกระบวนการและการปรับค่าเมื่อไม่เป็นไปตามค่าที่กำหนดไว้

3) ระเบียบวิธีปฏิบัติงาน

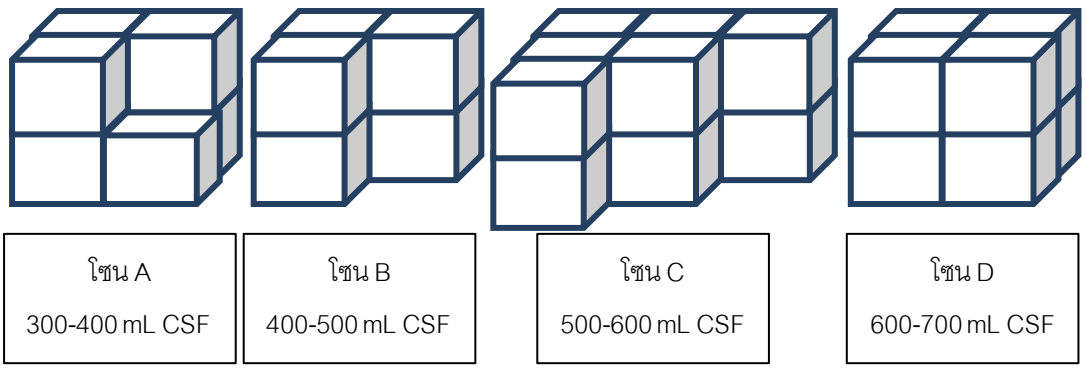
- การตรวจรับวัตถุดิบ เมื่อมีการรับเข้าเยื่อกระดาษ ให้เจ้าหน้าที่คลังวัตถุดิบแจ้งมายังเจ้าหน้าที่ตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบ เพื่อดำเนินการตรวจสอบสภาพเยื่อกระดาษภายในตู้คอนเทนเนอร์ ตามชนิดกระดาษและลักษณะทางกายภาพเบื้องต้น จากนั้นสุ่มตัวอย่างเยื่อกระดาษทุกตู้คอนเทนเนอร์ จำนวน 300 กรัม ทำการทดสอบคุณภาพเยื่อกระดาษตามมาตรฐานวิธีการตรวจสอบได้แก่ ค่าความชื้นและค่าฟรีเนสของเยื่อ เจ้าหน้าที่ตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบแจ้งผลการทดสอบไปยังเจ้าหน้าที่คลังวัตถุดิบ
- การแยกกลุ่มเยื่อกระดาษตามค่าฟรีเนส เมื่อเจ้าหน้าที่คลังวัตถุดิบได้รับแจ้งค่าฟรีเนสของเยื่อแต่ละล็อตแล้ว ให้ทำการติดป้ายชี้บ่งค่าและแยกเยื่อกระดาษแต่ละ ล็อตตามช่วงค่าฟรีเนส ดังนี้

  โซน A ช่วงฟรีเนส 300-400 mL CSF

  โซน B ช่วงฟรีเนส 400-500 mL CSF

  โซน C ช่วงฟรีเนส 500-600 mL CSF

  โซน D ช่วงฟรีเนส 600-700 mL CSF



รูปที่ 7.3 การแยกเยื่อกระดาษตามช่วงค่าฟรีเนส

- การกำหนดสูตรการตีเยื่อ จะทำการกำหนดโดยวิศวกรควบคุมคุณภาพ ได้จากการทดลองผสมเยื่อกระดาษจากห้องปฏิบัติการ แล้วกำหนดเป็นสัดส่วนการใช้เยื่อในแต่ละโซน เช่น สูตรที่ 1 ใช้เยื่อโซน B 60% โซน C 30% และโซน D 10% เป็นต้น ในกรณีที่ค่าฟรีเนสจากกระบวนการเตรียมเยื่อมีค่าสูงหรือต่ำกว่าค่าควบคุม ให้วิศวกรควบคุมคุณภาพทำการแจ้งส่วนเตรียมเยื่อในการปรับสัดส่วนการใช้กระดาษจากโซนต่างๆ ตามสูตรที่กำหนดไว้
- ขั้นตอนการเตรียมเยื่อ ในการชั่งน้ำหนักเยื่อก่อนการตีนั้น เพื่อเป็นการลดความแปรปรวนจากการชั่งน้ำหนัก ได้ทำการติดตั้งโปรแกรมFiber Weight Scale ในการชั่งน้ำหนัก โดยการป้อนสูตรการตีเยื่อลงไปในโปรแกรม Fiber เมื่อพนักงานทำการชั่งน้ำหนักเยื่อ และกดบันทึกค่าน้ำหนัก หากน้ำหนักเยื่อมีค่ามากกว่าค่าที่ตั้งไว้ $\pm$ 5 กิโลกรัม โปรแกรมจะไม่ทำการบันทึกค่าน้ำหนัก จนกว่าค่าจะอยู่ในช่วงที่กำหนด ทำให้ปริมาณเยื่อกระดาษที่ทำการเตรียมในแต่ละแบทช์มีความแม่นยำมากขึ้น
- ขั้นตอนการตีเยื่อ จากการทบทวนเอกสารวิธีการปฏิบัติงาน กระบวนการเตรียมเยื่อ พบว่า มีขั้นตอนการทำงานที่ชัดเจนโดยครอบคลุมขั้นตอน ดังนี้
    - การเตรียมวัตถุดิบ
    - การตรวจสภาพเครื่องจักรก่อนการเดินเครื่อง
    - การเดินเครื่องจักรเพื่อทาการผลิต
    - การหยุดเดินเครื่องจักร
    - การหยุดเดินเครื่องจักรเพื่อทาความสะอาด
    - การตรวจสอบหลังการหยุดเครื่องจักร
    - ข้อควรระวังสาหรับกระบวนการเตรียมเยื่อกระดาษ
    - ปัญหาและวิธีการแก้ไขเบื้องต้น

  เนื่องจากเอกสารการปฏิบัติงานมีความชัดเจนและครอบคลุมในทุกขั้นตอน ดังนั้น ในการลดความแปรปรวนของการเตรียมเยื่อกระดาษ จึงต้องทำการอบรมพนักงานส่วนเตรียมเยื่อให้เข้าใจและปฏิบัติตามขั้นตอนดังกล่าว

- การตรวจสอบคุณภาพน้ำเยื่อ กำหนดให้มีการสุ่มตรวจสอบน้ำเยื่อความถี่ทุก 2 ชั่วโมงโดยให้พนักงานตรวจสอบคุณภาพ สุ่มเก็บตัวอย่างน้ำเยื่อในถัง TINA-5 บริเวณวาล์วเก็บตัวอย่างปริมาณ 1 ลิตร จากนั้นนำน้ำเยื่อไปตรวจสอบคุณภาพตามวิธีปฏิบัติงานตรวจสอบคุณภาพน้ำเยื่อ ทำการรายงานผลผ่านระบบออนไลน์
- การปรับความเข้มข้นน้ำเยื่อ (Cellulose consistency) เพื่อลดความแปรปรวนในการวัดค่าความเข้มข้นของน้ำเยื่อ ได้มีการติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าความเข้มข้นน้ำเยื่ออัตโนมัติ (Consistency meter)โดยกรณีความเข้มข้นสูงหรือต่ำกว่าค่าควบคุม ระบบทำการปรับปริมาณน้ำเข้าหรือออกอัตโนมัติ จนได้ค่าความเข้มข้นของน้ำเยื่ออยู่ในค่าควบคุมทั้งนี้ ได้กำหนดให้มีการทวนสอบความถูกต้องของเครื่องมือดังกล่าวทุกสัปดาห์ เพื่อให้เกิดความแม่นยำในการวัด
- การติดตามควบคุมกระบวนการ ในกระบวนการเตรียมเยื่อ ได้นำแผนภูมิควบคุมเข้ามาใช้ในการควบคุมค่าฟรีเนสและค่าความเข้มข้นของน้ำเยื่อ

7.2.3 การตรวจติดตามกระบวนการโดยใช้แผนควบคุม

จากผลการทดลองหาการตั้งค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมจากการออกแบบการทดลองแบบบอกซ์-เบห์นเคน เพื่อให้ได้ค่าความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์สูงที่สุด ต้องมีการตั้งค่าระดับปัจจัยดังนี้

- ค่าฟรีเนสน้ำเยื่อ 430 mL CSF
- ค่าความหนาของฟิล์ม 0.65 mm
- ค่าแรงอัด Pressure step 1.6 bar

ทั้งนี้ เพื่อให้การตั้งค่าระดับปัจจัยเป็นไปตามที่กำหนด จึงมีการกำหนดแผนควบคุม (Control Plan) เพื่อใช้ในการควบคุมกระบวนการ โดยเพิ่มเติมการควมคุมอีก 3 ปัจจัย จากแผนควบคุมเดิม รายละเอียดการควบคุม ดังตารางที่ 7.3

ตารางที่ 7.3 แผนควบคุมการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์

กระบวนการ	จุดควบคุม	มาตรฐาน	หน่วย	การควบคุม				ผู้รับผิดชอบ	การดำเนินการเมื่อไม่เป็นไปตามข้อกำหนด
				อ้างอิง	เครื่องมือคุณภาพ	ความถี่	บันทึก		
การเตรียมเยื่อ	ค่าฟรีเนส	430 ± 10	CSF	WI-PD-001	I-MR Chart	ทุก 2 ชั่วโมง	ใบบันทึกค่าฟรีเนส	- พนักงานส่วนเตรียมเยื่อ - พนักงานควบคุมคุณภาพ	- แจ้งหัวหน้างานและทำการปรับสูตรการตีเยื่อ
การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์	จำนวนรอบตัด	17	รอบตัด	WI-PD-003	Check sheet	ทุก 1 ชั่วโมง	ใบบันทึกจำนวนรอบตัด	- พนักงานส่วนขึ้นรูป	- ทำการปรับจำนวนรอบตัด
การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์	แรงอัด	1.6	บาร์	WI-PD-003	Check sheet	ทุก 1 ชั่วโมง	ใบบันทึกการตั้งค่าเครื่องจักร	- พนักงานส่วนขึ้นรูป	- ทำการปรับแรงอัด

7.3 แผนการฝึกอบรมพนักงาน

จากระยะวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา และกรองปัจจัยโดยใช้เทคนิค FMEA พบว่ามีปัจจัยที่สามารถกรองได้จากเทคนิค FMEA จำนวน 16 ปัจจัย โดยสามารถแบ่งตามแนวทางการแก้ไขได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

กลุ่มที่ 1 การออกแบบการทดลอง เมื่อได้ผลการตั้งค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงมากที่สุดแล้ว จึงได้จัดทำแผนควบคุม เพื่อใช้ในการควบคุมกระบวนการให้เป็นไปตามที่กำหนดไว้

กลุ่มที่ 2 การสร้างมาตรฐานวิธีปฏิบัติงานซึ่งมีการทบทวน เปลี่ยนแปลงแก้ไข และเพิ่มเติมรายละเอียดการทำงาน ให้ครอบคลุมเพิ่มมากขึ้น

กลุ่มที่ 3 การอบรมพนักงาน เนื่องจากพบว่า พนักงานบางคนยังไม่มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการปรับตั้งเครื่องจักรเพียงพอจึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ส่งผลให้เกิดความแปรปรวนในกระบวนการ

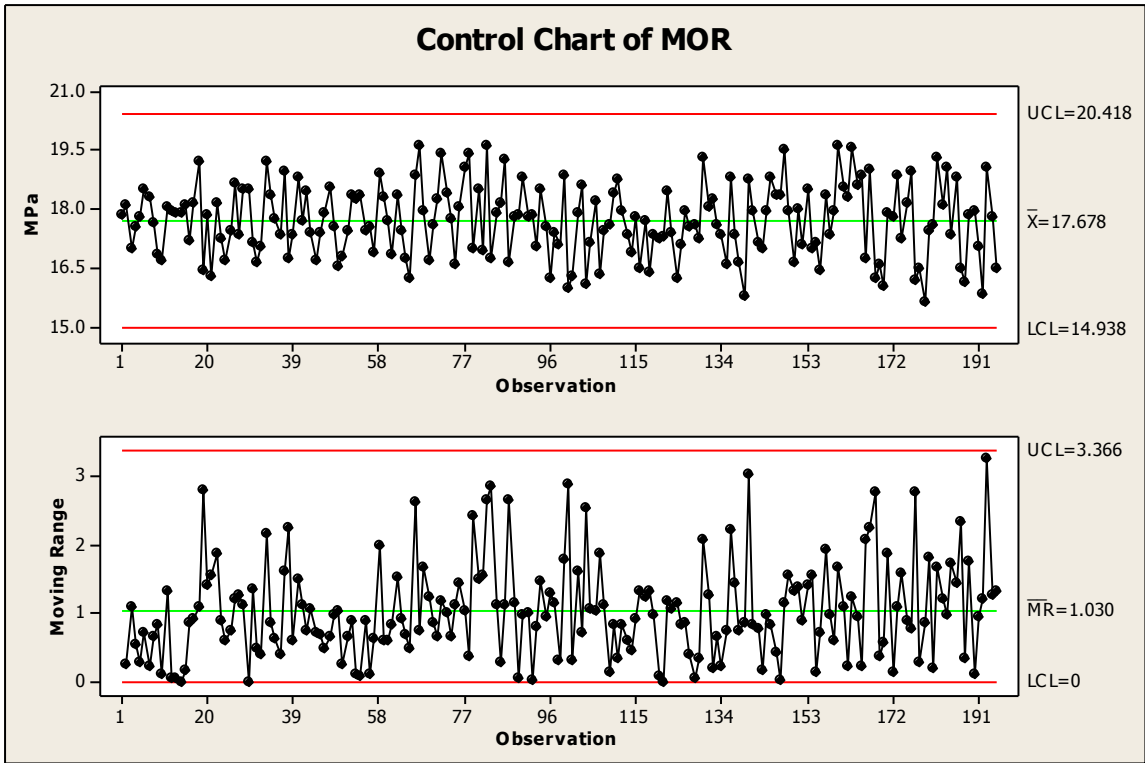
ทั้งนี้ เพื่อเป็นการนำมาตรฐานวิธีปฏิบัติงานใหม่และแผนการควบคุมมาปรับใช้ โดยให้พนักงานในฝ่ายผลิตและฝ่ายควบคุมคุณภาพที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับวิธีการปฏิบัติงาน รวมทั้งการควบคุมกระบวนการต่างๆ ให้เป็นไปในทิศทางเดียวกัน ทางทีมงานจึงได้มีการจัดทำแผนการฝึกอบรมให้กับพนักงาน ซึ่งมีการเพิ่มเติมในส่วนฝึกอบรมในงาน (On the job training) ให้พนักงานได้ฝึกปฏิบัติ เช่น การปรับตั้งค่าเครื่องจักร การตรวจสอบคุณภาพ เป็นต้น เมื่อทำการฝึกอบรมแล้ว พนักงานจะต้องได้รับการประเมินจากหัวหน้างาน ทั้งนี้ หัวหน้างานฝ่ายผลิตและฝ่ายประกันคุณภาพ จะเป็นผู้วางแผนการอบรม กำหนดหัวข้อการอบรมและกำหนดความจำเป็นในการอบรม (Training need) ของพนักงานแต่ละคนร่วมกับส่วนฝึกอบรม โดยแผนการอบรมที่เกี่ยวข้องซึ่งเป็นผลจากงานวิจัยนี้ เป็นดังตารางที่ 7.4

ตารางที่ 7.4 แผนการฝึกอบรมพนักงาน

ลำดับ	หลักสูตร	ปี 2555			ปี 2556			
		ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน
1	ทบทวนวิธีปฏิบัติงาน ส่วนเตรียมเยื่อและการปรับตั้งเครื่องจักร							
2	ทบทวนวิธีปฏิบัติงาน ส่วนผสมขั้นสุดท้ายและการปรับตั้งเครื่องจักร							
3	ทบทวนวิธีปฏิบัติงาน ส่วนขึ้นรูปผลิตภัณฑ์และการปรับตั้งเครื่องจักร							
4	การปฏิบัติการตรวจสอบคุณภาพ							
5	สถิติที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพ							
6	ระเบียบวิธีปฏิบัติงานส่วนเตรียมเยื่อและขั้นตอนที่เกี่ยวข้อง							

7.4 การใช้แผนภูมิควบคุม I-MR ในการตรวจติดตาม

เพื่อเป็นการตรวจติดตามค่า MOR เพื่อใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิตหลังจากทำการปรับปรุง ให้เกิดความมั่นใจได้ว่า การปรับตั้งค่าปัจจัยต่างๆ เป็นไปตามที่กำหนดไว้ โดยทางทีมงานพิจารณาเลือกใช้แผนภูมิควบคุม I-MR เนื่องจากมีการกำหนดกลุ่มตัวอย่างที่มีขนาดตัวอย่างเป็น n=1และกระบวนการผลิตต้องรอการเก็บตัวอย่างเป็นเวลานานโดยเจ้าหน้าที่ส่วนควบคุมคุณภาพ จะทำการเก็บตัวอย่างแผ่นบอร์ดหลังกระบวนการอบแห้ง ทุก 4 ชั่วโมง ผลการนำแผนภูมิชนิด I-MR มาใช้ในการตรวจติดตามค่า MOR ช่วงการผลิตในเดือน กุมภาพันธ์ 2556 เป็นดังรูปที่ 7.4



รูปที่ 7.4 ผลการใช้แผนภูมิควบคุมกระบวนการผลิตหลังการปรับปรุง

จากรูปที่ 7.4 เป็นผลการใช้แผนภูมิควบคุมกระบวนการผลิตหลังการปรับปรุง ในเดือนกุมภาพันธ์ 2556 จากแผนภูมิ พบว่า ไม่มีค่าของ MOR ที่ออกนอกขอบเขตควบคุม ทั้งนี้ ในกรณีที่ค่า MOR ออกนอค่าขอบเขตควบคุม พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพจะแจ้งไปยังฝ่ายผลิตในที่ประชุมตอนเช้า เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของความผิดปกติของกระบวนการในช่วงเวลาดังกล่าว และดำเนินการแก้ไขปรับปรุงต่อไป ทั้งนี้ เนื่องจากกระบวนการผลิตตั้งแต่เริ่มกระบวนการจนถึงขั้นตอนการการอบแห้ง และสุ่มตัวอย่างแผ่นบอร์ดเพื่อทดสอบใช้เวลาประมาณ 10 วัน ดังนั้น พนักงานฝ่ายผลิตต้องมีการบันทึกสภาวะการเดินเครื่องจักรในแต่ละวันไว้ทั้งหมด รวมทั้งสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้นในกระบวนการแต่ละวัน เพื่อให้สามารถวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหากรณีที่พบว่าค่า MOR ของผลิตภัณฑ์มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ควบคุมได้

7.5 เปรียบเทียบผลการดำเนินงานก่อนและหลังการปรับปรุง

หลังจากทำการปรับปรุงปัจจัยที่ส่งผลต่อค่า MOR ของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์ทั้ง 3 กลุ่ม ได้แก่

กลุ่มที่ 1 การออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม ช่วยในการปรับค่าเฉลี่ยของค่า MOR ให้มีค่าสูงขึ้น

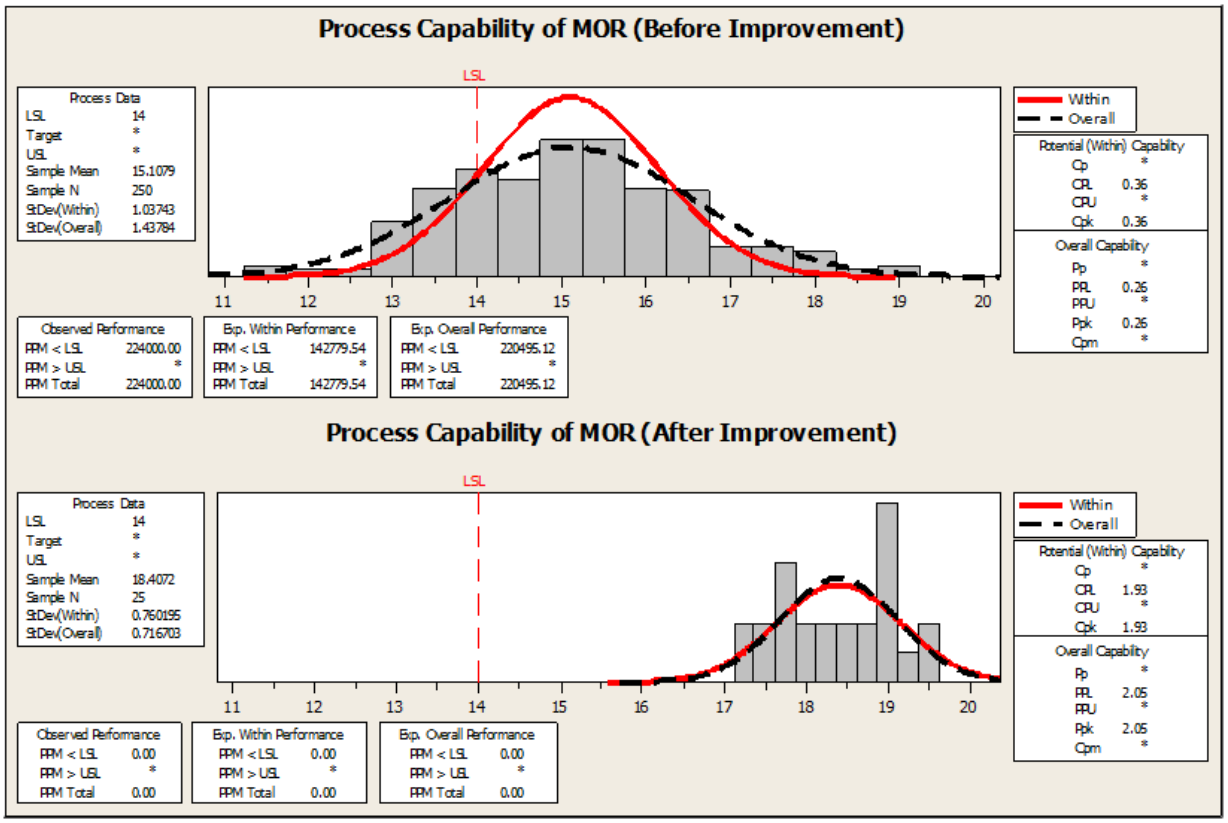
กลุ่มที่ 2 การสร้างมาตรฐานวิธีปฏิบัติงาน ช่วยในการลดความผันแปรของกระบวนการ เนื่องจากพนักงานมีขั้นตอนการปฏิบัติงานที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

กลุ่มที่ 3 การอบรมพนักงาน ช่วยในการลดความผันแปรของกระบวนการ เนื่องจากพนักงานมีความรู้ความเข้าใจในการปรับตั้งเครื่องจักรมากยิ่งขึ้น จากการฝึกอบรมในงาน การฝึกปฏิบัติและการประเมินผลหลังการฝึกอบรม

จากผลการปรับปรุง พบว่า ค่าเฉลี่ยของค่า MOR มีค่าเพิ่มสูงขึ้น ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ระยะยาว) มีค่าลดลง ส่งผลให้ค่า Ppk ของกระบวนการหลังการปรับปรุงมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเป็น 2.05 ซึ่งสามารถยอมรับได้ว่ากระบวนการมีความสามารถ และบรรลุเป้าหมายของการปรับปรุงทั้งนี้ สามารถสรุปผลการปรับปรุงได้ในตารางที่ 7.5และรูปที่ 7.5

ตารางที่ 7.5 เปรียบเทียบผลของความสามารถของกระบวนการก่อนและหลังการปรับปรุง

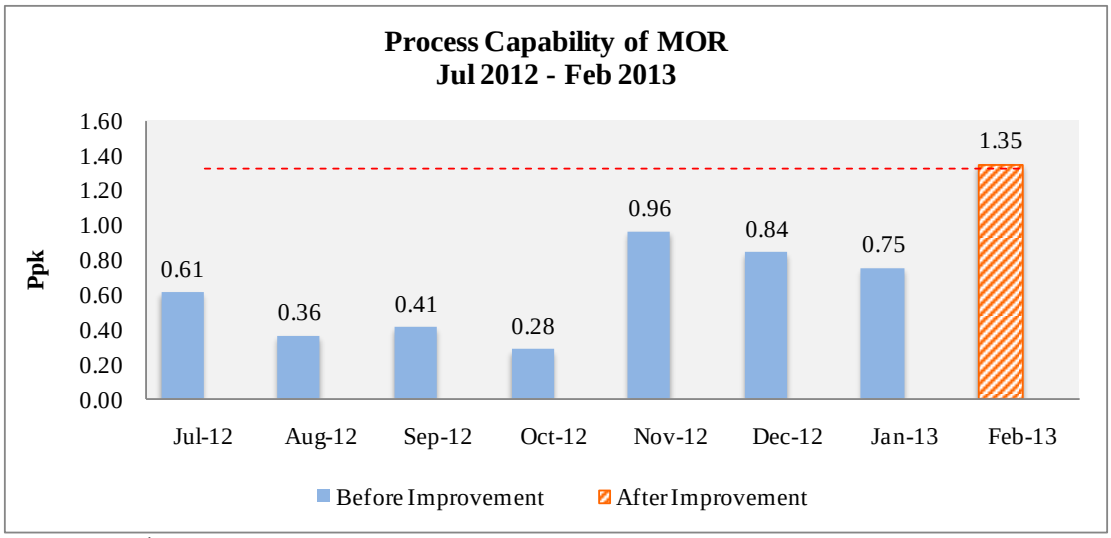
ค่าวัด	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง
ค่าเฉลี่ย	15.11	18.41
ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ระยะยาว)	1.44	0.72
สมรรถนะของกระบวนการระยะยาว (Ppk)	0.26	2.05



รูปที่ 7.5 ผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีชี้วัดสมรรถนะของกระบวนการระยะยาว (Ppk) ของค่า MOR ก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการ

7.6 การติดตามค่าสมรรถนะของกระบวนการระยะยาว (Ppk)

เพื่อเป็นการติดตามค่าสมรรถนะของกระบวนการระยะยาว (Ppk) ของค่า MOR ของผลิตภัณฑ์แผ่นบอร์ดความหนา 11 มิลลิเมตร เพื่อให้เกิดการปรับปรุงกระบวนการอย่างต่อเนื่อง นั้น หลังจากได้ข้อมูลจากการทดสอบค่า MOR ในช่วงที่มีการผลิต ฝ่ายควบคุมคุณภาพ จะทำการสรุปค่า Ppk ของกระบวนการเพื่อรายงานให้กับผู้บริหารโรงงานทราบในที่ประชุมประจำเดือน โดยกำหนดเป้าหมายของค่า Ppk เท่ากับ 1.33 ซึ่งสามารถยอมรับกระบวนการว่ามีความสามารถ ตัวอย่างการรายงานเป็นดังรูปที่ 7.6



รูปที่ 7.6 การรายงานค่าสมรรถนะของกระบวนการระยะยาว (Ppk) ของค่า MOR

ประโยชน์ของการรายงานผลตัวชี้วัดสมรรถนะของกระบวนการ คือ เพื่อให้เกิดการผลักดันให้เกิดการปรับปรุงกระบวนการในกรณีที่ค่าไม่เป็นไปตามเป้าหมาย หรือเป็นแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตต่อไป

7.7 สรุปผลขั้นตอนการควบคุมกระบวนการ

ในขั้นตอนการควบคุมกระบวนการ จากการปรับปรุงปัจจัยทั้ง 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 การตั้งค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม โดยได้ทำการทดลองเพื่อยืนยันผล และจัดทำแผนควบคุมคุณภาพ กลุ่มที่ 2 การทบทวนและสร้างมาตรฐานวิธีปฏิบัติงานขั้นตอนการเตรียมเยื่อ และกลุ่มที่ 3 การฝึกอบรมพนักงานเกี่ยวกับการปรับตั้งเครื่องจักร หลังจากการปรับปรุง พบว่า ค่า Ppk ของค่า MOR ของผลิตภัณฑ์หลังการปรับปรุง มีค่า 2.05 ซึ่งสามารถยอมรับได้ว่ากระบวนการมีความสามารถ ส่วนการตรวจติดตามกระบวนการนั้น ทางทีมงานได้ใช้แผนภูมิ I-MR ในการติดตาม และมีการรายงานค่า Ppk ให้กับผู้บริหารทราบทุกเดือน เพื่อให้เกิดการปรับปรุงคุณภาพอย่างต่อเนื่อง

บทที่ 8
บทสรุป วิจารณ์ผลและข้อเสนอแนะ

จากการปรับปรุงกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์ สามารถสรุปและวิจารณ์ผล รวมทั้งข้อเสนอแนะเพื่อเป็นประโยชน์ในการปรับปรุงคุณภาพต่อไป ดังนี้

8.1 บทสรุป

งานวิจัยนี้ เริ่มจากการรวบรวมปัญหาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์ในโรงงานกรณีศึกษาและทำการจัดลำดับความสำคัญของพารามิเตอร์ของผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย พบว่าปัญหาคุณภาพที่พบมากที่สุด คือ ผลิตภัณฑ์เปราะ แตกหักง่าย ซึ่งเกิดจากความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ในบางช่วงของการผลิตมีค่าต่ำ ทางผู้บริหารจึงได้ตั้งคณะกรรมการในการปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ โดยทีมงานได้ประยุกต์ใช้แนวคิด ซิกซ์ ซิกมา เพื่อช่วยในการปรับปรุงคุณภาพ มีวัตถุประสงค์ เพื่อเพิ่มค่าสมรรถนะของกระบวนการระยะยาว (Ppk) ให้มีค่ามากกว่า 1.33 ซึ่งเป็นค่าที่สามารถยอมรับได้ว่ากระบวนการมีความสามารถ

ตามแนวคิดซิกซ์ ซิกมา ทางทีมงานได้ทำการระบุปัญหา เป้าหมายที่ต้องการปรับปรุง ขอบเขตระยะเวลาการวิจัย และกำหนดผู้รับผิดชอบ จากนั้น ทำการศึกษาขั้นตอนการผลิตโดยละเอียด (Process details) เพื่อใช้ในการระดมสมองวิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลต่อความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ โดยทำการศึกษาครอบคลุมปัจจัย ตามหลักการวิเคราะห์ 5M 1E ตั้งแต่กระบวนการเตรียมเยื่อ จนถึงกระบวนการบ่มผลิตภัณฑ์ พบว่า มีทั้งหมด 39 ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง แบ่งออกเป็น ปัจจัยด้านวัตถุดิบ 14 ปัจจัย ปัจจัยด้านวิธีการผลิต 11 ปัจจัย ปัจจัยด้านเครื่องจักร 6 ปัจจัย ปัจจัยด้านพนักงานฝ่ายผลิต 3 ปัจจัย และปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม 1 ปัจจัย เนื่องจากจำนวนปัจจัยที่เกี่ยวข้องมีจำนวนมาก ทางทีมงานจึงใช้เทคนิคการหาความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) และเทคนิคการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA) สามารถกรองปัจจัยเหลือ 16 ปัจจัย เพื่อทำการปรับปรุง โดยทีมงานได้แบ่งประเภทของปัจจัยตามแนวทางการปรับปรุงได้ 3 กลุ่ม กลุ่มที่ 1 การตั้งค่าระดับปัจจัยไม่เหมาะสม แก้ไขโดย

การออกแบบการทดลอง จำนวน 3 ปัจจัย กลุ่มที่ 2 การสร้างมาตรฐานวิธีปฏิบัติงาน และกลุ่มที่ 3 พนักงานไม่เข้าใจขั้นตอนการปฏิบัติงาน แก้ไขโดยการจัดแผนการอบรม

จากผลการคัดกรองปัจจัย พบว่า มี 3 ปัจจัย ได้แก่ ค่าฟรีเนสน้ำเยื่อ ความหนาชั้นฟิล์ม และแรงอัด Pressure step ที่ต้องทำการหาการตั้งค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม ทั้งนี้ ทางทีมงานได้ใช้การออกแบบการทดลองแบบการพื้นที่ผิวผลตอบ ชนิดบอกซ์ เบห์นเคน จากผลการทดลอง พบว่า ค่าการตั้งระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์สูงสุด คือ ค่าฟรีเนสน้ำเยื่อ 430 CSF ความหนาของชั้นฟิล์ม 0.45 มิลลิเมตร และแรงอัด Pressure step 1.6 บาร์ แต่เนื่องจากค่าความหนาของชั้นฟิล์มไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ ในกระบวนการผลิตจริง จึงเลือกใช้ที่ความหนา 0.65 มิลลิเมตร เนื่องจากให้กำลังการผลิตสูงที่สุด เมื่อทำการทดลองเพื่อยืนยันผลการทดสอบ พบว่า หลังทำการปรับค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสมและการปรับปรุงปัจจัยในกลุ่มที่ 2 และ 3 โดยทำการสร้างมาตรฐานวิธีปฏิบัติงานกระบวนการเตรียมเยื่อและจัดทำแผนการฝึกอบรมพนักงานสามารถเพิ่มค่าเฉลี่ยของค่า MOR และลดความผันแปรของค่า MOR ลงได้ จึงสามารถเพิ่มค่าสมรรถนะของกระบวนการได้เป็น 2.05 ซึ่งสามารถยอมรับได้ว่ากระบวนการมีความสามารถ

8.2 ข้อจำกัดของงานวิจัย

จากการดำเนินการวิจัย พบว่า มีข้อจำกัดในการดำเนินงาน ดังนี้

1) เนื่องจากในกระบวนการผลิตตั้งแต่กระบวนการเตรียมเยื่อถึงกระบวนการอบแห้งผลิตภัณฑ์ จนสามารถนำผลิตภัณฑ์มาทดสอบความแข็งแรงได้นั้น ต้องใช้ระยะเวลาประมาณ 10 วัน จึงไม่สามารถทราบผลของการปรับค่าพารามิเตอร์ได้ในทันที ดังนั้น ในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิต ต้องมีการบันทึกการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ รวมทั้ง ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตไว้ เพื่อให้สามารถสอบกลับประบวนการได้

2) เนื่องจากการทดลองนี้ ได้ทำการทดลองในสายการผลิตที่2 ดังนั้น ในการนำผลการทดลองไปใช้ในสายการผลิตอื่น ซึ่งเครื่องจักรมีความคล้ายคลึงกัน แต่มีความแตกต่างกันในรายละเอียด จึงต้องมีการทดลองเพื่อยืนยันผลในแต่ละสายการผลิตก่อน

3) ในขั้นตอนการเตรียมเยื่อเพื่อให้ได้ค่าฟรีเนสน้ำเยื่อตรงตามเป้าหมายนั้น จะไม่สามารถเตรียมให้ตรงค่าเป้าหมาย เนื่องจากข้อจำกัดในการทดสอบ ดังนั้น ทางทีมงานจึงยอมรับช่วงค่าฟรีเนสได้ที่ ค่าเป้าหมาย $\pm$ 5 CSF เช่น กรณีต้องการค่าฟรีเนสที่ 430 CSF จะสามารถยอมรับค่าได้ที่ช่วง 425 – 435 CSF เป็นต้น

8.3 วิจารณ์ผลงานวิจัย

1) การคัดเลือกปัญหา ของโรงงานกรณีศึกษาในอดีต จะดำเนินการโดยเลือกปัญหาที่เกิดขึ้นในขณะนั้นๆ และดำเนินการปรับปัจจัย ตามความเข้าใจและประสบการณ์ของแต่ละบุคคล ดังนั้น การนำแนวคิดซิกซ์ ซิกมาเข้ามาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพ จึงช่วยในการจัดลำดับความสำคัญของปัญหาที่ส่งผลกระทบมาก และเลือกมาทำการปรับปรุงแก้ไขก่อน โดยมีการคัดกรองปัจจัยจากการระดมสมองและใช้เครื่องมือทางคุณภาพ ทำให้ได้ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อตัวแปรผลตอบที่ต้องการศึกษาจริง จึงทำให้สามารถแก้ไขปัญหาได้

2) การคัดกรองปัจจัย ในงานวิจัยได้ใช้เทคนิคการหาความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลและเทคนิคการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบแทนที่จะใช้การออกแบบการทดลองแบบ 2^kหรือการทดสอบสมมติฐาน เนื่องจากปัจจัยที่ส่งผลต่อความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์มีจำนวนมาก อีกทั้งระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตใช้เวลามากประมาณ 10 วัน ทางทีมงานจึงเลือกใช้เทคนิคการหาความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลและเทคนิคการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ เพื่อลดระยะเวลาการทดลองและลดต้นทุนในการทดลอง ทั้งนี้ เป็นข้อดีของแนวทางซิกซ์ ซิกมา ซึ่งมีความยืดหยุ่นในการเลือกใช้เครื่องมือในแต่ละขั้นตอนให้เหมาะสม

3) การวิเคราะห์ระบบการวัด เนื่องจากเป็นการทดสอบตัวอย่างแบบทำลาย ดังนั้น ในการทดสอบจะต้องมั่นใจว่าตัวอย่างที่นำมาทดสอบมีความเป็นเนื้อเดียวกัน ทั้งนี้ ทางผู้วิจัยได้ใช้ตัวอย่างแผ่นบอร์ดที่เก็บแผ่นเดียวกันเพื่อตรวจสอบระบบการวัดรีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้ จากผลการทดสอบ พบว่า ได้ค่า P/T และ P/TV เท่ากับ 15.73% และ 10.12% ตามลำดับ จากกิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2553ข) ได้กำหนดเกณฑ์การยอมรับค่า P/T และ P/TV ไว้ โดยค่าที่อยู่

ระหว่าง 10% ถึง 30% นั้น เป็นกระบวนการที่อาจยอมรับได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับความสำคัญในสิ่งที่ประยุกต์ใช้ ค่าใช้จ่ายในการวัด ตลอดจนปัจจัยอื่นๆ ทั้งนี้ จากการพิจารณาของทีมงานร่วมกัน สรุปว่า สามารถยอมรับกระบวนการนี้ได้ เนื่องจากข้อจำกัดของตัวอย่างที่ไม่สามารถใช้ตัวอย่างชิ้นเดียวกันได้

4) การออกแบบการทดลอง ทางผู้วิจัยได้ทำการเลือกการทดลองแบบการหาพื้นผิวตอบสนอง ชนิดบอกซ์ เบห์นเคน ซึ่งหลักการทดลองสำคัญ ต้องมีการทำการทดลองแบบสุ่ม แต่เนื่องจากข้อจำกัดในขั้นตอนการเตรียมเยื่อ ซึ่งต้องทำการปรับตั้งค่าฟรีเนสน้ำเยื่อตามค่าที่กำหนด ซึ่งในการผลิตจริงนั้นปริมาณน้ำเยื่อที่ต้องเตรียมน้อยที่สุด คือ 30 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งเป็นปริมาณมาก ทางทีมงานจึงได้พิจารณาจัดลำดับการทดลองตามค่าฟรีเนส เพื่อลดปริมาณวัตถุดิบและเวลาที่ใช้ในการทดลอง ส่วนปัจจัยอื่นๆ มีการทดลองแบบสุ่มเช่นเดิม

8.4 **ข้อเสนอแนะ**

1) เนื่องจากแนวคิดซิกซ์ ซิกมา มีข้อดี คือ มีระเบียบวิธีการทดลองที่เป็นขั้นตอนและมีความยืดหยุ่นในการเลือกใช้เครื่องมือให้เหมาะสมกับแต่ละโรงงาน จึงมีประโยชน์ช่วยในการปรับปรุงคุณภาพในองค์กร ดังนั้น จึงควรเผยแพร่แนวคิดดังกล่าวในองค์กร เพื่อให้เกิดการพัฒนาปรับปรุงอย่างต่อเนื่องต่อไป โดยนำไปใช้ในการแก้ปัญหาอื่นๆ

2) จากงานวิจัยนี้ ทำการทดลองเฉพาะการผลิตแผ่นบอร์ดความหนา 11 มิลลิเมตร ดังนั้น จึงสามารถนำวิธีการนี้ ไปใช้ในการทดลองกับแผ่นบอร์ดความหนาอื่นต่อไป เนื่องจากใช้กระบวนการผลิตแบบเดียวกัน

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ.หลักการควบคุมคุณภาพ.พิมพ์ครั้งที่ 5.กรุงเทพฯ:สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี ไทย-ญี่ปุ่น, 2553ก.

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ.การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) (ประมวลผลด้วย Minitab 15). พิมพ์ครั้งที่ 3.กรุงเทพฯ:สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี ไทย-ญี่ปุ่น, 2553ข.

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ Process Capability Analysis(PCA).จำนวน 2000 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 5.กรุงเทพฯ:สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี ไทย-ญี่ปุ่น, 2551ค.

ประภาศักดิ์ จิรเศรษฐพงศ์.การพัฒนาคู่มือแนวทางสำหรับการนำแผนภูมิควบคุมไปใช้งานอย่างมีประสิทธิผลในโรงงานประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์,วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.

ปาริชาติ บุญเกลี้ยง. การลดความผันแปรของขนาดหน้ากว้างของเทปโฟมอะคริลิคในกระบวนการตัดโดยใช้แนวคิดซิกซ์ ซิกมา.วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.

เรไร เฟื่องอาวรณ์. การลดความผันแปรของค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์อาหารผง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.

ภาษาอังกฤษ

Aksoy, B., and Orbak, A.Y. Reducing the quantity of reworked parts in a robotic arc welding process. Quality and Reliability Engineering International 25(2009) : 495-512.

Alamshahi, V., Taeb, A., Ghaffarzadeh, R.,and Rezaee, M.A. Effect of composition and length of PP and polyester fibres on mechanical properties of cement based composites. Constructionand Building Materials 36(2012) : 534-537.

Aruntas, H.Y., Cemalgil, S., Simsek, O., Durmus, G., and Erdal, M. Effects of super plasticizer and curing conditions on properties of concrete with and without fiber. Materials Letters 62 (2008): 3441-3443.

Automotive Industry Action Group (AIAG), Measurement Analysis (MSA). 3rd ed. Michigan, USA. 2002.

Automotive Industry Action Group (AIAG), Potential Failure Mode and Effects Analysis.3rd ed. Michigan, USA. 2001.

Automotive Industry Action Group (AIAG), Statistical Process Control (SPC).2nd ed. Michigan, USA. 1995.

Bezerra, E.M., Joaquim, A.P., SavastanoJr.,H., John, V.M.,andAgopyan.The effect of different mineral additions and synthetic fiber contents on properties of cement based composites. Cement and concrete compositer 28 (2006) : 555-563.

Blau, T., and Holenstein, J. Comparison of hatschek and flow-on board machines, Inorganic Bonded Fiber Composites Conference, 2012.

Bothe, D.K. Measuring Process Capability. New York: McGraw – Hill, 1997.

Falcon, R.G., Alanso, D.V., Fernandez, L.M.G., and Lombard, L.P. Improving energy efficiency in a naphtha reforming plant using Six Sigma methodology. Fuel Processing Technology 103 (2012) : 110-115.

Fassser, B. and Brettner, D. Process improvement in the electronics industries. New York: John Wiley &Sons., 1992.

Felekoglu, B., Tosan, K. and Baradan, B. Effects of fibre type and matrix structure on the mechanical performance of self-compacting micro-concrete composites. Cement and Concrete Research 39 (2009) : 1023-1032.

Gutierrez, R.M., Diaz, L.N., and Delvasto, S. Effect of pozzolans on the performance of fiber-reinforced mortars.Cement and Concrete Composites 27 (2005) : 593-598.

Ikai, S., Reichert, J.R., Rodrigues, A.V., and Zampieri, V.A. Asbestos-free technology with new high toughness polypropylene(PP) fibres in air-cured Hatscheck process. Construction and Building Materials 24 (2009) : 171-180.

Kavas, T., Sabah, E., and Celik, M.S. Structural properties of sepiolite-reinforced cement composite. Cement andConcrete Research 34 (2004) : 2135-2139.

Khorami, M.,andGanjian, E. Comparing flexural behavior of fibre-cement composites reinforcedbagasse:Wheat and eucalyptus. Construction and Building Materials 25 (2011) : 3661-3667.

Kus, H., Ozgur, E., and John, V.M. Effects of process parameters on physical and mechanical properties of fiber-cement sheets. Inorganic Bonded Fiber CompositesConference, 2006.

Montgomery, D.C.Design and analysis of experiments:International student version. 8th ed. John Wiley & Sons Singapore, 2012.

Montgomery, D.C. Introduction to statistical quality control. 5th ed. United States of America:John Wiley & Sons, 2005.

Negro, C., Sanchez, L.M., Fuente, H., and Blanco, Angeles. Effects of flocculants and sizing agents on bending strength of fiber cement composites. Cement and Concrete Research 35 (2005) : 2104-2109.

Sokovic, M., Pavletic, D., and Krulcic, E. Six Sigma process improvements in automotive parts Production. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering 19 (2006) : 96-102.

Soroushian, P., Won, J.P., and Hassen, M. Durability characteristics of CO_2-cured fiber reinforced cement composites. Construction and Building Materials 34 (2012) : 44-53.

Tonoli, G.H.D., Santos, S.F., Joaquim, A.P., and Savastano Jr., H. Effect of accelerated carbonation on cementitious roofing tiles reinforced with lignocellulosicfibre. Construction andBuilding Materials 24 (2010) : 193-201.

Tonoli, G.H.D., SavastanoJr, H., Fuente, E., Negro, C., Blanco, A., and Rocco Lahr, F.A. Eucalyptus pulp fibres as alternative reinforcement to engineered cement-based composites. Industrial Crops and Products 31 (2010) : 225-232.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย

คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย

การวิเคราะห์ระบบการวัด(Measurement System Analysis ; MSA): วิธีการที่ใช้ในการชี้บ่งความผันแปรที่เกิดขึ้นในการวัดซึ่งสามารถที่จะบอกปริมาณผลกระทบของความผิดพลาดในการวัดได้และทำให้มั่นใจได้ว่าข้อมูลที่ได้จากการวัดมีความเหมาะสมพอที่จะเอาไปใช้ในการวิเคราะห์

การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis ; FMEA) :กลุ่มของกิจกรรมเชิงระบบที่มีจุดมุ่งหมายเพื่อ รับรู้และประเมินถึงแนวโน้มข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการหนึ่งและผลกระทบจากข้อบกพร่องดังกล่าวจากนั้นดำเนินการปฏิบัติการที่สามารถกำจัดหรือลดโอกาสการเกิดข้อบกพร่องและดำเนินการจัดทำกระบวนการทั้งหมดให้อยู่ในรูปเอกสาร

การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment ; DOE) : กระบวนการในการวางแผนการทดลองเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสมที่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธีการทางสถิติ

ค่าสมรรถนะของกระบวนการระยะยาว (Process Performance Capability ; Ppk) : ค่าอัตราส่วนสำหรับการประเมินค่าความสามารถของกระบวนการโดยสะท้อนถึงความผันแปรที่กระบวนการทำได้จริง โดยการประเมินค่าจากค่าปรับตั้งของกระบวนการจริง

ซิกซ์ ซิกมา (Sig Sixma) : เป็นแนวคิดที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพ โดยมีการดำเนินการอย่างเป็นระบบด้วยขั้นตอน 5 ขั้นตอน ได้แก่ นิยามปัญหา (Define phase) การวัด (Measure phase) การวิเคราะห์ (Analyze phase) การปรับปรุง (Improve phase) และการควบคุม (Control phase) เรียกว่า DMAIC ทั้งนี้ การปรับปรุงคุณภาพตามแนวคิดซิกซ์ ซิกมา ต้องอาศัยความร่วมมือของหลายส่วนในองค์กร

ไฟเบอร์ซีเมนต์ (Fibre cement) :ผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนประกอบของปูนซีเมนต์และเส้นใยเซลลูโลส ทำเป็นวัสดุก่อสร้างใช้ตกแต่งส่วนต่างๆ ของบ้าน คุณสมบัติเด่น คือ ความแข็งแรงทนทานทนน้ำ ทนไฟ ปลอดภัยจากปลวกและแมลง

โมดูลัสของการแตกหัก (Modulus of rupture ; MOR) : เป็นค่าหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจากแรงดัดสูงสุดที่กระทำต่อชิ้นงานทดสอบแล้วทำให้ชิ้นงานทดสอบเกิดการแตกหัก มีหน่วยเป็น เมกะปาสคาล(Mpa)

แผนควบคุม (Control plan): เป็นเอกสารที่อธิบายการไหลของกระบวนการผลิตและระบุวิธีควบคุมในขั้นตอนต่างๆ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ

แผนภูมิควบคุม (Control chart) :เครื่องมือทางสถิติที่แยกความผันแปรจากสาเหตุที่ผิดธรรมชาติของข้อมูลออกจากความผันแปรจากสาเหตุโดยธรรมชาติของข้อมูล โดยผ่านกลไกที่สำคัญ คือ พิกัดควบคุม (Control limit) ของแผนภูมิ

ภาคผนวก ข
การให้ค่าคะแนนการหาความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและผล

ตาราง ข-1 ตารางการให้ค่าคะแนนการหาความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและผล

กระบวนการ	ชื่อตัวแปร	ประเภทของสาเหตุ	สาเหตุของปัญหา	ผลกระทบต่อค่าความแข็งแรงผลิตภัณฑ์												
				ค่าเฉลี่ย					ค่าความผันแปร					คะแนนรวม		
				TP	NA	TK	PH	WS	TP	NA	TK	PH	WS	μ	σ	Total
1. กระบวนการเตรียมเยื่อ	X1	ด้านวัตถุดิบ (Material)	ค่าฟรีเนสกระดาษดีแอลเค(DLK)	9	9	3	9	9	9	9	3	3	9	39	33	72
	X2	ด้านวิธีการผลิต (Method)	สูตรการตีเยื่อในแต่ละแบทช์	3	9	9	9	3	3	9	9	3	9	33	33	66
	X3	ด้านวิธีการผลิต (Method)	น้ำหนักกระดาษในแต่ละแบทช์ที่ทำการตีเยื่อ	1	3	3	9	3	3	3	3	3	3	19	15	34
	X4	ด้านวิธีการผลิต (Method)	ความเข้มข้นของน้ำเยื่อในถังเปิดตัวเยื่อ (Consistency in Pulper)	3	3	3	3	1	3	3	3	1	1	13	11	24
	X5	ด้านวัตถุดิบ (Material)	น้ำหนักสารผสมเพิ่ม (สารส้มและซิลิกา	3	9	1	1	3	3	9	1	0	3	17	16	33
	X6	ด้านวิธีการผลิต (Method)	ลำดับการเติมสารส้มและซิลิกาฟูม	3	9	1	1	3	3	9	1	0	1	17	14	31
	X7	ด้านวิธีการผลิต (Method)	ระยะเวลาการตีเยื่อในถังเปิดตัวเยื่อ	9	9	3	1	1	3	3	3	0	1	23	10	33
	X8	ด้านวิธีการผลิต (Method)	ความเข้มข้นของเยื่อที่ถัง TINA-2	1	1	1	1	3	1	1	1	0	1	7	4	11
	X9	ด้านวิธีการผลิต (Method)	ความเข้มข้นของน้ำเยื่อที่ถัง TINA-5	3	3	1	3	1	3	3	1	1	3	11	11	22
	X10	ด้านวัตถุดิบ (Material)	ค่าฟรีเนสของน้ำเยื่อ	9	9	9	9	9	9	3	9	3	9	45	33	78
	X11	ด้านบุคคล (Man)	พนักงานควบคุมเครื่องจักรส่วนเตรียมเยื่อ	3	9	3	3	3	9	9	3	1	9	21	31	52
	X12	ด้านวิธีวัด (Measurement)	การเก็บตัวอย่างน้ำเยื่อเพื่อใช้ในการ	3	9	0	1	3	3	9	0	0	9	16	21	37
	X13	ด้านวิธีวัด (Measurement)	การทดสอบน้ำเยื่อของพนักงานควบคุมคุณภาพ	3	9	0	1	3	3	9	0	0	3	16	15	31
	X14	ด้านวัตถุดิบ (Material)	ความสะอาดของน้ำที่ใช้ในการเตรียมเยื่อ	3	9	1	9	3	9	9	1	3	3	25	25	50
2. กระบวนการผสมขั้นสุดท้าย	X15	ด้านวัตถุดิบ (Material)	น้ำหนักปูนซีเมนต์และแคลเซียม	9	9	1	9	9	9	9	1	9	9	37	37	74
	X16	ด้านวัตถุดิบ (Material)	สัดส่วนปูนซีเมนต์กับเยื่อ	9	9	3	9	9	9	9	3	9	9	39	39	78
	X17	ด้านวัตถุดิบ (Material)	สัดส่วนปูนซีเมนต์กับแคลเซียมคาร์บอเนต	9	9	1	9	9	9	9	1	9	9	37	37	74
	X18	ด้านวัตถุดิบ (Material)	ความเข้มข้นของของแข็งในถังตกตะกอน	9	9	3	3	9	9	9	3	1	9	33	31	64
	X19	ด้านวัตถุดิบ (Material)	ความเข้มข้นของน้ำเยื่อ	3	9	1	9	9	3	9	1	9	9	31	31	62
	X20	ด้านวัตถุดิบ (Material)	ความเข้มข้นของส่วนผสมที่นำกลับมาใช้	3	9	3	3	9	3	9	3	1	9	27	25	52
	X21	ด้านวัตถุดิบ (Material)	ความเข้มข้นของส่วนผสมในถัง IMI	3	3	1	3	3	3	3	1	3	9	13	19	32
	X22	ด้านวัตถุดิบ (Material)	ความเข้มข้นของส่วนผสมในถัง GEMI	3	9	1	3	1	3	9	1	3	1	17	17	34
	X23	ด้านวิธีการผลิต (Method)	ระยะเวลาการผสมแต่ละขั้นตอน	9	9	3	3	1	3	9	3	3	1	25	19	44
	X24	ด้านวิธีวัด (Measurement)	การเก็บตัวอย่างส่วนผสมเพื่อใช้ในการทดสอบ	3	3	0	3	3	9	3	0	3	9	12	24	36
	X25	ด้านวิธีวัด (Measurement)	การทดสอบส่วนผสมของพนักงานควบคุมคุณภาพ	3	3	0	3	3	3	3	0	1	3	12	10	22
	X26	ด้านบุคคล (Man)	การปรับค่าเครื่องจักรของพนักงานควบคุมการผลิตส่วนผสมขั้นสุดท้าย	3	9	1	9	9	9	9	1	3	9	31	31	62
3. กระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์	X27	ด้านเครื่องจักร (Machine)	ความหนาของฟิล์ม (Film Thickness)	9	3	9	9	9	3	3	9	9	3	39	27	66
	X28	ด้านเครื่องจักร (Machine)	อายุผ้า Felt	9	3	3	3	3	9	3	3	3	9	21	27	48
	X29	ด้านวัตถุดิบ (Material)	ปริมาณสารช่วยลดฟอง(Defoamer)	3	1	1	3	1	3	1	1	3	1	9	9	18
	X30	ด้านวัตถุดิบ (Material)	ปริมาณสารช่วยตกตะกอน(Flocculant)	9	1	1	3	3	9	1	1	3	3	17	17	34
	X31	ด้านเครื่องจักร (Machine)	การดูดความชื้นของ Vacuum box	3	9	3	9	3	3	9	3	3	3	27	21	48
	X32	ด้านเครื่องจักร (Machine)	แรงอัดของ Pressure roller	9	9	3	9	9	9	9	3	9	3	39	33	72
	X33	ด้านเครื่องจักร (Machine)	ความเร็วในการเดินเครื่องจักร	9	3	9	9	9	9	3	9	9	3	39	33	72
	X34	ด้านบุคคล (Man)	การปรับค่าเครื่องจักรของพนักงานควบคุมการผลิตส่วนขึ้นรูปผลิตภัณฑ์	3	9	3	9	9	3	9	3	3	9	33	27	60
4. กระบวนการบ่ม	X35	ด้านเครื่องจักร (Machine)	อุณหภูมิของห้องบ่มที่ 1	9	3	1	3	9	9	3	1	1	3	25	17	42
	X36	ด้านวิธีการผลิต (Method)	เวลาที่แผ่นบอร์ดอยู่ในห้องบ่มที่ 1	9	3	1	3	9	9	3	1	1	3	25	17	42
	X37	ด้านวิธีการผลิต (Method)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์	3	3	1	3	3	3	3	1	0	3	13	10	23
	X38	ด้านวิธีการผลิต (Method)	ระยะเวลาการบ่มครั้งที่ 2	3	9	3	3	9	3	9	3	1	3	27	19	46
5. อื่นๆ	X39	ด้านสิ่งแวดล้อม (Environmrnt)	เหตุการณ์ไม่ปกติระหว่างกระบวนการ	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	15	15	30

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาววรัญญา สนเผือก เกิดวันที่ 16 มิถุนายน 2528 ที่จังหวัดอุทัยธานี จบการศึกษาระดับปริญญาตรีในสาขาวิชาเทคโยโลยีซิลิเกต (เซรามิก) ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปีการศึกษา 2550 จากนั้นได้ปฏิบัติงานในอุตสาหกรรมผลิตวัสดุก่อสร้างประเภทไฟเบอร์ซีเมนต์เป็นเวลา 5 ปี ในตำแหน่งวิศวกรควบคุมคุณภาพและผู้จัดการส่วนประกันคุณภาพ ตามลำดับ จากนั้น ได้เข้าศึกษาต่อในระดับบัณฑิตศึกษา ในสาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ในปีการศึกษา 2553