การใช้เศษกระเบื้องบดเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์กระเบื้องหลังคาคอนกรีตชนิดเรียบ โดยใช้แนวทางซิกซ์ ซิกมา

นายศรุต จุฑานนท์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554

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.

USE OF GRINDED MORTAR WASTE AS INGREDIENT OF FLAT CONCRETE ROOF TILE BY SIX SIGMA APPROACH

Mr. Sarut Juthanont

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 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้เศษกระเบื้องบดเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์กระเบื้องหลังคาคอนกรีตชนิดเรียบ โดยใช้แนวทางซิกซ์ ซิกมา
โดย	นายศรุต จุฑานนท์
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุติมา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

……. ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ)

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

……. กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์)

……. กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ริจิรวนิช)

ศรุต จุฑานน์ : การใช้เศษกระเบื้องบดเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์กระเบื้องหลังคาคอนกรีตชนิดเรียบ โดยใช้แนวทางซิกซ์ ซิกมา (USE OF GRINDED MORTAR WASTE AS INGREDIENT OF FLAT CONCRETE ROOF TILE BY SIX SIGMA APPROACH)
อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ดร.ปารเมศ ชุติมา, 225 หน้า

การวิจัยนี้เสนอแนวทางการใช้เศษกระเบื้องบดซึ่งเป็นของเสียการผลิตมาแทนทราย เพื่อลดการฝังกลบของเสีย โดยใช้แนวทางของซิกซ์ซิกม่า โดยให้ระดับคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ของ มอก. 535-2527 และ การยอมรับของทางบริษัท ระบบการดำเนินการคุณภาพตามแนวทางของซิกซ์ซิกม่าจะใช้หลักการควบคุมคุณภาพเชิงสถิติเป็นสำคัญ ขั้นตอนตามวิธีการทางซิกซ์ ซิกม่า 5 ขั้นตอน โดยเริ่มจากขั้นตอนการนิยามปัญหา (Define) ขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา (Measure) ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze) ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve) และขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิต (Control) ตามลำดับ

ในแต่ละขั้นของการสำรวจผลวิจัยสามารถระบุปัญหา,สาเหตุของปัญหาและทำการแก้ไขโดยใช้หลักการทางสถิติวิศวกรรม ซึ่งขั้นตอนเริ่มต้นของการศึกษาได้ทำการนิยามปัญหา ศึกษาความแม่นยำและความถูกต้องของระบบการวัด การศึกษาผลการเติมเศษกระเบื้องบดในผลิตภัณฑ์จริง ซึ่งพบว่ามีผลทำให้ความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย และ อัตราปูดนูนผิวกระเบื้องไม่ผ่านเกณฑ์การยอมรับ จึงทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาทำโดยแผนผังความสัมพันธ์ และ เชื่อมโยงเพื่อหาความรุนแรงของปัญหาด้วยวิธีการ FMEA หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ปัจจัยนำเข้าต่างๆ เหล่านั้นว่าสามารถทำให้คุณภาพผ่านการยอมรับหรือไม่ จากการวิเคาระห์สามารถสรุปการใช้เศษกระเบื้องบดสามารถใช้แทนทรายได้ที่ 20% และ เมื่อสามารถระบุถึงปัจจัยนำเข้าที่สำคัญแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการปรับปรุง โดยทำการผลิตแบบเต็มกำลังการผลิตจำนวน 6 กะ เพื่อเป็นการยืนยันผลการทดลอง และ สุดท้ายคือการจัดทำมาตราการวิธีการทำงานและการควบคุม

จากข้อมูลหลังการปรับปรุงกระบวนการพบว่า คุณภาพความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย ,อัตราดูดซึมน้ำ และ ปูดนูผิวกระเบื้องผ่านการยอมรับทั้งหมด โดยมีค่า Cpk เท่ากับ 1.40,1.61 และ Reject เท่ากับ 3.4% ตามลำดับ จากการนำเศษกระเบื้องมาใช้แทนทราย สามารถลดการฝังกลบลงเป็นจำนวนถึง 3,550 ตัน อีกทั้ง สามารถที่จะคาดการณ์การประหยัดค่าใช้จ่าย ในปี 2555 เท่ากับ 290,267 บาท

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....
ปีการศึกษา 2554 .....

5271450021 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS :GRINDED MORTAR / STRENGTH OF TILE AT SALE / ABSORPTION / BLISTER

SARUT JUTHANONT : USE OF GRINDED MORTAR WASTE AS INGREDIENT OF FLAT CONCRETE ROOF TILE BY SIX SIGMA APPROACH.

ADVISOR : ASSOC. PROF. PARAMES CHUTIMA, Ph.D., 225 pp.

The objective of this research is to present the way for using grinded mortar waste instead sand to reduce waste to land fill by six sigma approach in order to maintain quality as criteria of TIS 535 – 2527 and acceptance by company. The main principle of quality operation system in six sigma approach is statistic. Six sigma consists 5 phases which are define, measure, analyze, improve, and control respectively.

In each phase of six sigma method, statistical engineering techniques were applied in define phase by defining problem, measurement system analysis, and studying the effect of adding grinded mortar waste in product. The effects are strength of roof tile at sale and bister rate were reject at acceptance level. Therefore analyze the cause by cause and effect diagram and finding the relation of problem by FMEA. After that analyze input factors to find the way for passing acceptance level, the result is using grinded mortar instead sand at 20% is available. Next step is improvement by produce full at capacity as 6 shifts to confirm. The last step is standardization in work instruction and control.

The result is strength of tile at sale, absorption rate, and bister rate were accepted at acceptance level. The Cpk are 1.40, 1.61, and reject is 3.4% respectively. As evaluated, using grinded mortar waste instead sand can be reduced 3,550 tons of waste to landfill , and reduced expense 290,267.09 Baht in 2012.

Department : Industrial Engineering Student's Signature .....

Field of Study : Industrial Engineering Advisor's Signature .....

Academic Year : 2011

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ลุล่วงไปด้วยดี ผู้ทำวิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ปารเมศ ชุติมา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยนิพนธ์ซึ่งเป็นผู้ทำให้ความรู้ทางทฤษฎีหลักการ ตลอดจนแนวทางการแก้ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำวิจัยอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิจัยครั้งนี้ และขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร. นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์ ประธานกรรมการ รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย จิรวนิช และ รองศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ เงาประเสริฐ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ พร้อมทั้งตรวจแก้ไขข้อบกพร่องภายในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณคณะผู้บริหารโรงงานตัวอย่าง ที่อนุญาตให้ผู้วิจัยได้ศึกษาดำเนินการวิจัยภายในโรงงาน ขอขอบพระคุณสมาชิกทุกท่านที่ได้ให้ข้อมูลและเข้าร่วมการระดมความคิดเห็นในการทำการวิจัย ตลอดจนพนักงานในโรงงานตัวอย่างที่ให้ความร่วมมือในการทำการทดลองเป็นอย่างดี

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ครูอาจารย์ พี่น้อง เพื่อนนิสิต นอกจากนั้น ขอขอบพระคุณทุกท่านที่มิได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้ ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจแก่ผู้ทำวิจัยเสมอมาจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฎ

สารบัญภาพ..... ณ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2. ข้อมูลทั่วไปของโรงงาน..... 2

1.3. สภาพปัญหาและมูลเหตุจูงใจ..... 2

1.4. วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 5

1.5. ขอบเขตของการวิจัย..... 5

1.6. ผลที่คาดว่าจะได้รับ..... 6

1.7. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 6

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 9

2.1 แนวคิดและทฤษฎี..... 9

2.1.1 ทฤษฎีคอนกรีตเทคโนโลยี..... 9

2.1.2 ทฤษฎีเกี่ยวข้องกับซิกซ์ซิกมา..... 21

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 60

บทที่ 3 การนิยามปัญหา..... 68

3.1 การกำหนดทีมงานดำเนินงาน..... 68

3.2 ส่วนประกอบผลิตภัณฑ์กระเบื้องเรียบ 69

3.3 กระบวนการผลิตกระเบื้องแผ่นเรียบ 69

3.4 การวิจัยคุณสมบัติเศษกระเบื้องบดเทียบกับทราย และ ลักษณะปัญหาที่อาจเกิดกับผลิตภัณฑ์กระเบื้องคอนกรีต..... 71

3.5 สรุปการนิยามปัญหา..... 82

หน้า

บทที่ 4 ระยะการวัดเพื่อหาความสัมพันธ์กับหัวข้อคุณภาพ 83
4.1 การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (GR&R)..... 83
4.1.1 การวิเคราะห์ระบบการตรวจสอบผิวกระเบื้องเป็นรูพรุน (Porous)..... 85
4.1.2 การวิเคราะห์ระบบการตรวจสอบผิวกระเบื้องปูดนูน (Blister)..... 91
4.1.3 การวิเคราะห์ระบบการตรวจสอบรอยร้าวผิวกระเบื้อง (Crack At Surface)..... 94
4.2 การศึกษาผลลัพธ์ทางคุณภาพ เมื่อทำการเติมเศษกระเบื้องบดที่ระดับต่างๆ..... 97
4.2.1 การหาค่าความชื้นที่เหมาะสม..... 97
4.2.2 การทดลองเติมเศษกระเบื้องบดในผลิตภัณฑ์จริง..... 101
4.3 สรุปผลการทดลองเติมเศษกระเบื้องบดแทนทรายจำนวน 0%, 25%, 50% และ 75% 136
4.4 การระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้า (Key Process Input Variable หรือ KPIV).. 137
4.5 การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA)..... 144
4.6 สรุประยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา..... 155
บทที่ 5 ระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา..... 156
5.1 การกำหนดลำดับการวิเคราะห์..... 155
5.2 การวิเคราะห์ข้อมูลปัจจัยนำเข้าในตอนต้นของโครงการ..... 158
5.2.1 ขอบเขตสัดส่วนของซีเมนต์..... 158
5.2.2 ขอบเขตระยะเวลาการบ่มกระเบื้อง..... 165
5.2.3 สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลในอดีต..... 166
5.3 การวิเคราะห์ปัจจัยนำเข้าที่ทำเพิ่ม..... 166
5.3.1 การปรับปรุงสถานที่การทำงาน เนื่องจากสถานที่เก็บมวลรวมไม่เหมาะสม..... 166
5.3.2 การวิเคราะห์ขอบเขตของเวลาในการผสม Dry Mix น้อยเกินไป และปริมาณการเติมเศษกระเบื้องบดไม่เหมาะสม..... 167
5.3.3 สรุปผลการเพิ่มขอบเขตของเวลาในการผสม Dry Mix น้อยเกินไป และปริมาณการเติมเศษกระเบื้องบดแทนทรายจำนวน 0%, 10% และ 20%..... 190
5.4 มาตราการเพื่อให้เกิดการฝังกลบของโรงงานกรณีศึกษาเป็น 0..... 191

หน้า

5.5 สรุประยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา..... 191
บทที่ 6 ระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ..... 193
6.1 ขั้นตอนการทดสอบยืนยันผล..... 193
6.1.1 จุดประสงค์ของการทดสอบ..... 193
6.1.2 การเตรียมการทดลอง 193
6.1.3 ขั้นตอนในการทดสอบ..... 193
6.2 การสรุปผลด้านคุณภาพ..... 194
6.2.1 ค่าความสามารถของความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย เมื่อใช้เศษกระเบื้องบด..... 194
6.2.2 ค่าความสามารถของอัตราดูดซึมน้ำ เมื่อใช้เศษกระเบื้องบด..... 195
6.2.3 อัตราของเสียกระเบื้องปูดนูนกระเบื้อง เมื่อใช้เศษกระเบื้องบด..... 195
6.2.4 สรุปผลด้านคุณภาพเมื่อใช้เศษกระเบื้องบดแบบเต็มกำลังการผลิต..... 196
6.3 การสรุปผลคาดการณ์ด้านการลดปริมาณการฝังกลบเศษกระเบื้องบด ในปี 2555..... 196
6.4 การสรุปผลคาดการณ์ด้านค่าใช้จ่ายการผลิต ในปี 2555..... 197
6.5 สรุประยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ..... 199
บทที่ 7 ระยะการติดตามควบคุม..... 200
7.1 แผนควบคุมปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ..... 200
7.2 การตรวจติดตามคุณภาพ..... 203
7.2.1 แผนภูมิควบคุมของความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย..... 203
7.2.2 แผนภูมิควบคุมของอัตราดูดซึมน้ำ..... 204
7.2.3 กราฟควบคุมอัตราของเสียปูดนูนผิวกระเบื้อง..... 204
7.3 สรุประยะการติดตามควบคุม..... 206
บทที่ 8 บทสรุปและข้อเสนอแนะ..... 207
8.1 บทสรุประยะนิยามปัญหา..... 207
8.2 บทสรุประยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา..... 207
8.3 บทสรุประยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา..... 209
8.4 บทสรุประยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ..... 209

หน้า

8.5 บทสรุประยะการติดตามควบคุม..... 210
8.6 ข้อจำกัดในงานวิจัย..... 210
8.7 ข้อเสนอแนะ..... 211
รายการอ้างอิง..... 212
ภาคผนวก..... 216
ภาคผนวก ก..... 217
ภาคผนวก ข..... 224
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 230

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	การคำนวนปริมาณการใช้เศษกระเบื้องบดแทนที่ทรายในแต่ละโรงงาน……..	4
1.2	ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย……	7
2.1	ขนาดสิ่งตัวอย่างในการประเมินผลระบบการตรวจสอบข้อมูลนับ……..	25
2.2	การตัดสินใจในการทดสอบสมมติฐาน……..	51
2.3	การวิเคราะห์ความแปรปรวน สำหรับ One-Way ANOVA……..	53
2.4	การวิเคราะห์ความแปรปรวน สำหรับการทดลองแบบสุ่มในบล็อก…….	54
2.5	การวิเคราะห์ความแปรปรวน สำหรับ Two-Fixed Effect Model……	56
2.6	ชนิดของความผันแปร……	59
2.7	ชนิดของแผนภูมิควบคุม……	59
3.1	อัตราการดูดซึมน้ำแบบอิ่มตัวผิวแห้ง ระหว่างทรายและเศษกระเบื้องบด……	72
3.2	ขนาดคละของเศษกระเบื้องบด และ ทรายปกติของโรงงาน……	73
3.3	ค่าความถ่วงจำเพาะสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง ระหว่างทรายและเศษกระเบื้องบด.....	74
3.4	ค่าความแข็งแรง (Bending Strength) เทียบระหว่างก้อนซีเมนต์ และ ก้อนเศษกระเบื้องบด……..	76
3.5	ระดับความสามารถการเทได้ เมื่อเติมเศษกระเบื้องบดแทนทรายในอัตราส่วนต่าง ๆ……	77
3.6	เวลาการก่อตัว (Initial set) ที่การเติมเศษกระเบื้องบดแทนทรายที่อัตราต่างๆ…	78
3.7	ความสามารถการรับแรงอัดประลัย (Compressive Strength) ที่การเติมเศษกระเบื้องบดแทนทรายที่อัตราต่างๆ……	79
3.8	ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดการทดสอบ และหัวข้อคุณภาพกระเบื้อง ณ จำหน่ายที่เกี่ยวข้อง……...	80
3.9	ระดับคุณภาพในเดือนปัจจุบัน และ เกณฑ์การยอมรับของบริษัท……...	81
4.1	เกณฑ์การยอมรับของระบบการวัด……..	85
4.2	ผลลัพธ์ของการตรวจสอบระบบการประเมินสภาพรูพรุนผิวกระเบื้อง…….	86
4.3	ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดรูพรุนผิวกระเบื้อง โดยโปรแกรม Minitab……..	87

ตารางที่ หน้า

4.4 ผลลัพธ์ของการตรวจสอบระบบการประเมินสภาพรูพรุนผิวกระเบื้อง หลังการปรับปรุง..... 89

4.5 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดรูพรุนผิวกระเบื้อง หลังการปรับปรุง โดยโปรแกรม Minitab..... 90

4.6 ผลลัพท์การตรวจสอบระบบการตรวจผิวกระเบื้องปูดนูน..... 92

4.7 ผลการวิเคราะห์ระบบการประเมินผิวกระเบื้องปูดนูน โดยโปรแกรม Minitab.... 93

4.8 ผลลัพท์การตรวจสอบระบบการตรวจรอยร้าวผิวกระเบื้อง..... 95

4.9 ผลการวิเคราะห์ระบบการประเมินรอยร้าวผิวกระเบื้อง โดยโปรแกรม Minitab.. 96

4.10 ผลค่าความแข็งแรงเฉลี่ยของก้อนมอร์ตา ณ ค่าความชื้นต่างๆ..... 99

4.11 ผลค่าความแข็งแรงเฉลี่ยของก้อนปูนเติมเศษกระเบื้องบด ณ ค่าความชื้นต่างๆ. 100

4.12 เมตริกการออกแบบการทดลองเติมเศษกระเบื้องบด..... 102

4.13 การใช้เครื่องมือทางสถิติในการวิเคราะห์ผล และ เกณฑ์การยอมรับ..... 103

4.14 การคำนวน Sample size ของการทดสอบค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย..... 107

4.15 การคำนวน Sample size ของการทดสอบค่าอัตราดูดซึมน้ำ..... 108

4.16 การคำนวน Sample size ของการทดสอบค่าอัตราของเสียจากปูดนูนผิวกระเบื้อง..... 109

4.17 การคำนวน Sample size ของการทดสอบค่าอัตราของเสียจากรอยร้าวผิวกระเบื้อง..... 110

4.18 การคำนวน Sample size ณ กำลังการทดสอบต่างๆ ของการทดสอบค่าอัตราของเสียจากรูพรุนผิวกระเบื้อง..... 111

4.19 แสดงจำนวนการทดสอบคุณภาพ สำหรับหัวข้อคุณภาพต่างๆ..... 112

4.20 แสดงลำดับการทดลองการเติมเศษกระเบื้องบด..... 113

4.21 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสความละเอียดของทราย และ เศษกระเบื้องบด..... 115

4.22 ผลการคำนวน ค่าโมดูลัสความละเอียดของมวลรวมแต่ละสูตรการทดลอง..... 115

4.23 ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย และ อัตราการดูดซึมน้ำ.. 116

4.24 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลการทดสอบค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย ด้วยโปรแกรม Minitab..... 122

ตารางที่		หน้า
4.25	ผลการวิเคราะห์ทั้งหมดของค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย.....	125
4.26	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลการทดสอบค่าอัตราดูดซึมน้ำ ด้วยโปรแกรม Minitab.....	129
4.27	ผลการวิเคราะห์ทั้งหมดของค่าอัตราการดูดซึมน้ำ.....	131
4.28	ผลการตรวจสอบปูดนูนผิวกระเบื้อง, รูพรุนผิวกระเบื้อง และ รอยร้าวผิวกระเบื้อง.....	132
4.29	การวิเคราะห์ไคสแคว์ของค่าอัตราของเสียปูดปูดนผิวกระเบื้อง ด้วยโปรแกรม Minitab.....	133
4.30	การทดสอบ 2 Proportion test ระหว่างสูตรการทดลอง.....	134
4.31	การวิเคราะห์ไคสแคว์ของค่าอัตราของเสียร้าวผิวกระเบื้อง ด้วยโปรแกรม Minitab.....	134
4.32	การวิเคราะห์ไคสแคว์ของค่าอัตราของเสียรูพรุนผิวกระเบื้อง ด้วยโปรแกรม Minitab.....	135
4.33	สรุปผลการทดสอบคุณภาพทั้งหมดเทียบเกณฑ์การยอมรับ.....	136
4.34	ปัจจัยนำเข้าที่มีผลเกี่ยวข้องกับค่าความความแข็งแรง ณ จำหน่าย.....	140
4.35	ปัจจัยนำเข้าที่มีผลเกี่ยวข้องกับการเกิดปูดนูนผิวกระเบื้อง.....	141
4.36	เกณฑ์การให้คะแนน DFMEA ของบริษัทกรณีศึกษา.....	146
4.37	FMEA ของค่าวามแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย.....	147
4.38	FMEA ของปูดนูนผิวกระเบื้อง.....	149
4.39	ปัจจัยนำเข้า 8 ปัจจัยที่มีคะแนนสะสม 73% แรก ของปัญหาความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่ายลดลงเมื่อใช้เศษกระเบื้องบด.....	153
4.40	ปัจจัยนำเข้า 5 ปัจจัยที่มีคะแนนสะสม 67% แรก ของปัญหาปูดนูนผิวกระเบื้องเมื่อใช้เศษกระเบื้องบด.....	154
4.41	ปัจจัยนำเข้า 8 ปัจจัยแรก ของปัญหาความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่ายลดลงและ อัตราปูดนูนผิวกระเบื้อง.....	154
5.1	ลำดับการวิเคราะห์ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ.....	157
5.2	ปัจจัยและระดับของปัจจัยในการทำการทดลอง.....	159
5.3	ตารางการออกแบบการทดลอง (Design Matrix).....	160

ตารางที่		หน้า
5.4	ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab.....	164
5.5	ผล Cpk ของความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย เมื่อปรับเพิ่มระยะเวลาการบ่ม.....	165
5.6	เมตริกการออกแบบการทดลองการใช้เศษกระเบื้องบด โดยเพิ่มการผสมเพิ่มนอกสายการผลิต.....	169
5.7	จำนวนการทดสอบคุณภาพตามข้อจำกัด ณ หัวข้อคุณภาพต่างๆ.....	170
5.8	ลำดับการทดลองเติมเศษกระเบื้องบด.....	170
5.9	ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสความละเอียดของทราย และ เศษกระเบื้องบดก่อนการทดลอง.....	173
5.10	ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย และ อัตราการดูดซึมน้ำ..	174
5.11	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลการทดสอบค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย ด้วยโปรแกรม Minitab.....	179
5.12	ผลการวิเคราะห์ทั้งหมดของค่าอัตราการดูดซึมน้ำ.....	181
5.13	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลการทดสอบค่าอัตราดูดซึมน้ำ ด้วยโปรแกรม Minitab.....	185
5.14	ผลการวิเคราะห์ทั้งหมดของค่าอัตราการดูดซึมน้ำ.....	187
5.15	ผลการตรวจสอบปูดนูนผิวกระเบื้อง, รูพรุนผิวกระเบื้อง และ รอยร้าวผิวกระเบื้อง.....	188
5.16	การวิเคราะห์ไคสแคว์ของค่าอัตราของเสียปูดปูดนผิวกระเบื้อง ด้วยโปรแกรม Minitab.....	188
5.17	กระเบื้องที่ถูกเลือกทดสอบ และ สภาพก่อนการทดสอบ.....	189
5.18	ผลการทดสอบ ความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในระยะยาว.....	190
5.19	สรุปผลการทดสอบคุณภาพทั้งหมดเทียบเกณฑ์การยอมรับ.....	190
6.1	จำนวนแผ่นกระเบื้องทดสอบ ในแต่ละหัวข้อคุณภาพ.....	194
6.2	สัดส่วนปูดนูนผิวกระเบื้องเมื่อใช้เศษกระเบื้องบดแทนทรายจำนวน 20%.....	195
6.3	สรุปผลคุณภาพกระเบื้องเรียบเมื่อใช้เศษกระเบื้องบดแทนทรายจำนวน 20%...	196
6.4	การคำนวนค่าใช้จ่ายคาดการณ์ที่สามารถประหยัดได้ เมื่อใช้เศษกระเบื้องบดในปี 2555.....	198

ตารางที่ หน้า

7.1 แผนผังการควบคุมคุณภาพการผลิต (QC Process Chart) ที่การปรับให้เหมาะสมกับการใช้เศษกระเบื้องบดเป็นวัตถุดิบ..... 202

7.2 การกำหนด ค่า Control limit ของค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย เมื่อใช้เศษกระเบื้องบดแทนทรายจำนวน 20 %..... 203

7.3 การกำหนด ค่า Control limit ของค่าอัตราดูดซึมน้ำ เมื่อใช้เศษกระเบื้องบดแทนทรายจำนวน 20 %..... 204

7.4 การกำหนด ค่า Control limit ของสัดส่วนของเสียปูดนูนผิวกระเบื้อง เมื่อใช้เศษกระเบื้องบดแทนทรายจำนวน 20 %..... 205

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
1.1	จำนวนสัดส่วนวิธีการกำจัดของเสียในบริษัทกรณีตัวอย่าง……..	2
1.2	เศษกระเบื้องบด……	3
1.3	กราฟจำนวนของเสียมอร์ตา ในแต่ละโรงงานในหน่วยกิโลกรัมต่อตันการผลิต…	4
1.4	กราฟสัดส่วนของเสียมอร์ตาร์ในแต่ละโรงงาน……..	5
2.1	การเรียกชื่อองค์ประกอบต่างๆของคอนกรีต……	10
2.2	สภาพมวลรวมที่มีขนาดคละดี……	12
2.3	สภาพความชื้นของมวลรวม……	13
2.4	อิทธิพลของคุณสมบัติของมวลรวมต่อคุณสมบัติของคอนกรีต……	14
2.5	รูปร่างอนุภาคของ PFA……	14
2.6	คุณสมบัติของคอนกรีตสด ที่ส่งผลโดยตรงต่อกำลังและความทนทาน……	16
2.7	ขั้นตอนการก่อตัวของคอนกรีต……..	18
2.8	สรุปปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกำลังอัดของคอนกรีต……	21
2.9	แสดงปัจจัยและพารามิเตอร์ของกระบวนการ……	37
2.10	การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 2 ปัจจัย (ไม่มีอันตรกิริยา)……	46
2.11	การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 2 ปัจจัย (มีอันตรกิริยา)……	46
3.1	ขั้นตอนการผลิตกระเบื้องเรียบ……. ……..	70
3.2	Lay out สายการผลิตกระเบื้องเรียบ…….. …….	71
3.3	ลักษณะของผิว และ ความพรุน ของเศษกระเบื้องบด (ซ้าย) และ เม็ดทราย (ขวา)……	72
3.4	ก้อนซีเมนต์ ก้อนเศษกระเบื้องบด และ ก้อนทราย……..	75
4.1	กราฟ Attribute Agreement ของการตรวจสอบรูพรุนผิวกระเบื้อง……..	87
4.2	กราฟ Attribute Agreement ของการตรวจสอบรูพรุนผิวกระเบื้อง หลังการปรับปรุง.....	90
4.3	กราฟ Attribute Agreement ของการตรวจสอบผิวกระเบื้องปูดนูน.....	93
4.4	กราฟ Attribute Agreement ของการตรวจสอบรอยร้าวผิวกระเบื้อง.....	96
4.5	เครื่องอัดขึ้นรูปก้อนมอร์ตาร์.....	98

รูปที่		หน้า
4.6	กราฟค่าความแข็งแรงเฉลี่ยของก้อนมอร์ตา ณ ค่าความชื้นต่างๆ.....	99
4.7	กราฟค่าความแข็งแรงเฉลี่ยของก้อนมอร์ตาเติมเศษกระเบื้องบด ณ ค่าความชื้นต่างๆ.....	100
4.8	แผนผังกระบวนการวิเคราะห์ค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย และ อัตราการดูดซึมน้ำ	104
4.9	แผนผังกระบวนการวิเคราะห์อัตราของเสียปูดนูน, รูพรุน และ รอยร้าวผิวกระเบื้อง.....	105
4.10	แผนผังกระบวนการวิเคราะห์การทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในระยะยาว.....	106
4.11	แสดงแผนภูมิการไหลของการทดลองการเติมเศษกระเบื้องบด.....	114
4.12	กราฟค่าความหนากระเบื้องแห้งด้านซ้าย, กลาง และ ขวา รายแผ่นเทียบกับค่าควบคุมมาตราฐาน.....	118
4.13	กราฟค่าน้ำหนักกระเบื้องแห้งรายแผ่น.....	119
4.14	กราฟการกระจายของค่าส่วนตกค้างของค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย	120
4.15	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและลำดับของข้อมูลของค่าความแข็งแรง กระเบื้อง ณ จำหน่าย.....	120
4.16	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิตของค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย	121
4.17	กราฟค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่ายรายแผ่น.....	122
4.18	กราฟตัวแปรตอบสนองของผลการทดสอบความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย	123
4.19	กราฟความสามารถกระบวนการของค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่ายของการเติมเศษกระเบื้องบดแทนทรายจำนวน 0%, 25%, 50% และ 75%.....	124
4.20	กราฟการกระจายของค่าส่วนตกค้างของอัตราการดูดซึมน้ำ.....	126
4.21	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและลำดับของข้อมูลของอัตราการดูดซึมน้ำ.....	127
4.22	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิตของอัตราการดูดซึมน้ำ.....	127
4.23	กราฟค่าอัตราดูดซึมน้ำรายแผ่น.....	128

รูปที่		หน้า
4.24	กราฟตัวแปรตอบสนองของผลการทดสอบอัตราดูดซึมน้ำ.....	130
4.25	กราฟความสามารถกระบวนการของค่าอัตราการดูดซึมน้ำของการเติมเศษกระเบื้องบด แทนทรายจำนวน 0%, 25%, 50% และ 75%.....	131
4.26	แผนภาพเหตุและผลแสดงปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อความแข็งแรงของกระเบื้อง ณ จำหน่าย.....	138
4.27	แผนภาพเหตุและผลแสดงปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อการเกิดปูดนูนผิวกระเบื้อง.	139
4.28	กราฟเรียงลำดับคะแนน RPN ของปัญหาความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย...	151
4.29	กราฟเรียงลำดับคะแนน RPN ของปัญหาปูดนูนผิวกระเบื้อง.....	152
5.1	ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติ.....	161
5.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและลำดับของการเก็บข้อมูล...	161
5.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิต.....	162
5.4	กราฟ Normal Plot ของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง.	163
5.5	แผนภูมิพาเรโตของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง.....	163
5.6	ผลของปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย.....	163
5.7	ผลของอัตรกิริยาที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย.....	164
5.8	การติดตั้งผ้าใบให้กับ Sand bin.....	166
5.9	ความสามารถบดก้อนมวลรวมผสมเศษกระเบื้องบดได้ด้วยมือ.....	167
5.10	การผสมทราย และเศษกระเบื้องบด นอกสายการผลิต.....	171
5.11	แสดงแผนภูมิการไหลของการทดลองการใช้งานเศษกระเบื้องบด โดยเพิ่มการผสมนอกสายการผลิต.....	172
5.12	กราฟค่าความหนากระเบื้องแห้งด้านซ้าย, กลาง และ ขวา รายแผ่นเทียบกับค่าควบคุมมาตราฐาน.....	175
5.13	กราฟแสดงค่าน้ำหนักกระเบื้องแห้งรายแผ่น.....	176
5.14	กราฟแสดงการกระจายของค่าส่วนตกค้าง.....	177
5.15	แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและลำดับของข้อมูล.....	177
5.16	แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิต.....	178
5.17	กราฟค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่ายรายแผ่น.....	179
5.18	กราฟตัวแปรตอบสนองของผลการทดสอบความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย.	180

รูปที่		หน้า
5.19	กราฟความสามารถกระบวนการของค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่ายของการเติมเศษกระเบื้องบดแทนทรายจำนวน 0%, 10% และ 20%.....	181
5.20	กราฟแสดงการกระจายของค่าส่วนตกค้าง.....	183
5.21	แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและลำดับของข้อมูล.....	183
5.22	แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิต.....	184
5.23	กราฟค่าอัตราดูดซึมน้ำรายแผ่น.....	185
5.24	กราฟตัวแปรตอบสนองของผลการทดสอบอัตราดูดซึมน้ำ.....	186
5.25	กราฟความสามารถกระบวนการของค่าอัตราการดูดซึมน้ำของการเติมเศษกระเบื้องบด แทนทรายจำนวน 0%, 10% และ 20%.....	187
6.1	กราฟความสามารถกระบวนการของค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย เมื่อใช้เศษกระเบื้องบดแทนทรายจำนวน 20%.....	194
6.2	กราฟความสามารถกระบวนการของอัตราดูดซึมน้ำ เมื่อใช้เศษกระเบื้องบดแทนทรายจำนวน 20%.....	195
6.3	กราฟแสดงอัตราของเสียปูดนูนผิวกระเบื้อง.....	196
6.4	กราฟปริมาณการนำเศษกระเบื้องบดของโรงงาน SB2 กลับมาใช้ ในปี 2555....	197
7.1	$\bar{x}$ – S Chart ของค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย เมื่อใช้เศษกระเบื้องบดแทนทรายจำนวน 20 %.....	203
7.2	$\bar{x}$– S Chart ของค่าอัตราดูดซึมน้ำ เมื่อใช้เศษกระเบื้องบดแทนทรายจำนวน 20 %.....	204
7.3	ขั้นตอนการตรวจสอบและแก้ไข สำหรับค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย, อัตราดูดซึมน้ำ และ ปูดนูนผิวกระเบื้อง ออกนอกการควบคุม.....	205

บทที่ 1

บทนำ

ในบทนำนี้จะทำการกล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาในงานวิจัยนี้ ตลอดจนสภาพปัญหาและมูลเหตุจูงใจ อันนำมาซึ่งการกำหนดเป็นวัตถุประสงค์ของการวิจัย, ขอบเขตของการวิจัย,ผลที่คาดว่าจะได้รับ,ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และ ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

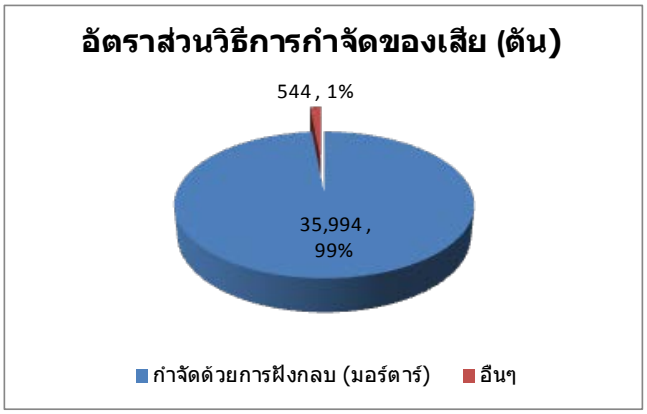
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากการปัจจุบันปัญหาเรื่องสิ่งแวดล้อมเป็นสิ่งที่ได้เข้ามามีบทบาทต่อทุกองค์อย่างมาก ทรัพยากรธรรมชาติซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการผลิตสินค้านั้นมีปริมาณจำกัด และใช้ระยะเวลายาวนานในการเกิดขึ้นมาใหม่ ขณะเดียวกันการดำเนินการทางธุรกิจก็จะแข่งขันกันเพื่อให้ได้ทรัพยากรมาใช้ จึงส่งผลให้ทรัพยากรมีปริมาณลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นสิ่งที่ท้าทายต่อทั้งภาครัฐ ผู้ประกอบธุรกิจ สังคม ชุมชน และผู้มีส่วนเกี่ยวข้องอื่นๆ ต่อการที่จะมีทรัพยากรใช้ได้อย่างเพียงพอเพื่อตอบสนองต่อการเจริญเติบโตของทางธุรกิจ และ ขณะเดียวกันยังคงรักษาความสมดุลของธรรมชาติและระบบนิเวศได้

ด้วยเห็นความสำคัญเหล่านี้ทางเครือของบริษัทกรณีศึกษา จึงมุ่งมั่นสู่การเป็นธุรกิจที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยใช้จึงมีกลยุทธ์หลัก คือกระบวนการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยมาตราการดำเนินการที่สำคัญหนึ่งคือ การจัดการของเสียอุตสาหกรรม ด้วยความมุ่งมั่นในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการบริหารจัดการของเสีย และ วัสดุเหลือใช้จากกระบวนการผลิต จึงได้มีการกำหนดเป้าหมายการจัดการของเสียอันตรายและไม่อันตรายจากกระบวนการผลิตต้องไม่นำไปกำจัดด้วยการฝังกลบ ด้วยการบริหารบนหลักการของ 3 R ประกอบ ลดการใช้ นำมาใช้ซ้ำ และฟื้นฟูอย่างเหมาะสม (Reduce, Reuse/Recycle, Replenish) ที่เน้นการจัดการกากของเสียต่าง ๆ ภายในเอสซีจีให้มากที่สุด เพื่อให้กากของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตถูกนำไปใช้ประโยชน์สูงสุดก่อนที่ จะส่งออกไปจัดการด้วยวิธีอื่น ๆซึ่งได้มีการกำหนดนโยบาย กลยุทธ์ และแผนการดำเนินงาน เพื่อกำหนดให้ทุกบริษัทต้องปฏิบัติตาม

จากการที่บริษัทกรณีศึกษามีผลิตภัณฑ์ คือ กระเบื้องหลังคาคอนกรีต จึงมีของเสียอุตสาหกรรมสูงสุด คือ มอร์ตาอันเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิต ดังรูปที่ 1.1 เพื่อให้สามารถทำการ

ตอบสนองต่อนโยบาย กำจัดด้วยการฝังกลบ อีกทั้งช่วยลดการใช้ปริมาณทรายธรรมชาติ ทางบริษัทจึงกำหนดแผนงานหลัก 2 ประการ คือ การลดอัตราเสียของผลิตภัณฑ์ และ การนำมอร์ตาที่เสียจากการใช้งาน มาทำการ Recycle กลับมาใช้เป็นส่วนหนึ่งของวัตถุดิบในผลิตกระเบื้อง ซึ่งในส่วนการนำกลับมาใช้นี้จะเป็นงานวิจัยที่จะทำการศึกษา



รูปที่ 1.1 จำนวนสัดส่วนวิธีการกำจัดของเสียในบริษัทกรณีตัวอย่าง

เนื่องจากการหาแนวทางการใช้เศษมอร์ตา เป็นส่วนผสมนั้น ต้องทำกับทุกผลิตภัณฑ์ ดังนั้นสำหรับกรณีการงานวิจัยนี้จะได้ยกกรณีตัวอย่างวิจัยกับกระเบื้องชนิดเรียบโดยในกระบวนการทำนั้นจะใช้แนวทาง Six sigma ในการดำเนินการต่อไป

1.2. ข้อมูลทั่วไปของโรงงาน

บริษัทกรณีศึกษา เป็นบริษัทในกลุ่มธุรกิจผลิตภัณฑ์ก่อสร้าง กำเนิดขึ้นครั้งแรกในปี พ.ศ. 2513 โดยการร่วมทุนกับประเทศออสเตรเลีย โดยมีสินค้าและบริการ คือ กระเบื้องคอนกรีต และอุปกรณ์และโครงหลังคา

1.3. สภาพปัญหาและมูลเหตุจูงใจ

จากการที่ทำการตั้งเป้าหมายการกำจัดด้วยการฝังกลบต้องเป็น 0 ภายในปี 2555 โดยทางบริษัทได้กำหนด 2 แนวทางหลัก คือ การลดจำนวนของเสียมอร์ตาลงให้ได้มากที่สุด และ การนำ ของเสียมอร์ตา 2 ประเภท ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน กลับมาใช้เป็นวัตถุดิบส่วนหนึ่งสำหรับตัวกระเบื้อง คือ

1. ของเสียกระเบื้องเปียก คือ ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเสียก่อนเข้าห้องบ่ม เป็นของเสียที่มี

ความชื้นสูงซึ่งก่อนนำมาใช้งาน ต้องนำมาตากแดดเพื่อทำให้แห้งก่อน

2. ของเสียกระเบื้องแห้ง คือ ผลิตภัณฑ์ที่เสียหลังจากออกจากห้องบ่ม

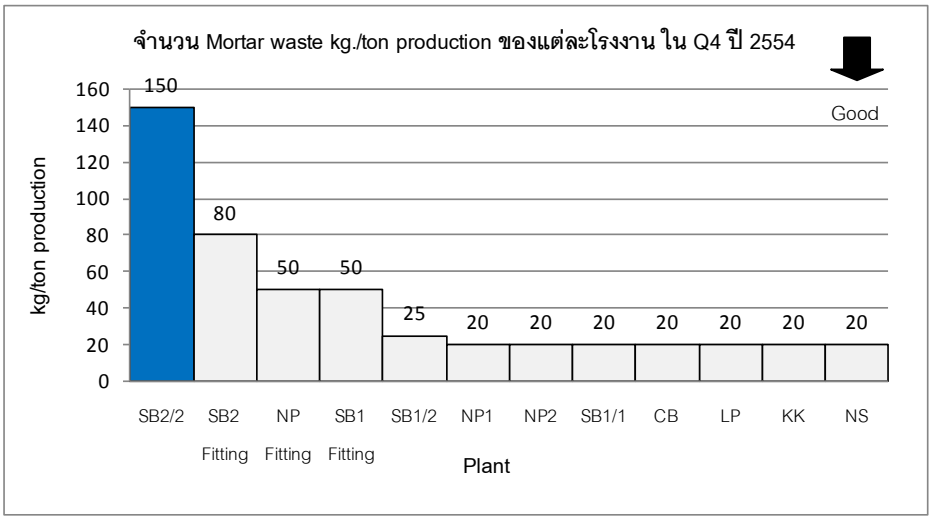
กระบวนการนำของเสียมอร์ตาร์มาใช้ ทำโดยการนำของเสียทั้งกระเบื้องเปียกและแห้งมาทำการบดด้วยเครื่องบดเศษ ที่ประกอบด้วยขั้นตอนการบดด้วยเครื่องจักรลักษณะคล้ายค้อน จำนวน 2 ครั้ง คือ ครั้งแรก เพื่อทำการทุบของเสียมอร์ตาร์ให้กลายเป็นชิ้นขนาดเล็ก และ ครั้งที่สองเพื่อทำให้กลายเป็นชิ้นละเอียดขนาดใกล้เคียงทรายปกติ ซึ่งในที่นี้ให้ใช้ชื่อว่าเศษกระเบื้องบด ดังรูปที่ 1.3

รูปที่ 1.2 เศษกระเบื้องบด

เนื่องจากเศษกระเบื้องบดประกอบด้วยทราย และ ซีเมนต์ที่ทำปฏิกริยาแล้ว จึงจัดเป็นวัสดุเฉื่อย หรือ มวลรวม ซึ่งไม่มีความสามารถทางการประสาน ดังนั้นจึงได้กำหนดวิธีการนำเศษกระเบื้องบดมาผลิตโดยการใช้แทนที่ทราย ตามคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกัน

บริษัทได้กำหนดแนวทางการดำเนินการใช้เศษกระเบื้องบดเป็นวัตถุดิบ คือ แต่ละโรงงานต้องรับผิดชอบต่อปริมาณของเสียมอร์ตาทั้งหมดของแต่ละโรงงานเอง และ สำหรับเป้าหมายปริมาณการใช้เศษกระเบื้องบดแทนที่ทรายนั้นให้คิดจากปริมาณของเสียมอร์ตาของช่วงไตรมาศที่ 4 ของปี 2554

จากรูปที่ 1.4 แสดงปริมาณของเสียมอร์ตาร์ต่อจำนวนตันการผลิตซึ่งจะสังเกตุได้ว่าโรงงาน SB2/2 ซึ่งผลิตกระเบื้องชนิดแผ่นเรียบ มีจำนวนสูงที่สุดจึงเลือกเป็นโรงงานกรณีศึกษา จากการพิจารณาว่าโรงงานที่มีการใช้จำนวนเศษกระเบื้องบดแทนทรายในผลิตภัณฑ์สูงที่สุดเนื่องจากอาจมีความเสี่ยงต่อระดับคุณภาพตกลงมากที่สุด



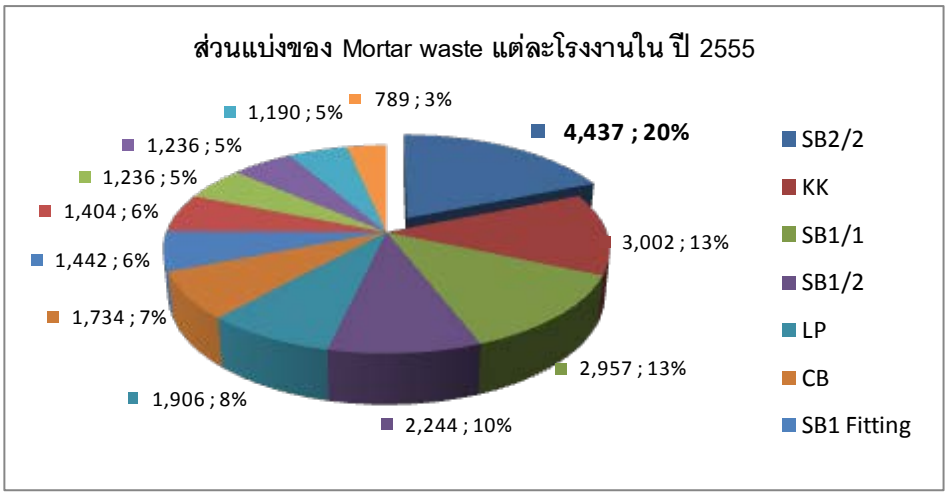
รูปที่ 1.3 กราฟจำนวนของเสียมอร์ตา ในแต่ละโรงงานในหน่วยกิโลกรัมต่อตันการผลิต

จากตารางที่ 1.1 เมื่อคำนวนการปริมาณการใช้เศษกระเบื้องบดแทนที่ทรายจะเห็นว่า กระเบื้องเรียบ ต้องมีการใช้ถึงประมาณ 25 % ซึ่งเป็นจำนวนที่มากที่สุดเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์อื่นๆ

ตารางที่ 1.1 การคำนวนปริมาณการใช้เศษกระเบื้องบดแทนที่ทรายในแต่ละโรงงาน

โรงงาน	เป้าหมาย waste generate Q4 2011		น้ำหนักแห้ง (kg.)	ปริมาณแทนทราย
	Waste (kg.)	Production (kg.)		
SB2/2	150	1000	5.6	25%
SB2 Fitting	80	1000	4.0	16%
NP Fitting	50	1000	3.0	7%
SB1 Fitting	50	1000	4.6	8%
SB1/2	25	1000	5.3	3%
NP1	20	1000	4.1	3%
NP2	20	1000	4.1	3%
SB1/1	20	1000	4.1	3%
CB	20	1000	4.1	3%
LP	20	1000	4.1	3%
KK	20	1000	4.1	3%
NS	20	1000	4.1	3%

อีกทั้งเมื่อพิจารณาดังรูปที่ 1.5 จำนวนของเสียมอร์ตาร์คาดการณ์ทั้งปี 2555 ในแต่ละโรงงาน เห็นได้ว่า ของโรงงาน SB2/2 มีจำนวนมากถึง 4,437 ตัน หรือ เป็นสัดส่วนถึง 20 % มากที่สุดในบรรดาโรงงานทั้งหมด ด้วยเหตุผลดังนี้ทางบริษัทจึงได้ทำการกำหนดโรงงาน SB2/2 เป็นโรงงานกรณีศึกษาในการหาแนวทางการใช้งานเศษกระเบื้องบดต่อไป



รูปที่ 1.4 กราฟสัดส่วนของเสียมอร์ตาร์ในแต่ละโรงงาน

1.4. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ศึกษาหาแนวทางการนำเศษกระเบื้องบดมาใช้เป็นส่วนผสมวัตถุดิบ ในการผลิตตัวกระเบื้องหลังคาคอนกรีตชนิดเรียบ โดยได้คุณภาพตามมาตราฐาน มอก.535- 2527 และ เกณฑ์การยอมรับของบริษัท รวมทั้งต้นทุนเพิ่มขึ้นน้อยที่สุด โดยการประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกมา (SIX SIGMA APPROACH)

1.5. ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาและหาแนวทางการใช้เศษกระเบื้องบดมาใช้เป็นส่วนผสมวัตถุดิบของตัวกระเบื้องหลังคาคอนกรีตชนิดเรียบเท่านั้น

2. การปรับปรุงที่ผู้วิจัยเสนอแนะอาจจะไม่ได้ถูกนำการใช้ปรับปรุงในทุกๆ ข้อทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเห็นพ้องต้องกันกับบริษัทกรณีศึกษาด้วย เนื่องจากบางข้อเสนอแนะอาจต้องใช้การลงทุนสูง หรือ ยากต่อการควบคุม

3. ทำการศึกษาเฉพาะกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการผลิตตัวกระเบื้องหลังคาคอนกรีตชนิดเรียบเท่านั้น ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนกระบวนการผสมส่วนผสม (Mixing), กระบวนการขึ้นรูปกระเบื้อง (Pressing), กระบวนการบ่มกระเบื้องการ(Curing),กระบวนการตรวจสอบคุณภาพก่อนจำหน่าย (QC)

4. ทำการศึกษาระดับคุณภาพที่เกี่ยวข้องกับการใช้เศษกระเบื้องบด ดังนี้เท่านั้น

   a. ความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย

b. อัตราการดูดซึมน้ำ
c. รูพรุนผิวกระเบื้อง
d. ปูดนูนผิวกระเบื้อง
e. รอยร้าวผิวกระเบื้อง
f. การทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระยะยาว

1.6. **ผลที่คาดว่าจะได้รับ**

สามารถใช้เศษกระเบื้องบดเป็นส่วนผสมวัตถุดิบ ในการผลิตตัวกระเบื้องหลังคาคอนกรีตชนิดเรียบ โดยระดับคุณภาพได้ตามมาตราฐาน มอก. 535-2527 และ เกณฑ์การยอมรับของบริษัท

1.7. **ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ**

1. ได้พารามิเตอร์และวิธีในการผลิตกระเบื้องหลังคาคอนกรีตชนิดเรียบ ที่มีการใช้เศษกระเบื้องบดเป็นส่วนผสมวัตถุดิบตัวกระเบื้อง โดยระดับคุณภาพได้ตามมาตราฐาน มอก.535-2527 และ เกณฑ์การยอมรับของบริษัท รวมทั้งต้นทุนเพิ่มขึ้นน้อยที่สุด

2. สามารถเป็นแนวทางในการใช้เศษกระเบื้องบดกับผลิตภัณฑ์อื่นๆภายในบริษัท รวมทั้งการใช้วัตถุดิบชนิดใหม่อื่นๆต่อไป

ตารางที่ 1.2. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

วงจร (Phase)	วิธีการดำเนินงาน	เครื่องมือที่เลือกใช้	ผลลัพธ์	ระยะเวลา (เดือน)
1.ระยะนิยามปัญหา (Define Phase)	1.1 ศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้อง	➢ Six Sigma ➢ Concrete Technology	ทราบแนวทางการดำเนินงานที่เกี่ยวข้องและเป็นประโยชน์ต่องานวิจัย เช่น ● ซิกซ์ซิกมา ● การประยุกต์ใช้ของเสียจากการผลิต ● คอนกรีตเทคโนโลยี	2
	1.2 เก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อศึกษาลักษณะของเศษกระเบื้องบดที่มีต่อผลิตภัณฑ์	➢ การทดสอบตามวิธีการ ASTM (Australian Standard)	ทราบแนวโน้มคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่เปลี่ยนไป เนื่องมาจากการใช้เศษกระเบื้องบด	
	1.3 กำหนดวัตถุประสงค์ของงานวิจัย		ทราบเป้าหมายที่ชัดเจนของงานวิจัยนี้	
2.การวัดเพื่อกำหนดหาสาเหตุของปัญหา (Measure Phase)	2.1 การศึกษาระบบการวัด (Gauge R&R) ระดับคุณภาพที่ทำการทดสอบ	➢ MSA Guage R&R : Attribute Data (รูพรุนผิวกระเบื้อง,ปูดนูนผิวกระเบื้อง และ รอยร้าวผิวกระเบื้อง)	ทดสอบระบบการวัดว่ามีความแม่นยำเที่ยงตรงก่อนการดำเนินการขั้นตอนถัดไป	2
	2.2 ศึกษาผลที่เกิดขึ้นจริงกับผลิตภัณฑ์	➢ ANOVAs ➢ Process Capability Analysis ➢ Chi-Square Test , Proportion Test	ทราบระดับผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์กระเบื้องเมื่อทำการเติมเศษกระเบื้องบด	

ตารางที่ 1.2. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย (ต่อ)

วงจร (Phase)	วิธีการดำเนินงาน	เครื่องมือที่เลือกใช้	ผลลัพธ์	ระยะเวลา (เดือน)
2.การวัดเพื่อกำหนดหาสาเหตุของปัญหา (Measure Phase)	2.3 พิจารณาความสัมพันธ์ของตัวแปรและปัจจัย	➢ แผนผังความสัมพันธ์ (Relation Diagram)	ทราบปัจจัยนำเข้าทั้งหมดที่อาจมีผลต่อหัวข้อคุณภาพที่ตั้งไว้	2
	2.4 วิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode & Effect Analysis:Process FMEA)	➢ วิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode & Effect Analysis: FMEA)	ประเมินความเสี่ยงในการผลิต และ หาแนวทางการจัดการกับความเสี่ยงที่มีระดับสูง เพื่อสามารถทำการผลิตได้อย่างถูกต้อง	
3.การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze)	3.1 วิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อเลือกปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ	➢ การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2k ➢ ANOVAs ➢ Process Capability Analysis ➢ Chi-Square Test ➢ Proportion Test	ปัจจัยที่มีผลจริงต่อหัวข้อทางคุณภาพตั้งไว้	1.5
4.การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase)	4.1 การทดสอบการผลิตจริงแบบเต็มกำลังการผลิต	➢ Process Capability Analysis ➢ % Reject	ยืนยันผลหลังเพิ่มเติมวิธีการปรับปรุงการใช้งานว่าทำให้คุณภาพผ่านมาตราฐานการยอมรับของบริษัทหรือไม่	1.5
5. การควบคุมตัวแปรต่าง ๆ (Control Phase)	5.1 กำหนดวิธีการควบคุมการผลิต	➢ Control Chart ➢ เอกสารมาตราฐาน เช่น ผังควบคุมคุณภาพผลิตกระเบื้อง,วิธีการปฏิบัติงาน	➢ Control Limit สำหรับการตรวจสอบกระบวนการ ➢ เอกสารมาตราฐานการทำงาน	1.5

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนำนี้จะเริ่มจากแนวคิดและทฤษฎีที่เป็นโครงดำเนินการของงานวิจัยนี้ ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ทฤษฎีคอนกรีตเทคโนโลยี อันมีส่วนประกอบย่อย คือ องค์ประกอบของคอนกรีต , มวลรวม , Pulverized Fuel Ash , น้ำ และ คุณสมบัติของคอนกรีตสด ส่วนทฤษฎีหลักอีกส่วน คือ ซิกซ์ซิกมา ซึ่งมีหัวข้อย่อย คือ ความหมายและประวัติความเป็นมาของซิกซ์ ซิกมา , การปรับปรุงกระบวนการผลิตตามแนวทางซิกซ์ซิกมา , ขั้นตอนการกำหนดแผนงานในการแก้ไขปัญหา (Define Phase),ขั้นตอนการวัดเพื่อระบุสาเหตุของปัญหา (Measure Phase) , ขั้นตอนการวิเคราะห์เพื่อระบุสาเหตุของปัญหา (Analysis Phase) , ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase) และ ขั้นตอนการควบคุมระบวนการผลิต (Control Phase) หลังจากนั้นต่อมา จะกล่าวถึงการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในอดีต

2.1 แนวคิดและทฤษฎี

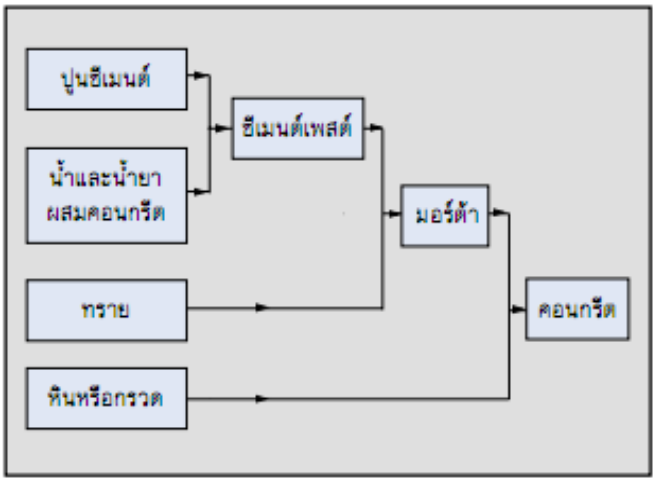
2.1.1 ทฤษฎีคอนกรีตเทคโนโลยี

2.1.1.1 องค์ประกอบของคอนกรีต

คอนกรีตประกอบด้วยปูนซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ และ น้ำยาผสมคอนกรีต โดยเมื่อนำส่วนผมเหล่านี้มาผสมกันจะมีชื่อเรียดเฉพาะดังนี้

- ปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำและน้ำยาผสมคอนกรีต เรียกว่า ซีเมนต์เพลส (Cement Paste)
- ซีเมนต์เพสต์ ผสมกับ ทราย เรียกว่า มอร์ต้า (Mortar)
- มอร์ต้า ผสมกับ หินหรือกรวด เรียกว่าคอนกรีต (Concrete)

ซึ่งสามารถนำมาเขียนเป็นแผนภูมิได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การเรียกชื่อองค์ประกอบต่างๆของคอนกรีต

2.1.1.2 มวลรวม

มวลรวมหรือวัตถุผสม (Aggregate) คือวัสดุเฉื่อยอันได้แก่ หิน ทราย กรวด ที่เป็นส่วนผสมที่สำคัญของคอนกรีต เนื่องจากมวลรวมมีปริมาตร 70 – 80 % ของปริมาณของส่วนผสมทั้งหมด คุณสมบัติของมวลรวม จะช่วยให้คอนกรีตมีความคงทน (Durability) และปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลงมาก (Volume Stability) รวมทั้งมวลรวมยังทำหน้าที่ต้านทานน้ำหนักที่กดลงบนคอนกรีตด้วย กำลังและคุณสมบัติทางกายภาพอีกหลายประการของมวลรวม มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต ทั้งในสภาพที่เป็นคอนกรีตเหลวและคอนกรีตแข็งตัวแล้ว

คุณสมบัติที่ต้องใช้พิจารณาในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

ในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต ผู้ออกแบบต้องทราบถึงคุณสมบัติของมวลรวมดังนี้

1) ขนาดใหญ่ที่สุดของมวลรวมที่ใช้
2) ขนาดคละ
3) ปริมาณความชื้นและการดูดซึม
4) ความถ่วงจำเพาะ
5) หน่วยน้ำหนักและช่องว่าง

5.1) ขนาดใหญ่ที่สุดของมวลรวมที่ใช้ (Maximum Size of Aggregate)

ขนาดใหญ่ที่สุดของมวลรวมที่ใช้ พิจารณาได้จากการทำการหาส่วนคละของมวลรวม แล้วดูผลจากเปอร์เซ็นต์ที่ค้างว่าตะแกรงร่อนใหญ่ (หยาบ) ที่สุดอันใดมีเปอร์เซ็นต์ของมวลรวมที่ค้างมากกว่าหรือเท่ากับ 15 % ให้นับขนาดตะแกรงอันที่ใหญ่กว่านั้นขึ้นไปอีก 1 ชั้น เป็น

ขนาดใหญ่ที่สุดของมวลรวมนั่น ดังแสดงในตัวอย่าง

ขนาดตะแกรง	น้ำหนักค้าง (กรัม)	% ค้าง
1 นิ้ว	12	-
3/4 นิ้ว	1,384	7
1/2 นิ้ว	8,031	41
3/8 นิ้ว	8,676	43
เบอร์ 4	573	3
เบอร์ 8	609	3
ถาดรอง	513	3
รวมน้ำหนัก	19,800	100

พิจารณาจากผลการวิเคราะห์ จะเห็นว่า ตะแกรงร่อนใหญ่ที่สุดที่มีหินค้างบนตะแกรงร่อน (% ค้าง) เกิน 15 % คือตะแกรงร่อน 1/2 นิ้ว ขนาดของตะแกรงร่อนที่ใหญ่กว่านี้ 1 ชั้น คือ ตะแกรงร่อน 3/4 นิ้ว ดังนั้นขนาดใหญ่ที่สุดของหินนี้คือ 3/4 นิ้ว

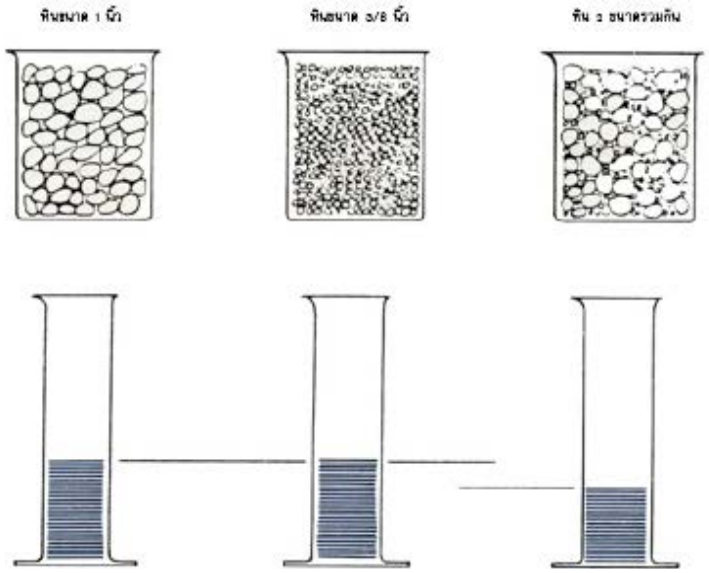
ขนาดใหญ่ที่สุดของมวลรวมที่ใช้มีผลโดยตรงกับปริมาณซีเมนต์เพสต์ที่ต้องการ และขนาดคละของวัตถุผสม กล่าวคือมวลรวมที่มีขนาดใหญ่จะมีพื้นที่ผิวโดยรวมน้อยกว่ามวลรวมที่ขนาดเล็กเมื่อน้ำหนักของมวลรวมเท่ากัน ดังนั้นมวลรวมขนาดใหญ่จึงต้องการปริมาณน้ำและปริมาณซีเมนต์น้อยกว่า เพื่อให้มีความสามารถในการเทได้เท่ากัน หรือถ้าใช้ปริมาณซีเมนต์และค่ายุบตัวเท่ากัน กำลังของคอนกรีตจะเพิ่มมากขึ้น ถ้าใช้มวลรวมขนาดใหญ่ขึ้น เพราะสามารถลดน้ำหรือลดอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์นั่นเอง

5.2) ขนาดคละ (Gradation)

ขนาดคละ คือ การกระจายของขนาดต่าง ๆ ของอนุภาคนับเป็นคุณสมบัติที่สำคัญสำหรับการกำหนดปริมาณของเนื้อซีเมนต์เพสต์ที่ต้องการสำหรับคอนกรีตสด คอนกรีตจะมีราคาประหยัดเมื่อใช้เนื้อซีเมนต์เพสต์น้อยที่สุดในการผลิตคอนกรีต โดยคุณสมบัติต่าง ๆ ของคอนกรีต เช่นความสามารถในการเทได้ การทำให้แน่น การปาดและการแต่งผิวหน้า กำลังอัด และความทนทานยังเป็นไปตามข้อกำหนด

รูปที่ 3.16 แสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำที่ต้องการเพิ่มเติมให้เต็มช่องว่างเมื่อใช้หิน 2 ขนาดคละกัน จะน้อยกว่าเมื่อใช้หินเพียงขนาดเดียว (Single Size) นั้นคือ ปริมาณช่องว่างระหว่างมวลรวมลดลง ถ้าใช้หินและทรายหลายขนาดที่ลดหลั่นมาผสมกันโดยมีสัดส่วนที่

พอเหมาะแล้ว จะทำให้ช่องว่างเหลือน้อยที่สุด ทำให้ปริมาณซีเมนต์เพสต์น้อยที่สุด ซึ่งก็คือคอนกรีตจะมีราคาต่ำลง



รูปที่ 2.2 สภาพมวลรวมที่มีขนาดคละดี

5.3) ปริมาณความชื้นและการดูดซึม (Moisture and Absorption)

มวลรวมมีรูพรุนภายในบางส่วนที่ติดต่อกับผิวนอก ดังนั้นมวลรวมจึงสามารถดูดความชื้น นอกจากนี้น้ำบางส่วนยังสามารถเกาะบริเวณผิวของมวลรวม ดังนั้นมวลรวมที่เก็บอยู่ในสภาพธรรมชาติ จึงมีความชื้นต่าง ๆ กันไป สภาพความชื้นนี้มีผลต่ออัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ในส่วนผสมคอนกรีต คือมวลรวมอยู่ในสภาพแห้งก็จะดูดน้ำผสมเข้าไป ทำให้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์จริงลดลง หากเปียกชื้นก็ทำให้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์จริงสูงกว่าที่ควรจะเป็น

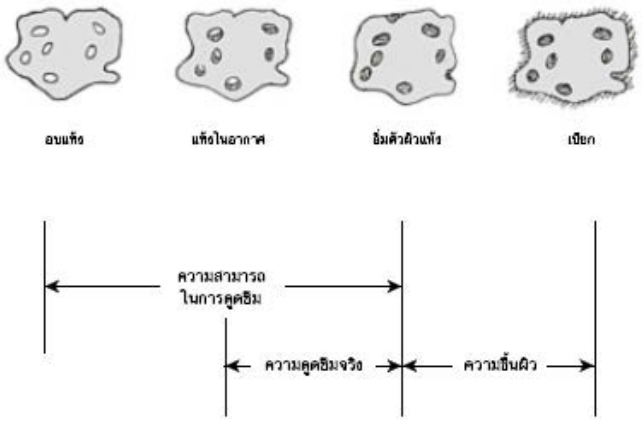
สภาพความชื้น

อาจแบ่งสภาพความชื้นออกได้เป็น 4 ลักษณะดังนี้

- อบแห้ง (Oven-Dry, OD) ความชื้นถูกขับออกด้วยความร้อนในเตาอบที่อุณหภูมิ 105 องศา จนมีน้ำหนักคงที่ (ประมาณ 12 ชั่วโมง)
- แห้งในอากาศ (Air-Dry, AD) ผิวแห้งแต่อาจมีน้ำในรูพรุน
- อิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated-Surface-Dry, SSD) รูพรุนเต็มไปด้วยน้ำ แต่ผิวแห้ง
- เปียก (Wet, W) รูพรุนเต็มไปด้วยน้ำ และมีน้ำบนผิวด้วย

ในการคำนวณออกแบบส่วนผสมทุกครั้ง จะถือว่ามวลรวมอยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง แล้วจึงปรับปริมาณน้ำตามลักษณะอิ่มตัวผิวแห้งนั้นจะเรียกว่า “ความจุในการดูดซึม”

ผลต่างของความชื้นในลักษณะอิ่มตัวผิวแห้ง กับความชื้นในลักษณะแห้งด้วยอากาศเรียกว่า “การดูดซึม”



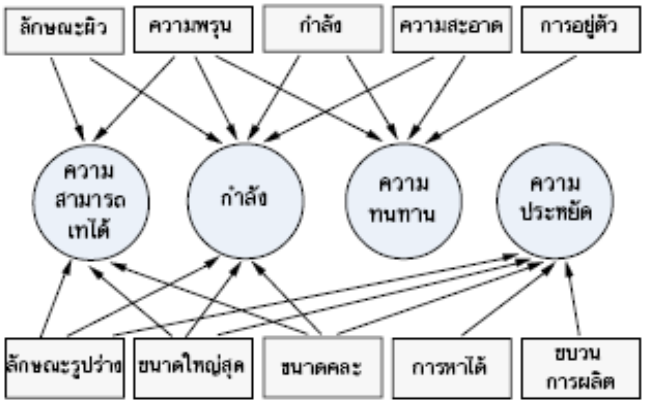
รูปที่ 2.3 สภาพความชื้นของมวลรวม

5.4) ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม คือ อัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นของมวลรวมต่อความหนาแน่นของน้ำ ความถ่วงจำเพาะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของแร่ธาตุที่เป็นส่วนผสมและรูพรุนของก้อนวัสดุ มวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในประเทศไทยจะมีค่าความถ่วงจำเพาะประมาณ 2.7 และ 2.65 ตามลำดับ ในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตจะใช้ค่าความถ่วงจำเพาะในการแปลงปริมาตรเป็นน้ำหนักหรือกลับกัน

5.5) หน่วยน้ำหนักและช่องว่าง (Unit Weight and Void)

หน่วยน้ำนัก คือ น้ำหนักของมวลรวมในขนาดคละที่ต้องการต่อหน่วยปริมาตร หน่วยน้ำหนักจะบอกถึงปริมาตรและช่องว่างระหว่างมวลรวม ที่มวลรวมน้ำหนักหนึ่ง ๆ จะบรรจุลงได้ ดังนั้น หน่วยน้ำหนักย่อมขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของการบดอัดและสภาพความชื้น เราใช้หน่วยน้ำหนักในการคำนวณหาปริมาตรเมื่อใช้วิธีตวงในการวัดส่วนผสมของคอนกรีต



รูปที่ 2.4 อิทธิพลของคุณสมบัติของมวลรวมต่อคุณสมบัติของคอนกรีต

2.1.1.3) Pulverized Fuel Ash (PFA)

PFA เป็นของแข็งเม็ดกลมที่มีความละเอียด ซึ่งลอยขึ้นมาพร้อมกับอากาศร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ถ่านหินที่บดละเอียด (Pulverized Coal) ในโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า และจะถูกจับด้วยเครื่องดักจับ (Precipitator) หลังจากนั้นจะถูกส่งต่อไปยังถังเก็บ ถ่านหินที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงประกอบด้วย สารประกอบคาร์บอนและแร่ธาตุอื่นๆ เช่น ดินดาน,ดินเหนียว,ซัลไฟด์ และคาร์บอเนต ซึ่งถูกเผาที่อุณหภูมิสูงในเตาเผาคุณสมบัติของสารประกอบต่างๆในถ่านหินจะเปลี่ยนแปลงไป ทั้งด้านกายภาพและด้านเคมี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในเตาเผา รวมทั้งวิธีการทำให้เย็น PFA ที่ได้จากการเผานี้ ส่วนใหญ่เป็นออกไซด์ของซิลิก้า และอลูมินา

คุณประโยชน์และการใช้งาน

1. ปรับปรุงความสมารถในการเทได้ของคอนกรีต ทำให้คอนกรีตลื่นไหลเข้าแบบได้ดี เนื่องจากคุณสมบัติทางกายภาพของ PFA ซึ่งมีรูปร่างกลม

รูปที่ 2.5 รูปร่างอนุภาคของ PFA

2. ลดการเยิ้ม (Bleeding) และแนวโน้มการแยกตัวของคอนกรีตสด

3. อัตราการเกิดปฏิกริยาไฮเดรชั่นช้า ดังนั้นความร้อนจากปฏิกริยาไฮเดรชั่นจะลดลงมีโอกาสการแตกร้าวของคอนกรีต โดยเฉพาะโครงสร้างขนาดใหญ่

4. เพิ่มกำลังอัดของคอนกรีตที่อายุมากกว่า 28 วัน

5. เพิ่มความทนทานของคอนกรีต ด้วยเหตุผล 2 ประการคือ

5.1) ปริมาณน้ำที่ใช้ลดลงเมื่อต้องการความสามารถการเทได้เท่ากัน

5.2) ปฏิกริยาระหว่าง PFA กับ $Ca(OH)_2$ ทำให้ช่องว่างในเนื้อคอนกรีตลดลง

การใช้งาน PFA ทำได้ 2 ลักษณะ

1. ผสม PFA กับซีเมนต์ในปริมาณที่ต้องการจากโรงงานผสม

2. ใช้ PFA เสมือนเป็นส่วนผสมอีกส่วนหนึ่งของคอนกรีต โดยผสม ณ โรงงานผสมเสร็จ ปริมาณที่ใช้อยู่ในช่วง 15 – 50 % โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์

ข้อควรคำนึงในการใช้ PFA

1. PFA โดยทั่วๆไป จะลดกำลังอัดของคอนกรีตในช่วงแรก

2. การบ่มมีผลอย่างมากต่อคอนกรีตทีผสม PFA กล่าว คือ การพัฒนากำลังอัดของ PFA คอนกรีตจะเกิดเมื่อคอนกรีตนั้นได้รับการบ่มชื้นเท่านั้น

2.1.1.4) น้ำ

ความสำคัญของน้ำ

น้ำเป็นส่วนประกอบสำคัญในการผลิตคอนกรีต โดยทำหน้าที่ 3 ประการคือ

1) ใช้ผสมกับปูนซีเมนต์เพื่อให้เกิดปฏิกริยาไฮเดรชั่นรวมทั้งทำให้คอนกรีตมีความสามารถในการเทได้

2) ใช้บ่มคอนกรีตให้กำลังเพิ่มขึ้น

3) ใช้ล้างมวลรวมที่สกปรก

เราต้องการน้ำที่มีคุณภาพดี และปริมาณที่เหมาะสมในการผลิตคอนกรีต กฎเกณฑ์ทั่วไปของน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต คือ น้ำที่ดื่มได้นับเป็นน้ำที่ใช้ได้เสมอ ส่วนปริมาณของน้ำผสม นอกจากจะมีผลต่อความสามารถในการใช้งานของคอนกรีตแล้วยังมีผลต่อความทนทานของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วด้วย

ปัญหาที่มักพบอยู่เสมอเกี่ยวกับปริมาณน้ำในงานคอนกรีค คือ

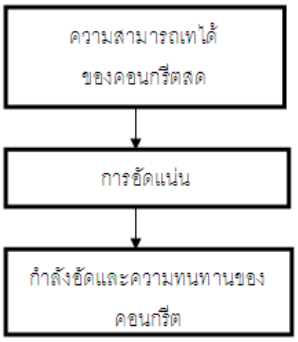
1) ในขณะเป็นคอนกรีตสด คอนกรีตต้องการน้ำจำนวนเพียงให้ลื่นไหลเข้าแบบได้ แต่ผู้ทำงานมักจะใส่น้ำปริมาณมากเพื่อให้คอนกรีตเหลวมาก สะดวกในการเทแต่กำลังจะลดต่ำลง

2) ในขณะคอนกรีตแข็งตัวแล้ว คอนกรีตต้องการน้ำเป็นจำนวนมาก เพื่อบ่มให้กำลังอัดได้พัฒนาขึ้นตามเวลาแต่ผู้ทำงานก็มักจะละเลยการบ่มคอนกรีต

โดยสรุปคือ คอนกรีตที่ใช้งานทั่วไปจะได้กำลังต่ำกว่าที่ควรจะเป็น เพราะใช้น้ำที่ไม่เหมาะสมนั้นเอง

2.1.1.5) **คุณสมบัติของคอนกรีตสด**

เมื่อได้พิจารณาวัสดุองค์ประกอบของคอนกรีตแล้ว ในบทนี้จะมากล่าวถึงคุณสมบัติของคอนกรีตสด ซึ่งมีความสำคัญมาก เนื่องจากคุณสมบัติของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว เช่น กำลังอัด การคงตัว ความทนทาน การต้านทานและการซึมผ่านของน้ำ ล้วนแต่เป็นผลมาจากการอัดแน่นและการทำให้คอนกรีตอัดแน่นรวมถึงการขนส่ง การเทลงบนแบบ และการแต่งผิวหน้า โดยไม่มีการแยกตัว ล้วนแต่เป็นผลมาจาก ความสามารถเทได้ของคอนกรีตสดทั้งสิ้น



รูปที่ 2.6 คุณสมบัติของคอนกรีตสด ส่งผลโดยตรงต่อกำลังและความทนทาน

- ความสามารถเทได้

คำจำกัดความของความสามารถเทได้ก็คือผลรวมของพลังงานหรือกำลังงานที่จะเอาชนะแรงเสียดทานในระหว่างอนุภาคที่จะก่อให้เกิดการอัดแน่นของคอนกรีตอย่างสมบูรณ์

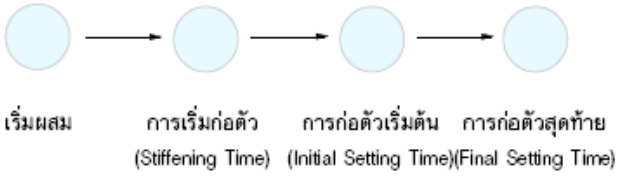
เพราะว่ากำลังอัดของคอนกรีตจะผันแปรหรือถูกกระทบโดยตรงโดยช่องว่างที่ปรากฏอยู่ภายในเนื้อคอนกรีตที่อัดแน่น ดังนั้นควรทำให้คอนกรีตมีความหนาแน่นที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ นั่นคือจำเป็นต้องทำให้คอนกรีตสดมีความสามารถเทได้เพียงพอเพื่อให้คอนกรีตมีความสามารถอัดแน่นได้ดี โดยใช้พลังงานที่เหมาะสมภายใต้สภาพที่กำหนด

องค์ประกอบที่มีผลต่อความสามารถเทได้ ความสามารถเทได้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่าง ๆ ที่มาเกี่ยวข้องดังนี้

องค์ประกอบ	ผลกระทบ
1) จำนวนน้ำในส่วนผสม	- เพิ่มน้ำจะทำให้เกิดการหล่อลื่นในระหว่างอนุภาพ มากขึ้น - น้ำที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดช่องว่างเมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้วมากขึ้น ดังนั้นควรหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม - ปริมาณน้ำที่พอเหมาะกับช่องว่างระหว่างมวลรวมจึงมีผลต่อการหล่อลื่น
2) คุณสมบัติของหิน – ทราย	- หินทรายที่มีส่วนคละดีจะทำให้คอนกรีตมีความสามารถเทได้ดี - หินที่กลมผิวเกลี้ยงจะให้การลื่นไหลดีกว่าหินที่ แบนและผิวขรุขระ - ความพรุนของมวลรวมจะทำให้การดูดซึมน้ำสูง และลดความสามารถเทได้ลง - ถ้าต้องการให้ความสามารถเทได้เท่ากันมวลรวมที่ละเอียดต้องใช้น้ำในส่วนผสมมากกว่ามวลรวมที่หยาบ
3) ส่วนผสมของคอนกรีต	- ภายใต้ส่วนผสมที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์คงที่ค่าความสามารถเทได้จะเพิ่มขึ้นถ้าอัตราส่วนของมวลรวมต่อซีเมนต์ (A/C) ลดลง - ส่วนผสมที่อัตราส่วนทรายต่อมวลรวมทั้งหมด (S/A) ต่ำสามารถก่อให้เกิดการแยกตัวได้รวมทั้งความสามารถในการเทได้จะต่ำลงด้วย - ถ้าใช้ทรายในส่วนผสมมากอาจทำงานง่ายขึ้น แต่จะสิ้นเปลืองปริมาณซีเมนต์มากขึ้น ถ้าจะคงกำลังอัดเท่าเดิม
4) ชนิดของปูนซีเมนต์	- ปูนซีเมนต์ที่มีความละเอียดมากจะต้องการน้ำมาก
5) สารผสมเพิ่ม	- สารผสมเพิ่มที่เป็นผงละเอียด จะช่วยเพิ่มความลื่นไหลแทนส่วนของซีเมนต์ - สารเพิ่มฟองอากาศ (Air Entraining Agent) จะทำให้การลื่นไหลดีขึ้นแต่กำลังอัดอาจลดลง - น้ำยาประเภทลดน้ำและยืดระยะเวลาการก่อตัวจะช่วยเพิ่มการลื่นไหล

- เวลาการก่อตัว (Setting Time)

เวลาการก่อตัวมีความสำคัญมากต่อการทำงานคอนกรีตโดยเฉพาะในส่วนที่เกี่ยวข้องกับเวลาการเทคอนกรีต การก่อตัวจะมี 3 ขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 7.7



รูปที่ 2.7 ขั้นตอนการก่อตัวของคอนกรีต

1) การเริ่มก่อตัว (Stiffening Time) คือเวลาที่คอนกรีตเหลวรับแรงเสียดทานจากเครื่องทดสอบได้ 5 กก./ตร.ซม. หรือ 70 ปอนด์/ตารางนิ้ว ณ เวลานี้คอนกรีตเริ่มแข็งกระด้าง

2) การก่อตัวเริ่มขึ้น (Initial Setting Time) คือเวลาที่คอนกรีตเหลวรับแรงเสียดทานได้ 35 กก./ ตร.ซม. หรือ 500 ปอนด์/ตารางนิ้ว ณ เวลานี้คอนกรีตจะแข็งตัวแล้ว ถ้าเทคอนกรีตสดทับลงไปอีกจะก่อให้เกิด Cold Joint

3) การก่อตัวสุดท้าย (Final Setting Time) คือเวลาที่คอนกรีตแข็งตัวสมบูรณ์ โดยสามารถรับแรงเสียดทานได้ 276 กก./ตร.ซม. หรือ 4,000 ปอนด์/ตารางนิ้ว การทำงานเทคอนกรีตจะต้องให้เสร็จสิ้นก่อนเวลาการเริ่มก่อตัว ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาด้านน้ำยาผสมคอนกรีตประเภทยืดเวลาการก่อตัว ซึ่งยืดเวลาการก่อตัวได้ ตั้งแต่ 2 – 8 ชั่วโมง

- ปัจจัยที่มีผลต่อการก่อตัว

การก่อตัวของคอนกรีตขึ้นอยู่กับปัจจัยหลาย ๆ ประการ ที่สำคัญคือ

1) ชนิดของปูนซีเมนต์ซึ่งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ คือ C3A, C3S และยิบซั่มในส่วนผสม

2) อุณหภูมิของอากาศ

3) ความชื้นสัมพัทธ์

4) ความหนาบางของโครงสร้างคอนกรีต

- คุณสมบัติของคอนกรีตสดที่ดี

คอนกรีตสด คือ คอนกรีตที่ยังมีความเหลวเหมาะที่จะนำไปใช้งานจะต้องมีคุณสมบัติที่สำคัญที่ถือว่าเป็นคอนกรีตที่ดี ดังนี้

1) ผสมได้เพียงพอจนมีเนื้อสม่ำเสมอเหมือนกันทั้งโม่

2) มีความสามารถเทได้

3) ไม่เกิดการแยกตัว ระหว่างการลำเลียงหรือขณะเทคอนกรีต

4) ไม่เกิดการเยิ้มมากเกินไปจนทำให้การแต่งผิวหน้าไม่สะดวก และมีผลกระทบต่อคุณภาพของคอนกรีตเมื่อแข็งตัวแล้ว

5) มีเวลาในการก่อตัวนานพอที่สามารถทำงานได้

6) มีอุณหภูมิพอเหมาะไม่สูงเกินไป จนมีผลกระทบต่อความสามารถเทได้ และเวลาในการก่อตัว

7) ควรมีฟองอากาศพอเหมาะซึ่งมีผลต่อความสามารถเทได้

8) สำหรับคอนกรีตที่ใช้เทด้วยปั๊มควรมีคุณสมบัติที่สำคัญคือต้องไม่แยกตัวเมื่อถูกแรงอัดจากปั๊ม และไหลในท่อได้สะดวก

9) สำหรับคอนกรีตที่ใช้เทฐานรากขนาดใหญ่ การมีคุณสมบัติที่สำคัญคือ มีค่ายุบตัวสูง Slump Loss ช้า และใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ต่ำ เพื่อหลีกเลี่ยงความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น

2.1.1.6) **ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังอัด**

- คุณสมบัติของวัสดุผสม

1) ปูนซีเมนต์ เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลที่สำคัญมากทั้งนี้ เพราะว่าปูนซีเมนต์แต่ละประเภท จะก่อให้เกิดกำลังของคอนกรีตที่แตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ นอกจากนี้แม้ว่าปูนซีเมนต์ประเภทเดียวกันแต่มีความละเอียดแตกต่างกันแล้ว อัตราการเพิ่มของกำลังของคอนกรีตก็จะแตกต่างไปด้วยคือ ถ้าปูนซีเมนต์มีความละเอียดมากก็จะให้กำลังสูง โดยเฉพาะหลังจากที่แข็งตัวไปแล้วได้ไม่นาน

2) มวลรวมมีผลต่อกำลังของคอนกรีตเพียงเล็กน้อย เพราะมวลรวมที่ใช้กันทั่วไปมักมีความแข็งแรงมากกว่าซีเมนต์เพสต์ อย่างไรก็ดีมวลรวมหยาบที่เป็นหินย่อยซึ่งมีรูปร่างเป็นเหลี่ยมมุมหรือผิวหยาบ จะทำให้กำลังอัดของคอนกรีตดีกว่าพวกกรวดที่มีผิวเกลี้ยง ขนาดใหญ่สุดของมวลรวมก็จะมีผลต่อกำลังของคอนกรีต เช่นกัน เพราะคอนกรีตที่ใช้มวลรวมที่มีขนาดใหญ่จะต้องการปริมาณน้ำที่น้อยกว่ามวลรวมขนาดเล็ก สำหรับคอนกรีตที่มีความสามารถในการเทได้เท่ากัน ดังนั้นคอนกรีตที่ใช้มวลรวมขนาดใหญ่ จึงมักให้กำลังที่ดีกว่า ส่วนขนาดคละของมวลรวมจะมีผลต่อกำลังของคอนกรีตในแง่ที่ว่า คอนกรีตที่ใช้มวลรวมที่มีขนาดคละไม่เหมาะสม คือมีส่วนละเอียดมากเกินไปนั้น จะต้องการปริมาณน้ำมากกว่ามวลรวมที่มีขนาดคละที่ดี เพื่อให้คอนกรีตมีความสามารถในการเทได้เท่ากัน อีกทั้งก่อให้เกิดฟองอากาศแทรกตัวในเนื้อของคอนกรีตเป็น

จำนวนมากกว่า ส่งผลให้กำลังอัดของคอนกรีตมีค่าต่ำลงได้ นอกจากนี้ความสะอาดของมวลรวมก็จะมีผลต่อคอนกรีตด้วย เช่นกัน

3) น้ำที่มีผลต่อกำลังของคอนกรีตตามความใส และปริมาณสารเคมีหรือเกลือแร่ที่ผสมอยู่ น้ำที่มีเกลือคลอไรด์ผสมอยู่ จะทำให้อัตราการเพิ่มกำลังของคอนกรีตในระยะต้นสูง น้ำขุ่นหรือน้ำทีมีสารแขวนลอยปนอยู่ จะทำให้กำลังอัดของคอนกรีตต่ำลงซึ่งอาจจะมากหรือน้อยขึ้นกับปริมาณและชนิดของสารแขวนลอยนั้นๆ

- การทำคอนกรีต

1) การชั่งตวงส่วนผสม

- การชั่งตวงส่วนผสม หากใช้การชั่งตวงโดยปริมาตรจะมีโอกาศผิดพลาดมากกว่าการชั่งส่วนผสมโดยน้ำหนัก ซึ่งหากอัตราส่วนผสมสของคอนกรีตผิดไปจะทำให้คุณสมบัติขิงคอนกรีตเปลี่ยนแปลงได้

- อัตราส่วนผสม จะมีอิทธิพลต่อกำลังของคอนดรีตโดยตรง โดยเฉพาะอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์

2) การผสมคอนกรีตการผสมคอนกรีตจะต้องผสมวัสดุทำคอนกรีตให้รวมเป็นเนื้อเดียวกันมากที่สุด เพื่อให้น้ำมีโอกาสทำปฏิกริยากับปูนซีเมนต์อย่างทั่วถึง และเพื่อให้ซีเมนต์เพสต์กระจายแทรกตัวอย่ในช่องว่างระหว่างมวลรวมได้เต็มที่ ดังนั้น การผสมคอนกรีตหากกระทำอย่างไม่ทั่วถึง จะมีผลทำให้กำลังของคอนกรีตไม่คงที่ได้

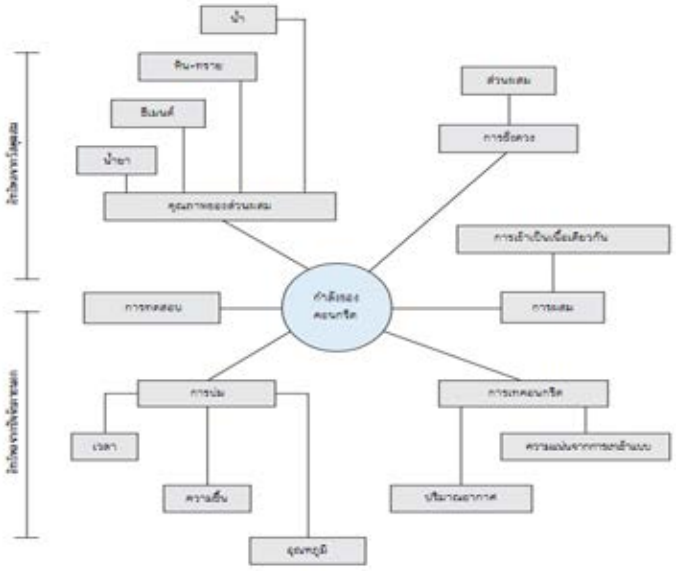
3) การเทคอนกรีตเข้าแบบหล่อและการอัดแน่น จะมีอิทธิพลต่อกำลังของคอนกรีตเพราะ หากคอนกรีตเกิดการแยกตัวในขณะลำเลียง หรือเท จะมีผลทำให้กำลังของคอนกรีตมีค่าไม่สม่ำเสมอ นอกจากนี้การทำให้คอนกรีตแน่นตัวหากทำได้ไม่เต็มที่ก็จะทำให้เกิดรูโพรงขึ้นในเนื้อคอนกรีต มีผลทำให้กำลังของคอนกรีตมีค่าลดลงได้ หรือหากใช้วิธีทำให้คอนกรีตแน่นตัวที่ไม่เหมาะสม ก็สามารถทำให้เกิดการแยกตัวขึ้นในเนื้อคอนกรีตได้ส่งผลให้กำลังของคอนกรีตมีค่าไม่สม่ำเสมอ

- การบ่มคอนกรีต

1) ความชื้น จะมีอิทธิพลต่อกำลังของคอนกรีต เพราะปฏิกริยาเคมีที่เกิดจากการรวมตัวระหว่างปูนซีเมนต์และน้ำนั้นจะค่อยเป็นค่อยไป นับตั้งแต่ปูนซีเมนต์ผสมตัวกับน้ำเป็นซีเมนต์เพสต์ และซีเมนต์เพสต์จะมีกำลังมากขึ้นเรื่อยๆ ถ้ามีความชื้นอยู่ตลอดเวลา ถ้าซีเมนต์เพสต์ในคอนกรีตไม่มีความชื้นอยู่ คอนกรีตก็จะไม่มีการเพิ่มกำลังอีกต่อไป ในทางปฏิบัติเรามักจะทำการบ่มที่ 28 วัน ดังนั้นเมื่อคอนกรีตเริ่มแข็งตัวจึงควรทำการบ่มด้วยความชื้นทันที

2) อุณหภูมิ ถ้าหากอุณหภูมิสูงในขณะบ่มก็จะทำให้อัตราการเพิ่มกำลังของคอนกรีตถูกเร่งให้เร็วขึ้น ทำให้กำลังอัดของคอนกรีตมีกำลังสูงกว่าคอนกรีตที่ได้รับการบ่มในอุณหภูมิที่ต่ำกว่า

3) เวลาที่ใช้ในการบ่ม ถ้าหากสามารถทำการบ่มคอนกรีตให้ชื้นอยู่ตลอดเวลาได้ยิ่งนานเท่าใดก็จะยิ่งได้กำลังของคอนกรีตเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 2.8 สรุปปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกำลังอัดของคอนกรีต

2.1.2 ทฤษฎีเกี่ยวข้องกับซิกซ์ซิกมา

ทฤษฎีที่นำมาประยุกต์ใช้ในการดำเนินการวิจัย จะเกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้ความรู้ทางด้าน สถิติในเรื่องต่าง ๆ เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้น และดำเนินการแก้ไขปรับปรุงกระบวนการผลิตตามแนวทางของกระบวนการซิกซ์ ซิกมา (Six Sigma) ซึ่งรายละเอียดมีดังนี้

2.1.2.1) ความหมายและประวัติความเป็นมาของซิกซ์ ซิกมา

ซิกซ์ ซิกมา คือระบบที่จะทำให้องค์กรสามารถที่จะนำความรู้และประยุกต์ใช้เครื่องมือทางสถิติ ต่างๆ ได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์สำเร็จมีคุณภาพตามที่ลูกค้า ต้องการ ซิกซ์ซิกมาได้ถูกเริ่มใช้ครั้งแรกในปี ค.ศ. 1980 โดยบริษัทโมโตโรล่าผู้บุกเบิกแนวความคิดทาง ซิกซ์ ซิกมา คือ Robert W. Galvin เพื่อที่จะใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของ

กระบวนการผลิตโทรศัพท์ เคลื่อนที่และเพจเจอร์ ซึ่งหลังจากประสบผลสำเร็จเขาจึงได้รับการแต่งตั้งให้เป็น CEO (Chief Executive Officer) ของบริษัทโมโตโรล่าในเวลาต่อมาและในปี ค.ศ. 1986 วิธีการทางซิกซ์ ซิกมาก็ได้ถูกพัฒนาโดย Dr. Mikel J. Harry ซึ่งเป็นพนักงานของบริษัทโมโตโรล่าเช่นเดียวกัน จนในปีค.ศ. 1988 หลังจากที่บริษัทโมโตโรล่าได้ใช้ปรัชญาทางซิกซ์ ซิกม่า เพื่อการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในองค์กร ทำให้บริษัทโมโตโรล่าได้รับรางวัลชนะเลิศทางด้านคุณภาพ Malcolm Baldrige National Quality Award

กลยุทธ์ในการปรับปรุงคุณภาพของโมโรล่าได้กลายเป็นจุดสนใจขององค์กรต่าง ๆ ทั่วโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมเกี่ยวกับยานยนต์ ซึ่งวิธีการทางซิกซ์ ซิกมานั้นได้จุดประกายความสนใจขององค์กรต่าง ๆ ที่จะใช้วิธีการนี้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อที่จะสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ตรงตามเป้าหมาย หนึ่งในนั้นคือบริษัทไอบีเอ็ม ซึ่งเป็นบริษัทแรกที่นำวิธีการนี้มาใช้ในองค์กรโดยประยุกต์ใช้กับหน่วยงาน Application Business Systems Devision ซึ่งหลังจากประสบความสำเร็จในการประยุกต์ใช้วิธีการทางซิกซ์ ซิกมาเพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ทำให้บริษัทไอบีเอ็มได้รับรางวัลชนะเลิศทางคุณภาพ Malcolm Baldrige National Quality Award ในปี 1990

2.1.2.2) การปรับปรุงกระบวนการผลิตตามแนวทางซิกซ์ ซิกมา

ในการที่จะบรรลุวัตถุประสงค์เพื่อที่จะทำให้เกิดความสำเร็จตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ตามวิธีการทางซิกซ์ ซิกมา จะต้องมีการปรับปรุงกระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่องในทุกๆ จุดของการปฏิบัติงาน ซึ่งจะต้องอาศัยกลยุทธ์ในการประยุกต์ใช้วิธีการต่าง ๆ ในวิชาสถิติ ซึ่งในวิธีการทางซิกซ์ ซิกมานี้ จะประยุกต์ใช้ 25 กลยุทธ์ ทั้ง 5 ขั้นตอนที่สำคัญในการปรับปรุงกระบวนการผลิต คือ Define Phase, Measurement Phase, Analysis Phase, Improvement Phase และ Control Phase โดยรายละเอียดและเครื่องมือทางสถิติที่นำ มาประยุกต์ใช้ในแต่ละกิจกรรมทั้ง 5 ขั้นตอนมีดังนี้

2.1.2.3) ขั้นตอนการกำหนดแผนงานในการแก้ไขปัญหา (Define Phase)

- **การกำหนดปัญหา** (Problem Statement)

ระบุปัญหาที่ต้องการทำการศึกษาและแก้ไข ซึ่งปัญหานั้น ๆ จะต้อสัมพันธ์ ในส่วนที่มีผลกระทบต่อ ลูกค้า หรือ ทางด้านคุณภาพ (CTQ's: Critical to Quality)

- **แผนภาพกระบวนการผลิต** (Process Map)

ส่วนนี้เป็นส่วนที่สำคัญอย่างยิ่งในการที่จะหาสาเหตุของปัญหา ซึ่งการสร้างแผนภาพของกระบวนการผลิต จะต้องทำอย่างละเอียดทุกขั้นตอนในการประกอบผลิตภัณฑ์ เพื่อที่จะสามารถระบุตัวแปรสำคัญใน กระบวนการผลิต (Process Input) และผลลัพธ์ในกระบวนการผลิต (Process output) ขั้นตอนนี้จึงเปรียบ เสมือนเป็นการตรวจวิเคราะห์ของกระบวนการผลิตซึ่งอาจจะทำให้เราทราบถึง สิ่งผิดปกติ หรือทราบ สาเหตุที่แท้จริงของความบกพร่องในการผลิต ที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งขั้นตอนนี้อาจเป็นขั้นตอนที่จะนำไปสู่การวิเคราะห์ปัญหาโดยการทดลองโดยการตั้งสมมติฐาน หรือ โดยการใช้ข้อมูลทางด้าน สถิติที่มีการเก็บรวบรวมอย่างถูกวิธีการสร้างแผน

การไหลของผลิตภัณฑ์ต้องใช้การระดมสมอง และทีมงานที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ เพื่อที่จะได้รายละเอียดที่สำคัญและครบถ้วนของกระบวนการผลิต ซึ่งแผนภาพการไหลนั้นจะต้องสามารถบอกถึงสาเหตุแห่งความบกพร่องของผลิตภัณฑ์ (Cause of Poor Quality: COPQ)

การสร้างแผนการไหลของผลิตภัณฑ์จำเป็นอย่างยิ่ง ในการระบุที่มีมาของข้อบกพร่องและสิ่งที่ซ่อนในกระบวนการผลิต (Hidden factory) ซึ่งสิ่งเหล่านี้ส่งผลให้สูญเสียเวลา เงิน ทรัพยากรและพื้นที่ใน การจัดเก็บ

2.1.2.4) **ขั้นตอนการวัดเพื่อระบุสาเหตุของปัญหา** (Measure Phase)

- **การวิเคราะห์ระบบการวัดของข้อมูลนับ** (MSA for Attribute)

(กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2546ก.)

การประเมินผลและวิเคราะห์ระบบการตรวจสอบเมื่อเป็นข้อมูลนับซึ่งเป็นการประเมินผลเมื่อคุณลักษณะที่ศึกษาเป็นคุณลักษณะเชิงคุณภาพ (Attribute Characteristics) เช่น รสชาติ ความสวยงาม ความเรียบร้อย หรือบางครั้งพารามิเตอร์อาจเป็นลักษณะเชิงผันแปร (Variable Characteristics) แต่ทำการนับเมื่อทำการเปรียบเทียบกับข้อกำหนดเฉพาะ หรือ GO/No Go Gauge

การศึกษาความสามารถของกระบวนการวัดแบบอาศัยข้อมูลนับ จะเป็นการประเมินโดย

การเปรียบเทียบชิ้นงานที่ทำการตรวจสอบกับพิกัดของข้อจำกัดเฉพาะ ทำให้สามารถประเมินผลของข้อมูลออกมาเป็น ยอมรับหรือปฏิเสธ และผ่านหรือไม่ผ่าน จึงไม่สามารถประเมินผลได้ว่าคุณภาพของงานที่ตรวจสอบได้นั้นดีหรือไม่ดีอย่างไร

การศึกษาความสามารถของกระบวนการวัดสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี คือ วิธีการประเมินผลในระยะสั้น (Short Method) และวิธีประเมินผลในระยะยาว (Long Method) การประเมินผลระยะยาวนั้นจะอาศัยกราฟสมรรถนะของระบบการวัด (Gauge Performance Curve; GPC) ที่แสดงถึงโอกาสในการตรวจสองแล้วยอมรับคุณภาพของสิ่งตัวอย่าง ที่แต่ละค่าของสิ่งตัวอย่างมีการกำหนดในรูปค่าอ้างอิงเพื่อพิจารณาค่าไบอัสและค่ารีพีททะบิลิตี โดยทำงานตัดสินใจว่าค่าไบอัสมีความแตกต่างจากค่าศูนย์อย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ โดยอาศัยตัวสถิติทดสอบ t โดยที่

$$t = \frac{31.3 \times |\text{ค่าไบอัส}|}{\text{ค่ารีพีททะบิลิตี}} \qquad (2\text{-}1)$$

ค่ารีพีททะบิลิตีพิจารณาได้จากค่าความแตกต่างของค่าอ้างอิงที่สอดคล้องกับความน่าจะเป็นในการตรวจสอบแล้วยอมรับ (Pa) 0.995 กับค่าวัดค่าอ้างอิงที่สอดคล้องกับความน่าจะเป็นในการตรวจสอบแล้วยอมรับ (Pa) 0.005 หารด้วยตัวประกอบเพื่อการปรับค่า (Adjustment Factor) (AIAG,2002)

การประเมินผลระบบการวัดในระยะสั้นนั้นมีวิธีในการประเมินผลดังนี้

1. เลือกผู้ชำนาญการซึ่งเป็นบุคคลที่มีความสามารถเป็นพิเศษในการแยกแยะคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ดีหรือเสีย และลูกค้าให้ยอมรับในผลการตรวจสองดังกล่าว

2. กำหนดล็อตมาตรฐาน (Standard Lot) สำหรับใช้ในการตรวจสอบ เพื่อประเมินความสามารถของระบบการวัด โดยล็อตดังกล่าวควรประกอบด้วยสิ่งตัวอย่างที่มีคุณภาพไม่ดีและสิ่งตัวอย่างคุณภาพก้ำกึ่งอย่างละ 1 ใน 3 ของสิ่งตัวอย่างทั้งหมด โดยงานก้ำกึ่งควรประกอบด้วยงานดีแบบก้ำกึ่ง และงานไม่ดีแบบก้ำกึ่งอย่างละครึ่ง (Fasser and Brettner, 1992)

3. เลือกพนักงานวัดหรือพนักงานตรวจสอบ 2-4 คน โดยพนักงานที่เลือกมาต้องเป็นพนักงานที่มีหน้าที่ประจำในการตรวจสอบคุณภาพและได้ผ่านการฝึกอบรมมาอย่างดีและผ่านการทดสอบประเมินผลแล้ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งการตรวจสอบที่อาศัยความรู้สึก

4. กำหนดจำนวนชิ้นตัวอย่าง และจำนวนครั้งในการทดสอบซ้ำโดยจำนวนดังกล่าวจะ

ขึ้นอยู่กับจำนวนของพนักงานทดสอบดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ขนาดสิ่งตัวอย่างในการประเมินผลระบบการตรวจสอบข้อมูลนับ

จำนวนพนักงานตรวจสอบ	จำนวนชิ้นงานตัวอย่างที่ต่ำสุด	จำนวนทดสอบซ้ำที่ต่ำสุด
1	24	5
2	18	4
≥ 3	12	3

5. สุ่มพนักงานตรวจสอบขึ้นมาคนหนึ่งแล้วตรวจสอบตัวอย่างงานแบบสุ่มเพื่อประเมินคุณภาพของสิ่งตัวอย่างว่าผ่าน (Good-G) หรือ ไม่ผ่าน (No Good-NG) และทำเช่นนี้จนครบจำนวนพนักงานที่จะทำการทดสอบ

6. ประเมินผลด้วยดัชนีต่างๆ ดังนี้

$$\%\ \text{รีพีททะบิลิตีของพนักงานตรวจสอบ} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ผลการตรวจสอบเหมือนกัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}} \qquad (2\text{-}2)$$

$$\%\ \text{ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบ} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ผลการตรวจสอบเหมือนกัน และ ถูกต้อง}}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}} \qquad (2\text{-}3)$$

$$\%\ \text{ประสิทธิผลด้านรีพีททะบิลิตี้ของการตรวจสอบ} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ผลการตรวจสอบทุกคนเหมือนกัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}} \qquad (2\text{-}4)$$

$$\%\ \text{ประสิทธิผลด้านไบอัสของการตรวจสอบ} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่พนักงานทุกคนตรวจสอบได้ถูกต้องเหมือนกัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}} \qquad (2\text{-}5)$$

7. หากค่า % รีพีททะบิลิตีของพนักงานตรวจสอบไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดแล้วให้ทำการอบรมพนักงานใหม่รวมทั้งประเมินผลพนักงานใหม่เพื่อปรับปรุงค่ารีพีททะบิลิตีให้ดีขึ้น แต่หาก % ความไบอัสของพนักงานตรวจสอบ (%Attribute Score) ไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดแล้วจะต้องปรับปรุงวิธีการตรวจสอบใหม่หรือกำหนดชิ้นงานได้รับการตรวจสอบโดยผู้ชำนาญการเฉพาะเท่านั้น สำหรับ % ประสิทธิ์ภาพรีพีทบิลิตีของการตรวจสอบ (%Screen Efffective Score) และ % ประสิทธิผลด้านไบอัสของการตรวจสอบ (% Attribute Effective Score) ถ้าไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดแล้วมีความจำเป็นต้องค้นหาสาเหตุจากดัชนีข้างต้น แล้วปรับปรุงค่าให้ดีขึ้น

- **แผนภาพความสัมพันธ์** (Relation Diagrams)

(Nayatani,Y., 1994)

แผนภาพความสัมพันธ์ คือ เครื่องมือหนึ่งที่ใช้ในการแก้ไขปัญหา อุปสรรค หรือประเด็นยุ่งยากต่างๆ โดยการอาศัยตรรกะความเกี่ยวพันระหว่างสาเหตุและผลกระทบของปัญหา หรือวัตถุประสงค์ ยุทธวิธีที่ใช้ในการจัดการกับปัญหาต่างๆ ให้สำเร็จ เมื่อได้มีการนำเทคนิคนี้ไปใช่การสร้างและปรับเปลี่ยนความสัมพันธ์ของกลุ่มทดสอบหลายๆครั้งจะค่อยๆนำไปสู่การได้ขอสรุปในที่สุด เทคนิคนี้มีประโยชน์ในการช่วยปรับเปลี่ยนทัศนคติ และคล้ายปมปัญหา เพื่อพบกับทางออกในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในที่สุด

ข้อได้เปรียบหลักของแผนภาพความสัมพันธ์มีดังต่อไปนี้:

1) เนื่องจากแผนภาพความสัมพันธ์สามารถช่วยให้สาเหตุและผลกระทบของปัญหาที่มีความสัมพันธ์กันอย่างซับซ้อน ได้ถูกแบ่งแยกออกด้วยวิธีตรรกะ จึงมีประโยชน์ในขั้นตอนการวางแผนงานในภาพรวมของสถานการณ์ทั้งหมด

2) แผนภาพความสัมพันธ์ช่วยอำนวยความสะดวกในการหาฉันทามติระหว่างทีมงาน

3) เนื่องจากแผนภาพความสัมพันธ์ไม่ถูกจำกัดด้วยรูปแบบที่แน่นอน จึงสามารถช่วยในการปรับเปลี่ยน หรือพัฒนาแนวคิดได้

4) แผนภาพความสัมพันธ์ทำให้สามารถจัดลำดับความสำคัญในการระบุ ชี้วัดได้อย่างชัดเจน และสามารถช่วยให้เกิดความข้าใจในปัญหา โดยการจัดประเภทความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุของปัญหานั้นๆ

แผนภาพความสัมพันธ์นี้สามารถถูกอธิบายได้อีกมุมมองหนึ่งว่าคือ เทคนิคสำหรับใช้จัดประเภทความสัมพันธ์ที่มีความซับซ้อนที่ก่อตัวอยู่ระหว่างหลากหลายปัจจัย และถูกใช้ในการแจกแจงสาเหตุความสัมพันธ์ที่มีความซับซ้อนมากเกินกว่าที่การใช้แผนภาพก้างปลา (cause and effect diagram) จะสามารถจัดการได้

- **การวิเคราะห์ความล้มเหลวในการผลิต** (FMEA)

(ธนากร เกียรติบรรลือ, 2543)

กล่าวว่า FMEA คือเทคนิคทางวิศวกรรมที่ใช้ในการกำหนดการบ่งชี้และการขจัดปัญหา

ความล้มเหลวและความผิดพลาดต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้น หรือ เกิดขึ้นมาแล้วในระบบงานของการออกแบบของกระบวนการและการบริหารก่อนที่จะถึงลูกค้า

ลักษณะสำคัญ 3 ประการของ FMEA

จะต้องมีการแสดงให้เห็นรูปแบบของความล้มเหลวปัญหา และความผิดพลาดต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นหรือเกิดขึ้นแล้วจากระบบงาน การออกแบบ การผลิต และการบริการอย่างชัดเจน และมีการประเมินผลจะต้องมีการบ่งชี้การกระทำ สำหรับการลด หรือ ขจัดโอกาสของความล้ม เหลว ปัญหาและความผิดพลาดนั้นๆ ที่จะเกิดขึ้นมาอีก

จะต้องมีการบันทึกลงแบบฟอร์มมาตรฐาน โดยปกตินิยมใช้ FMEA 2 ชนิด คือ Design FMEAสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่มีการนำเอาปัญหาสำคัญ และ ข้อบกพร่องต่าง ๆ จากผู้ใช้หรือลูกค้ามาศึกษาและหาวิธีการปรับปรุงแก้ไข และ อีกชนิดหนึ่งคือ Process FMEA สำหรับการออกแบบและปรับปรุง 27 กระบวนการผลิตซึ่งมีผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ เพื่อป้องกันไม่ให้มีของเสียและขจัด หรือลดปัญหาจากการผลิต ที่จะส่งไปยังกระบวนการผลิตถัดไปและลูกค้า

ประโยชน์ของ FMEA

ช่วยพิจารณาทางเลือกตั้งแต่ขั้นตอนแรกของการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ซึ่งเพิ่มศักยภาพของการผลิตและความเชื่อถือสร้างความมั่นใจว่ารูปแบบของความล้มเหลวความผิดพลาดและปัญหาต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้รวมถึงผลกระทบที่อาจตามมาได้รับการพิจารณาอย่างละเอียดถี่ถ้วนมาก่อนแสดงรายการของปัญหาหลักต่าง ๆและระดับความรุนแรงของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหานั้นขึ้นมาช่วยแสดงบันทึกผลของการปรับปรุงหลังจากมีมาตรฐานการแก้ไขให้ถูกต้องอย่างใดอย่างหนึ่งได้ทันทีเป็นพื้นฐาน สำหรับการกำหนดรายการทดสอบเพิ่มเติมระหว่างการพัฒนาผลิตภัณฑ์และการผลิต ช่วยรวบรวมข้อมูลในอดีตสำหรับเป็นเอกสารอ้างอิงในอนาคตโดยนำมาใช้วิเคราะห์รูปแบบของปัญหาหรือความล้มเหลวต่าง ๆสำหรับการพิจารณาเรื่องความเปลี่ยนแปลงผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการผลิตทำให้เกิดความมั่นใจได้ว่าการปรับปรุงและพัฒนาต่าง ๆ มีผู้รับผิดชอบหรือให้วิศวกรประจำกระบวนการผลิตสร้างระบบการป้องกันปัญหาที่สามารถประเมินผลได้ เมื่อมีการประชุมทบทวนขั้นสุดท้ายของการพัฒนาผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการผลิต

ชนิดของ FMEA และการนำไปใช้งาน Fallure Mode and Effect Analysis หรือ FMEA

เป็นวิธีการวิเคราะห์ปัญหาหรือความล้มเหลวอย่างเป็นระบบ มีขั้นตอนสำหรับการค้นหาสาเหตุของความผิดพลาดก่อนที่จะเกิดขึ้นจริงเพื่อเป็นการป้องกันก่อนที่จะเกิดปัญหาร้ายแรง

ขึ้นมาภายหลังและเป็นการลดความเสี่ยงของการเกิดปัญหา FMEA สามารถแบ่งตามวิธีการนำไปใช้งานได้หลายอย่างคือ

System FMEA สำหรักการออกแบบหรือปรับปรุงระบบการทำงานการใช้งานมักจะรวม อยู่ในขั้นตอนของ FMEA ชนิดอื่นได้แก่ การสร้างแนวความคิดในการออกแบบ และ กำหนดรายละเอียดของระบบงาน การออกแบบ การพัฒนา การทดสอบ และการประเมินผลระบบ

Design FMEA นิยมใช้สำหรับการวิเคราะห์ผลและการแก้ไขงานทีมีการทดลอง หรือปฏิบัติเป็นครั้งแรก มักจะพิจารณาเกี่ยวข้องกับกลุ่มของการรวมส่วนประกอบต่าง ๆ หรือ ส่วนย่อย ๆ เข้าด้วยกัน และส่วนของผลิตภัณฑ์ว่ามีหน้าที่การใช้งานตามที่ออกแบบ เหมาะสมแล้วหรือไม่ และส่วนใดจะมีปัญหา จะป้องกันหรือลดระดับความเสี่ยงได้มากน้อยแค่ไหน

Process FMEA สำหรับกระบวนการผลิตซึ่งก็มีลักษณะเหมือนกับ Design FMEA มักจะพิจารณาเกี่ยวกับปัจจัยการผลิตที่สำคัญคือ พนักงาน เครื่องจักร วัสดุ วิธีการ การวัดและสภาพแวดล้อมของการผลิต โดยทั่วไปแล้วเครื่องจักรจะเป็นปัจจัยสำคัญที่สุด

Service FMEA จะเกี่ยวข้องกับการให้บริการเป็นหลักโดยนิยมให้คนเป็นปัจจัยสำคัญที่สุด

Machlenery FMEA สำหรับการวิเคราะห์เครื่องจักรอุปกรณ์ หรือเครื่องมือที่ใช้โดยแบ่งเป็นส่วนประกอบต่าง ๆ เช่น โครงสร้างเครื่องจักร เครื่องมือ ส่วนทำความเย็น ส่วนส่งกำลัง ส่วนหล่อลื่น ชุดเกียร์ ตลับลูกปืน เป็นต้น

<u>งานเอกสารของ FMEA</u>

การวิเคราะห์ปัญหารือความล้มเหลวที่เกิดขึ้นโดยวิธีการ FMEA ถือว่าเป็นการวางระบบเตือนภัยล่วงหน้าและเป็นเทคนิคการป้องกันปัญหาชนิดหนึ่ง ซึ่งมีส่วนช่วยวิศวกรกระบวนการในการศึกษาสาเหตและผลกระทบต่าง ๆ ก่อนที่การออกแบบหรือวิธีการกระบวนการผลิตจะสรุปผลขั้นสุดท้ายทุกเรื่อง ทุกด้านที่มีการวิเคราะห์ร่วมกันจะถูกบันทึกลงแบบฟอร์มมาตรฐานของ FMEA เริ่มต้นจากหน้าที่อย่างใดอย่างหนึ่งของกระบวนการผลิตจะถูกนำมาพิจารณาอย่างละเอียดว่ามี

ชนิด หรือรูปแบบของปัญหา และความล้มเหลวที่อาจเกิดขึ้นหรือเคยเกิดขึ้นมาแล้วมีอะไรบ้างมีสาเหตุมาจากเรื่องใด และจะมีผลกระทบอย่างไรหลังจากนั้นจะมีการปริมาณตัวเลขระดับความเสี่ยงหรือที่เรียกกันว่าค่า RPN ซึ่งมาจากคำว่า Risk Priority Number ให้กับแต่ละปัญหาการคำนวณค่า RPN ได้มาจากผลคูณพารามิเตอร์ 3 ตัว คือ O× S × D เมื่อ

O = Occurrence คือระดับความเสี่ยงของการเกิดปัญหา ความล้มเหลว หรือ ความผิดพลาด

S = Severity คือระดับความรุนแรงของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหานั้นขึ้น

D = Detection คือระดับความสามารถในการตรวจจับปัญหานั้นก่อนที่จะส่งมอบงานหรือ ผลิตภัณฑ์ไปให้ลูกค้า

ค่า O, S และ D นิยมใช้เป็นตัวเลขจำนวนเต็ม มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 10 ดังนั้นค่าระดับ ความเสี่ยงต่ำสุดของการเกิดปัญหาคือ ค่า RPN = 1 ซึ่งมาจาก 1 × 1 × 1 หมายความว่าความถี่ของการเกิดปัญหานี้มีน้อยมาก และความรุนแรงของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหานี้มีน้อยมากเช่นกัน และสามารถตรวจจับปัญหานี้ได้ก่อนส่งมอบให้แก่ลูกค้าอย่างสมบูรณ์ ส่วนค่าระดับความเสี่ยงสูงสุดของปัญหา คือ ค่า RPN = 1000 ซึ่งมาจาก 10 × 10 × 10 หมายความว่า ความถี่ของการเกิดปัญหานี้มีมาก เช่น พบทุกวัน และระดับความรุนแรงของผลกระทบ เมื่อเกิดปัญหานี้ก็มีมาก เช่น กระบวนการผลิตต้องหยุดทั้งหมด หรือ ลูกค้าต้องยกเลิกสัญญาสั่งซื้อ เป็นต้น และยังไม่มีวิธีการตรวจจับปัญหานี้ก่อนส่งมอบให้แก่ลูกค้าเลย

2.1.2.5) **ขั้นตอนการวิเคราะห์เพื่อระบุสาเหตุของปัญหา** (Analysis Phase)

- **การตั้งสมมุติฐานในการตรวบสอบ** (Hypothesis Testing)

ในลำดับขั้นตอนการออกแบบการทดลองว่าในการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยใช้วิธี ทางสถิตินั้นจะมีความเสี่ยงเข้ามาเกี่ยวข้องอยู่เสมอดังนั้นการตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูล จึงต้องอยู่ภายใต้ความเสี่ยงดังกล่าว

การตั้งสมมุติฐานในการตรวจสอบ จะตั้งสมมุตีฐานใน 2 ทางเลือก คือ

Ho: ระดับของปัจจัยไม่มีผลต่อกระบวนการผลิต

H1: ระดับของปัจจัยมีผลต่อกระบวนการผลิต

ทั้งนี้ภายใต้ความเสี่ยง 2 ตัวคือ α และ β

α หมายถึง ความเสี่ยงในการไม่ยอมรับสมมุติฐานหลัก (Null Hypothesis) ทั้งที่

สมมุติฐาน หลักเป็นจริงหมายถึง ความเสี่ยงในการยอมรับสมมุติฐานหลักทั้งที่สมมุติฐานหลักไม่เป็นจริงจากความเสี่ยงของทั้ง 2 แบบนี้เอง จึงต้องมีการกำหนดจำนวนซ้ำที่ใช้ในการทดลองเพื่อให้มีความเชื่อมั่นหรือมีความเสี่ยงตามที่กำหนดไว้ และในการทำการวิเคราะห์ ก็มักจะให้ค่าของ α คงที่และให้ค่า β น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้

- **การทดสอบสัดส่วน** (Test of Proportions)

(ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ, 2550)

ในการทดสอบสัดส่วนของประชากรที่มีการกระจายตัวของความน่าจะเป็นแบบไบโนเมียลสถิติที่ใช้สำหรับการทดสอบคือ Z ซึ่งมีสูตรดังนี้

$$Z = \frac{\text{ค่าของตัวแปรแบบสุ่ม} - \text{ค่าเฉลี่ย}}{\text{ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน}} \qquad (2\text{-}6)$$

โดยที่ Z มีลักษณะการกระจายของความน่าจะเป็นแบบนอร์มอล การที่เราจะใช้ Z เป็นสถิติสำหรับทดสอบสัดส่วนของประชากรที่มีการกระจายของความน่าจะเป็นแบบไบโนเมียลได้โดยอาศัยการประมาณการกระจายของความน่าจะเป็นแบบนอร์มอล (Normal approximation to Binomial) ซึ่งการประมาณดังกล่าวจะแม่นยำก็ต่อเมื่อ np > 5 (เมื่อ n คือจำนวนตัวอย่างที่ใช้ และ p คือความน่าจะเป็นของความสำเร็จหรือความล้มเหลวซึ่งมีการกระจายของความน่าจะเป็นแบบไบโนเมียล)

การทดสอบสัดส่วนของสองประชากร

ลักษณะสมมุติฐาน

1. กรณีการทดสอบสองด้าน

$$H_0 : P_o = P_y$$
$$H_1 : P_x \neq P_y$$

2. กรณีการทดสอบด้านเดียว

ก. $H_0 : P_x = P_y$ หรือ $P_x \geq P_y$
$H_0 : P_x < P_y$

ข. $H_0 : P_x = P_y$ หรือ $P_x \leq P_y$
$H_0 : P_x > P_y$

ขั้นตอนการทดสอบสรุปได้ดังนี้

1. กำหนดค่า a
2. กำหนดค่า n_x และ n_y โดยที่ $n_x p_x > 5$, $n_y p_y > 5$
3. ดำเนินการทดลองให้ได้ n_x และ n_y ตัวอย่าง แล้วหาค่า P'_x และ P'_y
4. ในกรณีที่ทราบค่า p_x และ p_y หาค่า $\sigma_{P_x - P_y}$ จากสูตร

$$\sigma_{P_x - P_y} = (p_x(1-p_x)/n_x + p_y(1-p_y)/n_y)^{1/2} \quad (2\text{-}7)$$

ในกรณีไม่ทราบค่า p_x และ p_y ประมาณค่า P จากประชากรที่ได้จากการรวมของสองประชากร แล้วใช้ $S_{P_x - P_y}$ เป็นค่าประมาณของ $\sigma_{P_x - P_y}$ โดยที่

$$S_{P_x - P_y} = (pq/n_x + pq/n_y)^{1/2} \quad (2\text{-}8)$$

และ q = 1 – p

5. คำนวณค่าสถิติสำหรับทดสอบจาก

ก. กรณีทราบค่า P_x , P_y

$$Z = (P'_x - P'_y) / \sigma_{P_x - P_y} \quad (2\text{-}9)$$

ข. กรณีไม่ทราบค่า P_x , P_y

$$Z = (P'_x - P'_y) / S_{P_x - P_y} \quad (2\text{-}10)$$

6. บริเวณที่จะยอมรับ H_0 คือ $(-K_{a/2}, K_{a/2})$ สำหรับการทดสอบสองด้าน และ $(-K_a, \infty)$ หรือ $(-\infty, K_a)$ สำหรับการทดสอบด้านเดี่ยว
7. ถ้า Z ตกอยู่ในบริเวณที่จะยอมรับ H_0 ก็รับ H_0 แต่ถ้าไม่ตกอยู่ในบริเวณดังกล่าว ปฏิเสธ H_0 แล้วยอมรับ H_1 ด้วยระดับนัยสำคัญ a

(กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2551ค.)

o การหาขนาดตัวอย่าง

ในการประเมินขนาดตัวอย่างนั้น ถ้าหากสมมติฐานไม่เป็นจริง และเป็นการทดสอบกรณีด้านเดียว จะได้ผลว่า

$$n = \left[\frac{Z_\alpha\sqrt{(p_X+p_Y)(q_X+q_Y)/2}+Z_\beta\sqrt{p_Xq_X+p_Yq_Y}}{p_X-p_Y}\right]^2 \quad (2\text{-}11)$$

โดยที่ $q_X = 1 - p_X$ และ $q_Y = 1 - p_Y$

- **สถิติทดสอบไค – สแควร์** (Chi-square Test Statistic)

ไค-สแควร์ แทนด้วยสัญลักษณ์ χ^2 เป็นสถิติทดสอบที่เป็นทั้งสถิติทดสอบแบบพาราเมตริก (Parametric Test) และแบบนอนพาราเมตริก (Nonparametric Test) จึงใช้ทาการทดสอบสมมติฐาน 2 แบบ χ^2 ที่ใช้ทดสอบแบบพาราเมตริก มีจุดมุ่งหมายเพื่อทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับความแปรปรวนของประชากร มีค่าตามที่กาหนดให้ โดยใช้กลุ่มตัวอย่าง 1 กลุ่ม และข้อมูลจะต้องมีลักษณะสอดคล้องตามข้อตกลงเบื้องต้น ส่วน χ^2 ที่ใช้ทดสอบแบบนอนพาราเมตริก มีจุดมุ่งหมายเพื่อใช้ทดสอบสมมติฐานที่ว่าด้วยความถี่ที่ได้รับจากการศึกษาเท่ากับความถี่ที่คาดหวังจากทฤษฎี โดยใช้กลุ่มตัวอย่างตั้งแต่ 1 กลุ่มขึ้นไป หรือตัวแปรตั้งแต่ 1 ตัวขึ้นไปโดยที่ข้อมูลจัดอยู่ในมาตรานามบัญญัติหรือมาตราเรียงอันดับ การทดสอบแบบนี้ไม่ต้องระบุข้อตกลงเบื้องต้นเกี่ยวกับการแจกแจงของข้อมูลในประชากร

<u>การใช้ไค-สแควร์แบบนอนพาราเมตริก</u>

สถิติทดสอบแบบนอนพาราเมตริก เป็นสถิติที่ไม่มีข้อตกลงเบื้องต้นเกี่ยวกับการแจกแจงของประชากรว่าต้องเป็นการแจกแจงปกติ จึงมีลักษณะการแจกแจงแบบใดก็ได้ หรือเรียกว่า มีการแจกแจงแบบอิสระ และเหมาะที่จะใช้กับข้อมูลที่อยู่ในมาตรานามบัญญัติ หรือข้อมูลที่เป็นความถี่โดยการแจงนับ และหรือเมื่อสถิติทดสอบแบบพาราเมตริกใช้ไม่ได้ เพราะมีความไม่สอดคล้องกับข้อตกลงเบื้องต้นของสถิติทดสอบนั้น

สถิติทดสอบ χ^2 แบบนอนพาราเมตริก ใช้สาหรับทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับความแตกต่า งของความถี่ที่ได้จากการศึกษากับความถี่ที่คาดหวังจากทฤษฎี มีจุดมุ่งหมายในการใช้ 2 กรณี คือ

1. กรณีตัวแปรตัวเดียวหรือข้อมูลมีมิติเดียว (χ^2 one variable test or one-way χ^2 test)

2. กรณีตัวแปรสองตัวหรือข้อมูลสองมิติ (χ^2 two variable test or two-way χ^2 test)

<u>การทดสอบไค-สแควร์กรณีตัวแปรเดียว</u>

การทดสอบวิธีนี้ ใช้เพื่อทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับความถี่ที่ได้จากการศึกษากับความถี่ที่ คาดหวังจากทฤษฎีแตกต่างกันหรือไม่ หรืออาจใช้ทดสอบว่า ข้อมูลที่ได้จากการศึกษามีการแจกแจง เป็นไปตามทฤษฎีที่คาดหวังหรือไม่ บางครั้งอาจเรียกการทดสอบแบบนี้ว่า การทดสอบสภาวะสนิท ดี (Goodness of Fit Test) มีขั้นตอนการทดสอบ ดังนี้

1. ตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นของ χ^2 มีดังนี้

1.1 กลุ่มตัวอย่างได้มาจากการสุ่มตัวอย่างที่เป็นอิสระจากกัน

1.2 ข้อมูลอยู่ในมาตรานามบัญญัติมีลักษณะเป็นความถี่

1.3 ข้อมูลจะต้องจัดอยู่ในกลุ่ม / ประเภทใด/กลุ่มประเภทหนึ่งเท่านั้น

1.4 ความถี่ที่คาดหวังในแต่ละกลุ่ม / ประเภทต้องไม่น้อยกว่า 5 ในกรณีที่ df χ^2 และ ต้องไม่น้อยกว่า 10 ในกรณีที่ df = 1

1.5 จะต้องคานวณ χ^2 ด้วยค่าปรับแก้ในกรณีที่ไม่เป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นข้อ 1.4

2. กำหนดสมมติฐานทางสถิติ

H_0: $O_{ij} = E_{ij}$

H_1: $O_{ij} \neq E_{ij}$

3. กำหนด α

4, คำนวนค่าสถิติ χ^2 โดยใช้สูตร

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{k} \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \text{ มี df = k-1} \qquad (2\text{-}12)$$

โดยที่

O_i แทนความถี่ที่ได้จากการศึกษาในแต่ละกลุ่ม /ประเภทของตัวแปร

E_{i} แทนความถี่ที่คาดหวัง ซึ่งหาได้จาก $\frac{n}{k}$

N แทนจานวนข้อมูลทั้งหมด

k แทนจานวนกลุ่ม/ประเภทของตัวแปร

5. กำหนดขอบเขตวิกฤตโดยหาค่า χ^2 วิกฤต

6. สรุปผลการทดสอบ

$\chi^2 \geq \chi^2$ วิกฤต จะปฏิเสธ H_o

$\chi^2 < \chi^2$ วิกฤต จะยอมรับ H_o

<u>ค่าปรับแก้ของไค-สแควร์ กรณีที่ไม่เป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้น</u>

การแจกแจงแบบ χ^2 ตามทฤษฎีจะมีลักษณะต่อเนื่อง แต่ถ้าจานวนความถี่ที่ได้จากการศึกษามีจานวนน้อย ทาให้ค่า χ^2 ที่คานวณได้มีค่าน้อย และมีการแจกแจงแบบไม่ต่อเนื่อง ซึ่งขัดแย้งกับทฤษฎี วิธีการแก้ไขทาได้ ดังนี้

1. กรณีที่ df = 1 และ E < 10

ควรใช้ค่าปรับของเยท เพื่อทาให้ต่อเนื่อง (Yates's Correction for Continuity) ซึ่งมีหลักว่า ให้เอา 0.5 ลบออกจากค่า $|O - E|$ ดังนั้น สูตรการคานวณค่า χ^2 จึงเปลี่ยนเป็น ดังนี้

$$\chi^2 = \sum \frac{(|O-E|-0.5)^2}{E} \quad (2\text{-}13)$$

2. กรณีที่ df $\geq$ 2 และ E < 5 อยู่ถึง 20 % ของเซลทั้งหมดควรยุบกลุ่ม / ประเภทโดยนามารวมกัน เพื่อเพิ่มค่า E หรือถ้าไม่สามารถยุบกลุ่ม / ประเภท ได้ ควรใช้สถิติทดสอบวิธีอื่น

<u>การทดสอบไค-สแควร์กรณีตัวแปรสองตัว</u>

การทดสอบวิธีนี้อาจเรียกว่า การทดสอบความเป็นอิสระ (Test for Independent) เป็นการ พิจารณาว่า ตัวแปรทั้งสองต่างเป็นอิสระจากกัน หรือมีความสัมพันธ์กัน

เช่น ศึกษาว่าเพศกับระดับ ความคิดเห็นเป็นอิสระจากกันหรือไม่ โดยที่เพศและระดับความคิดเห็นจะต้องถูกจัดเป็นหมวดหมู่ ในมาตรานามบัญญัติ นอกจากนี้ยังนามาใช้ทดสอบความแตกต่างระหว่างสัดส่วน

การทดสอบไค-สแควร์วิธีนี้ ข้อมูลจะต้องอยู่ในตารางการณ์จร (Contingency Table) หรือ ตารางสองทาง (Two-way Table) ซึ่งเป็นตารางจาแนกข้อมูลออกได้ 2 ลักษณะใหญ่ๆ ที่เป็นอิสระ จากกัน ตัวแปร อาจแบ่งเป็น 3 กลุ่ม (มาก ปานกลาง น้อย) ดังนั้นจะได้ตารางการณ์จรขนาด ช่อง และตารางการณ์จรที่มีจำนวนแถว = r และจานวนหลัก = c เรียกตารางการณ์จรขนาด r x c

<u>ขั้นตอนการทดสอบความเป็นอิสระ มีดังนี้</u>

1). ตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้น มีดังนี้

1.1) ข้อมูลได้จากสมาชิกในกลุ่มตัวอย่างที่ต่างเป็นอิสระจากกัน

1.2) ข้อมูลแต่ละค่าต้องจัดอยู่ในกลุ่ม/ประเภทใดกลุ่ม/ประเภทหนึ่ง

1.3) ข้อมูลอยู่ในมาตรานามบัญญัติหรือเรียงอันดับ และต้องเป็นความถี่

1.4) ความถี่ที่คาดหวังในแต่ละกลุ่ม / ประเภทต้องไม่น้อยกว่า 5 ในกรณีที่ df และต้องไม่น้อยกว่า 10 ในกรณีที่ df = 1

1.5) จะต้องคานวณ χ^2 ด้วยค่าปรับแก้ในกรณีที่ไม่เป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นข้อ 1.4

2. กำหนดสมมติฐานทางสถิติ

$H_0: \rho = 0$ หรือ $H_0: O_{ij} = E_{ij}$

$H_1: \rho \neq 0$ $H_1: O_{ij} \neq E_{ij}$

3. กำหนด α

4. คำนวนค่าสถิติ χ^2 โดยใช้สูตร

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^{c} \sum_{i=1}^{r} \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}}$$ มี df = (r-1)(c-1) (2-13)

โดยที่

r แทนจานวนประเภทของตัวแปรตัวหนึ่ง (แนวแถว)

C แทนจานวนประเภทของตัวแปรอีกตัวหนึ่ง (แนวหลัก)

Oij แทนความถี่ที่ได้จากการศึกษาในแต่ละประเภทของตัวแปร

Eij แทนความถี่ที่คาดหวังซึ่งหาได้จาก

$$E_{ij} = \frac{R_i C_j}{N}$$ (2-14)

Ri แทนผลรวมของความถี่ในแถวที่ i

Cj แทนผลรวมของความถี่ในหลักที่ j

N แทนผลรวมของความถี่ทั้งหมด

5. กำหนดขอบเขตวิกฤต โดยหาค่า χ^2 วิกฤต

6. สรุปผลการทดสอบ

$\chi^2 \geq \chi^2$ วิกฤต จะปฏิเสธ H_o

$\chi^2 < \chi^2$ วิกฤต จะยอมรับ H_o

- **การออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์การทดลองเชิงสถิติ**

(ปารเมศ ชุติมา,2545)

1) การออกแบบทดลอง (Design of Experiment)

หมายถึง การออกแบบทดลองเพื่อตรวจสอบดูว่า ปัจจัย (Factor) ใดๆ หรือตัวแปร (Input Variable) ใดที่มีผลต่อสิ่งที่ให้ความสำคัญในผลิตภัณฑ์ที่ออกมา โดยมีจุดมุ่งหมายดังนี้

1.1) เพื่อยืนยันข้อเท็จจริง (Confirmation) คือ การพิสูจน์ข้อเท็จจริงหรือความเชื่อจากประสบการณ์หรือทฤษฎีบางอย่างที่อธิบายเกี่ยวกับกระบวนการผลิต

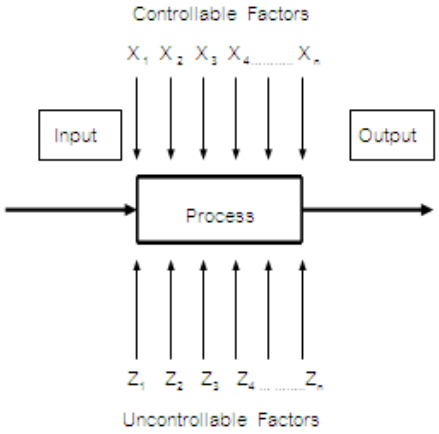
1.2) เพื่อค้นหาข้อเท็จจริง (Exploration) คือ การศึกษาถึงอิทธิพลของเงื่อนไขใหม่ที่มีผลต่อกระบวนการ

o ส่วนประกอบต่าง ๆ ของการทดลอง

1. ทรีทเมนต์ (Treatment) คือ สิ่งหรือวิธีที่เราปฏิบัติต่อสิ่งทดลอง เพื่อวัดผลเปรียบเทียบตามวัตถุประสงค์ของการทดลอง

2. หน่วยทดลอง (Experiment Unit) เป็นมาตราหรือหน่วยซึ่งใช้วัดอิทธิพลของทรีทเมนต์ซึ่งโดยคำจำกัดความแล้ว หมายถึง สิ่งหนึ่งหรือกลุ่มหนึ่งของทดลอง ซึ่งได้รับจากทรีทเมนต์เดียวกันในการกระทำครั้งใดครั้งหนึ่ง หน่วยทดลองมีขนาดไม่จำกัด อาจผันแปรได้จากการทดลองหนึ่งไปสู่การทดลองหนึ่ง แม้ว่าจะใช้สิ่งทดลองเหมือนกันก็ตาม ในการทำการทดลองแต่ละครั้งจึงต้องให้คำจำกัดความของหน่วยทดลองให้ชัดเจน

3. ปัจจัย (Factor) ได้แก่ กลุ่มของทรีทเมนต์ทั้งหลายที่มีความเกี่ยวข้องกัน (A Particular Class of Related Treatment) อาจใช้คำว่าตัวแปรอิสระก็ได้ ปัจจัยนั้นอาจเป็นได้ทั้งข้อมูลเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ



รูปที่ 2.9 แสดงปัจจัยและพารามิเตอร์ของกระบวนการ

ปัจจัยสามารถแบ่งออกได้เป็น

3.1 ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในการดำเนินการทดลอง

3.2 ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่ไม่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ อาจเนื่องมาจากมีข้อจำกัดทางด้านเทคโนโลยีและต้นทุน ปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ แบ่งออกเป็น

3.2.1 ตัวแปรรบกวน หรือ ตัวแปรที่มีผลต่อตัวแปร

ตอบสนอง (Response Variable) ในการทดลองแต่ไม่ใช่ปัจจัยที่เรากำลังทำการศึกษา ส่วนใหญ่มัก ได้แก่ เวลา หรือเครื่องมืออุปกรณ์ เป็นต้น

3.2.2 Nuisance Variable คือ ตัวแปรที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองแต่เราไม่ทราบมาก่อน เราสามารถกำจัดอิทธิพลของ Nuisance Variable ได้โดยการสุ่ม

4. ตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) คือ ตัวแปรที่ถูกสังเกตหรือวัดค่าในการทดลอง เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ตัวแปร ซึ่งเป็นตัวแปรที่สะท้อนให้เห็นถึงอิทธิพลของตัวแปรอิสระนั่นเอง ในการทดลองหนึ่ง ๆ อาจวัดค่าตัวแปรตามมากกว่า 1 ก็ได้ การคัดเลือกตัวแปรตามที่ดีควรพิจารณาจากความไว (Sensitivity) ความเชื่อถือได้ (Reliability) การแจกแจงของตัวแปรนั้นและความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ นอกจากนี้ ในการเลือกตัวแปรตามจะต้องพิจารณาว่า ค่าสังเกตที่ได้รับจากทรีทเมนต์หนึ่ง ๆ ควรมีการแจกแจงแบบปรกติโดยประมาณ ซึ่งข้อสมมุติฐานในเรื่องความเป็นปรกติ (Normality) นี้ เป็นสิ่งจำเป็นในการออกแบบการทดลอง ซึ่งอาจจะใช้การแปลงข้อมูล (Transformation) ค่าสังเกตที่มีการแจกแจงไม่ปรกติเป็นแบบปรกติ

วัตถุประสงค์ของการทดลองอาจจะเกี่ยวกับประเด็นต่าง ๆ ดังนี้

1. หาตัวแปรที่มีผลมากที่สุดต่อผลตอบ y (response)

2. หาวิธีการตั้งค่าของ x (Input) ที่มีผลต่อค่าผลตอบ y (response) เพื่อทำให้ผลตอบ y มีค่าตามที่ต้องการ

3. หาวิธีการตั้งค่าของ x (Input) ที่มีผลต่อค่าผลตอบ y (response) เพื่อทำให้ผลตอบ y มีค่าน้อยที่สุด

4. หาวิธีการตั้งค่าของ x (Input) ที่มีผลต่อค่าผลตอบ y (response) เพื่อทำให้ผลตอบที่ไม่สามารถควบคุมได้ Z_1, Z_2, Z_3 .....Z_n ค่าน้อยที่สุด

2) หลักการพื้นฐานของการออกแบบการทดลอง

หลักการพื้นฐาน 3 ประการสำหรับการออกแบบการทดลอง มีดังนี้

2.1) เรพลิเคชั่น (Replication) หมายถึง การทำการทดลองซ้ำ ซึ่งมีคุณสมบัติที่สำคัญ 2 ประการ คือ ประการแรกเรพลิเคชั่นทำให้สามารถหาค่าประมาณของความผิดพลาดในการทดลองได้ หน่วยวัดขั้นพื้นฐานสำหรับการพิจารณา ความแตกต่างสำหรับข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นมีความแตกต่างกันในเชิงสถิติหรือไม่ และประการที่สองถ้าค่าเฉลี่ยถูกนำมาใช้เพื่อ

ประมาณผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่งในการทดลอง เรพลิเคชั่นทำให้สามารถหาตัวประมาณที่ถูกต้องยิ่งขึ้นในการประมาณผลกระทบ

2.2) แรมดอมไมเซชั่น (Randomization) หมายถึง การทดลองที่มีทั้งวัสดุที่ใช้ในการทดลองและลำดับของการทดลองแต่ละครั้งเป็นแบบสุ่ม วิธีการเชิงสถิติกำหนดข้อมูล (หรือความผิดพลาด) จะต้องเป็นตัวแปรแบบสุ่มที่มีการกระจายแบบอิสระ แรมดอมไมเซชั่นจะทำให้สมมติฐานนี้เป็นจริง การแรมดอมไมเซชั่นการทดลอง ทำให้สามารถลดผลของปัจจัยภายนอกที่อาจจะปรากฏในการทดลองได้

2.3) บล็อกกิง (Blocking) เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับเพิ่มความเที่ยงตรง (Precision) ให้แก่การทดลอง บล็อกอันหนึ่งอาจจะหมายถึงส่วนหนึ่งของวัสดุที่ใช้ในการทดลองที่ควรจะมีความเป็นอันเดียวกันมากกว่าเซ็ตทั้งหมดของวัสดุ การเปรียบเทียบเงื่อนไขที่น่าสนใจต่าง ๆ ภายในแต่ละบล็อกจะเกิดจากการทำบล็อกกิง

3) แนวทางในการออกแบบการทดลอง

การใช้วิธีการเชิงสถิติในการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง มีความจำเป็นที่ต้องเข้าใจอย่างถ่องแท้ล่วงหน้าว่า กำลังศึกษาอะไรอยู่ จะเก็บข้อมูลได้อย่างไร และจะวิเคราะห์ข้อมูลที่เก็บได้นั้นอย่างไร ขั้นตอนในการดำเนินการดังนี้

3.1) การนิยามปัญหา (Recognition of and Statement of the Problem) เป็นการระบุว่าความต้องการในการผลิตคืออะไร และต้องการรู้อะไรบ้างในการผลิต ซึ่งการนิยามปัญหานี้ผู้ทดลองต้องทำความเข้าใจต่อสภาพของปัญหาที่จะเกี่ยวโยงไปถึงวัตถุประสงค์ของการทดลอง ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความชัดเจนในการวางแผน และดำเนินการทดลองต่อไป

3.2) การเลือกปัจจัย ระดับ และขอบเขตของปัจจัย (Choice of Factors and Levels) เป็นการใช้หลักการทางทฤษฎี และประสบการณ์จากงานวิจัยต่าง ๆ เพื่อระบุว่าปัจจัยใดบ้างที่น่าจะมีผลต่อการทดลอง และในแต่ละปัจจัยนั้น ควรจะมีช่วงในการทดลองอย่างไร สุดท้ายคือ ระบุว่าที่ใช้เป็นแบบกำหนดตายตัว (Fixed Effect) แบบสุ่ม (Random Effect) หรือแบบผสม ซึ่งสามารถอธิบายได้พอเป็นสังเขป ดังนี้

- แบบกำหนดตายตัว (Fixed Effect) หมายถึง ระดับของปัจจัยที่สามารถควบคุม หรือ กำหนดค่าได้แน่นอน

- แบบสุ่ม (Random Effect) หมายถึง ระดับของปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมหรือกำหนดค่าของปัจจัยได้แน่นอน

- แบบผสม (Mixed Effect) หมายถึง การผสมระดับของปัจจัยที่เป็นทั้งแบบกำหนดตายตัวและแบบสุ่ม และ กำหนดระดับของปัจจัยที่ต้องทำการปรับในการทดลอง รวมถึงต้องทราบวิธีการควบคุมและการวัดค่าระดับของปัจจัยดังกล่าวนี้ด้วย

3.3) การเลือกตัวแปรตองสนอง (Choice of Response Variable) ในการเลือกตัวแปรตอบสนอง ผู้ทดลองต้องแน่ใจว่าตัวแปรตอบสนองนี้ให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการที่กำลังศึกษาอยู่ และสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการทดลอง ซึ่งมักจะเป็นค่าเฉลี่ยหรือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ และเป็นไปได้ว่าในการทดลองหนึ่งอาจมีตัวแปรตอบสนองหลายตัว จึงจำเป็นต้องกำหนดว่า อะไรบ้างคือตัวแปรตอบสนองและสามารถวัดค่าดังกล่าวได้อย่างไร ก่อนเริ่มดำเนินการทดลองควรมีการวิเคราะห์ระบบการวัดค่าตัวแปรตอบสนองนั้น เพื่อให้มั่นใจได้ว่าระบบการวัดดังกล่าวสามารถใช้กับการทดลองได้

3.4) การเลือกการออกแบบการทดลอง (Choice of Experimental Design)การเลือกการออกแบบเกี่ยวข้องกับการกำหนดขนาดของสิ่งตัวอย่าง (Replications) การเลือกลำดับที่เหมาะสมของการทดลองที่จะใช้ในการเก็บข้อมูล การเลือกใช้หลักการพื้นฐานใดบ้างในการออกแบบ ซึ่งในการเลือกการออกแบบจำเป็นต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการทดลองตลอด เวลา

3.5) การดำเนินการทดลอง (Performing the Experiment) การดำเนินการทดลองเป็นการทำตามแผนการทดลองที่ออกแบบ ซึ่งจำเป็นต้องติดตามกระบวนการดำเนินการอย่างระมัดระวัง เนื่องจากหากมีสิ่งผิดพลาดเกิดขึ้นจะทำให้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นไม่สามารถนำไปวิเคราะห์ต่อได้

3.6) การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ (Statistical Analysis of data) ในการวิเคราะห์ข้อมูลจะนำวิธีการทางสถิติมาใช้ เพื่อพิจารณาว่าผลลัพธ์และข้อสรุปที่เกิดขึ้นเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการทดลองหรือไม่ ทั้งนี้ในการวิเคราะห์ควรใช้ความรู้ทางวิศวกรรมหรือความรู้เกี่ยวกับกระบวนการประกอบด้วย เพื่อให้ได้ข้อสรุปที่มีเหตุผล และมีความน่าเชื่อถือ

3.7) การสรุปผลและการทดสอบเพื่อยืนยันผล (Conclusions and Recommendations) เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลแล้ว ผู้ทดลองต้องหาข้อสรุปในทางปฏิบัติของกระบวนการที่เกิดขึ้น ในขั้นตอนนี้ควรนำเอาวิธีการทางกราฟเข้ามาช่วยในการนำเสนอข้อมูล นอกจากนี้แล้วควรทำการทดลองเพื่อยืนยันผล (Confirmation Testing) เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อสรุปอีกครั้งด้วย

4) การเลือกแบบการทดลอง

4.1) การออกแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design : CRD)

เป็นแผนการทดลองแบบง่ายที่สุด เหมาะสมกับการทดลองที่ไม่สามารถแยกได้ว่าหน่วยทดลองที่นำมาใช้นั้นมีลักษณะแตกต่างกันอย่างไรก่อนการทดลอง การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับแผนการทดลองนี้จะแยกสาเหตุของความผันแปรของข้อมูลทั้งหมดว่าเนื่องมาจากอิทธิพลของทรีทเมนต์แต่เพียงอย่างเดียว ไม่มีสาเหตุจากปัจจัยอื่น จึงเรียกข้อมูลนี้ว่า ข้อมูลแบบแจกแจงทางเดียว One-Way Classification

ตามแผนการทดลองนี้แสดงว่า เมื่อหน่วยทดลองได้รับทรีทเมนต์ที่ต้องการทดสอบแล้วความแตกต่างของข้อมูลที่เก็บได้จากแต่ละหน่วยทดลองจะต้องเกิดจากอิทธิพลของทรีทเมนต์ที่แตกต่างกันเท่านั้น ดังนั้น เพื่อให้แผนการทดลองนี้มีประสิทธิภาพสูงสุด หน่วยทดลองนี้นำมาใช้จึงควรมีลักษณะที่สม่ำเสมอหรือคล้ายคลึงกันมากที่สุด (Homogenous) หรือมีความผันแปรระหว่างหน่วยทดลองน้อยที่สุด หลักสำคัญของแผนการทดลองนี้คือ การจัดทรีทเมนต์ให้กับหน่วยทดลองหรือจัดจำหน่วยทดลองให้แก่ ทรีทเมนต์จะต้องเป็นไปโดยสุ่ม ไม่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับการสุ่ม

<u>ข้อดีและข้อเสีย</u>

ข้อดี

1) เป็นแผนการทดลองที่จัดง่าย

2) ให้ค่าองศาความเป็นอิสระของความคลาดเคลื่อน (Degree of Freedom for Error) สูงสุด

3) วิธีการวิเคราะห์ง่ายที่สุดในบรรดาแผนการทดลองทั้งหลาย

4) ในแต่ละทรีทเมนต์ ถึงแม้จะมีจำนวนซ้ำไม่เท่ากัน ก็ไม่ทำให้การวิเคราะห์มีความซ้ำซ้อนแต่อย่างใด

ข้อเสีย

1) มีข้อจำกัดว่าจะช่วยได้อย่างเหมาะสมเมื่อมีจำนวนทรีทเมนต์น้อย ๆ หากทรีทเมนต์จำนวนมากแล้ว จำเป็นต้องใช้หน่วยทดลองมากขึ้นอาจไม่สามารถกระทำได้

2) ใช้กับหน่วยทดลองที่มีความสม่ำเสมอ

3) ไม่สามารถตรวจสอบอิทธิพลของกิริยาร่วมได้ (Interaction Effect)

<u>โครงรูปข้อมูล</u>

สมมติให้การทดลองมี a ทรีทเมนต์ (หรือ a ระดับ)

N คือจำนวนค่าสังเกตในแต่ละทรีทเมนต์

Y ij คือค่าสังเกตที่ j เมื่อได้รับทรีทเมนต์ i

	Treatment				
	1	2 ...	j ...	a	
	Y 11	Y 21	Y i1	Y a1	
	Y 12	Y 22	Y i2	Y a2	
	Y 13	Y 23	Y i3	Y a3	
	.	.	.	.	
	Y_{1n}	Y_{2n}	Y_{in}	Y_{an}	
Totals	Y_1	Y_2	Yi	Y_{an}	y.. = Grand Total
Sample means	Y_1	Y_2	Yi	Y_a	y.. = Grand mean

ตัวแบบทางสถิติของแผนการทดลองนี้ คือ

$$y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \qquad i = 1, 2, \ldots a \qquad (2\text{-}15)$$

$$j = 1, 2, \ldots n$$

โดยที่ y_{ij} คือ ค่าสังเกตที่ j เมื่อได้รับทรีทเมนต์ i

μ คือ ค่าเฉลี่ยรวมทุกประชากร

τ_i คือ อิทธิพลอันเกิดจากทรีทเมนต์ i

ε_{ij} คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

(กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2551ค.)

O การหาขนาดสิ่งตัวอย่าง

ในการตัดสินใจโดยการทดสอบสมมุติฐานนั้น จะคำนึงถึงความเสี่ยงในการตัดสินใจทั้ง α และ β ซึ่งถือว่าเป็นสิ่งที่มีความสำคัญมาก และ ในการทดสอบสมมุติฐานจะต้องควบคุมความเสี่ยงในการตัดสินใจด้วยการกำหนดให้ α คงที่ แล้วพยายามออกแบบให้ β มีค่าต่ำที่สุด ด้วยการลดขนาดความคลาดเคลื่อนมาตราฐาน (SE) ลง ทั้งนี้ด้วยการพิจารณาถึงค่าเหมาะสมของขนาดสิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

โดยที่ β = P (การยอมรับ H_0 /H_0 ไม่ถูกต้อง)

ดังนั้น ในการพิจารณา β จะต้องเริ่มจากการใช้ความรู้ในด้านวิศวกรรม เพื่อกำหนดว่าพารามิเตอร์มีค่าเท่าใดจงทำให้ H_0 ไม่ถูกต้อง จากนั้นจะทำการพิจารณาสิ่งตัวอย่างที่เหมาะสมจากเส้นโค้งโอซีในสำหรับตัวแบบอิทธิพลคงที่ และ สำหรับตัวแบบอิทธิพลสุ่ม

ตัวแบบอิทธิพลคงที่

จากการหาขนาดสิ่งตัวอย่างจากตัวแบบอิทธิพลคงที่ จะพิจารณาได้จากหลายวิธีด้วยกัน แล้วแต่ว่าผู้ตัดสินใจมีสาระสนเทศอย่างไร

การกำหนดในรูปความแตกต่างมากที่สุดของค่าเฉลี่ยนทรีตเมนต์

ทางเลือกอีกประการหนึ่งสำหรับการกำหนดความแตกต่างของทรีตเมนต์จนทำให้เกิดการปฏิเสธสมมุติฐาน โดยกำหนดให้ D หมายถึง ค่าความแตกต่างมากที่สุดของค่าเฉลี่ยของทรีนเมนต์ใดๆ 2 ทรีตเมนต์จนทำให้เกิดการปฏิเสธสมมุติฐาน ซึ่งในกรณีนี้สามารถกำหนดพารามิเตอร์ของเส้นโอซี ได้ว่า

$$\phi^2_{min} = \frac{nD^2}{2a\sigma^2} \qquad (2\text{-}16)$$

$$\phi^2_{min} \begin{cases} \frac{nD^2}{4\sigma^2} & ; \text{a เป็นเลขคู่} \\ \frac{nD^2\,(a^2-1)}{4\sigma^2} & ; \text{a เป็นเลขคี่} \end{cases} \qquad (2\text{-}17)$$

โดยที่ ϕ_{max} นี้ จะทำให้ β มีค่าต่ำที่สุดภายใต้ความแตกต่าง D และ ϕ_{min}

จะทำให้ β มีค่าสูงที่สุดภายใต้ความแตกต่าง D ที่กำหนด แต่โดยปกติแล้วการตัดสินใจมักจะคำนึงถึงพิกัดทางด้านสูงของ β เนื่องจาก β ยิ่งทำให้การตัดสินใจดีขึ้น ดังนั้นในการหาขนาดสิ่งตัวอย่างที่ต่ำที่สุด จึงมักหาได้จากเส้นโค้งโอซีเมื่อคำนึง ϕ_{min} เท่านั้น

4.2) การออกแบบการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design : RCB)

ในบางการทดลองอาจประสบปัญหาเกี่ยวกับหน่วยทดลองที่ใช้ไม่มีความสม่ำเสมอ ทำการใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอดไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควรจะเป็น เนื่องจากความผันแปรของข้อมูลจะไม่ใช่ผลของทรีทเมนต์เพียงอย่างเดียว แต่ยังมีความผันแปรที่เกิดจากหน่วยทดลองรวมอยู่ด้วย ซึ่งความผันแปรส่วนหลังนี้จะไปรวมอยู่กับความคลาดเคลื่อนของการทดลอง ทำให้ยอดรวมของผลบวกของกำลังสองของความคลาดเคลื่อนมีค่าสูงขึ้น มีผลต่อการทดสอบทำให้ผิดพลาดได้ ดังนั้นจึงต้องพยายามแยกผลอันเกิดจากอิทธิพลอื่น ที่ไม่ใช่ทรีทเมนต์ออกจากความแปรปรวนทั้งหมด เพื่อให้แน่ใจว่าผลที่นำมาวิเคราะห์นั้นเป็นอิทธิพลของทรีทเมนต์ (Treatment Effect) แต่เพียงอย่างเดียว

แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อก เป็นวิธีการหนึ่งในหลาย ๆ วิธีของการจำแนกแบบ 2 ทาง (Two-way Classification) จะใช้เมื่อหน่วยทดลองมีความแตกต่างกัน 2 ลักษณะ คือ ทางแนวนอน (Row) และแนวตั้ง (Column) มีหลักการ คือ พยายามจัดหน่วยทดลองที่มีความคล้ายคลึงกันให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน ซึ่งจะเรียกว่า บล็อก ดังนั้นความแปรปรวนระหว่างหน่วยทดลองในบล็อกเดียวกันจึงมีค่าต่ำ และให้ความแตกต่างระหว่างบล็อกมีค่าสูง ในแต่ละบล็อกกระทำโดยสุ่ม กรณีนี้จะทำให้เราแตกแยกความแตกต่างระหว่างบล็อกออกมาจากยอดรวมของผลบวกของกำลังสองได้

ข้อดี

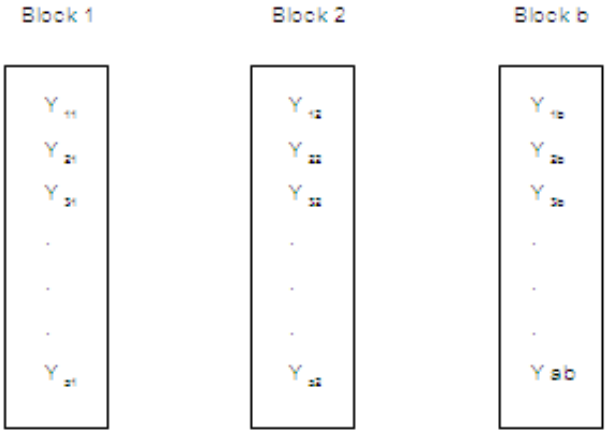
1. มีความเที่ยงตรงสูงกว่า แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์
2. ไม่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับจำนวนทรีทเมนต์หรือบล็อก
3. ถ้าหากจำเป็นที่จะต้องมีซ้ำสำหรับทรีทเมนต์ใดก็อาจเพิ่มหน่วยทดลองเป็นสองหรือมากกว่านั้นในแต่ละบล็อก
4. กรณีข้อมูลในบล็อกใดหรือทรีทเมนต์ใดใช้ไม่ได้หรือสูญหายไปสามารถละเว้นได้โดยไม่ก่อให้เกิดความยุ่งยากในการคำนวณวิเคราะห์สำหรับส่วนข้อมูลที่เหลือ

ข้อเสีย

ถ้าหน่วยทดลองในแต่ละบล็อกมีความผันแปรมาก ความผันแปรที่เกิดขึ้นจากการทดลองย่อมมากตาม กรณีนี้มักเกิดขึ้นถ้าไม่สามารถควบคุมหน่วยทดลองภายในบล็อกให้สม่ำเสมอได้

<u>โครงรูปข้อมูล</u>

สมมติให้การทดลองมี a ทรีทเมนต์และ b บล็อก ตามแผนภาพจะเห็นว่ามีค่าสังเกต 1 ค่าต่อ 1 ทรีทเมนต์ในแต่ละบล็อก



ตัวแบบทางสถิติของแผนการทดลองนี้

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \; ; \; i = 1, 2, \ldots a \qquad (2\text{-}18)$$
$$j = 1, 2, \ldots b$$

โดยที่ y_{ij} คือ ค่าสังเกตที่ j เมื่อได้รับทรีทเมนต์ i

μ คือ ค่าเฉลี่ยรวมทุกประชากร

τ_i คือ อิทธิพลอันเกิดจากทรีทเมนต์ i

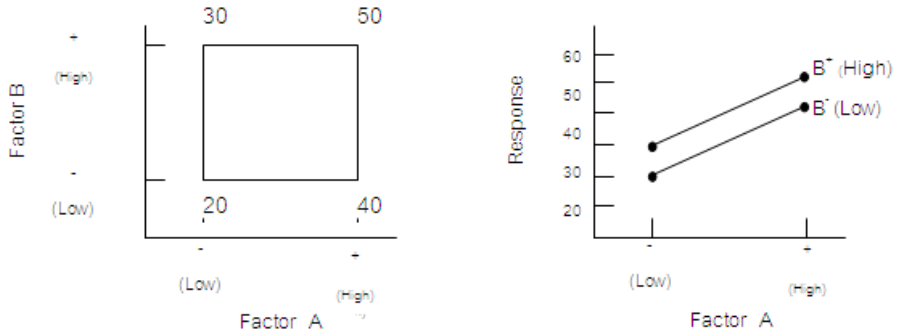
β_j คือ อิทธิพลอันเกิดบล็อกที่ j

ε_{ij} คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

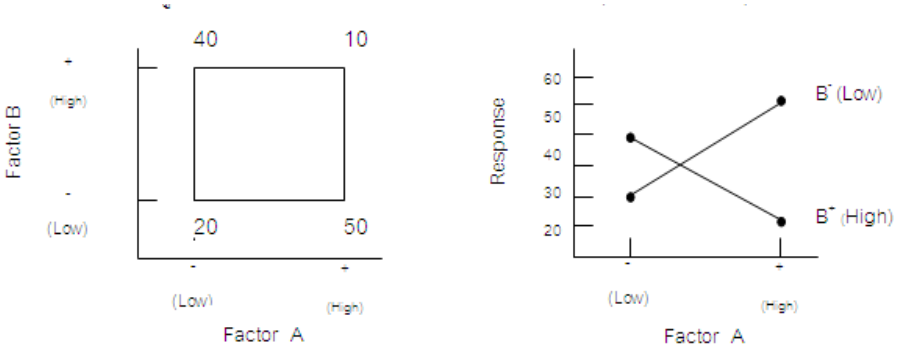
4.3) การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Design)

การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล (Factorial Design) เป็นวิธีการทดลองที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ในกรณีที่มีปัจจัย (Factor) ตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป โดยทุก ๆ Treatment combination ของปัจจัยทุกตัวที่ศึกษา จะถูกพิจารณาไปพร้อม ๆ กัน

ผลที่เกิดขึ้นจากปัจจัยหนึ่ง หมายถึง การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับผลตอบ (Response) ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยนั้น ๆ ซึ่งเรียกว่า ผลหลัก (Main Effect) ในการทดลองที่มีผลแตกต่างของผลตอบที่เกิดขึ้นบนระดับต่าง ๆ ของปัจจัยหนึ่งมีค่าไม่เท่ากันที่ระดับอื่น ๆ ทั้งหมดของปัจจัยอื่น ซึ่งหมายถึง ผลตอบของปัจจัยหนึ่งขึ้นอยู่กับระดับของปัจจัยอื่น ๆ นั่นเอง เรียกเหตุการณ์นี้ว่า การมีอันตรกิริยา (Interaction) ต่อกันระหว่างปัจจัยที่เกี่ยวข้องโดยค่าที่จุดต่าง ๆ คือตัวแปรตอบสนอง เมื่อมีปัจจัย 2 ตัว คือ A และ B โดยแต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ คือ - หรือ Low และ + หรือ High



รูปที่ 2.10 การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 2 ปัจจัย (ไม่มีอันตรกิริยา)



รูปที่ 2.11 การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 2 ปัจจัย (มีอันตรกิริยา)

ประโยชน์ของการทดลองแบบแฟคทอเรียล คือมีจำนวนการทดลองน้อยกว่าการทดลองแบบอื่น และยังให้ผลที่เกี่ยวกับ Interaction Effect ซึ่งมีความสำคัญมาก และไม่สามารถหาค่าได้จากการทดลองแบบเปรียบเทียบอย่างง่ายและการทดลองทีละปัจจัย ทั้งนี้หากมีการละเลยผลของ

Interaction อาจทำให้ข้อสรุปผิดพลาด

การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^K (2^K Factorial Design) การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลที่มีความสำคัญที่สุด คือ กรณีที่มีปัจจัย K ปัจจัยซึ่งแต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ ระดับเหล่านี้อาจจะเกิดจากข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น อุณหภูมิ ความดัน หรือเวลา เป็นต้น หรืออาจจะเกิดจากข้อมูลเชิงคุณภาพก็ได้ เช่น เครื่องจักร หรือคนงาน เป็นต้น และใน 2 ระดับจะแทนด้วยระดับ “สูง” หรือ “ต่ำ” ของปัจจัยหนึ่ง ๆ หรือการ “มี” หรือ “ไม่มี” ของปัจจัยนั้น ๆ ก็ได้ ใน 1 เรพลิเคตที่บริบูรณ์สำหรับการออกแบบ ประกอบด้วยข้อมูลทั้งสิ้น 2 x 2 x 2 x……x 2 = 2^K ข้อมูล เรียกการออกแบบลักษณะนี้ว่า การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^K โดยมีสมมติว่า

- ปัจจัยทั้งหมดมีค่าตายตัว
- การออกแบบเป็นแบบเชิงสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized)
- สมมติฐานเกี่ยวกับความเป็นปรกติเป็นที่ยอมรับได้

4.4) การเพิ่มจุดศูนย์กลางให้แก่การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 2^K

ประการสำคัญในการออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 2 ระดับ คือสมมติฐานเกี่ยวกับความเป็นเชิงเส้น (Linearity) ของผลที่เกิดขึ้นจากปัจจัยต่าง ๆ ถ้าพจน์ของอันตรกิริยาถูกเติมเข้าไปในผลหลักหรือแบบจำลองขั้นแรก (First-Order Model) นั่นคือ

$$y = \beta_0 + \sum_{j=1}^{k} \beta_i x_j + \sum\sum_{i<j}^{k} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \qquad (2\text{-}19)$$

ดังนั้นแบบจำลองที่สามารถแสดงส่วนโค้งบางประการในฟังก์ชันของผลตอบ ส่วนโค้งที่เกิดจากการบิดเบี้ยวของระนาบ Plane ที่ถูกทำให้เกิดขึ้นจากผลของอันตรกิริยา มีบางกรณีที่ส่วนโค้งในฟังก์ชันผลตอบไม่เพียงพอที่จะสร้างสมการจำลองตามแบบสมการข้างต้นได้ จึงเหมาะสมที่จะใช้แบบจำลองนี้มากกว่า

$$y = \beta_0 + \sum_{j=1}^{k} \beta_j x_j + \sum\sum_{i<j}^{k} \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{j=i}^{k} \beta_{ij} x_j^2 + \varepsilon \qquad (2\text{-}20)$$

โดยที่ β_{ij} จะแสดงถึงผลขั้นที่สอง (Second-order Model) หรือผลแบบควอดราติก

(Quadratic Effect) และสมการนี้เรียกว่า แบบจำลองพื้นผิวของผลตอบขั้นที่สอง (Second-order Response Surface Model)

ในการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับ จะใช้สมการจำลองขั้นแรกมากกว่าแต่มีความเป็นไปได้ที่บางครั้งแบบจำลองขั้นที่สองมีความเหมาะสมมากกว่า กรณีเช่นนี้วิธีการเรพลิเคต การทดลองบางจุดในแฟคทอเรียล 2^K ที่จะป้องกันส่วนโค้งที่เกิดจากผลขั้นที่สองนี้และสามารถที่จะหาค่าประมาณของความผิดพลาดได้อย่างอิสระโดยการเติมจุดศูนย์กลางให้แก่การออกแบบ 2^K ซึ่งทำการทดลองจำนวน n เรพลิเคตที่จุด $x_i = 0$ $(i=1,2,\ldots,k)$ เหตุผลของการเติมการทดลองเช่นนี้เข้าไปคือ จุดศูนย์กลางที่เติมเข้าไป โดยให้ปัจจัย k ตัวนี้เป็นข้อมูลเชิงปริมาณ

เพื่อแสดงการพิจารณาการออกแบบ 2^2 ที่มีข้อมูล 1 ตัว ที่แต่ละจุดของแฟคทอเรียล(-,-) , (+,-) , (-,+) และ (+,+) และที่มีข้อมูลที่มีจุดศูนย์กลาง (0,0) อยู่ n_c กำหนดให้ $\overline{y}_1$ เป็นค่าเฉลี่ยของการทดลอง 4 ค่า ที่จุดทั้ง 4 ของแฟคทอเรียล และกำหนดให้ $\overline{y}_c$ เป็นค่าเฉลี่ยของข้อมูล n_c ที่จุดกึ่งกลาง ถ้าผลต่างระหว่าง $\overline{y}_F - \overline{y}_C$ มีค่าน้อยจุดศูนย์กลางนี้อยู่บนหรือใกล้กับระนาบที่ผ่านจุดของแฟคทอเรียลแล้วจะไม่มีส่วนโค้งแบบควอดราติก ค่าผลรวมของกำลังสองสำหรับส่วนโค้งแบบควอดราติกบริสุทธิ์ (pure quadratic curvature) ซึ่งมีระดับขั้นความเสรีเท่ากับ 1 หาได้จาก

$$SS_{\text{pure Quadratic}} = \frac{n_F n_C \left(\overline{y}_F - \overline{y}_C\right)^2}{n_F + n_C} \qquad (2\text{-}21)$$

โดยที่ n_f คือจำนวนของจุดในการออกแบบเชิงแฟคทอเรียล ค่านี้อาจถูกนำมาใช้เพื่อเปรียบเทียบกับค่าผิดพลาดของกำลังสองเฉลี่ยเพื่อที่จะทดสอบความเป็นส่วนโค้งบริสุทธิ์ ยิ่งกว่านั้นเมื่อมีการเติมจุดเข้าไปที่จุดศูนย์กลางของการออกแบบ 2^k การทดสอบส่วนโค้งดังสมการข้างต้นคือ การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับ

$$H_0 : \sum_{j=1}^{k} \beta_{jj} = 0$$

$$H_1 : \sum_{j=1}^{k} \beta_{jj} \neq 0$$

ยิ่งกว่านั้นถ้าจุดแฟคทอเรียลในการออกแบบไม่มีเรพลิเคต สามารถใช้จุดศูนย์กลาง n_c นี้ในการสร้างตัวประมาณของความผิดพลาดซึ่งมีระดับขั้นความเสรีเท่ากับ $n_f - 1$ ขึ้นได้อีกด้วย

การทดลองจะมีการทำขึ้นบนเส้นทางที่มีความชันมากที่สุดจนกระทั่งค่าของผลตอบไม่สามารถที่จะเพิ่มขึ้นอีกได้ หลังจากนั้นแบบจำลองกำลังหนึ่งตัวใหม่จะถูกสร้างขึ้นมา ต้องมีการหาเส้นทางที่มีความชันสูงสุดขึ้นมาใหม่ และกระบวนการดังกล่าวที่กล่าวมาข้างต้นจะเกิดขึ้นอีกครั้ง ในที่สุดก็จะมาสู่จุดที่อยู่ใกล้กับจุดที่มีค่าดีที่สุด ซึ่งจะถูกบ่งชี้โดยดูจาก Lack of fit ของแบบจำลองกำลังหนึ่ง เมื่อถึงตอนนั้นการทดลองเพิ่มเติมจะถูกดำเนินการขึ้นเพื่อหาตัวประมาณของค่าที่ดีที่สุด

4.5) หลักการทางสถิติที่จำเป็นในการวิเคราะห์ข้อมูล

- การทดสอบสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ R-Square

เป็นการวิเคราะห์ว่าการออกแบบขึ้นมาใช้ในการทดลองที่ความเหมาะสมเพียงใด ซึ่งในการทดลองทุกครั้งจะต้องมีความผันแปรที่อธิบายไม่ได้ (Unexplained Variable) หรือความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นเสมอ การออกแบบการทดลองที่ดีจะต้องทำให้เกิดความผันแปรที่อธิบายไม่ได้น้อยที่สุด

$$\text{สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-Square)} = \frac{\text{ความผันแปรที่อธิบายได้}}{\text{ความผันแปรทั้งหมด}} \times 100\ \% \qquad (2\text{-}22)$$

ถ้าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-Square) ต่ำ สามารถแก้ไขได้โดย

- เพิ่มจำนวนซ้ำในการทดลอง
- ตรวจสอบหาปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้องแล้วออกแบบการทดลองใหม่
- ทำการเพิ่มปัจจัยอื่นแล้ว ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-Square) ยังต่ำอยู่แสดงว่าผลจากปัจจัยรบกวน (Noise Factor) มีมาก ต้องทำการบล็อกกิง (Blocking) เพื่อลดปัจจัยรบกวน

- การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ (Model Adequacy Checking)

จากสมการ $y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$ (2-23)

ซึ่ง μ คือ ค่าเฉลี่ย

τ คือ อิทธิพลที่เกิดจากปัจจัย

ε คือ ความคลาดเคลื่อน

ในการออกแบบการทดลองส่วนใหญ่ มักตั้งสมมติฐานในการวิเคราะห์จากการที่ y ตัวแปร มีการกระจายแบบแจกปกติ (Normal Distribution) ดังนั้น y จะมีการกระจายแบบนี้ได้ ต้องให้ ε มีการกระจายแบบปกติด้วย และต้องเป็นการกระจายที่เป็นอิสระ $\varepsilon_{ij} \sim NID(o, \sigma^2)$

การตรวจสอบ ε_{ij} มี 3 ขั้นตอน คือ

- การตรวจสอบการกระจายว่าเป็นแบบแจกแจงปกติ (Normal Distribution) หรือไม่ โดยใช้การทดสอบแบบไคร์สแควร์ (χ^2 – Goodness of Fit Test),การทดสอบแบบโคโมโกรอฟ – สเมอร์นอฟ (Kolgomorov-Smirnov Test) และ การทดสอบโดยใช้กระดาษตรวจสอบการแจกแจงปกติ (NOPP)
- การตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) โดยใช้แผนภูมิการกระจาย (Scatter Plot) แล้วดูลักษณะการกระจายของจุดที่แทนข้อมูลบนแผนภูมิว่าเป็นรูปแบบอิสระหรือไม่
- การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน (Variance Stability) โดยใช้แผนภูมิการกระจายค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) ในแต่ละระดับของปัจจัย ถ้ารูปร่างของการกระจายของข้อมูลที่ออกมาไม่เป็นลักษณะของการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของความแปรปรวน (Megaphone) แสดงว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน

- **การทดสอบสมมติฐาน** (Hypothesis Testing)

การทดสอบสมมติฐานเชิงสถิติ เป็นถ้อยแถลงที่เกี่ยวกับความน่าจะเป็นของตัวแปรแบบสุ่มที่มีความสัมพันธ์กับค่าพารามิเตอร์ที่มากกว่าหรือเท่ากับหนึ่งค่าพารามิเตอร์โดยสมมติฐานแบ่งได้ 2 ชนิด คือ

1). สมมติฐานที่กำหนด (Null Hypothesis) เป็นข้อสงสัยหรือข้อสมมติเกี่ยวกับลักษณะต่างๆ ในประชากรที่ต้องการพิสูจน์ว่าจริงหรือไม่ โดยใช้สัญลักษณ์ H_o

2). สมมติฐานแย้ง (Alternative Hypothesis) เป็นข้อความหรือความคิดเกี่ยวกับพารามิเตอร์ที่หวังว่าจะเป็นโดยจะต้องมีความหมายที่แย้งกับสมมติฐานที่กำหนดโดยชัดเจน โดยใช้สัญลักษณ์ H_1 โดยโอกาสหรือความน่าจะเป็นที่จะทำการปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนด (Reject H_o) จะถูกกำหนดโดยระดับนัยสำคัญ ซึ่งเป็นโอกาสหรือความน่าจะเป็นที่น้อยมากที่ค่าพารามิเตอร์จะตกอยู่ในช่วงของการปฏิเสธสมมติฐานเป็นจริง โดยทั่วไปมักจะทำการเปลี่ยนช่วงของการปฏิเสธสมมติฐานหรือระดับความมีนัยสำคัญเป็นค่าวิกฤต เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ

หรือใช้ในการตัดสินใจว่าจะยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนด อาจเกิดความผิดพลาดได้ 2 กรณี คือ

กรณีที่ 1 ความผิดพลาดที่เกิดจากการปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนด โดยที่สมมติฐานที่กำหนดมีความถูกต้องหรือมีความเป็นจริง เรียกว่า ความผิดพลาดแบบที่ 1 (Type I Error) ซึ่งความผิดพลาดนี้คือ ระดับความมีนัยสำคัญในการตรวจสอบสมมติฐาน

กรณีที่ 2 ความผิดพลาดที่เกิดจากการยอมรับสมมติฐานที่กำหนด โดยที่สมมติฐานที่กำหนดมีความไม่ถูกต้องหรือไม่มีความเป็นจริง เรียกว่า ความผิดพลาดแบบที่ 2 (Type II Error) ซึ่งสามารถสรุปได้ดัง ตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การตัดสินใจในการทดสอบสมมติฐาน

สมมติฐานที่กำหนด	สมมติฐานที่กำหนด มีความถูกต้อง	สมมติฐานที่กำหนด ไม่มีความถูกต้อง
ยอมรับ	การตัดสินใจถูกต้อง	ความผิดพลาดแบบที่ 2
ปฏิเสธ	ความผิดพลาดแบบที่ 1	การตัดสินใจที่ถูกต้อง

โอกาสหรือความน่าจะเป็นที่จะเกิดความผิดพลาดแบบที่ 1 และแบบที่ 2 สามารถแสดงได้ดังนี้

α = P (ความผิดพลาดแบบที่ 1)

= P (ความปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนด: สมมติฐานที่กำหนดถูกต้อง)

β = P (ความผิดพลาดแบบที่ 2)

= P (การยอมรับสมมติฐานที่กำหนด: สมมติฐานที่กำหนดไม่ถูกต้อง)

โดย $1 - \beta$ = อำนาจของการทดสอบ

= P (การปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนด: สมมติฐานที่กำหนดถูกต้อง)

- **การวิเคราะห์ความแปรปรวน** (Analysis of Variance: ANOVA)

ภายหลังจากที่ได้ออกแบบการทดลอง และทำการทดลองแล้ว งานขั้นต่อไปก็คือ การนำข้อมูลที่รวบรวมได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ เพื่อทดสอบนัยสำคัญทางสถิติหรือหาแนวโน้มต่อไปโดยใช้หลักการของ ANOVA หรือ การถดถอย

การวิเคราะห์ความแปรปรวนเป็นวิธีการคำนวณแบบเลขคณิต โดยการแยกผลรวมกำลังสองทั้งหมด (Total Sum of Square: SS_T) ออกเป็นส่วนต่างๆ ตามแหล่งกำเนิดหรือสาเหตุ โดยจะวิเคราะห์ว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อการทดลองโดยพิจารณาความแตกต่าง โดยวัดความแตกต่างรวมออกมาในรูปของความแปรปรวนแล้วแตกออกมาเป็นแตกต่างย่อย ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างย่อยเหล่านั้น หากความแตกต่างใดมีค่ามากกว่า แสดงว่าปัจจัยนั้นทำให้เกิดความแตกต่างโดยมีผลต่อค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Mean Square: MS) ซึ่งเป็นตัวที่ประมาณค่าความแปรปรวนที่ดีที่สุด ซึ่ง

$$MS = \frac{ss}{df} \tag{2-24}$$

เมื่อ ss คือ ผลรวมกำลังสอง (Sum of Square)

df คือ ขั้นตอนของความอิสระ (Degree of Freedom)

สามารถอธิบายการวิเคราะห์ความแปรปรวนของแต่ละแบบการทดสอบได้ดังนี้

1). การทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized อิทธิพล Design: CRD) สามารถแยกความแปรปรวนทั้งหมดออกเป็น 2 ส่วน คือ ความแปรปรวนเนื่องจากการให้ทรีทเมนต์ต่างกัน และความแปรปรวนเนื่องจากความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

ตัวอย่างการสร้างตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบที่มีอิทธิพลเป็นค่าคงที่ (Fixed Effect Model)

ตัวแบบ: $y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$; i = 1, 2,…,a (2-25)

; j = 1, 2,…,n

คือ y_{ij} คือ ค่าสังเกตที่ j เมื่อได้รับทรีทเมนต์ i

μ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของทุกประชากร

τ_i คือ อิทธิพลอันเกิดจากทรีทเมนต์ i

ε_{ij} คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

ในการวิเคราะห์จะทำโดยการแบ่งความผันแปรทั้งหมดของค่าสังเกตออกเป็นส่วนๆ โดยจะกำหนดความผันแปรให้ทั้งหมดของค่าสังเกตในรูปของผลรวมกำลังสองทั้งหมด (The Total Sum of Squares) SS_T โดยที่

$$SS_T = \left[\sum_{i=1}^{a}\sum_{i=1}^{b} y_{ij}^2\right] - (y_{...}^2 / N) \tag{2-26}$$

$$SS_{Tr} = [\sum_{i=1}^{a} y^2\ i./n] - (y_{..}^2 / N) \quad (2\text{-}27)$$

$$SS_E = SS_T - SS_{Tr} \quad (2\text{-}28)$$

ซึ่งรายละเอียดต่างๆ ของผลรวมกำลังสองของแต่ละตัวได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.3 โดยที่ถ้าหากค่า $F_0 \leq F_{\alpha,v1,v2}$ แล้วถือว่าปัจจัยนั้นไม่มีผล สามารถยอมรับ Null Hypothesis ได้

ตารางที่ 2.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน สำหรับ One-Way ANOVA

Source of Variation (SOV)	Sum of Squares (SS)	Degree of freedom (df)	Mean Squares (MS)	F_0
Treatment	SS_{Tr}	a-1	MS_{Tr}	MS_{Tr} / MS_E
Error	SS_E	N-a	MS_E	
Total	SS_T	N-1		

2). การทดลองแบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design: RCB) สามารถแยกความแปรปรวนทั้งหมดออกเป็น 3 ส่วน คือ ความแปรปรวนเนื่องจากการให้ทรีทเมนต์ต่างกัน ความแปรปรวนเนื่องจากการบล็อก และความแปรปรวนเนื่องจากความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

ตัวอย่างการสร้างตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบที่มีอิทธิพลเป็นค่าคงที่ (Fixed Effect Model)

ตัวแบบ : $y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$; i = 1, 2,…,a (2-29)

; j = 1, 2,…,n

คือ y_{ij} คือ ค่าสังเกตที่ j เมื่อได้รับทรีทเมนต์ i

μ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของทุกประชากร

τ_i คือ อิทธิพลอันเกิดจากทรีทเมนต์ i

β_j คือ อิทธิพลอันเกิดจากบล็อกที่ j

ε_{ij} คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

ในการวิเคราะห์จะทำโดยการแบ่งความผันแปรทั้งหมดของค่าสังเกตออกเป็นส่วนๆ โดยจะกำหนดความผันแปรทั้งหมดของค่าสังเกตในรูปของผลรวมกำลังทั้งหมด (The Total Sum of Squares) SS_T โดยที่

$$SS_T = \left[\sum_{i=1}^{a}\sum_{i=1}^{b} y_{ij}^2\right] - (y_{...}^2 / N) \quad (2\text{-}30)$$

$$SS_{Tr} = \left[\sum_{i=1}^{a} y^2\ i./n\right] - (y_{..}^2 / N) \quad (2\text{-}31)$$

$$SS_B = \left[\sum_{j=1}^{b} y^2\ j./n\right] - (y_{..}^2 / N) \quad (2\text{-}32)$$

$$SS_E = SS_T - SS_{Tr} - SS_B$$

ซึ่งรายละเอียดต่างๆ ของผลรวมกำลังของแต่ละตัวได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.4 โดยที่ ถ้าหากค่า $F_0 \leq F_{\alpha,v1,v2}$ แล้วถือว่าปัจจัยนั้นไม่มีผล สามารถยอมรับ Null Hypothesis ได้

ตารางที่ 2.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน สำหรับการทดลองแบบสุ่มในบล็อก

Source of Variation (SOV)	Sum of Squares (SS)	Degree of freedom (df)	Mean Squares (MS)	F_0
Treatment	SS_{Tr}	a-1	MS_{Tr}	MS_{Tr} / MS_E
Block	SS_B	b-1	MS_B	MS_B / MS_E
Error	SS_E	(a-1)(b-1)	MS_E	
Total	SS_T	N-1		

3). การทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Experiment)

สามารถแยกความแปรปรวนทั้งหมดออกเป็นความแปรปรวนเนื่องจากปัจจัยความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

ตัวอย่างการสร้างตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนกรณีที่มีตัวแปร 2 ตัว ของตัวแปรแบบที่มีอิทธิพลเป็นค่าคงที่ (Fixed Effect Model)

ตัวแบบ : $Y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$ (2-33)

โดย i = 1, 2,…,a

j = 1, 2,…,b

k = 1, 2,…,n

คือ Y_{ij} คือ ค่าสังเกตที่ j ในทรีทเมนต์ i

μ คือ พารามิเตอร์ คือค่าเฉลี่ยของค่าสังกตทั้งหมด

τ_i คือ อิทธิพลของปัจจัย A ที่เกิดจากทรีทเมนต์ i

β_j คือ อิทธิพลของปัจจัย B ที่เกิดจากทรีทเมนต์ j

$(\tau\beta)_{ij}$ คือ อิทธิพลร่วมของปัจจัย A ที่เกิดจากทรีทเมนต์ i และปัจจัย B ที่เกิดจากทรีทเมนต์ j

ε_{ijk} คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

$$SS_T = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{n} y_{ijk}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn} \quad (2\text{-}34)$$

$$SS_A = \frac{1}{bn}\sum_{i=1}^{a} y_{i..}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn} \quad (2\text{-}35)$$

$$SS_B = \frac{1}{an}\sum_{j=1}^{b} y_{.j.}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn} \quad (2\text{-}36)$$

$$SS_{subtotals} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b} y_{ij}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn} \quad (2\text{-}37)$$

$$SS_{AB} = SS_{subtotals} - SS_A - SS_B \quad (2\text{-}38)$$

$$SS_E = SS_T - SS_{AB} - SS_A - SS_B \quad (2\text{-}39)$$

ซึ่งรายละเอียดต่างๆ ของผลรวมกำลังสองของแต่ละตัวได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.5 โดยที่ถ้าหากค่า $F_0 \leq F_{\alpha,v1,v2}$ แล้วถือว่าปัจจัยนั้นไม่มีผล สามารถยอมรับ Null Hypothesis ได้

ตารางที่ 2.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวน สำหรับ Two-Fixed Effect Model

Source of Variation (SOV)	Sum of Squares (SS)	Degree of freedom (df)	Mean Squares (MS)	F_0
A	SS_A	a-1	MS_A	MS_A / M_{SE}
B	SS_B	b-1	MS_B	MS_B / M_{SE}
AB	SS_{AB}	(a-1)(b-1)	MS_{AB}	MS_{AB} / M_{SE}
Error	SS_E	ab(n-1)	M_{SE}	
Total	SS_T	Abn-1		

2.1.2.6) ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase)

- **การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ**

(กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ 2549ก.)

กล่าวว่า ในการบริหารคุณภาพที่ดีนั้น นอกเหนือจากการดำเนินการควบคุมคุณภาพเพื่อรักษาระดับคุณภาพให้อยู่ในสภาวะที่มีเสถียรภาพแล้ว ยังมีความจำเป็นต้องดำเนินการปรับปรุงคุณภาพอย่างต่อเนื่อง เพื่อรองรับต่อความต้องการของลูกค้าที่เปลี่ยนแปลงไปเสมอ ทั้งด้านคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ ต้นทุนการผลิต (หรือความมีประสิทธิภาพของกระบวนการทางธุรกิจ) และเวลาในการส่งมอบผลิตภัณฑ์ให้กับลูกค้า โดยกลไกสำคัญที่ผลักดันให้เกิดการปรับปรุงคุณภาพนี้นอกเหนือจากความต้องการของลูกค้าแล้ว ยังมีผลมาจากความสำเร็จในการปรับปรุงคุณภาพขององค์กรคู่แข่งทางธุรกิจด้วยอย่างไรก็ตาม การปรับปรุงคุณภาพจะต้องดำเนินการจากการที่ต้องประเมินผลถึงความสามารถของกระบวนการที่เป็ นอยู่ในปัจจุบันก่อน เพื่อการพิจารณาว่ามีการควบคุมกระบวนการดีหรือไม่ (หรือการพิจารณาว่ากระบวนการอยู่ในสภาวะที่มีเสถียรภาพหรือไม่) แล้วจึงพิจารณาถึงระดับความสามารถของกระบวนการทั้งด้านความสามารถเชิงปริมาณ (Capacity) และความสามารถเชิงคุณภาพ (Capability) และเมื่อทราบความสามารถของกระบวนการแล้วจึงทำการกำหนดถึงแนวทาง (Approach) และโครงการ(Project) ที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงคุณภาพต่อไปในการปรับปรุงคุณภาพจึงมีความจำเป็นต้องกำหนดตัววัดที่จะทำให้ผู้เกี่ยวข้องได้ตระหนักถึงการลดความผันแปรอย่างต่อเนื่องรอบค่าเป้ าหมาย ด้วยเหตุ

ดังกล่าวนี้เอง Osuga (1964) จึงได้กำหนดให้ประเมิน ความสามารถของกระบวนการให้อยู่ในรูปของความผันแปรของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการผลิต ซึ่งถือเป็นดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Index: PCI) โดยนิยามว่า PCI = ความคลาดเคลื่อนอนุโลมที่ยอมให้เกิดความสามารถของกระบวนการโดย Osuga (1964) เรียก PCI สำหรับการศึกษาความสามารถของกระบวนการในระยะสั้นว่าดัชนี Cp และดัชนีความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการในระยะยาว จะแทนด้วย Pp โดย

ในการคำนวณค่าดัชนีแสดงความสามารถของกระบวนการนั้น ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์การวัดคุณภาพขอกระบวนการดังนี้

1). ต้องการวัดความสามารถของกระบวนการว่ากระบวนการนั้นมีความสามารถมากน้อยแค่ไหน(Process Capability Potential) โดยมีค่าดัชนีเป็น Cp (C ย่อมาจาก Capability หรือความสามารถ ส่วน p ย่อมาจาก Process หรือกระบวนการ) ซึ่งไม่สนใจว่าค่าเฉลี่ยหรือตำแหน่งของกระบวนการ (X bar) จะอยู่ตรงกลางขอบเขตที่กำหนดหรือไม่

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \qquad (2\text{-}40)$$

เมื่อ USL = ขีดจำกัดข้อกำหนดบน

LSL = ขีดจำกัดข้อกำหนดล่าง

σ^2= ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล

สมมติฐานสำคัญ

- ข้อมูลต้องมีการแจกแจงแบบปกติ
- กระบวนการผลิตต้องอยู่ในควบคุม
- ในกรณีของข้อกำหนด 2 ด้าน ค่าเฉลี่ยของกระบวนการจะอยู่กึ่งกลางระหว่างขีดจำกัดข้อกำหนดบนและขีดจำกัดข้อกำหนดล่าง

เนื่องจากค่า Cp ไม่ได้บอกถึงการเปลี่ยนแปลงไปจากจุดกึ่งกลาง จึงต้องคำนวณค่า Cpk ซึ่งเป็นอัตราส่วนสมรรถภาพกระบวนการที่สามารถบอกถึงการเปลี่ยนแปลงของค่ากลางจากเป้าหมายได้ โดย Cpk คือ ค่าอัตราส่วนสมรรถภาพกระบวนการด้านที่ใกล้กับข้อกำหนดมากที่สุด

2). ต้องการวัดความสามารถของกระบวนการพร้อมด้วยตำแหน่งของค่าเฉลี่ยของกระบวนการ ว่าตั้งอยู่ตรงกลางของขอบเขตกำหนดหรือไม่สำหรับกระบวนการที่กำลังดำเนินอยู่

โดยวัดค่าดัชนีเป็น Cpk ซึ่งเป็นค่าน้อยที่สุดของดัชนีแสดงความสามารถของกระบวนการที่เป็นขอบเขตกำหนดด้านล่าง Cpl หรือ ขอบเขตด้านบน Cpu

$$Cpk = \min (C_{pu}, C_{pl}) \qquad (2\text{-}41)$$

ถ้า Cp = Cpk หมายความว่า กระบวนการอยู่ตรงกับค่าเป้ าหมาย แต่ถ้า Cpk < Cp แสดง ว่าค่ากลางของกระบวนการไม่ได้อยู่ที่ค่าเป้าหมาย ความหมายของค่าดัชนีแสดงความสามารถของกระบวนการ

- ถ้าค่าดัชนี Cp และ Cpk ยิ่งมีค่ามากกว่า 1.33 แสดงว่ากระบวนการมีความผันแปรน้อยหรือมีความมั่นคงสูง

- ถ้าค่าดัชนี Cp กับค่า Cpk มีค่าไม่เท่ากัน แสดงว่าค่าเฉลี่ยของกระบวนการไม่อยู่ตรงกลางของขอบเขตกำหนด

- ค่า Cpk มีความสัมพันธ์กับอัตราการเกิดของเสียในรูป PPM หรือจำนวนของเสียเป็นล้าน ดังนี้

Cpk	Ppm
0.67	45,600
1.00	2,700
1.33	64
1.67	1

2.1.2.7) **ขั้นตอนการควบคุมระบวนการผลิต** (Control Phase)

- **การควบคุมกระบวนการโดยเทคนิคสถิติ** (Statistical Process Control: SPC)

(เทวินทร์ สิริโชคชัยกุล,2540)

มีวัตถุประสงค์เพื่อ การศึกษาถึงความสามารถของกระบวนการที่ดำเนินการและแนวโน้มของการดำเนินการว่ามีประสิทธิภาพหรือไม่ โดยการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการ (เกิดความผันแปร) เพื่อทราบถึงแนวโน้มและข้อบกพร่อง พร้อมทั้งหาทางปรับแก้ให้กระบวนการกลับสู่สภาพที่ต้องการ โดยความผันแปรที่เกิดขึ้น สามารถแบ่งได้ออกเป็น ความผันแปรแบบธรรมชาติ และความผันแปรแบบไม่ธรรมชาติ

ทั้งนี้ ความผันแปรทั้ง 2 แบบ มีสาเหตุของการเกิดและวิธีการปฏิบัติการแก้ไขที่แตกต่างกันซึ่งความผันแปรแบบไม่ธรรมชาติ เป็นสิ่งที่ไม่พึงประสงค์ในกระบวนการ และต้องการให้เกิดขึ้นน้อยที่สุดหรือพยายามขจัดออกไป ให้เหลือแต่ความผันแปรแบบธรรมชาติ เพื่อให้กระบวนการอยู่

ภายใต้การควบคุมได้อย่างเป็นสถิติ

ตารางที่ 2.6 ชนิดของความผันแปร

ชนิดของความผันแปร	ลักษณะของกระบวนการ	การปฏิบัติแก้ไข
ความผันแปรแบบธรรมชาติ	มีความมั่นคง	แก้ไขที่ระบบโดยฝ่ายบริหาร
ความผันแปรแบบไม่ธรรมชาติ	ไม่มีความมั่นคง	แก้ไขที่หน้างานได้โดยพนักงาน

ในการควบคุมความผันแปรของกระบวนการ ความผันแปรแบบไม่ธรรมชาติเป็นสิ่งที่ไม่พึงประสงค์ให้เกิดขึ้นในกระบวนการ ซึ่งเทคนิคในการควบคุมกระบวนการทั้งการป้องกัน ทราบถึงประสิทธิภาพกระบวนการ และทำให้เกิดการปรับปรุงแก้ไขอย่างต่อเนื่อง ได้แก่ แผนภูมิควบคุมซึ่งเลือกใช้ตามชนิดของข้อมูล ลักษณะกระบวนการ และผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 2.7 ชนิดของแผนภูมิควบคุม

ลักษณะของข้อมูล	ชนิดของแผนภูมิควบคุม	ขนาดของตัวอย่างหรือค่าที่วัดแต่ละครั้งที่เหมาะสม	ลักษณะการใช้งาน
สำหรับข้อมูลตัวแปร	I-MR Chart	1	ใช้กับผลิตภัณฑ์เนื้อเดียวกัน
	X-R Chart	น้อยกว่า 9	ใช้กับข้อมูลไม่สะดวกในการคำนวนค่าเบี่ยงเบนมาตราฐาน
	X-S Chart	มากกว่า 9	ใช้กับข้อมูลสะดวกในการคำนวนค่าเบี่ยงเบนมาตราฐาน
สำหรับข้อมูลคุณสมบัติ	P Chart หรือ nP Chart	จำนวนตัวอย่างคงที่	สนใจการควบคุมชิ้นงานเสีย/ไม่เป็นตามข้อกำหนด
		จำนวนตัวอย่างไม่คงที่	
	U Chart	จำนวนตัวอย่างคงที่	สนใจการควบคุมจำนวนตำหนิ หรือจำนวนข้อบกพร่อง
		จำนวนตัวอย่างไม่คงที่	

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การนำวัสดุของเสีย มาใช้ให้เกิดประโยชน์ เป็นรูปแบบที่มีการทำโดยแพร่หลายทั่วไป และมีตัวอย่างอยู่หลายงานวิจัย ซึ่งงานวิจัยที่มีความใกล้เคียงกับงานวิจัยนี้ ในแง่ต่างๆมีดังนี้ ในด้านการวัตถุดิบชนิดใกล้เคียงกัน De Juan,M.S (2009) ได้ทำการวิจัยผลกระทบของเศษมอร์ต้าร์ต่อคุณสมบัติของวัสดุมวลรวมที่ถูกนำกลับมาใช้ใหม่ในอุตสาหกรรมซีเมนต์โครงสร้างอาคารซึ่งได้ทำการสรุปว่าส่วนประกอบที่เป็นมอร์ต้าร์จะก่อให้เกิดผลร้าย คือ อัตราการดูดซึมน้ำ, ความหนาแน่น, ความต้านทานการศึกกร่อน และ ส่วนประกอบซัลเฟต การทดสอบทำในหลายอัตราส่วนทำให้สามารถคาดการณ์ความสัมพันธ์ในการนำมาใช้งานได้ ในแง่ของการนำของเสียที่มีองค์ประกอบหลักเป็นซีเมนต์กลับมาใช้งาน ซึ่งเป็นของเสียชนิดใกล้เคียงกับงานวิจัย ดังเช่นของ ณัฐเศรษฐ์ สมเสน (2541) ได้ทำการประยุกต์ใช้ของเสียจากการผลิตกระเบื้องซีเมนต์ใยหิน สำหรับผลิตภัณฑ์หมอนคอนกรีตรองกระเบื้อง เพื่อศึกษาความเป็นไปได้เชิงเทคนิค และ เศรษฐศาสตร์ในการนำ Sludge Waste ไปใช้ในการผลิตหมอนรองกระเบื้อง โดยการขึ้นรูปชิ้นงานตัวอย่างทดสอบส่วนผสมคอนกรีต โดยการใช้ Sludge Waste ทดแทนซีเมนต์, ทราย, หินเกร็ด และ เพิ่มในส่วนผสมคอนกรีตปกติ และ ปรับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ในการผลิตเท่ากับ รวมทั้งระยะเวลาในการบ่มคอนกรีต ซึ่งมีหัวข้อการทดสอบ ได้แก่ กำลังอัด กำลังดัด ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำ การคัดเลือกส่วนผสมและกำหนดเงื่อนไขที่เหมาะสมในการผลิตสามารถใช้ Sludge Waste และลดต้นทุนวัตถุดิบและค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสียได้สูงสุด ในแง่การงานวิจัยการนำวัตถุดิบของเสียกลับมาผสมเป็นเป็นส่วนหนึ่งของชิ้นงานใหม่ ดังเช่น สรียา กสิกพันธ์ (2543) ได้ทำการนำเศษแผ่นพาร์ทิเคิลจากการตัดริมมาเป็นส่วนผสมในการผลิตแผ่นพาร์ทิเคิล เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงและความคงขนาดของแผ่นพาร์ทิเคิล และ หาเงื่อนไขส่วนผสมที่เหมาะสมในการนำเศษพาร์ทิเคิลจากการตัดริมมาเป็นส่วนผสมในการผลิตแผ่นพาร์ทิเคิล โดยอาศัยหลักออกแบบการทดลอง เพื่อเพิ่มมูลค่าของเศษแผ่นพาร์ทิเคิลที่เหลือจากการใช้ประโยชน์ โดยแผ่นพาร์ทิเคิลที่ผลิตได้ต้องมีคุณภาพตรงตามมาตรฐาน และเหมาะสมต่อการใช้งาน ซึ่งเมื่อนำสภาวะการทดลองที่ได้ไปทดลองผลิตจริงพบว่าได้ผลของค่าความแข็งแรงและความคงขนาดใกล้เคียงกับที่ได้ในการทดลอง

สำหรับแนวทางการดำเนินงานวิจัยที่สามารถใช้เศษกระเบื้องบดได้อย่างบูรณาการ กล่าวคือ ตั้งแต่การกำหนดวัตถุประสงค์ จนถึงการสร้างมาตราฐานการการใช้งานนั้น แนวทางซิกซิกมาตาม 5 Phase ที่สำคัญ คือ Define Phase, Measurement Phase, Analysis Phase, Improvement Phase และ Control Phase สามารถทำการตอบสนองได้ ดังเช่น สามารถทำการ

ประยุกต์ใช้ได้กับอุตสาหกรรมที่หลากหลาย ดังนี้ อุตสาหกรรมยานยนต์ ดังเช่นงานวิจัยของ มาร์ติน อัศวลาภสกุล (2543) ได้ใช้กรรมวิธีทางซิกซ์ซิกม่าเพื่อลดปัญหาสีเป็นหลุมที่แผนกพ่นสีในอุตสาหกรรมยานยนต์ เพื่อลดปัญหาสีเป็นหลุมตามขั้นตอนการเลือกปัญหา,การวัด,การวิเคราะห์, การปรับปรุง และ การควบคุม (DMAIC) การแก้ปัญหาเริ่มจากการศึกษากระบวนการทำงานเพื่อหาปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลให้เกิดปัญหาสีเป็นหลุมควบคู่ไปกับการวิเคราะห์ระบบการวัดเพื่อศึกษาและ ปรับปรุงระบบการวัดจนอยู่ในระดับยอมรับได้ จากนั้น ก็นำปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลกระทบต่อปัญหาสีเป็นหลุมมาทำการวิเคราะห์ด้วยกระบวนการทางสถิติ และวิธีการทดสอบต่างๆจนพบว่าสาเหตุหลักมาจากสีเคลือบใส (Clear Coat) จึงได้ทำการปรับปรุงกระบวนการผลิต และ การตรวจรับสี Clear Coat และ การใช้แผนภูมิการควบคุมรอยตำหนิต่อหน่วย ในการควบคุมที่แผนกพ่นสี หรือ ของ ทิชา แสนสม (2551) เรื่องการลดของเสียที่เป็นเม็ดฝุ่นในกระบวนการพ่นสีกันชน หน้าพลาสติกของรถยนต์โดยใช้แนวทางซิกซ์ ซิกมา โดยมี 5 ขั้นตอน คือ การนิยามปัญหา การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ และ การควบคุมกระบวนการตามลำดับ การดำเนินการในการปรับปรุงคุณภาพนั้น เริ่มจากการศึกษากระบวนการทำงานเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการเกิดปัญหาเม็ดฝุ่น โดยจะทำไปพร้อมกับการศึกษาความแม่นยำและ ความถูกต้องของระบบการวัด การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้วยแผนภาพแสดลเหตุ และผล และคัดเลือกตัวแปรที่จะนำมาศึกษาโดยการใช้เทคนิคลักษณะบกพร่องและผลกระทบ(FMEA) จากนั้นจึงนำเอาปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อปัญหามาทำการทดสอบด้วยวิธีทางสถิติ และหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของกระบวนการโดยการประยุกต์การออกแบบการทดลอง และควบคุมกระบวนการผลิตเพื่อป้องกันปัญหาไม่ให้เกิดซ้ำอีก อุตสาหกรรมเคมีภัณฑ์ รณภพ กิตติอัครเสถียร (2550) เรื่องการลดต้นทุนของเสียในกระบวนการผลิตไดออกทิลพทาเลตโดยประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกมา ซึ่งสามารถแบ่งเป็น 5 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการกำหนดปัญหา ขั้นตอนการวัด ขั้นตอนการปรับปรุงและขั้นตอนการควบคุม ในขั้นตอนแรกได้ศึกษาสภาพของปัญหา กำหนดเป้าหมายและ ขอบเขตของการปรับปรุง ซึ่งมุ่งเน้นไปที่การลดต้นทุนของเสียอันเนื่องมาจากคุณภาพด้านสีและความต้านทานกระแสไฟฟ้า ในขั้นตอนการวัด ได้ทำการหาค่าความสามารถกระบวนการและศึกษาความถูกต้อง และ แม่นยำของระบบการวัด โดยใช้วิธีการสอบเทียบ และประเมินด้านรีพีททะบิลตี้ของระบบการวัด จากนั้นวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาโดยการระดมสมองและใช้แผนภูมิก้างปลา จากนั้นลำดับความสำคัญของสาเหตุโดยประยุกต์วิธีการวิเคราะห์ข้อบกพร่อง เมื่อสามารถระบุถึงสาเหตุหลักของปัญหาได้แล้วขั้นตอนต่อไป คือ การทดสอบความนัยสำคัญของสาเหตุและปรับปรุงเพื่อลดของเสียจากกระบวนการผลิตโดยการทดลอง เพื่อกำหนดค่าที่

เหมาะสมของปัจจัยการผลิตที่มีนัยยะสำคัญ โดยการใช้หลักการออกแบบการทดลองวิศวกรรม ในขั้นตอนการควบคุมได้เก็บข้อมูลเพื่อการยืนยันผลการทดลอง และ จัดทำมาตราการควบคุมและป้องกันปัญหา ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ของ ภัทรา อายุวัฒน์ (2546) ได้ทำการวิจัยการการลดของเสียที่เกิดจากค่าการรับน้ำหนักกดของชุดหัวอ่านสำเร็จ ไม่ได้ตามข้อกำหนดในกระบวนการประกอบหัวอ่านโดยใช้แนวทางซิกซ์ ซิกม่า โดยทำการศึกษาหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าการรับน้ำหนักกด (Gramload) ของชุดหัวอ่านสำเร็จ และหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยดังกล่าวในการผลิตที่จะทำให้ปริมาณของเสียลดลง จากนั้นทำการควบคุมปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้งสี่ด้วยกระบวนการเชิงสถิติในขั้นตอนการควบคุมกระบวนการจากข้อมูลหลังการปรับปรุงกระบวนการพบว่า มีปริมาณของเสียลดลงได้จริง หรือ งานวิจัยของ ศิริวดี เอื้ออรัญโชติ (2546) เรื่องการลดการปนเปื้อนจากกระบวนการผลิตหัวอ่าน-เขียนสำหรับคอมพิวเตอร์โดยประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ซิกม่า ซึ่งขั้นตอนเริ่มต้นของการศึกษาได้ทำการนิยามปัญหา ศึกษาความแม่นยำและความถูกต้องของระบบการวัด การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาทำโดยแผนภาพแสดงเหตุและผล และเชื่อมโยงเพื่อหาความรุนแรงของปัญหาด้วยวิธีการ FMEA หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์สาเหตุต่างๆ เหล่านั้นว่ามีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อกระบวนการผลิตหัวอ่าน-เขียน เมื่อสามารถระบุถึงสาเหตุของปัญหา ขั้นตอนต่อไปคือการปรับปรุงเพื่อลดสัดส่วนของเสียเนื่องจากคราบสกปรก (Contamination Defect Proportion)โดยใช้หลักการทางสถิติวิศวกรรมเพื่อเป็นการยืนยันผลการทดลอง สุดท้ายคือการจัดทำมาตราการควบคุมและป้องกันปัญหา อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ ดังเช่นงานวิจัยของ และ งานวิจัยของ อรวรรณ พิทักษ์เกียรติกุล (2551) เรื่องการปรับปรุงกระบวนการทดสอบตัวรับส่งสัญญาณทางแสงในโรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งปัญหาที่พบ คือ ผลิตภาพการผลิตจากกระบวนการทดสอบหลักมีค่าต่ำ จึงได้เลือกผลิตภัณฑ์ที่นำมาศึกษาโดยเลือก 1 ใน 3 models หลัก และ คัดเลือกตัวแปรที่จะนำมาศึกษาโดยการใช้เทคนิคลักษณะของบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) และเทคนิคการวิเคราะห์ปัญหาและผล (Cause and Effect Diagram) จะได้ปัจจัยที่ส่งผลต่อการทดสอบล้มเหลว คือการเกิดฝุ่นและรอยขีดข่วนบนเลนส์ ซึ่งมีสาเหตุเกิดจากวิธีการทำความสะอาดไฟเบอร์และฝุ่นจากที่พักสายไปเบอร์ (LC hokder) อุษณีย์ ถิ่นเกาะแก้ว (2545) การลดของเสียจากกระบวนการผลิตกระป๋องโดยประยุกต์ใช้วิธีการ Six Sigma ขั้นตอนจะประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอนที่ใช้เป็นหลักในการวิเคราะห์และแก้ไขปัญหา คือ การวัดเพื่อกำหนดหาสาเหตุของปัญหา (Measure) การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze) การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve) การควบคุมตัวแปรต่างๆ (Control) ในแต่ละขั้นตอนของการสำรวจผลวิจัยสามารถระบุสาเหตุของปัญหาและทำการแก้ไขซึ่ง ขั้นตอนเริ่มต้นของ

การศึกษาได้ทำการศึกษาความแม่นยำและความถูกต้องของระบบการวัดการ วิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาทำโดยแผนภาพแสดงเหตุและผล และเชื่อมโยงเพื่อหาความรุนแรง ของปัญหาด้วยวิธีการ FMEA หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์สาเหตุต่างๆเหล่านั้นว่ามีผลกระทบอย่าง มีนัยสำคัญเมื่อสามารถระบุถึงสาเหตุของปัญหาขั้นตอนต่อไป คือ การปรับปรุงเพื่อลดสัดส่วนของ เสียที่เกิดขึ้น โดยอาศัยหลักการทางสถิติวิศวกรรมเพื่อการยืนยันผลการทดลอง สุดท้ายคือการจัดทำมาตรการควบคุมและป้องกันปัญหาพบว่าสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตกระป๋องลดลงจริง หรืองานวิจัยของ สุชาติ แซ่แต้ (2548) การปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูก เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อแรงเสียดทาน (Friction) ของกล่องกระดาษลูกฟูก ซึ่งเป็นข้อกำหนดด้านผลิตภัณฑ์ของลูกค้าและหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยดังกล่าวในการผลิตที่จะทำให้ค่าแรงเสียดทานดีขึ้น ขั้นตอนการวิจัยจะดำเนินตามขั้นตอนออกแบบการทดลองทั้ง 7 ขั้นตอน โดยการเริ่มนิยามปัญหาด้วยผังก้างปลา (Cause and Effect Diagram) การเลือกปัจจัย ระดับและการเลือกตัวแปรตอบสนองคือแรงเสียดทาน การออกแบบการทดลองแบบ 2^{k-p} Fraction Factorial design Resolution IV การดำเนินการทดลอง การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ การสรุปผลและการทดสอบเพื่อยืนยันผล ประกอบด้วย การทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองและการควบคุมกระบวนการผลิตจริง ซึ่งผลสามารถลดปริมาณของเสียได้จริง อุตสาหกรรมเลนส์ ธีรพร เสนพรหม (2550) การลดแม่แบบแก้วเสียในกระบวนการผลิตเลนส์พลาสติกโดยใช้แนวคิดซิกซ์ ซิกม่า เพื่อลดของเสียจากข้อตำหนิประเภทรอยขีดข่วนของแม่แบบแก้วที่มีราคาสูง และ ไม่สามารถซ่อมแก้ไขได้เมื่อเกิดรอยตำหนิ การดำเนินงานวิจัยประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอนตามระยะของซิกซ์ ซิกมา เริ่มจากนิยามปัญหา กำหนดเป้าหมาย และ ขอบเขตของการปรับปรุง ต่อมาระยะการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหาได้ทำการวิเคราะห์ทั้งความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัด และทำการพิจารณาความสามารถของกระบวนการผลิตในปัจจุบัน จากนั้นทำการระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่อาจมีผลต่อการเกิดรอยขีดข่วนบนแม่แบบโดยใช้แผนภาพแสดงสาเหตุและผล และการวิเคราะห์ลักษณะของข้อบกพร่อง และ ผลกระทบ จากนั้นในระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาได้ทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสม และ ระยะสุดท้ายคือระยะการติดตามควบคุม ได้ทำการทดสอบยืนยันผลเป็นเวลา 1 เดือน และ จัดทำแผนควบคุมโดยประยุกต์ใช้เครื่องมือคุณภาพที่เหมาะสมในการตรวจติดตามและควบคุมทั้งปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนองเพื่อรักษามาตราฐานหลังการปรับปรุง จากผลการดำเนินการอสดงให้เห็นสัดส่วนการลดของเสียได้จริง อุตสาหกรรมการโลหะ ของ วสันต์ พุกผาสุก (2551) การลดของเสียจากกระบวนการชุบโครเมียม

โดยประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกม่า : กรณีศึกษาบริษัทในอุตาหกรรมชุบโครเมียม โดยดำเนินงานจะเริ่มจากขั้นตอนการกำหนดปัญหาที่เกิดขึ้นโดยระบุถึงขอบเขตปัญหาที่จะทำการแก้ไขและกำหนดตัวชี้วัด การปรับปรุงกระบวนการโดยอาศัยการวัดความสามารถกระบวนการพบว่าการเกิดเม็ดหรือตามดบนผิวการใช้งานเป็นเหตุทำให้เกิดของเสียมากที่สุด ขั้นตอนที่ 2 จะเป็นการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหาโดยการสร้างแผนที่กระบวนการทำให้ทราบความสัมพันธ์ของปัจจัยแต่ละงานในกระบวนการจากนั้นทำการวิเคราะห์สาเหตุทำการให้เกิดปัญหาโดยสร้างแผนภาพสาเหตุและผล ซึ่งจะนำมาเชื่อมโยงกับค่าระดับความเสี่ยงที่ได้จากการวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการเพื่อค้นหาสาเหตุที่น่าจะมีผลกระทบกับปัญหามากที่สุด จากนั้นจะศึกษาระบบการวัดของพนักงานตรวจสอบเพื่อเพิ่มความเม่นยำและความถูกต้อง ขั้นตอนที่ 3 เป็นการวิเคราะห์สาเหตุที่มีผลกระทบกับค่าความหยาบผิวชิ้นงานโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนและนำมาหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมโดยเทคนิคการออกแบบการทดลองและหาพื้นที่ตอบสนอง ขั้นตอนสุดท้ายจะดำเนินการควบคุมตัวแปรต่าง โดยอาศัยคู่มือการปฏิบัติงานและเทคนิคการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ

และ เนื่องจากงานวิจัยนี้มีส่วนหนึ่งที่สำคัญยิ่ง คือ การหาช่วงพารามิเตอร์การผลิตที่เหมาะสม เมื่อมีการใช้เศษกระเบื้องบด ซึ่งเครื่องมือที่สำคัญที่สามารถบรรลุวัตถุประสงค์นี้ คือ การออกแบบการทดลอง (Design and Analysis of Experiment) ดังที่สามารถใช้ได้กับกรณี และอุตสาหกรรมที่หลากหลาย ในอุตสาหกรรมคอนกรีต ดังเช่น ฆนนัช พระพุทธคุณ (2552) ได้ทำการศึกษาหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จโดยใช้วิธีการออกแบบการทดลอง เพื่อศึกษาหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการผสมคอนกรีต และเป็นแนวทางในการลดส่วนเผื่อปูนซีเมนต์ โดยผู้วิจัยใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบ General Factorial Designซึ่งประกอบด้วย 4 ปัจจัยหลักได้แก่ ขนาดของหิน ขนาดของทราย อัตราส่วนผสมมวลรวม และระยะเวลาการบ่มคอนกรีต โดยทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 6 ครั้ง และใช้วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ผลการศึกษาพบว่าทุกปัจจัยมีผลต่อการรับกำลังคอนกรีตอย่างมีนัยสำคัญ (P-value < 0.05) และสัดส่วนที่เหมาะสมสำหรับคอนกรีตกำลังอัดที่ 240 ถึง 250 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ควรใช้หินขนาด 1 นิ้ว ทรายแบบหยาบ อัตราส่วนผสมมวลรวมเท่ากับ 0.42 และใช้เวลาในการบ่มคอนกรีต 7 วัน จากผลการทดลองดังกล่าวทำให้โรงงานได้ทราบถึงปัจจัยที่เหมาะสมและสามารถนำไปขยายผลเพื่อลดส่วนเผื่อปูนซีเมนต์ ในอุตสาหกรรมแผ่นวงจร สุรพล สุรบรรเจิดพร (2542) การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเชื่อมดีบุก-ตะกั่วบนแผ่นวงจรพิมพ์ ด้วยเครื่องเชื่อมอัตโนมัติโดยการออกแบบการทดลอง เพื่อลดจุดบกพร่องของรอย

เชื่อม โดยทำการศึกษาปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัย คือ ความเร็วสายพาน อุณหภูมิในส่วนการอบความร้อน ค่าความถ่วงจำเพาะของฟลักซ์ และลักษณะการไหลของโลหะผสมโซลเดอร์ จากผลการวิจัยพบว่า ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05 ปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลต่อจำนวนจุดบกพร่องคือลักษณะการไหลของโลหะผสมโซลเดอร์ และความเร็วสายพาน ในการทดลองค่าของตัวแปรที่ทำให้เกิดผลทางคุณภาพที่ดี คือ การปรับลักษณะการไหลของโลหะผสมโซลเดอร์ให้มีการเคลื่อนที่ทั้งสองด้าน และความเร็วของสายพานเท่ากับ 108 เซนติเมตรต่อนาที ซึ่งจะสามารถลดจำนวนจุดบกพร่องลงได้ ในอุตสาหกรรมเหล็ก วิชาญ วรรณา (2545) ได้ทำการวิจัยปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเหล็กปลายสั้นสำหรับกระบวนการหล่อเหล็กแท่งแบบต่อเนื่อง โดยวิธีการออกแบบการทดลอง งานวิจัยนี้เริ่มต้นจากการพิจารณาหาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเหล็กปลายสั้นโดยใช้การระดมสมอง ทำให้สามารถเลือกปัจจัยทั้งหมด 3 ปัจจัยที่น่าจะมีผลอย่างมาก ปัจจัยเหล่านี้ประกอบด้วย (1) อัตราการไหลของน้ำหล่อเหล็กแท่งช่วงที่หนึ่ง (2) ความเร็วในการหล่อเหล็กแท่ง และ (3) อุณหภูมิน้ำเหล็กในทันดิช โดยใช้แผนการทดลอง 2k แฟคทอเรียลในการทดลองเบื้องต้นโดยทุกระดับของปัจจัย 2 ระดับ เพื่อตัดปัจจัยที่ไม่น่าจะมีผลต่อสิ่งที่ต้องการศึกษาออกไป จากผลการทดลองพบว่าปัจจัยทั้ง 3 ชนิดมีผลต่อการเกิดเหล็กปลายสั้น การทดลองแบบแฟคทอเรียลได้ถูกนำมาใช้อีกครั้ง โดยเพิ่มระดับของปัจจัยเป็น 3 ระดับเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดเหล็กปลายสั้นที่มีความยาวน้อยที่สุดผลการทดลอง พบว่าสภาวะที่เหมาะสม สามารถลดความยาวของเหล็กปลายสั้นลงได้ หรืองานวิจัยของ วีรเทพ เฉลิมสมิทธิ์ชัย (2550) ได้ทำการวิจัยการศึกษาปริมาณธาตุที่เหมาะสมในอุตสาหกรรมการผลิตเหล็กดิบโดยวิธีการออกแบบการทดลอง เพื่อลดความบกพร่องในการผลิตเหล็กลวดโดยประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง เพื่อศึกษาปริมาณธาตุที่จะทำให้เกิดความบกพร่องของเหล็กดิบให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด จากผลการทดลองเบื้องต้นโดยการใช้ Factorial Design (25) ในการออกแบบการทดลองซึ่งมีปัจจัย 5 ปัจจัย พบว่า ปริมาณคาร์บอน ปริมาณแมงกานีส ปริมาณกำมะถัน และปริมาณซิลิกอน มีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงของเหล็กลวดอย่างมีระดับนัยสำคัญที่ระดับ α = 0.05 ส่วนปริมาณฟอสฟอรัส ไม่มีระดับนัยสำคัญต่อค่าความแข็งแรงของเหล็กลวด เมื่อนำปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงของเหล็กลวดมาทำการออกแบบการทดลองอีกครั้งโดยใช้วิธีการพื้นผิวตอบสนอง แบบ Box-Behnken Design จะได้สมการถดถอยของปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับค่าความแข็งแรง คือ Y = 50.64 + 1.25A + 0.75B+ 0.13C + 0.15D โดยได้คำตอบของสภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดค่าความแข็งแรง (Y) มากที่สุดคือ ปริมาณคาร์บอน (A) ที่ 0.20 %/kg ปริมาณแมงกานีส (B) ที่ 0.60 %/kg ปริมาณกำมะถัน (C) ที่ 0.05 %/kg และปริมาณซิลิกอน (D) ที่ 0.50 %/kg ซึ่งผลวิจัยนี้สามารถลดความบกพร่องของเหล็กดิบ

ได้ 100% และ

นอกจากเครื่องมือการออกแบบการทดลองแล้ว เครื่องมืออีกชนิดที่มีความสำคัญมาก คือ วิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode & Effect Analysis: Process FMEA) เนื่องจากสามารถชี้บ่งปัญหา หรือข้อบกพร่องใดๆ ที่มีโอกาสเกิดขึ้นในกิจกรรมนั้น ซึ่งพิจารณาถึงคุณลักษณะพิเศษระดับความรุนแรง ผลกระทบที่เกิดขึ้น พร้อมทั้งระบุถึงวิธีการป้องกันปัญหาดังกล่าวและตรวจสอบประสิทธิผลของการป้องกัน ดังเช่น งานวิจัยของ อินทิรา เหล่าศรีมงคล (2547) ได้ทำการประยุกต์แนวทาง FMEA เพื่อลดของเสียในผลิตภัณฑ์หล่อเหล็ก เพื่อลดของเสียในผลิตภัณฑ์เหล็กหล่อ และเพื่อคำนวณหาจุดคุ้มทุนจากการลงทุนเพื่อลดของเสียจากงานหล่อ อาการเสียที่พบมากเป็นอันดับต้นๆคือ ปัญหาตามด ซึ่งมีสาเหตุมาจากหลายปัจจัย ในเบื้องต้นทีมงานวิจัยได้เปรียบเทียบปัจจัยควบคุมเกี่ยวกับการผลิตผลิตภัณฑ์กับบริษัทลูกค้า ทีมงานได้ระดมความคิดถึงปัจจัยอื่นๆในสายการผลิตที่ส่งผลกับปัญหาตามด โดยใช้เทคนิค Cause and Effect Matrix,Why-Why analysis และ FMEA ปัจจัยที่มีคะแนน RPN ตั้งแต่100 คะแนนขึ้นไปได้แก่ % ซัลเฟอร์และปริมาขี้เถ้าที่ปนใน coal dust A ในปริมาณที่สูง ค่าความโป่งของแบบทรายต่ำเนื่องจากการดูดซับน้ำในปริมาณมากจากแป้งข้าวโพด ค่าความอัดแน่นของแบบทรายต่ำเนื่องจากความละเอียดแบบผงฝุ่นของแป้งข้าวโพด และ ทรายร้อนที่ติดกับกระสวน ต่อมาพบว่าการใช้ coal dust B และการไม่ใช้แป้งข้าวโพด ช่วยให้ปัญหาตามดลดลงอย่างมีนัยสำคัญด้วยความ และสามารถลดต้นทุนจากค่าความเสียหายของงานที่เป็นตามดได้เป็นจำนวนมากอย่างมีนัยสำคัญ และ งานวิจัยของ วิทย์ วรรณวิจิตร (2547) การปรับปรุงกระบวนการผลิตแม่พิมพ์โลหะของอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ จากการศึกษาพบว่าสภาพปัญหาที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตและออกแบบแม่พิมพ์ ได้แก่ ผลิตแม่พิมพ์ได้ล่าช้ากว่ากำหนด มีชิ้นส่วนประกอบแม่พิมพ์เสียในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ เมื่อนำแม่พิมพ์ไปใช้งาน มีการซ่อมแซมแม่พิมพ์ระหว่างการใช้งานเป็นจำนวนมาก ทั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นประกอบด้วย 4 สาเหตุ ได้แก่ การออกแบบแม่พิมพ์ผิดพลาด กระบวนการผลิตชิ้นส่วนประกอบแม่พิมพ์ไม่ถูกต้อง กระบวนการขึ้นรูปโลหะใช้แม่พิมพ์ไม่ถูกต้องเหมาะสม และแม่พิมพ์เสื่อมสภาพการใช้งานจากนั้นได้วิเคราะห์สาเหตุของปัญหา เพื่อหาข้อบกพร่องโดยใช้ผังก้างปลา ซึ่งได้ทำการประเมินและทำการจัดลำดับความสำคัญของข้อบกพร่อง โดยประชุมทีมงานของโรงงานซึ่งประกอบไปด้วยผู้จัดการโรงงานและหัวหน้าแผนกต่างๆ ซึ่งนำเทคนิคการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) มาประยุกต์ใช้ ทั้งนี้ได้คำนวณค่าความเสี่ยงชี้นำ (RPN) เพื่อนำมาจัดลำดับความสำคัญของข้อบกพร่องในการแก้ไข ซึ่งได้ปรับปรุงแก้ไข แม่พิมพ์ระหว่างใช้งาน มีจำนวนลดลงเหลือ 2 ถึง

4 ครั้งในแต่ละเดือน

ด้วยเหตุดังที่กล่าวมานี้ผู้วิจัย จึงได้กำหนดแนวทางงานวิจัยการใช้งานเศษกระเบื้องบด โดยการนำเทคนิค Six sigma มาประยุกต์ใช้ เพื่อให้สามารถเกิดการดำเนินการได้อย่างบูรณาการ โดยมีเครื่องมือ 2 ชนิดที่สำคัญยิ่ง คือ การออกแบบการทดลอง (Design & Analysis of Experiment) ซึ่งสามารถกำหนดพารามิเตอร์การผลิตได้อย่างถูกต้อง และ วิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode & Effect Analysis: Process FMEA) ซึ่งสามารถชี้บ่งปัญหา หรือข้อบกพร่องใดๆ ที่มีโอกาสเกิดขึ้นในกิจกรรมนั้น ซึ่งพิจารณาถึงคุณลักษณะพิเศษระดับความรุนแรง ผลกระทบที่เกิดขึ้น พร้อมทั้งระบุถึงวิธีการป้องกันปัญหาดังกล่าวและตรวจสอบประสิทธิผลของการป้องกันต่อไป

บทที่ 3

การนิยามปัญหา

ขั้นตอนการนิยามปัญหาที่จะกล่าวถึงในบทนี้ ถือว่าเป็นขั้นตอนแรกที่จะนำไปสู่การกำหนดจุดเริ่มต้นและทิศทางการวิจัย (Define Phase) ตามวิธีการทางซิกซ์ ซิกม่า ที่จะนำมาประยุกต์กับการใช้เศษกระเบื้องบดเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์กระเบื้องหลังคา คอนกรีตชนิดเรียบ ที่ทำการศึกษานี้ โดยมีรายละเอียดต่างๆ ที่เกี่ยวข้องดังนี้

3.1 การกำหนดทีมงานดำเนินงาน

บริษัทได้จัดคณะทำงานเพื่อเข้าร่วมในโครงการ โดยการกำหนดคณะทำงานจะทำการคัดเลือกผู้ที่มีความรู้ และ ตัวแทนจากหน่วยงานที่มีส่วนเกี่ยวข้อง ซึ่งประกอบไปด้วย

1. ผู้จัดการส่วนโรงงาน SB2	Sponser
2. ผู้รักษาการโรงงาน SB2/2	Black Belt
3. ผู้จัดการแผนกออกแบบผลิตภัณฑ์	Green Belt
4. วิศวกรประกันคุณภาพ	Green Belt
5. วิศวกรพัฒนากระบวนการ (ผู้ดำเนินงานวิจัย)	Green Belt,เลขาคณะทำงาน

คณะทำงานมีหน้าที่ช่วยในการระดมสมองด้วยเครื่องมือ และ เทคนิคต่างๆ เพื่อหาปัจจัยที่คาดว่ามีผลต่อการใช้เศษกระเบื้องบด รวมทั้งการสนับสนุนการทดลองต่างๆ

ส่วนหน้าที่หลักของผู้ดำเนินการวิจัย มีดังนี้

- ติดต่อประสานงาน
- เก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องต่างๆ
- ทำการวิเคราะห์ความถูกต้องและความแม่นยำของระบบการวัด Guage R&R
- จัดประชุมร่วมกับคณะทำงานที่มีส่วนเกี่ยวข้องเพื่อระดมสมอง
- ออกแบบ และ วางแผนการทดลอง
- วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง
- จัดทำแผนควบคุม เพื่อรักษามาตราฐานหลังการปรับปรุง

3.2 ส่วนประกอบผลิตภัณฑ์กระเบื้องเรียบ

ส่วนประกอบและวัตถุดิบหลักตัวกระเบื้องเรียบ ดังนี้

1. ตัวกระเบื้องคอนกรีตที่เกิดจากขึ้นรูป Mortar ทำหน้าที่เป็นตัวที่ป้องกันฝนที่ตกลงมาไม่ให้ไหลผ่านลงสู่ตัวบ้าน และ ป้องกันความร้อนเข้าสู่ตัวบ้าน ซึ่งประกอบไปด้วย

มวลรวม (Aggrigate)

1) ทราย เป็นทรายแม่น้ำที่เกิดจากหินที่ถูกกัดเซาะจากกระแสน้ำแล้วค่อยๆ ตกตะกอนสะสมกลายเป็นแหล่งทรายอยู่ใต้ท้องน้ำ

ตัวประสาน (Binder)

1) ปูนซีเมนต์ เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland cement) ที่ได้จากการบดปูนเม็ด (clinker) ที่มีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ คือ ไฮดรอลิกคัลเซียมซิลิเกต (Hydraulic Calcium Silicate) กับสารหน่วงการก่อตัว เช่น ยิปซั่ม (Gypsum) โดยปูนซีเมนต์เมื่อทำปฏิกริยากับน้ำแล้วจะเกิดการก่อตัวและแข็งตัว

2) ผงขี้เถ้าลอย (Pulverized FuelAsh) เป็นของเสียที่เกิดจากโรงไฟฟ้าถ่านหิน ใช้เพื่อเสริมแรงซีเมนต์และคอนกรีต เนื่องจากมีซิลิกาผสมอยู่ในรูแบบโมเลกุลทรงกลม จึงสามารถคงทนต่อแรงดึง สามารถหลอมเข้ากับแบบได้ดี และทนต่อการกัดกร่อน

น้ำ

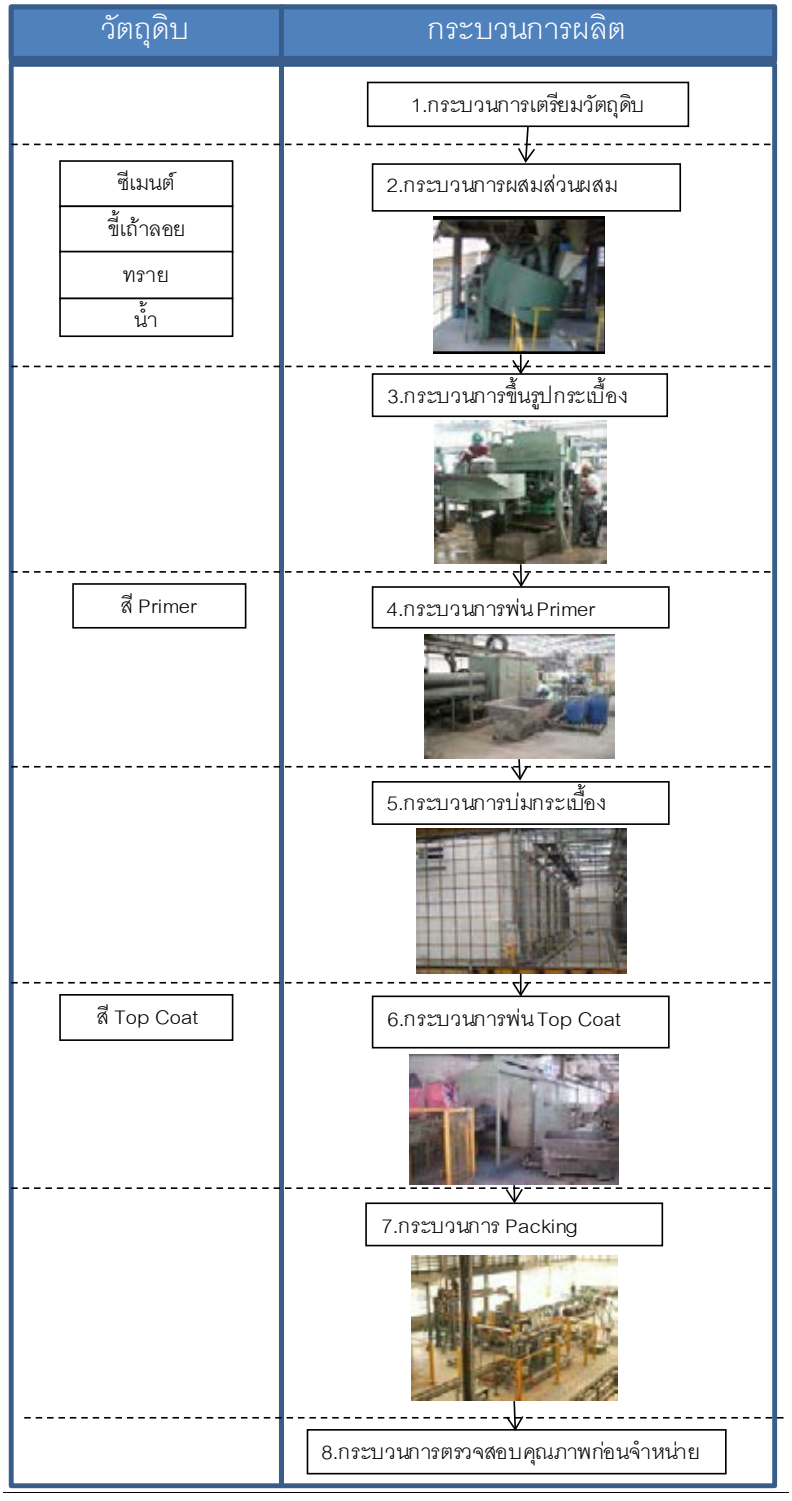
1) น้ำผสมกระเบื้อง ใช้ผสมปูนซีเมนต์เพื่อให้เกิดปฏิกริยาไฮเดรชั่น อันมีผลต่อความสามารถในการใช้งานของคอนกรีตสด และ กำลังความคงทนของคอนกรีตแข็งตัว

2. ชั้นสี Primer เป็นส่วนประกอบระหว่าง Binder,pigment,solvent, additive ทำหน้าที่ในการป้องกันการเกิดคราบขาว (Effloracence) บนตัวกระเบื้อง และ ช่วยปรับพื้นผิวให้เรียบก่อนทำการพ่นสี Top Coat

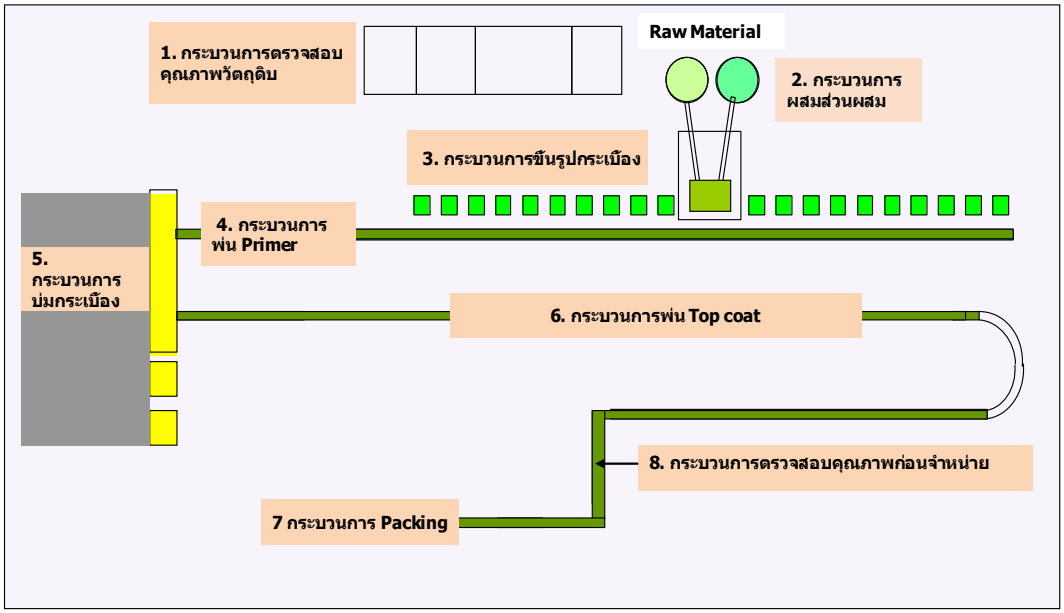
3. ชั้นสี Top Coat เป็นส่วนประกอบระหว่าง Binder,pigment,solvent, additive ทำหน้าที่ในการแสดงสีของผิวหน้าแผ่นกระเบื้อง

3.3 กระบวนการผลิตกระเบื้องแผ่นเรียบ

กระบวนการผลิตกระเบื้องของโรงงานกรณีศึกษา โดยมีขั้นตอนของกระบวนการดังกล่าวแสดงในรูปที่ 3.2 และ แผนผังการผลิต เป็นดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการผลิตกระเบื้องเรียบ



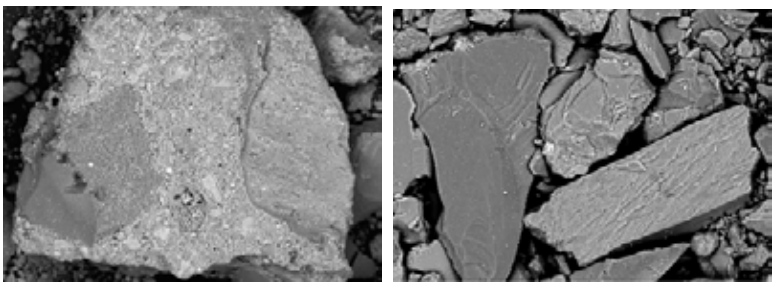
รูปที่ 3.2 Lay out สายการผลิตกระเบื้องเรียบ

3.4 การวิจัยคุณสมบัติเศษกระเบื้องบดเทียบกับทราย และ ลักษณะปัญหาที่อาจเกิดกับผลิตภัณฑ์กระเบื้องคอนกรีต

แนวทางการวิจัยเบื้องต้น ได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์คุณสมบัติระหว่างทรายกับเศษกระเบื้องบด เพื่อศึกษาหาผลกระทบกระทบทางคุณภาพที่อาจเกิดขึ้นกับตัวกระเบื้อง โดยมีการกำหนดหัวข้อการทดสอบตามทฤษฎีของคอนกรีตเทคโนโลยี และ จากคำแนะนำของผู้จัดการแผนกออกแบบผลิตภัณฑ์ โดยการทดสอบมีทั้งทำภายใน ห้องทดลองคอนกรีต ของบริษัทเอง และส่งทดสอบที่บริษัทภายนอก โดยมีการทดสอบ และ ผลการทดสอบดังนี้

1. การทดสอบคุณสมบัติตัวเศษกระเบื้องบด

1.1. การทดสอบ : ลักษณะของผิว (Surface Texture) ; เพื่อทดสอบสมมมติฐาน : อัตราการดูดซึมน้ำ และ การไหลตัวของมอร์ต้าที่เปลี่ยนไป ซึ่งมีวิธีการทดสอบดังนี้ ; ทำการส่องขยายดูลักษณะของผิวเศษกระเบื้องบด และ ทราย ด้วยกล้อง SEM กำลังขยายมากกว่า 200 เท่า



รูปที่ 3.3 ลักษณะของผิว และ ความพรุน ของเศษกระเบื้องบด (ซ้าย) และ เม็ดทราย (ขวา)

จากการเปรียบเทียบแสดงให้เห็นว่า

- จากรูปที่ 3.4 แสดงให้เห็นตัวเศษกระเบื้องบดมีความพรุนบริเวณผิวมากกว่าทรายอย่างมาก ต่างจากเม็ดทรายปกติที่มีผิวเรียบ อันเนื่องมาจากมีเศษของซีเมนต์ที่ทำปฏิกริยาแล้วเกาะยึดรอบเม็ดทราย

ผลกระทบที่อาจขึ้นกับผลิตภัณฑ์

<u>ด้านลบ</u>

- กรณีทำการเติมน้ำในระดับปกติอาจทำให้ซีเมนต์ขาดน้ำทำปฏิกริยาที่เหมาะสม เนื่องจากน้ำถูกทำการดูดซับเข้าโพรงรูพรุนของเศษกระเบื้องบด
- การไหลตัวของมอร์ต้าอาจไหลตัวได้แย่ลง เนื่องจากการดูดซับน้ำเข้าโพรงรูพรุนของเศษกระเบื้องบด ทำให้น้ำที่เคลือบผิวเพื่อหล่อลื่นมวลน้อยลง และ จากผิวของเม็ดเศษกระเบื้องบดมีผิวขรุขะทำให้ต้องใช้แรงเคลื่อนมวลมากขึ้น

1.2. การทดสอบ : อัตราการดูดซึมน้ำแบบอิ่มตัวผิวแห้ง ; เพื่อทดสอบสมมมติฐาน : เปรียบเทียบความสามารถดูดซึมน้ำ โดยพิจารณาจากปริมาณเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำที่อยู่ภายในช่องว่างต่อน้ำหนักมวลรวมแห้งระหว่างเศษกระเบื้องบดกับทราย ; ทำการทดสอบตามมาตราฐาน : Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate (ASTM C 128-97)

ตารางที่ 3.1 อัตราการดูดซึมน้ำแบบอิ่มตัวผิวแห้ง ระหว่างทรายและเศษกระเบื้องบด

หัวข้อที่	ชนิดทดสอบ	อัตราการดูดซึมน้ำ (%)
1	เศษกระเบื้องบด	6.79
2	ทรายโรงงาน	0.62

จากการเปรียบเทียบแสดงให้เห็นว่า

- จากตารางที่ 3.1 พิจารณาเปรียบเทียบระหว่างเศษกระเบื้องบดกับทราย แสดงให้เห็นว่าเศษกระเบื้องบดมีอัตราการดูดน้ำเข้าไปภายในตัวสูงมากกว่าทราย

ผลกระทบที่อาจขึ้นกับผลิตภัณฑ์

<u>ด้านลบ</u>

- เมื่อทำการเติมน้ำในระดับปกติ การทำปฏิกริยา Hydration ของซีเมนต์ทำได้ไม่ดีเท่าปกติ เนื่องจาก เศษกระเบื้องบดจะทำการดูดน้ำโดยรอบตัวเข้าไปภายในตัว ทำให้น้ำที่สามารถทำปฏิกริยากับซีเมนต์ลดลง อันนำมาสู่ค่าความแข็งแรงกระเบื้องอาจลดลง
- เกิดอาการร้าวผิวกระเบื้อง เนื่องมาจากน้ำถูกเศษกระเบื้องบดดูดซึมเข้าภายใน น้ำที่สามารถเคลือบผิวมวลรวมลดลง ส่งผลต่อการลื่นไหลตัวของมวลรวมและซีเมนต์ภายในแบบได้อย่างเหมาะสม

1.3. การทดสอบ : ขนาดคละ (Gradation) สถานที่ทดสอบ ; เพื่อทดสอบสมมมติฐาน : ผลกระทบต่อความแข็งแรงของกระเบื้อง และ สภาพผิวของกระเบื้อง ทำการทดสอบ ; ตามมาตราฐาน : Standard Test Method for Seive Analysis of Fine and Coarse Aggregates (ASTM C136-96a)

จากการเปรียบเทียบแสดงให้เห็นว่า

ตารางที่ 3.2 ขนาดคละของเศษกระเบื้องบด และ ทรายปกติของโรงงาน

ตะแกรงขนาด	เศษกระเบื้องบด		ทราย	
	%ค้าง	%ค้างสะสม	%ค้าง	%ค้างสะสม
No.4	0	0	0.8	0.8
No.8	0	0	6.3	7.1
No.16	18.6	18.6	17.6	24.7
No.30	25.1	43.7	28.5	53.1
No.50	20.3	64	31.8	84.9
No.100	13.4	77.4	13.8	98.7
No.200+Pan	22.5	100	1.3	100
F.M.	2.03		2.69	

- จากตารางที่ 3.2 เมื่อพิจารณา % ค้าง ที่แตกต่างอย่างชัดเจนระหว่างเศษกระเบื้องบด และ ทรายมีส่วนที่แตกต่างกันอย่างมาก คือ

- ทรายมีขนาดมวลค้างตะแกรง เบอร์ 50 มากกว่าของเศษกระเบื้องบด

- เศษกระเบื้องบดมีมวลขนาดคละละเอียด คือ ตะแกรงเบอร์ 200 และ ถาด มากกว่าทราย

ผลกระทบที่อาจขึ้นกับผลิตภัณฑ์

<u>ด้านบวก</u>

- กระเบื้องมีผิวที่เป็นรูพรุนน้อยลง เนื่องจากมีมวลส่วนละเอียดมากขึ้น ช่วยอุดรูพรุนที่เกิดจากช่องว่างทรายหยาบบริเวณผิวหน้าของกระเบื้องได้

<u>ด้านลบ</u>

- กระเบื้องความแข็งแรง ณ จำหน่ายตกลง เนื่องจากมีส่วนที่เป็นค้างถาด หรือ ละเอียดแบบฝุ่นผงมากกว่าทรายปกติ ซึ่งจะเป็น ขนาดคละที่ให้แรงยึดมวลต่ำ และ ดูดซับน้ำมากทำให้ซีเมนต์อาจทำปฏิกริยาไม่สมบูรณ์

- กระเบื้องมีผิวปูดนูน เนื่องจากเมื่อซีเมนต์ทำปฏิกริยา Hydration เกิดไอน้ำระเหย แต่ไม่สามารถผ่านตัวออกผิวหน้ากระเบื้องที่แน่นได้ จึงดันผิวหน้าให้ปูดนูน

1.4. การทดสอบ : ความถ่วงจำเพาะสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (Bulk Specific Gravity-Saturated Surface Dry) ; เพื่อทดสอบสมมมติฐาน : น้ำหนักของกระเบื้อง และ ความอัดแน่นของกระเบื้อง ; ทำการทดสอบ ตามมาตราฐาน : Specific Gravity (ASTM C 128-97)

จากการเปรียบเทียบแสดงให้เห็นว่า

ตารางที่ 3.3 ค่าความถ่วงจำเพาะสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง ระหว่างทรายและเศษกระเบื้องบด

หัวข้อที่	ชนิดทดสอบ	ความถ่วงจำเพาะสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง
1	ทรายโรงงาน	2.56
2	เศษกระเบื้องบด	2.54

- จากตารางที่ 3.3 แสดงให้เห็นความถ่วงจำเพาะสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (Bulk Specific Gravity-Saturated Surface Dry) ของเศษกระเบื้องบดมีใกล้เคียงกับทรายโรงงาน

ผลกระทบที่อาจขึ้นกับผลิตภัณฑ์

- น้ำหนักของของกระเบื้อง เมื่อใช้เศษกระเบื้องบดแทนทรายจะไม่มีค่าแตกต่างกัน

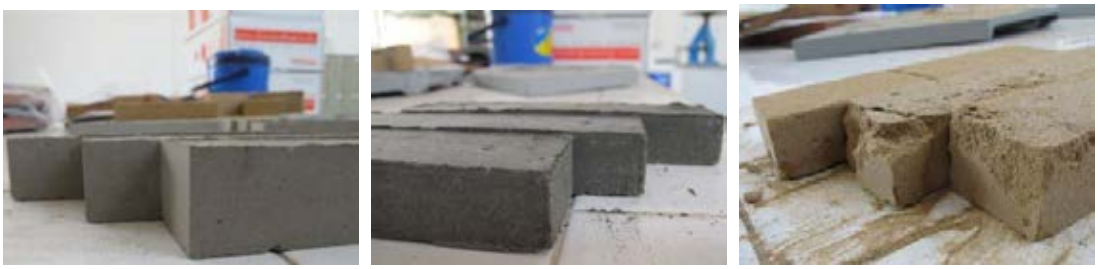
1.5. การทดสอบ : การทดสอบหาค่าความแข็งแรงของก้อนเศษกระเบื้องบด (Bending Strength) ; เพื่อทดสอบสมมมติฐาน : ทดสอบความสามารถทำปฏิกริยา hydration ต่อได้ของเศษกระเบื้องบด

วิธีการทำการทดสอบ

1) ทำการขึ้นรูปก้อนปูนที่ทำจากซีเมนต์ จำนวน 6 ก้อน

2) ทำจากการคัดแยก เอาเศษกระเบื้องบดขนาดตะแกรง เบอร์ 200 และ ค้างถาด เนื่องจากเป็นส่วนของซีเมนต์ที่อยู่ในเศษกระเบื้องบด มาทำการขึ้นรูป จำนวน 6 ก้อน

3) ทำจากการคัดแยก เอาทรายขนาดตะแกรง เบอร์ 200 และ ค้างถาด มาทำการขึ้นรูป จำนวน 6 ก้อน เนื่องจากเป็นส่วนของฝุ่นที่ต้องการเอามาเทียบกับชิ้นงานที่ทำจากเศษกระเบื้องบด



รูปที่ 3.4 ก้อนซีเมนต์ ก้อนเศษกระเบื้องบด และ ก้อนทราย

4) ทำการบ่มก้อนปูนที่ทำจากซีเมนต์ และ เศษกระเบื้องบด ในน้ำ จำนวน 7 วัน

5) ทำการทดสอบค่าความแข็งแรงเปรียบเทียบกันแรงดัดตามขวาง (Flexural Test) ด้วยเครื่องกด Tinius Olsen

6) ทำการจดค่า และ นำมาเปรียบเทียบสรุปผล

จากการเปรียบเทียบแสดงให้เห็นว่า

ตารางที่ 3.4 ค่าความแข็งแรง (Bending Strength) เทียบระหว่างก้อนซีเมนต์ และ ก้อนเศษกระเบื้องบด

หัวข้อที่	ชนิดทดสอบ	ค่าความแข็งแรง (กิโลกรัม)		น้ำหนัก (กิโลกรัม)	
		ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตราฐาน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตราฐาน
1	ก้อนซีเมนต์	90.50	9.38	0.28	0.001
2	ก้อนเศษกระเบื้อง	20.06	4.63	0.26	0.005
ค่าแตกต่าง		70.44	4.75	0.02	-0.004

- จากตารางที่ 3.4 แสดงให้เห็นว่า เมื่อทำการแกะก้อนทรายออกจากแบบขึ้นรูปชิ้นงานก้อนทรายมีอาการ แตกร้าวทุกก้อน ดังแสดงใน รูปที่ 3.4 ต่างจากก้อนที่ทำจากเศษกระเบื้องบดที่สามารถทำการแกะขึ้นรูปได้ทุกก้อน แสดงให้เห็นคุณสมบัติเรื่องแรงยึดเหนี่ยวที่แตกต่างกัน

- จากตารางที่ 3.4 แสดงให้เห็นว่า ก้อนเศษกระเบื้องบดสามารถทำการรับแรงได้มาถึงประมาณ 20 kg จึงทำการสรุปได้ว่าภายในเศษกระเบื้องบดยังมีซีเมนต์บางส่วนที่สามารถทำปฏิกริยาได้อยู่ แต่ค่าความแข็งแรงของก้อนเศษกระเบื้องบดน้อยกว่าก้อนซีเมนต์ ถึงประมาณ 4 เท่า ดังนั้นการกำหนดให้เป็นแทนมวลรวม(ทราย)ของกระเบื้องยังเป็นสิ่งที่เหมาะสมเนื่องจากคุณสมบัติที่ต่างจากซีเมนต์อยู่มาก

ผลกระทบที่อาจขึ้นกับผลิตภัณฑ์

<u>ด้านบวก</u>

- การที่เศษกระเบื้องบดมีซีเมนต์บางส่วนที่ยังสามารถทำปฏิกริยาได้ต่อ เมื่อนำมาเป็นวัตถุดิบโดยแทนที่ทราย จะช่วยในการเพิ่มระดับของความแข็งแรงของกระเบื้องไม่ให้ตกจนมากเกินไป

2. การทดสอบคุณสมบัติของมอร์ตา เมื่อทำการเติมเศษกระเบื้องบดแทนทราย

2.1. การทดสอบ : ระดับความสามารถในการเทได้ (Workabillity) ; เพื่อทดสอบสมมมติฐาน : เปรียบเทียบความสามารถในการไหลตัว เพื่อให้เกิดการอัดแน่นอย่างสมบูรณ์ ทำการทดสอบโดยการ ; ตามมาตราฐาน : Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement (ASTM C230/C230M – 08)

จากการเปรียบเทียบแสดงให้เห็นว่า

ตารางที่ 3.5 ระดับความสามารถการเทได้ เมื่อเติมเศษกระเบื้องบดแทนทรายในอัตราส่วนต่าง ๆ

หัวข้อที่	ชนิดการทดสอบ	Water used (ml)	W/C	Flow (%)	หมายเหตุ
1	สูตรโรงงานปกติ	400	0.308	114	
2	สูตรผสมเศษกระเบื้องบดแทนทราย 25%	400	0.308	102	
3	สูตรผสมเศษกระเบื้องบดแทนทราย 50%	400	0.308	68	
4	สูตรผสมเศษกระเบื้องบดแทนทราย 75%	400	0.308	-	ไม่สามารถทำการวัดค่าได้เนื่องจากแข็งตัว
5	สูตรผสมเศษกระเบื้องบดแทนทราย 100%	400	0.308	-	ไม่สามารถทำการวัดค่าได้เนื่องจากแข็งตัว

- จากตารางที่ 3.5 แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเติมเศษกระเบื้องบดแทนทรายในอัตราที่มากขึ้น ระกับความสามารถการเทได้มีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ และ เมื่อทำการเติมถึงระดับแทนทราย มากกว่า 75 % ไม่สามารถทำการวัดค่าได้ เนื่องจากมอร์ตามีการแข็งตัวอย่างรวดเร็ว

ผลกระทบที่อาจขึ้นกับผลิตภัณฑ์

<u>ด้านลบ</u>

- เมื่อทำการเติมเศษกระเบื้องบด ในอัตราส่วนน้ำเท่าเดิมกระเบื้องมีแนวโน้มเกิดการแตกร้าวผิวกระเบื้องสูงตามอัตราการเติมที่สูงขึ้น เนื่องจากความสามารถในการไหลตัวเข้าแบบได้ลดลง

2.2. การทดสอบ : ระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้น (Initail Setting Time) ; เพื่อทดสอบสมมมติฐาน : ระยะเวลาการใช้งานเทียบรอบการผลิต ; ทำการทดสอบตามมาตราฐาน : Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic Cement Mortar by Modified Vicat Needle (ASTM C807-08)

จากการเปรียบเทียบแสดงให้เห็นว่า

ตารางที่ 3.6 เวลาการก่อตัว (initial set) ที่การเติมเศษกระเบื้องบดแทนทรายที่อัตราต่างๆ

ชนิดการทดสอบ	Water used (ml)	Nornal Consistency (20 ± 4)	Initial Setting Time (mins)
1. สูตรโรงงานปกติ	151	18	150
2. ผสมเศษกระเบื้องบดแทนทราย 50%	175	24	186
3. ผสมเศษกระเบื้องบดแทนทราย 100%	200	20	190

- จากตารางที่ 3.6 เมื่อทำการพิจารณาค่า initial setting time ในทุกระดับการเติมเศษกระเบื้องบด จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการทำการเติมน้ำในปริมาณที่มากพอก็สามารถทำการใช้งานในการผลิตได้ปกติ เนื่องจากการใช้งานปกติมีระยะเวลาการใช้ไม่เกิน 40 นาที ซึ่งเป็นเวลาที่รวมการ Break Down แล้ว

ผลกระทบที่อาจขึ้นกับผลิตภัณฑ์

- ไม่เกิดปัญหาการที่มอร์ต้าแข็งตัวในขณะทำการผลิต จนไม่สามารถทำการขึ้นรูปได้ เนื่องจากค่า initial setting time ของการเติมเศษกระเบื้องบดยังมากกว่าช่วงเวลาการใช้งาน

2.3. การทดสอบแรงอัดประลัย (Compressive strength) ; เพื่อทดสอบสมมมติฐาน ทำการทดสอบ : ความสามารถในการรับแรงที่น้อยลงเนื่องจากการเติมเศษกระเบื้องบด ; ทำการทดสอบตามมาตราฐาน : Standard Test Method for Time of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimen) (ASTM C109/C109M-08)

จากการเปรียบเทียบแสดงให้เห็นว่า

ตารางที่ 3.7 ความสามารถการรับแรงอัดประลัย (Compressive Strength) ที่การเติมเศษกระเบื้องบดแทนทรายที่อัตราต่างๆ

หัวข้อที่	ชนิดการทดสอบ	ความแข็งแรง (กิโลกรัม)		
		อายุ 1 วัน	อายุ 7 วัน	การพัฒนา
1	สูตรปกติ	30.7	62.0	31.3
2	สูตรผสมเศษกระเบื้องบดแทนทราย 25%	28.9	65.9	37.0
3	สูตรผสมเศษกระเบื้องบดแทนทราย 50%	27.9	54.8	26.9
4	สูตรผสมเศษกระเบื้องบดแทนทราย 75%	23.1	44.1	21.0
5	สูตรผสมเศษกระเบื้องบดแทนทราย 100%	10.8	23.1	12.3

เมื่อพิจารณาตามตารางที่ 3.7 สามารถสรุปผลดังนี้

- สูตรที่มีความแข็งแรงมากที่สุด เมื่อพิจารณาที่ อายุ 7 วัน คือ สูตรเติมเศษกระเบื้องบดแทนทรายจำนวน 25 % โดยมีค่าใกล้เคียงกับสูตรปกติ ซึ่งจะสังเกตุได้ว่าเป็นสูตรที่มีการพัฒนาของความแข็งแรงสูงที่สุดอีกด้วย
- เมื่อพิจารณาอายุ 7 วัน เมื่อทำการเติมเศษกระเบื้องบดแทนทรายมากกว่า 25 % ค่าความแข็งแรงมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง

ผลกระทบที่อาจขึ้นกับผลิตภัณฑ์

<u>ด้านลบ</u>

- จากการพิจารณาผลการเติมเศษกระเบื้องบดเทียบกับเป้าหมายที่กำหนด 25 % มีแนวโน้มที่ความแข็งแรงของกระเบื้องจะลดลง แต่อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถปรับให้อยู่ในระดับปกติได้

เมื่อทำการพิจารณาผลการโดยรวมเทียบกับคุณภาพกระเบื้อง ณ จำหน่าย สามารถทำการสรุปได้ดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดการทดสอบ และ หัวข้อคุณภาพกระเบื้อง ณ จำหน่ายที่เกี่ยวข้อง

หัวข้อที่	การทดสอบ	คุณสมบัติกระเบื้อง ณ จำหน่ายที่เกี่ยวข้อง				
		ความแข็งแรง ณ จำหน่าย	อัตราการดูดซึมน้ำ	รูพรุนผิวกระเบื้อง	ปูดนูนผิวกระเบื้อง	รอยร้าวผิวกระเบื้อง
1	ลักษณะของผิว	⬇	⬇	⬇	-	⬇
2	อัตราการดูดซึมน้ำแบบอิ่มตัวผิวแห้ง	⬇	⬇	⬇	⬆	⬇
3	ขนาดคละ	⬇	⬇	⬆	⬇	⬆
4	ความถ่วงจำเพาะสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง					
5	การทดสอบหาค่าความแข็งแรงของก้อนเศษกระเบื้องบด	⬆				
6	ระดับความสามารถในการเทได้	⬇				⬇
7	เวลาการก่อตัว					-
8	การทดสอบแรงอัดประลัย	⬇				

หมายเหตุ : ⬆ = ระดับคุณภาพดีขึ้น ; ⬇ = ระดับคุณภาพที่แย่ลง ; - = ระดับคุณภาพไม่แตกต่างจากเดิม

= การทดสอบไม่เกี่ยวข้องกับหัวข้อทดสอบนั้นๆ

จากการประเมินตามตารางที่ 3.8 ทำให้สามารถกำหนดคุณลักษณะทางคุณภาพที่อาจเกิดผลกระทบ ที่ต้องทำการตรวจสอบเมื่อใช้เศษกระเบื้องบดกับกระเบื้องคอนกรีตชนิดเรียบ รวมทั้งเกณฑ์คุณภาพมาตราฐานที่ใช้ในการประเมินว่าผ่าน หรือ ไม่ โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1. สอดคล้องตามเกณฑ์มาตราฐานผลิตภัณฑ์อุตสากรรม กระเบื้องคอนกรีตมุงหลังคา มอก.535-2527

1.1. ความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย แต่ละแผ่นไม่ต่ำกว่า 95 กิโลกรัม และค่าเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 120 กิโลกรัม

1.2. อัตราการดูดซึมน้ำ แต่ละแผ่นไม่เกินกว่า 10 % และ ค่าเฉลี่ยไม่เกินกว่า 9 %

2. ตามเกณฑ์การยอมรับของทางบริษัท

โดยทางบริษัทได้มีการกำหนด มาตราฐานการยอมรับการใช้งาน ในหัวข้อคุณภาพต่างๆ และ ระดับคุณภาพปัจจุบัน ดังแสดงในตารางที่ 3.9 ซึ่งในการนำเศษกระเบื้องบดมาใช้งานนั้นจะต้องผ่านระดับมาตราฐานดังกล่าวนี้

ตารางที่ 3.9 ระดับคุณภาพในเดือนปัจจุบัน และ เกณฑ์การยอมรับของบริษัท

หัวข้อที่	ลักษณะทางคุณภาพ	สถานะทางคุณภาพเดือนล่าสุด (เดื่อนมีนาคม)	เกณฑ์การยอมรับ
1	ความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย	1.47	**≥** 1.33
2	อัตราการดูดซึมน้ำ	2.06	**≥** 1.33
3	สัดส่วนของเสียรูพรุนผิวกระเบื้อง	0.042	< 0.06
4	สัดส่วนของเสียปูดนูนผิวกระเบื้อง	0.034	< 0.05
5	สัดส่วนของเสียรอยร้าวผิวกระเบื้อง	0.041	< 0.06

นอกจากการประเมินคุณลักษณะทางคุณภาพตามตารางด้านบนแล้ว ทางคณะทำงานยังเห็นควรให้ทำการทดสอบคุณภาพระยะยาว ซึ่งเป็นการทดสอบการทดสอบการทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระยะยาว ด้วยเครื่องทดสอบ Heat-Rain Test

จากการทดลองผสมเศษกระเบื้องบดแทนทรายใน ห้องทดสอบ พบว่าส่งผลให้ระดับคุณภาพบางประการลดลง ดังนั้นเพื่อให้ระดับของคุณภาพของกระเบื้องเมื่อทำการเติมเศษกระเบื้องบดแทนทรายโดยมีเป้าหมายสูงสุดที่ปริมาณ 25 % อยู่ในเกณฑ์การยอมรับของ จึงอาจต้องทำการปรับเปลี่ยนปริมาณสูตรการผลิต หรือ พารามิเตอร์ในกระบวนการ จึงได้เสนอ

แนวความคิดในการประยุกต์ใช้ วิธีการซิกซ์ ซิกมา (SIX SIGMA APPROACH) ซึ่งมี PHASE การทำแบ่งเป็น DMAIC มาใช้ เพื่อสามารถหาแนวทางการใช้เศษกระเบื้องได้อย่างสมบูรณ์ตั้งแต่ การวิเคราะห์, การตรวจสอบประสิทธิ์ภาพระบบการวัด, การหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการใช้งาน ตลอดจนการจัดทำมาตราฐานควบคุมการผลิตต่อไป

3.5 **สรุปการนิยามปัญหา**

ผลลัพธ์ที่ได้ในขั้นตอนการนิยามปัญหา คือ ได้กำหนดทีมงานในการรับผิดชอบโครงการ โดยมีการศึกษาส่วนประกอบและกระบวนการผลิต ภายหลังจากนั้นได้ทำการระดมความคิดจากผู้เชี่ยวชาญ เพื่อกำหนดการทดสอบคุณสมบัติของเศษกระเบื้องบดเทียบกับทรายใน ห้องทดสอบ อันนำมาสู่การสรุปหัวข้อคุณภาพกระเบื้องเรียบ ที่ต้องติดตามผลต่อการผลิตกระเบื้องจริง อันเนื่องจากอาจเกิดผลกระทบจากการเติมเศษกระเบื้องบด ทั้งระยะสั้น คือ การทดสอบความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่ายอัตราการดูดซึมน้ำ , ของเสียผิวปูดนูนกระเบื้อง , รูพรุนผิวกระเบื้อง และ รอยร้าวผิวกระเบื้อง รวมทั้งหัวข้อคุณภาพในระยะยาว คือ การทดสอบการทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระยะยาว โดยได้กำหนดระดับมาตราฐานคุณภาพที่ต้องผ่านเกณฑ์ประกอบไปด้วย ตามเกณฑ์มาตราฐานผลิตภัณฑ์อุตสากรรม กระเบื้องคอนกรีตมุงหลังคา มอก.535-2527 และ เกณฑ์การยอมรับของบริษัท

บทที่ 4

ระยะการวัดเพื่อหาความสัมพันธ์กับหัวข้อคุณภาพ

หลังจากได้ทำการนิยามปัญหาที่เกิดขึ้นแล้ว ในบทนี้จะเป็นการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรการผลิตกับหัวข้อคุณภาพที่เกี่ยวข้องกับการเติมเศษกระเบื้องบด โดยอาศัยเครื่องมือทางคุณภาพและสถิติมาช่วยในการวิเคราะห์ เริ่มจากการวิเคราะห์ความถูกต้องและความแม่นยำของระบบการวัด (Gauge R&R) ในการตรวจสอบผิวกระเบื้องด้วยสายตา เพื่อประกันความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการวัด ต่อมาทำการทดลองผลิตกระเบื้องในสายการผลิตเพื่อศึกษาผลลัพท์ทางคุณภาพที่เกิดขึ้น จากนั้นทำการระดมสมองพิจารณาหัวข้อทางคุณภาพที่ไม่ผ่านเกณฑ์การยอมรับกับปัจจัยนำเข้าการผลิตที่สำคัญที่เกี่ยวข้อง ที่อาจต้องปรับเปลี่ยน เพื่อช่วยปรับระดับคุณภาพให้อยู่ในเกณฑ์ยอมรับ โดยใช้เครื่องมือต่างๆมาช่วยในการวิเคราะห์ คือ แผนผังความสัมพันธ์ (Relation Diagram) และ การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode & Effect Analysis หรือ FMEA)

4.1. การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (Gauge R&R)

การวิเคราะห์ความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัดมีความสำคัญมาก เนื่องจากการแก้ไขปัญหาทางคุณภาพอย่างมีประสิทธิภาพนั้น ต้องมีความมั่นใจในเรื่องของเสถียรภาพของระบบการวัด ด้วยการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของระบบการวัดในกระบวนการผลิตว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้หรือไม่

ระบบการวัดหรือการตรวจสอบของโรงงานกรณีศึกษานี้ มีลักษณะทั้งเป็นการประเมินผลแบบข้อมูลตามลักษณะข้อมูลเชิงนับ (Attribute Data) คือ ทำการตรวจสอบและประเมินผลโดยทำการเปรียบเทียบกับข้อกำหนดเฉพาะแล้วได้ผลของข้อมูลออกมาเป็น ยอมรับ/ปฏิเสธ หรือ ผ่าน/ไม่ผ่านจึงทำการวัดวิเคราะห์ระบบการวัดของข้อมูลตามลักษณะข้อมูลเชิงนับ (Attribute Agreement Analysis) ซึ่งจะทำการวิเคราะห์ทั้งความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัด

- ความถูกต้อง (Accuracy) ตรวจสอบโดยเปรียบเทียบผลการตรวจสอบของพนักงานกับค่าอ้างอิง
- ความแม่นยำ (Precision) ตรวจสอบโดยเปรียบเทียบผลการตรวจสอบซ้ำของพนักงานคนนั้นๆ

วิธีการในการศึกษาความสามารถของการวัดแบบข้อมูลเชิงนับ (Attribute Data) ทั้ง 3 ประเภท คือ 1. รูพรุนผิวกระเบื้อง 2. ผิวกระเบื้องปูดนูน 3. ร้าวผิวกระเบื้อง มีลักษณะการดำเนินการเหมือนกัน ดังต่อไปนี้

1. คัดเลือกผู้ชำนาญการ เป็นบุคลที่สามารถทำการแยกแยะคุณภาพของกระเบื้อง ในที่นี้คือ ตัววิศวกรประกันคุณภาพ ซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญด้านการตรวจกระเบื้อง และ ทราบถึงข้อกำหนดที่ลูกค้าต้องการ ทำการหา และ ตรวจสอบชิ้นงานที่ถูกคัดเลือกเป็นตัวอย่างในการตรวจสอบ จำนวน 20 แผ่น ต่อ ชนิดหัวข้อคุณภาพที่จะทำการตรวจสอบ ซึ่งในที่นี้มี 3 หัวข้อคุณภาพ จึงต้องทำการหาทั้งหมด จำนวน 60 แผ่น โดยส่วน กำหนดกลุ่มงานตัวอย่าง โดยทำการคัดเลือกกระเบื้อง จำนวน 20 ชิ้น ต่อ ชนิดหัวข้อคุณภาพ ประกอบด้วย ที่มีคุณภาพดีจำนวน 8 ชิ้น แบบที่เสียจำนวน 8 ชิ้น และ กระเบื้องที่มีคุณภาพก้ำกึ่งอีกจำนวน 4 ชิ้น แล้วทำการบันทึกผลการตรวจสอบของชิ้นงานจำนวน 20 ชิ้น

2. กำหนดพนักงานตรวจกระเบื้อง ทั้งหมดจำนวน 4 คน ซึ่งทั้งหมดจะเป็นผู้ตรวจสอบกระเบื้องโครงการนี้

3. ทำการศึกษาพนักงานทีละคน โดยที่ให้ทำการตรวจวัดชิ้นงานที่ได้เตรียมไว้ และที่สำคัญการวัดสิ่งตัวอย่างจะต้องเป็นแบบสุ่ม และให้พนักงานประเมินผลสิ่งตัวอย่างนั้นๆ ว่า ผ่านหรือไม่ผ่าน ทำการบันทึกผลลัพธ์ที่ได้จากการตรวจวัดลงในแบบฟอร์ม ในการตรวจวัดของพนักงานแต่ละคน จะต้องทำซ้ำ 2 ครั้ง รวมทั้งการทำซ้ำแต่ละครั้งจะทำการสลับตำแหน่งของกระเบื้อง เพื่อไม่ให้พนักงานจดจำงานตัวอย่างได้

4. บันทึกค่าลงในแบบฟอร์ม เพื่อทำการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดแบบข้อมูลตามลักษณะประกอบด้วยดัชนี เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการวัดซ้ำของการตรวจ และเปอร์เซ็นความไม่ไบอัสของพนักงาน เปอร์เซ็นต์ประสิทธิ์ผลด้านความสามารถในการวัดซ้ำของการตรวจสอบ และ เปอร์เซ็นผลด้านไบอัสของการตรวจสอบ

<u>เกณฑ์การยอมรับของระบบการวัด</u>

เกณฑ์การยอมรับของระบบการวัดด้วยวิธีการตรวจสอบกระเบื้องด้วยตาเปล่า ถูกกำหนดดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 เกณฑ์การยอมรับของระบบการวัด

ดัชนี	เกณฑ์การยอมรับ		
	รูพรุนผิวกระเบื้อง	ผิวปูดนูน	รอยร้าวผิว
1. %ความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงาน	100%	100%	100%
2. %ความไม่ไบอัสของพนักงาน	100%	100%	100%
3. %ประสิทธิภาพความสามารถในการวัดซ้ำของการตรวจสอบ	100%	100%	100%
4. %ประสิทธิผลความไม่ไบอัสของการตรวจสอบ	100%	100%	100%

4.1.1 การวิเคราะห์ระบบการตรวจสอบผิวกระเบื้องเป็นรูพรุน

ลักษณะการตรวจ

จะทำการตรวจด้วยสายตา (Visual Inspection) ซึ่งมีแนวทางการตรวจดังนี้

- ตั้งกระเบื้องตั้งฉากบนโต๊ะ แล้วมองในระยะประมาณ 50 เซนติเมตร
- พิจารณาแบ่งพื้นที่ผิวหน้าของกระเบื้องแป็น 6 ส่วน โดยไม่นับรวมพื้นที่บริเวณเหนือรอย Ejector ขึ้นไป เนื่องจากเป็นบริเวณจุดซ้อนทับระหว่างกระเบื้องเมื่อทำการมุงจะไม่สามารถมองเห็น จึงไม่ส่งผลต่อความสวยงาม

เกณฑ์ผลิตภัณฑ์

มีการแบ่งประเภทของเสียเนื่องจากรูพรุนผิวกระเบื้องเป็น 2 ชนิด ตามขนาดของรูพรุน และ ลักษณะการกระจายตัว คือ

1. ชนิดรูพรุนที่มีขนาดเกินกว่า 1 มล. จำนวนตั้งแต่ 1 จุดขึ้นไป ในพื้นใดพื้นที่หนึ่งของ 6 ส่วน ซึ่งจัดได้ว่าเป็นการของเสียพิจารณาตามขนาด
2. ชนิดหลุมที่มีขนาดเล็กกว่า 1 มล. มีการกระจายเกินกว่าครึ่งหนึ่งของพื้นที่ภายใน 6 ส่วน จำนวนเกินกว่า 4 พื้นที่ ซึ่งจัดเป็นการของเสียพิจารณาตามพื้นที่การกระจายตัวของรูพรุน

ขั้นตอนการประเมิน

ซึ่งผลการทดสอบการตรวจรูพรุนของพนักงานตรวจสอบทั้ง 4 คนเป็นดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลลัพธ์ของการตรวจสอบระบบการประเมินสภาพรูพรุนผิวกระเบื้อง

สิ่งตัวอย่างที่	คุณภาพงานที่แท้จริง	พนักงานตรวจสอบคนที่ 1		พนักงานตรวจสอบคนที่ 2		พนักงานตรวจสอบคนที่ 3		พนักงานตรวจสอบคนที่ 4		พนักงานตรวจได้เหมือนกันทุกครั้ง และทุกคน	พนักงานตรวจได้เหมือนกันอย่างถูกต้อง
		1	2	1	2	1	2	1	2		
1	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
2	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
3	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
4	NG	NG	G	G	G	NG	NG	NG	NG	N	N
5	NG	NG	NG	NG	NG	NG	G	NG	NG	N	N
6	G	G	G	G	G	NG	G	G	G	N	N
7	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
8	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
9	G	G	G	G	G	G	G	G	NG	N	N
10	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
11	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
12	G	G	G	NG	G	G	NG	G	G	N	N
13	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
14	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
15	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
16	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
17	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
18	G	NG	G	G	G	G	G	G	G	N	N
19	G	G	G	G	NG	G	G	G	G	N	N
20	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y

ผลการตรวจสอบความสามารถของระดับการวัดของพนักงานตรวจสอบ จากการวิเคราะห์โดยโปรแกรม Minitab แสดงดังตารางที่ 4.3 และ รูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดรูพรุนผิวกระเบื้อง โดยโปรแกรม Minitab

Within Appraisers

Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95 % CI
1	20	18	90.00	(68.30, 98.77)
2	20	18	90.00	(68.30, 98.77)
3	20	17	85.00	(62.11, 96.79)
4	20	19	95.00	(75.13, 99.87)

Matched: Appraiser agrees with him/herself across trials.

Each Appraiser vs Standard

Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95 % CI
1	20	18	90.00	(68.30, 98.77)
2	20	17	85.00	(62.11, 96.79)
3	20	17	85.00	(62.11, 96.79)
4	20	19	95.00	(75.13, 99.87)

Matched: Appraiser's assessment across trials agrees with the known standard.

Assessment Disagreement

Appraiser	# NG / G	Percent	# G / NG	Percent	# Mixed	Percent
1	0	0.00	0	0.00	2	10.00
2	0	0.00	1	10.00	2	10.00
3	0	0.00	0	0.00	3	15.00
4	0	0.00	0	0.00	1	5.00

NG / G: Assessments across trials = NG / standard = G.
G / NG: Assessments across trials = G / standard = NG.
Mixed: Assessments across trials are not identical.

Between Appraisers

Assessment Agreement

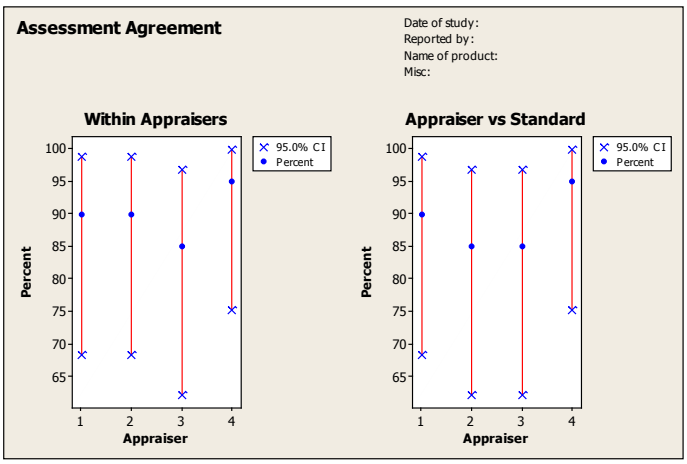
# Inspected	# Matched	Percent	95 % CI
20	13	65.00	(40.78, 84.61)

Matched: All appraisers' assessments agree with each other.

All Appraisers vs Standard

Assessment Agreement

# Inspected	# Matched	Percent	95 % CI
20	13	65.00	(40.78, 84.61)



รูปที่ 4.1 กราฟ Attribute Agreement ของการตรวจสอบรูพรุนผิวกระเบื้อง

ผลการตรวจสอบความสามารถของระดับการวัดตำหนิประเภทรูพรุนผิวกระเบื้องของพนักงานตรวจสอบเป็นดังนี้

- เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงานคนที่ 1 เท่ากับ 90% คนที่ 2 เท่ากับ 90% คนที่ 3 เท่ากับ 85% และ คนที่ 4 เท่ากับ 95%
- เปอร์เซ็นต์ความไม่ไบอัสของพนักงานคนที่ 1 เท่ากับ 90% คนที่ 2 เท่ากับ 85% คนที่ 3 เท่ากับ 85% และ คนที่ 4 เท่ากับ 95 %
- เปอร์เซนต์ประสิทธิภาพความสามารถในการวัดซ้ำของการตรวจสอบ เท่ากับ 65%
- เปอร์เซนต์ประสิทธิผลความไม่ไบอัสของการตรวจสอบ เท่ากับ 65%

จากผลการตรวจสอบที่ได้นี้พบว่าค่า เปอร์เซ็นความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงานตรวจสอบ เปอร์เซ็นความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบ (%Attribute Score) เปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลด้านความสามารถในการวัดซ้ำของการตรวจสอบ (%Screen Effective Score) และเปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลความไม่ไบอัสของการตรวจสอบ (% Attribute Effective Score) ไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนด จึงต้องกำหนดมาตราการเพื่อปรับปรุงให้ได้ตามเกณฑ์ยอมรับ

จากการตรวจสอบจะพบได้ว่าพนักงานตรวจสอบผิดพลาดส่วนใหญ่เป็นหัวข้อเกี่ยวกับรูพรุนแบบกระจายพื้นที่ และจากการสอบถามพนักงานทำให้ทราบว่าการตัดสินใจพื้นที่การกระจายยากการแบ่งพื้นที่เป็น 6 ส่วนด้วยสายตา ทำให้ประเมินแบ่งเป็นพื้นที่ได้ยาก ดังนั้นทางตัวคณะผู้ทำการสอบพนักงาน จึงจัดทำการฝึกอบรมพนักงานใหม่และสร้างครื่องมือในการแบ่งพื้นที่ขณะตรวจ จากนั้นทำการสอบความสามารถของระบบการวัดใหม่อีกครั้ง

<u>ขั้นตอนการประเมิน</u>

ซึ่งผลการทดสอบของพนักงานตรวจสอบทั้ง 4 คนหลังจากมีเครื่องมือช่วยในการแบ่งพื้นที่มีผลการตรวจสอบดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลลัพธ์ของการตรวจสอบระบบการประเมินสภาพรูพรุนผิวกระเบื้อง หลังการปรับปรุง

สิ่งตัวอย่างที่	คุณภาพงานที่แท้จริง	พนักงานตรวจสอบคนที่ 1		พนักงานตรวจสอบคนที่ 2		พนักงานตรวจสอบคนที่ 3		พนักงานตรวจสอบคนที่ 4		พนักงานตรวจได้เหมือนกันทุกครั้ง และทุกคน	พนักงานตรวจได้เหมือนกันอย่างถูกต้อง
		1	2	1	2	1	2	1	2		
1	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
2	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
3	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
4	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
5	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
6	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
7	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
8	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
9	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
10	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
11	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
12	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
13	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
14	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
15	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
16	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
17	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
18	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
19	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
20	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y

ผลการตรวจสอบความสามารถของระดับการวัดของพนักงานตรวจสอบ จากการวิเคราะห์โดยโปรแกรม Minitab แสดงดังตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดรูพรุนผิวกระเบื้อง หลังการปรับปรุง โดยโปรแกรม Minitab

Within Appraisers
Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95 % CI
1	20	20	100.00	(86.09, 100.00)
2	20	20	100.00	(86.09, 100.00)
3	20	20	100.00	(86.09, 100.00)
4	20	20	100.00	(86.09, 100.00)

Each Appraiser vs Standard
Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95 % CI
1	20	20	100.00	(86.09, 100.00)
2	20	20	100.00	(86.09, 100.00)
3	20	20	100.00	(86.09, 100.00)
4	20	20	100.00	(86.09, 100.00)

Assessment Disagreement

Appraiser	# NG / G	Percent	# G / NG	Percent	# Mixed	Percent
1	0	0.00	0	0.00	0	0.00
2	0	0.00	0	0.00	0	0.00
3	0	0.00	0	0.00	0	0.00
4	0	0.00	0	0.00	0	0.00

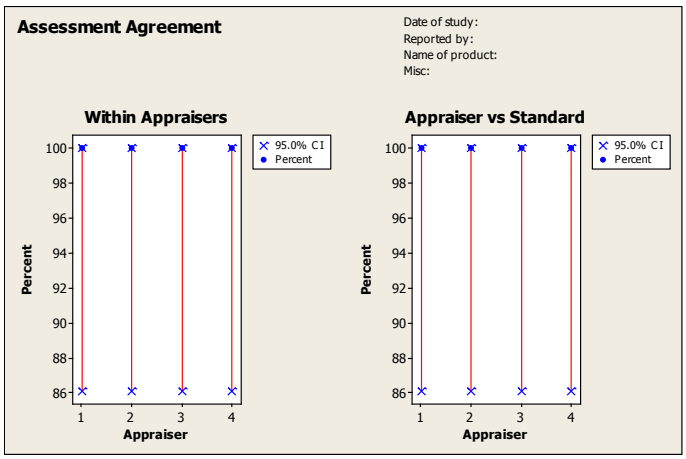
Between Appraisers
Assessment Agreement

# Inspected	# Matched	Percent	95 % CI
20	20	100.00	(86.09, 100.00)

All Appraisers vs Standard

Assessment Agreement

# Inspected	# Matched	Percent	95 % CI
20	20	100.00	(86.09, 100.00)



รูปที่ 4.2 กราฟ Attribute Agreement ของการตรวจสอบรูพรุนผิวกระเบื้อง หลังการปรับปรุง

ผลการตรวจสอบความสามารถของระดับการวัดตำหนิประเภทรูพรุนผิวกระเบื้องของพนักงานตรวจสอบเป็นดังนี้

- เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงานคนที่ 1 เท่ากับ 100% คนที่ 2 เท่ากับ 100 % คนที่ 3 เท่ากับ 100 % และ คนที่ 4 เท่ากับ 100%
- เปอร์เซ็นต์ความไม่ไบอัสของพนักงานคนที่ 1 เท่ากับ 100% คนที่ 2 เท่ากับ 100% คนที่ 3 เท่ากับ 100% และ คนที่ 4 เท่ากับ 100%
- เปอร์เซนต์ประสิทธิภาพความสามารถในการวัดซ้ำของการตรวจสอบ เท่ากับ 100 %
- เปอร์เซนต์ประสิทธิผลความไม่ไบอัสของการตรวจสอบ เท่ากับ 100 %

ดังนั้นสรุปได้ว่าความสามารถของกระบวนการวัดแบบข้อมูลเชิงนับของรูพรุนผิวกระเบื้องในการทดสอบอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และ หลังจากมีความมั่นใจในเรื่องความสามารถของกระบวนการวัดแล้ว จึงได้ทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์การเกิดรูพรุนผิวกระเบื้องต่อไป

4.1.2 การวิเคราะห์ระบบการตรวจสอบผิวกระเบื้องปูดนูน

ลักษณะการตรวจ

- ตั้งกระเบื้องลงบนโต๊ะ แล้วมองในระยะประมาณ 50 เซนติเมตร
- ทำการตรวจด้วยสายตา โดยไม่นับรวมพื้นที่บริเวณเหนือรอย Ejector ขึ้นไป เนื่องจากเป็นบริเวณจุดซ้อนทับระหว่างกระเบื้องเมื่อทำการมุงจะไม่สามารถมองเห็น จึงไม่ส่งผลต่อความสวยงาม

เกณฑ์ผลิตภัณฑ์

- มีจุดกระเบื้องปูดนูน จำนวนตั้งแต่ 1 จุดขึ้นไป บนพื้นที่ผิวกระเบื้องซึ่งจัดได้ว่าเป็นการชนิดของเสียแบบตามลักษณะของการเกิด และ ไม่เกิด (GO/NO GO)

ขั้นตอนการประเมิน

ซึ่งผลการทดสอบการตรวจปูดนูนผิวกระเบื้องของพนักงานตรวจสอบทั้ง 4 คน มีผลการตรวจสอบดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลลัพท์การตรวจสอบระบบการตรวจผิวกระเบื้องปูดนูน

สิ่งตัวอย่างที่	คุณภาพงานที่แท้จริง	พนักงานตรวจสอบคนที่ 1		พนักงานตรวจสอบคนที่ 2		พนักงานตรวจสอบคนที่ 3		พนักงานตรวจสอบคนที่ 4		พนักงานตรวจได้เหมือนกันทุกครั้ง และทุกคน	พนักงานตรวจได้เหมือนกันอย่างถูกต้อง
		1	2	1	2	1	2	1	2		
1	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
2	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
3	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
4	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
5	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
6	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
7	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
8	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
9	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
10	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
11	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
12	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
13	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
14	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
15	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
16	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
17	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
18	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
19	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
20	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y

ผลการตรวจสอบความสามารถของระดับการวัดของพนักงานตรวจสอบ จากการวิเคราะห์โดยโปรแกรม Minitab แสดงดังตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.3

ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ระบบการประเมินผิวกระเบื้องปูดนูน โดยโปรแกรม Minitab

Within Appraisers

Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95 % CI
1	20	20	100.00	(86.09, 100.00)
2	20	20	100.00	(86.09, 100.00)
3	20	20	100.00	(86.09, 100.00)
4	20	20	100.00	(86.09, 100.00)

Each Appraiser vs Standard

Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95 % CI
1	20	20	100.00	(86.09, 100.00)
2	20	20	100.00	(86.09, 100.00)
3	20	20	100.00	(86.09, 100.00)
4	20	20	100.00	(86.09, 100.00)

Assessment Disagreement

Appraiser	# NG / G	Percent	# G / NG	Percent	# Mixed	Percent
1	0	0.00	0	0.00	0	0.00
2	0	0.00	0	0.00	0	0.00
3	0	0.00	0	0.00	0	0.00
4	0	0.00	0	0.00	0	0.00

Between Appraisers

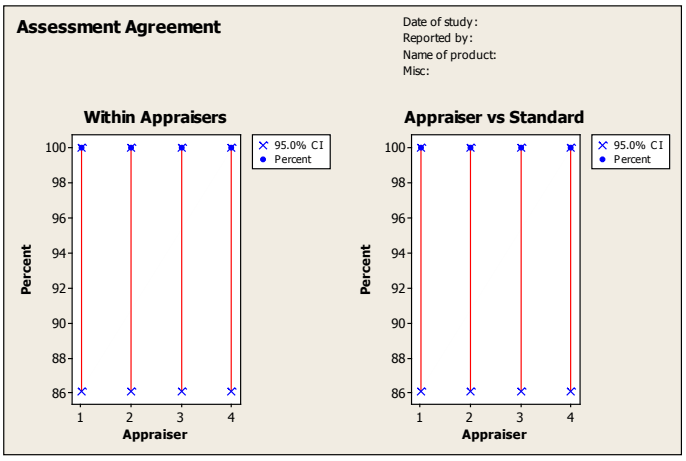
Assessment Agreement

# Inspected	# Matched	Percent	95 % CI
20	20	100.00	(86.09, 100.00)

All Appraisers vs Standard

Assessment Agreement

# Inspected	# Matched	Percent	95 % CI
20	20	100.00	(86.09, 100.00)



รูปที่ 4.3 กราฟ Attribute Agreement ของการตรวจสอบผิวกระเบื้องปูดนูน

ผลการตรวจสอบความสามารถของระดับการวัดตำหนิประเภทปูดนูนผิวกระเบื้องของ

พนักงานตรวจสอบเป็นดังนี้

- เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงานคนที่ 1 เท่ากับ 100% คนที่ 2 เท่ากับ 100 % คนที่ 3 เท่ากับ 100 % และ คนที่ 4 เท่ากับ 100%
- เปอร์เซ็นต์ความไม่ไบอัสของพนักงานคนที่ 1 เท่ากับ 100% คนที่ 2 เท่ากับ 100% คนที่ 3 เท่ากับ 100% และ คนที่ 4 เท่ากับ 100%
- เปอร์เซนต์ประสิทธิภาพความสามารถในการวัดซ้ำของการตรวจสอบ เท่ากับ 100 %
- เปอร์เซนต์ประสิทธิผลความไม่ไบอัสของการตรวจสอบ เท่ากับ 100 %

ดังนั้นสรุปได้ว่าความสามารถของกระบวนการวัดแบบข้อมูลเชิงนับของปูดนูนผิวกระเบื้องในการทดสอบอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และ หลังจากมีความมั่นใจในเรื่องความสามารถของกระบวนการวัดแล้ว จึงได้ทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์การเกิดปูดนูนผิวกระเบื้องต่อไป

4.1.3 การวิเคราะห์ระบบการตรวจสอบรอยร้าวผิวกระเบื้อง

ลักษณะการตรวจ

- ตั้งกระเบื้อง ลงบนโต๊ะ แล้วมองในระยะประมาณ 50 เซนติเมตร
- ทำการตรวจกระเบื้อง ทุกพื้นที่ด้านหน้าผิวกระเบื้อง

เกณฑ์ผลิตภัณฑ์

- มีรอยร้าวบริเวณผิวกระเบื้อง จำนวนตั้งแต่ 1 จุดขึ้นไป ในพื้นที่ใดๆบริเวณด้านหน้าของกระเบื้อง ซึ่งจัดได้ว่าเป็นชนิดของเสียแบบตามลักษณะของการเกิด และ ไม่เกิด (GO/NO GO)

ขั้นตอนการประเมิน

ซึ่งการตรวจรอยร้าวผิวกระเบื้องของพนักงานตรวจสอบทั้ง 4 คน มีผลตรวจสอบดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ผลลัพท์การตรวจสอบระบบการตรวจรอยร้าวผิวกระเบื้อง

สิ่งตัวอย่างที่	คุณภาพงานที่แท้จริง	พนักงานตรวจสอบคนที่ 1		พนักงานตรวจสอบคนที่ 2		พนักงานตรวจสอบคนที่ 3		พนักงานตรวจสอบคนที่ 4		พนักงานตรวจได้เหมือนกันทุกครั้ง และทุกคน	พนักงานตรวจได้เหมือนกันอย่างถูกต้อง
		1	2	1	2	1	2	1	2		
1	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
2	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
3	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
4	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
5	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
6	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
7	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
8	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
9	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
10	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
11	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
12	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
13	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
14	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
15	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
16	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
17	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
18	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
19	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
20	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y

ผลการตรวจสอบความสามารถของระดับการวัดของพนักงานตรวจสอบ จากการวิเคราะห์โดยโปรแกรม Minitab แสดงดังตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.4

ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ระบบการประเมินรอยร้าวผิวกระเบื้อง โดยโปรแกรม Minitab

Within Appraisers

Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95 % CI
1	20	20	100.00	(86.09, 100.00)
2	20	20	100.00	(86.09, 100.00)
3	20	20	100.00	(86.09, 100.00)
4	20	20	100.00	(86.09, 100.00)

Each Appraiser vs Standard

Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95 % CI
1	20	20	100.00	(86.09, 100.00)
2	20	20	100.00	(86.09, 100.00)
3	20	20	100.00	(86.09, 100.00)
4	20	20	100.00	(86.09, 100.00)

Assessment Disagreement

Appraiser	# NG / G	Percent	# G / NG	Percent	# Mixed	Percent
1	0	0.00	0	0.00	0	0.00
2	0	0.00	0	0.00	0	0.00
3	0	0.00	0	0.00	0	0.00
4	0	0.00	0	0.00	0	0.00

Between Appraisers

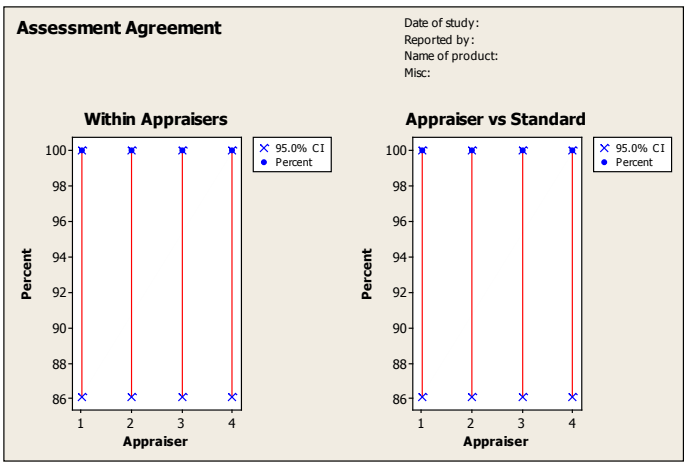
Assessment Agreement

# Inspected	# Matched	Percent	95 % CI
20	20	100.00	(86.09, 100.00)

All Appraisers vs Standard

Assessment Agreement

# Inspected	# Matched	Percent	95 % CI
20	20	100.00	(86.09, 100.00)



รูปที่ 4.4 กราฟ Attribute Agreement ของการตรวจสอบรอยร้าวผิวกระเบื้อง

สามารถทำการสรุปผลการวิเคราะห์ได้ดังนี้

ผลการตรวจสอบความสามารถของระดับการวัดตำหนิประเภทรอยร้าวผิวกระเบื้องของพนักงานตรวจสอบเป็นดังนี้

- เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงานคนที่ 1 เท่ากับ 100% คนที่ 2 เท่ากับ 100 % คนที่ 3 เท่ากับ 100 % และ คนที่ 4 เท่ากับ 100%
- เปอร์เซ็นต์ความไม่ไบอัสของพนักงานคนที่ 1 เท่ากับ 100% คนที่ 2 เท่ากับ 100% คนที่ 3 เท่ากับ 100% และ คนที่ 4 เท่ากับ 100%
- เปอร์เซนต์ประสิทธิภาพความสามารถในการวัดซ้ำของการตรวจสอบ เท่ากับ 100 %
- เปอร์เซนต์ประสิทธิผลความไม่ไบอัสของการตรวจสอบ เท่ากับ 100 %

ดังนั้นสรุปได้ว่าความสามารถของกระบวนการวัดแบบข้อมูลเชิงนับของรอยร้าวผิวกระเบื้องในการทดสอบอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และ หลังจากมีความมั่นใจในเรื่องความสามารถของกระบวนการวัดแล้ว จึงได้ทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์การเกิดรอยร้าวผิวกระเบื้องต่อไป

<u>สรุปผลการวิเคราะห์ระบบการตรวจสอบ</u>

จากผลการวิเคราะห์ระบบการตรวจสอบของเสียกระเบื้องชนิดรูพรุน,ปูดนูน และ ร้าวผิวกระเบื้อง พบได้ว่าผ่านเกณฑ์มาตราฐานทั้งหมด แสดงให้ว่ามีความมั่นใจในระบบการตรวจสามารถดำเนินการทดลองผลิตจริงในสายการผลิตจริงเพื่อวิเคราะห์ผลการเติมเศษกระเบื้องบด ณ ระดับต่อๆไปได้

4.2 การศึกษาผลลัพธ์ทางคุณภาพ เมื่อทำการเติมเศษกระเบื้องบดที่ระดับต่าง ๆ

ภายหลังจากการวิเคราะห์ระบบการวัด พบได้ว่ามีระดับความสามารถเพียงพอแล้ว เพื่อการศึกษาผลลัพธ์ของหัวข้อคุณภาพที่กำหนดไว้เมื่อทำการเติมเศษกระเบื้องบด จึงจะทำการทดลองผลิตในสายการผลิตจริง ณ ระดับการเติมแทนทราย คือ 0%, 25%,50% และ 75% โดยที่ 0% เพื่อเป็นสูตรเปรียบเทียบ ส่วนระดับที่ 25 % คือ ค่าเป้าหมายที่ต้องการ และ การทดลองที่ 50% และ 75% เพื่อทดสอบหาการใช้งานได้สูงสุด ซึ่งก่อนการทดลองผลิตจริงจะได้ทำการหาค่าความชื้นที่เหมาะสมจากการทดลองในห้องทดลองคอนกรีตก่อน

4.2.1 การหาค่าความชื้นที่เหมาะสม

ก่อนทำการทดลองจริงในสายการผลิต เบื้องต้นเพื่อหาค่าเปอร์เซนต์ความชื้นที่เหมาะสม

กับการผลิตกระเบื้องปกติและเติมเศษกระเบื้องบดมากที่สุด อันสามารถทำได้คุณภาพของกระเบื้องที่ดี เช่น ค่าความแข็งแรงดัดสูงที่สุด และ อัตราการดูดซึมน้ำต่ำที่สุด อีกทั้งมีแนวโน้มทำให้เกิดอาการปูดนูนต่ำที่สุด เนื่องจากการเกิดการทำปฏิกริยาไฮเดรชั่นทำได้สมบูรณ์ ได้ทำการกำหนดทดลองใน ห้องทดสอบคอนกรีต ตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ อันจะได้กำหนดค่าความชื้นนี้ในการทดลองผลิต ณ สายการผลิตจริงต่อไป

การการทดลองเป็นการดัดแปลงจากการทดสอบกำลังดัดของคอนกรีต (Flexural Strength Test) ASTM C 78 ทำโดยทดสอบกับชิ้นงานตัวอย่าง คือ ก้อนมอร์ตาร์ซึ่งใช้กระบวนการอัดขึ้นรูป ด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปก้อนมอร์ตาร์ ดังรูปที่ 4.5 ซึ่งคล้ายกับการขึ้นรูปตัวกระเบื้อง จำนวน 9 ก้อน ณ ระดับค่าความชื้นที่คาดการณ์ต่างๆ และ ทดสอบหาค่าความแข็งแรงดัดของก้อนมอร์ตาร์สูงสุด เนื่องจากความชื้นก่อนการอัดขึ้นรูปของมอร์ตาร์ หรือ ความชื้นมอร์ตาร์ในการผสมวัตถุดิบ เมื่อเทียบกับความชื้นของมอร์ตาร์หลังการขึ้นรูปเป็นตัวกระเบื้องในสายการผลิต จะมีค่าลดลงประมาณ 2% ดังนั้นเมื่อหาค่าความชื้นที่เหมาะสมใน ห้องทดสอบ แล้วต้องทำการบวกค่าความชื้นอีก 2% จึงจะได้ค่าความชื้นที่เหมาะสมในการผสมวัตถุดิบ ในสายการผลิตจริงต่อไป

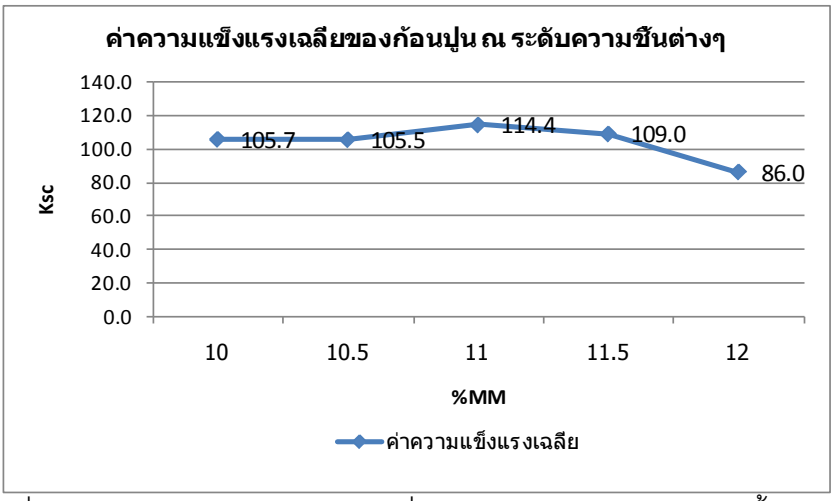
รูปที่ 4.5 เครื่องอัดขึ้นรูปก้อนมอร์ตาร์

1). ก้อนปูนการผลิตปกติของกระเบื้อง ไม่เติมเศษกระเบื้องบดแทนทราย

<u>ผลการทดลอง</u>

ตารางที่ 4.10 ผลค่าความแข็งแรงเฉลี่ยของก้อนมอร์ตา ณ ค่าความชื้นต่างๆ

สูตรที่	%MM	ค่าความแข็งแรงเฉลี่ย (ksc)
1	10	105.7
2	10.5	105.5
3	11	114.4
4	11.5	109.0
5	12	86.0



รูปที่ 4.6 กราฟผลค่าความแข็งแรงเฉลี่ยของก้อนมอร์ตา ณ ค่าความชื้นต่างๆ

การวิเคราะห์ผล

จากรูปที่ 4.6 จากการทำการทดสอบจะเห็นได้ว่าค่าความชื้นที่กำหนดในช่วง 11.0% ค่าความแข็งแรงดัดของก้อนมอร์ตาร์มีค่าที่ไม่แตกต่างกันมาก โดยมีค่าความชื้นที่ทำให้เกิดความแข็งแรงสูงที่สุด คือ 111.4 ksc ดังนั้นในสายการผลิตจริงต้องทำการผลิตที่ความชื้นเท่ากับ 13.0% ซึ่งเท่ากับกับมาตราฐานการผลิตในปัจจุบัน

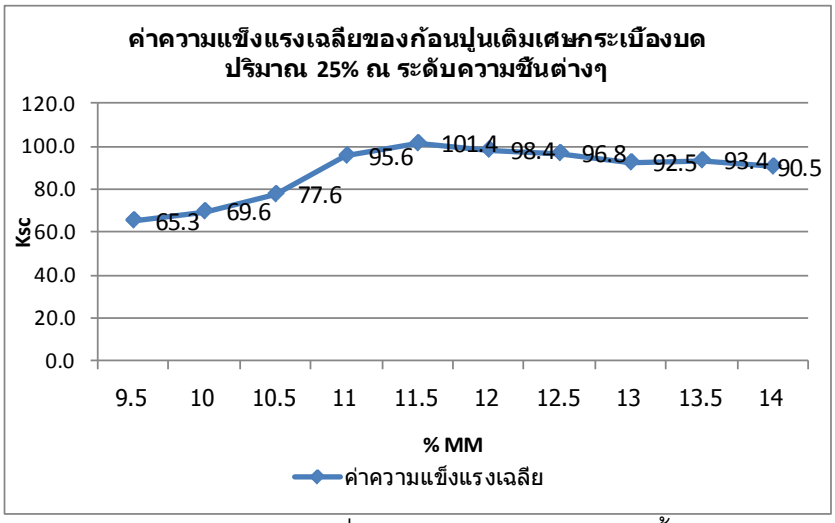
2). ก้อนมอร์ตาร์สูตรการผลิตปกติของกระเบื้อง เติมเศษกระเบื้องบด แทนทรายจำนวน 25%

ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.11 ผลค่าความแข็งแรงเฉลี่ยของก้อนปูนเติมเศษกระเบื้องบด ณ ค่าความชื้นต่างๆ

สูตรที่	%MM	ค่าความแข็งแรงเฉลี่ย (ksc)
1	9.5	65.3
2	10	69.6
3	10.5	77.6
4	11	95.6
5	11.5	101.4

สูตรที่	%MM	ค่าความแข็งแรงเฉลี่ย (ksc)
6	12	98.4
7	12.5	96.8
8	13	92.5
9	13.5	93.4
10	14	90.5



รูปที่ 4.7 กราฟผลค่าความแข็งแรงเฉลี่ยของก้อนปูนเติมเศษกระเบื้องบด ณ ค่าความชื้นต่างๆ

3). การวิเคราะห์ผล

จากรูปที่ 4.7 จากการทำการทดสอบจะเห็นได้ว่าค่าความชื้นที่กำหนดในช่วง 11.5% ค่าความแข็งแรงดัดของก้อนมอร์ตาร์ที่เติมเศษกระเบื้องบดแทนทรายจำนวน 25% มีค่าที่ไม่แตกต่างกันมาก โดยมีค่าความชื้นที่ทำให้เกิดความแข็งแรงสูงที่สุด คือ 101.4 ksc ดังนั้นในสายการผลิตจริงต้องทำการผลิตที่ความชื้นเท่ากับ 13.5 %

4). สรุปผล

จากการทดลองหาค่าความชื้นที่เหมาะสมในการผสมวัตถุดิบ ที่ระดับการเติมเศษกระเบื้องบดแทนทรายที่ 0% และ 25% แสดงให้เห็นแนวโน้มทุกการเพิ่มเศษกระเบื้องบด 25% การเพิ่มความชื้นในการผลิตขึ้น 0.5% จะให้ค่าความชื้นเหมาะสมที่สุด ดังนั้นจึงพิจารณากำหนดค่า

ความชื้น ที่การเติมเศษกระเบื้องบดแทนทราย 50% และ 75% คือ 14% และ 14.5% ตามลำดับ

4.2.2 การทดลองเติมเศษกระเบื้องบดในผลิตภัณฑ์จริง

1). วัตถุประสงค์

ศึกษาหาผลกระทบของลักษณะคุณภาพ จากการเติมเศษกระเบื้องบดแทนทราย ณ ระดับปริมาณ ต่างๆ อันประกอบด้วย ค่าความแข็งแรง, อัตราการดูดซึมน้ำ, อัตราปูดนูนผิวกระเบื้อง, อัตรารอยร้าวผิวกระเบื้อง และ อัตรารูพรุนผิวกระเบื้อง ว่าแตกต่างจากการเดิมอย่างมีนัยยะสำคัญ และ มีค่าระดับคุณภาพผ่านมาตราฐาน หรือไม่

2). ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ

ปัจจัยที่จะทำการทดลองคือการเติมเศษกระเบื้องบดในอัตราส่วนแทนทรายเท่ากับจำนวน 0, 25, 50,และ 75% โดยกำหนดที่ 0% เป็นตัวเปรียบเทียบ และที่ 25% เป็นเป้าหมายการใช้งาน ส่วนที่ 50 และ 75% เป็นการศึกษาผลเพิ่มเติม เพื่อประเมินหาขอบเขตการผสมเศษกระเบื้องบดได้สูงสุด

3). ตัวแปรตอบสนอง

ค่าความแข็งแรง, อัตราการดูดซึมน้ำ, อัตราปูดนูนผิวกระเบื้อง, อัตรารอยร้าวผิวกระเบื้อง และ อัตรารูพรุนผิวกระเบื้อง

4). การออกแบบการทดลอง

เนื่องจากในการทดลองมีปัจจัยที่สนใจศึกษาว่ามีผลอย่างมีนัยยะสำคัญต่อหัวข้อคุณภาพหรือไม่ คือ ปริมาณการเติมเศษกระเบื้องบดที่ 0, 25, 50 และ 75% และ จากข้อจำกัดเรื่องเครื่องมือทดสอบ ทำให้ต้องแบ่งวันทดลองออกเป็น 3 วัน ดังนั้นการออกแบบการทดลองนี้จะใช้การออกแบบการแบบชนิด ANOVAs บล็อคสุ่มบริบูรณ์โดยมีระดับการทดลอง 4 ระดับ และ มีการบล๊อค คือ วันการทดลอง จำนวน 3 บล๊อค

4.4.1 การทดลองซ้ำ (Replication)

การทำซ้ำหมายถึงการที่ Treatment Combination หนึ่งจะถูกทำการทดลองมากกว่า 1 ครั้ง ซึ่งการทำซ้ำนี้จะช่วยให้สามารถที่จะประมาณค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดลองได้ และทำให้ขนาดของความคลาดเคลื่อนลดลงได้ โดยการทดลองนี้จะทำการทดลองโดย

การทำซ้ำในแต่ละ Treatment Combination เท่ากับ 3 ครั้ง (3 replications) เนื่องจากทำให้ประหยัดเวลาในการทดลองและเป็นการประหยัดวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองด้วยเช่นกัน

4.4.2 การสุ่ม (Randomization)

การสุ่มเป็นหลักสำคัญในการใช้หลักการทางสถิติในการออกแบบการทดลอง โดยการสุ่มจะหมายถึงการจัดสรรหน่วยการทดลองและลำดับการทดลองให้เป็นไปโดยสุ่ม ซึ่งทำให้ผลการทดลองตรงกับข้อกำหนดทางสถิติที่ว่า ค่าสังเกตจากการทดลองต้องมีความเป็นอิสระต่อกัน และการสุ่มยังสามารถที่จะเฉลี่ยออกความผันแปรภายนอกที่ไม่ได้เกิดจากสาเหตุโดยธรรมชาติออกไปได้ ทำให้การวิเคราะห์ผลจากการทดลองมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

เมื่อนำมาเขียนเมตริกการออกแบบการทดลองสามารถ เขียนได้ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 เมตริกการออกแบบการทดลองเติมเศษกระเบื้องบด

ปริมาณเติมเศษกระเบื้องบดแทนทราย	วันทดลอง		
	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3
0	1*	5*	9*
25	2*	6*	10*
50	3*	7*	11*
75	4*	8*	12*

หมายเหตุ : * = หมายเลขสภาวะการทดลอง

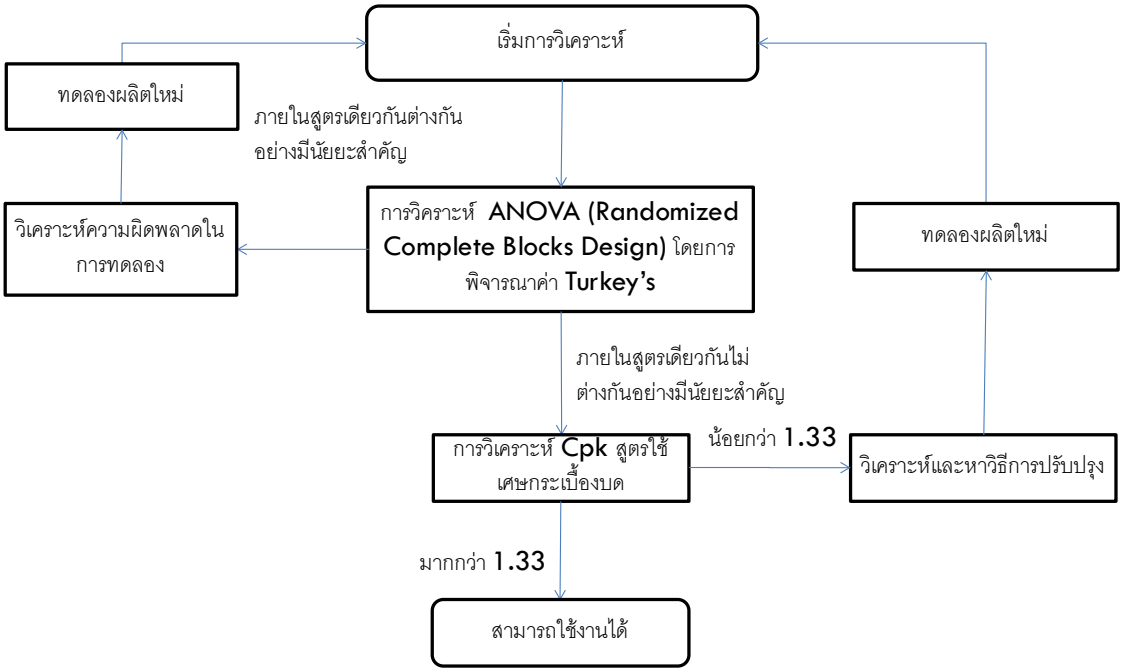
5). รูปแบบและขั้นตอนในการวิเคราะห์

ในการวิเคราะห์ผลลัพธ์ของหัวข้อคุณภาพตัวแปรตอบสนอง ซึ่งมีทั้งชนิด Variable และ Attribute รวมทั้งมีการเปรียบเทียบหลายระดับของตัวแปรตอบสนอง ดังนั้นจึงกำหนดเครื่องมือทางสถิติในการทดสอบ และ มีการตั้งเกณฑ์พิจารณาการยอมรับ ซึ่งมาจากการพิจารณาสถานะของหัวข้อคุณภาพในปัจจุบัน ดังแสดงในตารางที่ 4.13 โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์เพื่อนำไปสู่ระดับการใช้เศษกระเบื้องบดที่ใช้งานได้ ดังรูปที่ 4.14 – 4.16 โดยในการงานนั้น จะต้องผ่านทั้งหมด

ตารางที่ 4.13 การใช้เครื่องมือทางสถิติในการวิเคราะห์ผล และ เกณฑ์การยอมรับ

หัวข้อที่	ลักษณะทางคุณภาพ	ชนิดพารามิเตอร์	เครื่องมือทางสถิติ	เกณฑ์การยอมรับของบริษัท
1	ค่าความแข็งแรง	Mean	ANOVA (Randomized Complete Blocks Design)	-
		Cpk	Process Capability Analysis	≥ 1.33
2	ค่าอัตราดูดซึมน้ำ	Mean	ANOVA (Randomized Complete Blocks Design)	-
		Cpk	Process Capability Analysis	≥ 1.33
3	อัตราของเสียจากปูดนูน	Defect Proportion	• Chi-Square Test • 2 Proportion Test	ต่างอย่างมีนัยยะกับสูตรไม่เติมเศษกระเบื้องบด
4	อัตราของเสียจากร้าวผิว	Defect Proportion	• Chi-Square Test • 2 Proportion Test	ต่างอย่างมีนัยยะกับสูตรไม่เติมเศษกระเบื้องบด
5	อัตราของเสียจากรูพรุน	Defect Proportion	• Chi-Square Test • 2 Proportion Tes	ต่างอย่างมีนัยยะกับสูตรไม่เติมเศษกระเบื้องบด

5.1 กระบวนการวิเคราะห์ค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย และ อัตราการดูดซึมน้ำ



รูปที่ 4.8 แผนผังกระบวนการวิเคราะห์ค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย และ อัตราการดูดซึมน้ำ

อธิบายความจากรูปที่ 4.8

1 การวิเคราะห์ ANOVA (Randomized Complete Blocks Design) โดยทำการพิจารณาค่า Turkey's โดยทำการเปรียบเทียบว่า

1.1 กรณีการเปรียบเทียบแล้ว Day (Block) มีผลต่างกันอย่างมีนัยยะสำคัญ ให้ทำการวิเคราะห์วิธีการทดลองว่ามีสิ่งใดไม่ได้ทำการควบคุมในการทดลองจนทำให้ผลแตกต่างกัน ระหว่างการทดลอง หามาตราการในการป้องกันในการทดลองครั้งหน้า แล้วทดลองซ้ำใหม่อีกครั้ง

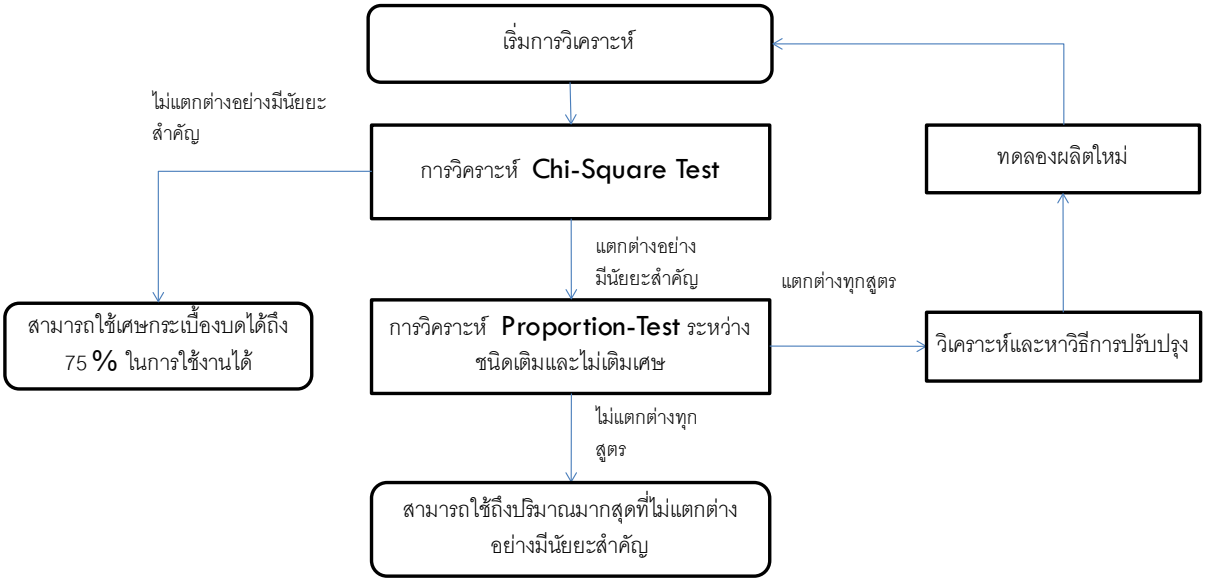
1.2 กรณีการเปรียบเทียบแล้ว Day (Block) มีไม่ผลต่างกันอย่างมีนัยยะสำคัญ ให้พิจารณาความแตกต่างระหว่างสูตรปกติและสูตรการเติมเศษกระเบื้องบดว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยยะสำคัญ หรือ ไม่ หลังจากนั้น ดำเนินการวิเคราะห์ต่อข้อ 2

2 ทำการวิเคราะห์ค่า Process Capability (Cpk) โดยพิจารณาเทียบกับเกณฑ์การยอมรับของบริษัท คือ 1.33 ดังนี้

2.1 กรณีสูตรการเติมเศษกระเบื้องบดมีค่าถึงเกณฑ์การยอมรับให้ทำการกำหนดค่าสูงสุดในการใช้งานได้ตามปริมาณนั้น

2.2 กรณีไม่มีสูตรการเติมเศษกระเบื้องบดมีค่าถึงเกณฑ์การยอมรับให้ทำการวิเคราะห์สาเหตุ และ ปรับปรุง รวมทั้งการทดลองผลิตใหม่เพื่อนำมาวิเคราะห์ผลอีกครั้ง

5.2 กระบวนการวิเคราะห์อัตราของเสียปูดนูน, รูพรุน และ รอยร้าวกระเบื้อง



รูปที่ 4.9 แผนผังกระบวนการวิเคราะห์อัตราของเสียปูดนูน, รูพรุน และ รอยร้าวกระเบื้อง

อธิบายความจากรูปที่ 4.9

1 ทำการวิเคราะห์ Chi-Square Table โดยทำการพิจารณาดังนี้

1.1 กรณีค่า P-Value มากกว่า 0.05 แสดงว่าการเติมเศษกระเบื้องที่จำนวน 0%,25%,50% และ 75% ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยยะสำคัญ และ สามารถกำหนดการใช้งานได้ไม่เกิน 75%

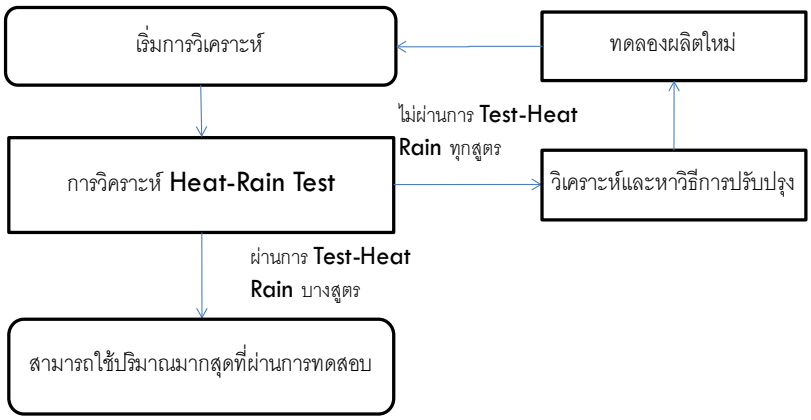
1.2 กรณีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 แสดงว่ามีสูตรการทดลองที่แตกต่างกันอย่างมีนัยยะสำคัญอย่างน้อย 1 คู่ ซึ่งจะต้องทำการวิเคราะห์ต่อ ดังข้อที่ 2

2 ทำการวิเคราะห์ Proportion-Test โดยทำการพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างสูตรไม่เติมเศษกระเบื้องบด และ สูตรการเติมเศษกระเบื้องบด ณ ระดับ ต่างๆ เพื่อพิจารณาค่าแตกต่างอย่างมีนัยยะสำคัญ หรือ ไม่ ดังนี้

2.1. กรณีค่า P-Value มีคู่การเปรียบเทียบมากกว่า 0.05 แสดงว่าการเติมเศษกระเบื้องที่จำนวน นั้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยยะสำคัญ สามารถยอมรับให้ทำการกำหนดค่าสูงสุดในการใช้งานได้ตามปริมาณนั้น

2.1 กรณีค่า P-Value น้อยกว่าในทุกคู่การเปรียบเทียบ 0.05 แสดงว่าทุกสูตรแตกต่างอย่างมีนัยยะสำคัญ ไม่สามารถยอมรับได้ต้องทำการวิเคราะห์หาวิธีการปรับปรุงรวมทั้งการทดลองผลิตใหม่เพื่อนำมาวิเคราะห์ผลอีกครั้ง

5.3 <u>กระบวนการวิเคราะห์การทดสอบ ความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในระยะยาว</u>



รูปที่ 4.10 แผนผังกระบวนการวิเคราะห์การทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในระยะยาว

อธิบายความจากรูปที่ 4.10

1 ทำการวิเคราะห์ Heat Rain Test โดยทำการพิจารณาดังนี้

1.1 กรณีกระเบื้องมีอาการแตกร้าว เท่ากับ หรือ มากกว่า 1 แผ่น เมื่อผ่านการทดสอบที่ 100 cycle วิเคราะห์หาวิธีการปรับปรุง รวมทั้งการทดลองผลิตใหม่เพื่อนำมาวิเคราะห์ผลอีกครั้ง

1.2 กรณีกระเบื้องไม่มีอาการแตกร้าว เมื่อผ่านการทดสอบที่ 100 cycle

ให้กำหนดปริมาณความสามารถในการใช้งานที่สูงสุดที่ผ่านการทดสอบ

6). จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

ได้มีการคำนวน Sample size ที่เหมาะสมของการทดสอบแต่ละหัวข้อการทดสอบไว้ดังนี้

6.1 ค่าความแรงของกระเบื้อง ณ จำหน่าย

พิจารณาในรูปแบบของ One-Way ANOVAs ซึ่งในการคำนวณเพื่อหาจำนวนตัวอย่างที่เหมาะสมสำหรับการทดลองแบบ นั้น ผู้วิจัยได้กำหนดเกณฑ์การตัดสินใจไว้ 2 ส่วน คือ

1. อำนาจของการทดสอบ (Power of test) ซึ่งจะต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 0.80 (กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2545ค.) และ ระดับความเชื่อมั่น 95%

2. ความไว (Sensitivity) ของการเพิ่มขึ้นของค่าอำนาจการทดสอบ ต่อการเพิ่มของจำนวน ตัวอย่าง (Sample Size) ต้องไม่สูงมากนัก ข้อมูลสำหรับการคำนวณหาค่าอำนาจของการทดสอบ ดังนี

2.1 ปัจจัยที่ต้องการนำมาทำการออกแบบการทดลอง 4 ระดับ

2.2 ค่าความแตกต่างสูงสุด (Maximum difference – D) ที่ยอมให้เกิดขึ้นได้มีค่าประมาณ 11.2 kg. (เนื่องจากปัจจุบันค่าเฉลี่ยปัจจุบันเท่ากับ 149.7 kg. พิจารณาในกรณีค่าเฉลี่ยไม่ต่ำกว่า 138.5 kg. เพื่อให้ Cpk ไม่น้อยกว่า 1.33)

2.3 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ (Sigma - σ) มีค่าประมาณ 14 kg. (มาจากค่าเบี่ยงเบนมาตราฐานในเดือนปัจจุบัน)

เมื่อใช้ Minitab คำนวณค่าอำนาจของการทดสอบ (Power of test) ของแต่ละจำนวนตัวอย่าง

ตารางที่ 4.14 การคำนวน Sample size ของการทดสอบค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย

Power and Sample Size

```
One-way ANOVA

Alpha = 0.05  Assumed standard deviation = 14

Factors: 1  Number of levels: 4


   Maximum  Sample
Difference    Size     Power

      11.2      36  0.811742
The sample size is for each level.
```

จากตารางที่ 4.14 พิจารณาจำนวนที่สามารถให้ค่ากำลังของการทดสอบ (Power of Test) เท่ากับ 0.811 ณ ระดับความเชื่อมั่น 95% ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในแต่ละการทดสอบ (Run) ของการออกแบบการทดลองอย่างน้อยต้องมีค่าเท่ากับ 36 ตัวอย่าง

6.2 ค่าอัตราการดูดซึมน้ำ

พิจารณาในรูปแบบของ One-Way ANOVAs ในการคำนวณเพื่อหาจำนวนตัวอย่างที่เหมาะสมสำหรับการทดลองแบบ นั้น ผู้วิจัยได้กำหนดเกณฑ์การตัดสินใจไว้ 2 ส่วน คือ

1. อำนาจของการทดสอบ (Power of test) ซึ่งจะต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 0.80 (กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2545, เล่ม2) และ ระดับความเชื่อมั่น 95%

2. ความไว (Sensitivity) ของการเพิ่มขึ้นของค่าอำนาจการทดสอบ ต่อการเพิ่มของจำนวน ตัวอย่าง (Sample Size) ต้องไม่สูงมากนัก ข้อมูลสำหรับการคำนวณหาค่าอำนาจของการทดสอบ ดังนี้

2.1 ปัจจัยที่ต้องการนำมาทำการออกแบบการทดลอง 4 ระดับ

2.2 ค่าความแตกต่างสูงสุด (Maximum difference – D) ที่ยอมให้เกิดขึ้นได้มีค่าประมาณ 1.3 % (เนื่องจากปัจจุบัน ค่าเฉลี่ยปัจจุบัน เท่ากับ 6.3% ต้องการพิจารณาในกรณีค่าเฉลี่ยไม่มากกว่ากว่า 7.6% เพื่อให้ Cpk ไม่น้อยกว่า 1.33)

2.3 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ (Sigma - σ) มีค่าประมาณ 0.6 % (มาจากค่าเบี่ยงเบนมาตราฐานในเดือนปัจจุบัน)

เมื่อใช้ Minitab คำนวณค่าอำนาจของการทดสอบ (Power of test) ของแต่ละจำนวนตัวอย่าง

ตารางที่ 4.15 การคำนวน Sample size ของการทดสอบค่าอัตราดูดซึมน้ำ

Power and Sample Size

```
One-way ANOVA

Alpha = 0.05  Assumed standard deviation = 0.6

Factors: 1  Number of levels: 4


Maximum       Sample
Difference    Size      Power
    1.3       6         0.825013

The sample size is for each level.
```

จากตารางที่ 4.15 พิจารณาจำนวนที่สามารถให้ค่ากำลังของการทดสอบ (Power of Test) เท่ากับ 0.825 ณ ระดับความเชื่อมั่น 95% ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในแต่ละการทดสอบ (Run) ของการออกแบบการทดลองอย่างน้อยต้องมีค่าเท่ากับ 6 ตัวอย่าง

6.3 ค่าอัตราของเสียจากปูดนูนผิวกระเบื้อง

พิจารณาการหาในรูปแบบของ 2 Proportion Test โดยกำหนดสมมติฐาน p1 > p2 ซึ่งในการคำนวณเพื่อหาจำนวนตัวอย่างที่เหมาะสมสำหรับการทดลองแบบนั้น ผู้วิจัยได้กำหนดเกณฑ์การตัดสินใจไว้ 2 ส่วน คือ

1. อำนาจของการทดสอบ (Power of test) ซึ่งจะต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 0.80 (กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2545, เล่ม2) และ ระดับความเชื่อมั่น 95%

2. ความไว (Sensitivity) ของการเพิ่มขึ้นของค่าอำนาจการทดสอบ ต่อการเพิ่มของจำนวน ตัวอย่าง (Sample Size) ต้องไม่สูงมากนัก ข้อมูลสำหรับการคำนวณหาค่าอำนาจของการทดสอบ ดังนี้

2.1 ค่าอัตราของเสียเปรียบเทียบ (Comparison proportion – p1) ที่ยอมให้เกิดขึ้นได้มีค่าประมาณ 0.05

2.2 ค่าอัตราของเสียปัจจุบัน (Baseline proportion – p2) มีค่าประมาณ 0.034

เมื่อใช้ Minitab คำนวณค่าอำนาจของการทดสอบ (Power of test) ของแต่ละจำนวนตัวอย่าง

ตารางที่ 4.16 การคำนวน Sample size ของการทดสอบค่าอัตราของเสียจากปูดนูนผิวกระเบื้อง

Power and Sample Size

```
Test for Two Proportions

Testing comparison p = baseline p (versus >)
Calculating power for baseline p = 0.034
Alpha = 0.05


              Sample
Comparison p    Size     Power

        0.05    1943     0.800107
The sample size is for each group.
```

จากตารางที่ 4.16 พิจารณาจำนวนที่สามารถให้ค่ากำลังของการทดสอบ (Power of

Test) เท่ากับ 0.800 ณ ระดับความเชื่อมั่น 95% ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในแต่ละการทดสอบ (Run) ของการออกแบบการทดลองอย่างน้อยต้องมีค่าเท่ากับ 1,943 ตัวอย่าง

6.4 ค่าอัตราของเสียจากรอยร้าวผิวกระเบื้อง

พิจารณาการหาในรูปแบบของ 2 Proportion Test โดยกำหนดสมมติฐาน p1 > p2 ซึ่งในการคำนวณเพื่อหาจำนวนตัวอย่างที่เหมาะสมสำหรับการทดลองแบบนั้น ผู้วิจัยได้กำหนดเกณฑ์การตัดสินใจไว้ 2 ส่วน คือ

1. อำนาจของการทดสอบ (Power of test) ซึ่งจะต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 0.80 (กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2545, เล่ม2) และ ระดับความเชื่อมั่น 95%

2. ความไว (Sensitivity) ของการเพิ่มขึ้นของค่าอำนาจการทดสอบ ต่อการเพิ่มของจำนวน ตัวอย่าง (Sample Size) ต้องไม่สูงมากนัก ข้อมูลสำหรับการคำนวณหาค่าอำนาจของการทดสอบ ดังนี้

2.1 ค่าอัตราของเสียเปรียบเทียบ (Comparison proportion – p1) ที่ยอมให้เกิดขึ้นได้มีค่าประมาณ 0.06

2.2 ค่าอัตราของเสียปัจจุบัน (Baseline proportion – p2) มีค่าประมาณ 0.042

เมื่อใช้ Minitab คำนวณค่าอำนาจของการทดสอบ (Power of test) ของแต่ละจำนวนตัวอย่าง

ตารางที่ 4.17 การคำนวน Sample size ของการทดสอบค่าอัตราของเสียจากรอยร้าวผิวกระเบื้อง

Power and Sample Size

```
Test for Two Proportions

Testing comparison p = baseline p (versus >)
Calculating power for baseline p = 0.042
Alpha = 0.05


              Sample
Comparison p    Size     Power

        0.06    1847     0.800179
The sample size is for each group.
```

จากตารางที่ 4.17 พิจารณาจำนวนที่สามารถให้ค่ากำลังของการทดสอบ (Power of Test) เท่ากับ 0.800 ณ ระดับความเชื่อมั่น 95% ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในแต่ละการทดสอบ (Run)

ของการออกแบบการทดลองอย่างน้อยต้องมีค่าเท่ากับ 1,847 ตัวอย่าง

6.5 ค่าอัตราของเสียจากรูพรุนผิวกระเบื้อง

พิจารณาการหาในรูปแบบของ 2 Proportion Test โดยกำหนดสมมติฐาน p1 > p2 ซึ่งในการคำนวณเพื่อหาจำนวนตัวอย่างที่เหมาะสมสำหรับการทดลองแบบนั้น ผู้วิจัยได้กำหนดเกณฑ์การตัดสินใจไว้ 2 ส่วน คือ

1. อำนาจของการทดสอบ (Power of test) ซึ่งจะต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 0.80 (กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2545, เล่ม2) และ ระดับความเชื่อมั่น 95%

2. ความไว (Sensitivity) ของการเพิ่มขึ้นของค่าอำนาจการทดสอบ ต่อการเพิ่มของจำนวน ตัวอย่าง (Sample Size) ต้องไม่สูงมากนัก ข้อมูลสำหรับการคำนวณหาค่าอำนาจของการทดสอบ ดังนี้

2.1 ค่าอัตราของเสียเปรียบเทียบ (Comparison proportion – p1) ที่ยอมให้เกิดขึ้นได้มีค่าประมาณ 0.06

2.2 ค่าอัตราของเสียปัจจุบัน (Baseline proportion – p2) มีค่าประมาณ 0.041

เมื่อใช้ Minitab คำนวณค่าอำนาจของการทดสอบ (Power of test) ของแต่ละจำนวนตัวอย่าง

ตารางที่ 4.18 การคำนวน Sample size ณ กำลังการทดสอบต่างๆ ของการทดสอบค่าอัตราของเสียจากรูพรุนผิวกระเบื้อง

Power and Sample Size

```
Test for Two Proportions

Testing comparison p = baseline p (versus >)
Calculating power for baseline p = 0.041
Alpha = 0.05


             Sample
Comparison p    Size     Power

        0.06    1642     0.800138
The sample size is for each group.
```

จากตารางที่ 4.18 พิจารณาจำนวนที่สามารถให้ค่ากำลังของการทดสอบ (Power of Test) เท่ากับ 0.800 ณ ระดับความเชื่อมั่น 95% ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในแต่ละการทดสอบ (Run) ของการออกแบบการทดลองอย่างน้อยต้องมีค่าเท่ากับ 1,642 ตัวอย่าง

แต่เนื่องจากการที่ปริมาณการการทดสอบมีข้อจำกัดจากความสามารถของเครื่องมือทดสอบ และ เงื่อนไขการทดสอบที่ต้องทำให้เสร็จระยะเวลาที่กำหนด เนื่องจากอายุของกระเบื้องคอนกรีตมีผลทำให้ระดับของคุณภาพเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นจึงกำหนดจำนวนการทดสอบดังตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 จำนวนการทดสอบคุณภาพ สำหรับหัวข้อคุณภาพต่างๆ

หัวข้อ	ลักษณะทางคุณภาพ	รูปแบบ	จำนวนการทดสอบต่อ batch	จำนวน batch การทดสอบ	จำนวนชิ้นงานทดสอบทั้งหมด
1	ความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย	สุ่มทดสอบ	30	12	360
2	อัตราดูดซึมน้ำ	สุ่มทดสอบ	10	12	120
3	อัตราของเสียจากปูดนูน	100%	90	12	1,080
4	อัตราของเสียจากร้าวผิว	100%	90	12	1,080
5	อัตราของเสียจากรูพรุน	100%	90	12	1,080

7). ขั้นตอนในการทดลอง

<u>วิธีการทดลอง</u>

1. ทำการสื่อสารลำดับการทดลองให้กับพนักงานในการทดลองทั้งหมดซึ่งประกอบด้วยทำการทดลองการเติมเศษกระเบื้องบดที่ปริมาณ 0%, 25%, 50% และ 75% จำนวนอย่างละ 3 Batch (3 Replicate) ซึ่งแบ่งการทดลองทั้งหมดจำนวน 3 วัน โดยมีลำดับการทดลองเป็นดังตารางที่ 4.20 พร้อมทั้งสื่อสารหน้าที่ในการทดลองดังนี้ พนักงานเครื่อง Mixer เพื่อสามารถผสมวัตถุดิบได้ถูกต้องทั้งตามลำดับการทดลอง และ ปริมาณวัตถุดิบ , พนักงานผลิต หน้าเครื่อง Press เพื่อสามารถทำเครื่องหมายที่กระเบื้องได้อย่างถูกต้อง , พนักงานปรับเครื่องจักรผลิต เพื่อทดสอบความหนากระเบื้อง และ ปรับระดับ Mould ให้ได้ตามเกณฑ์ รวมทั้งปรับแก้เครื่องจักรกรณีเกิดปัญหา , พนักงานวัดค่าความชื้น เพื่อหาค่าความชื้น batch การทดลอง และ จดค่าการใช้วัตถุดิบทั้งหมดจริง , พนักงานผลิตใน Line เพื่อจะไม่ทิ้งกระเบื้องเสียในการทดลองที่ผ่านในสายพ่นการผลิต , พนักงานทดสอบ เพื่อทราบว่าต้องทดสอบหัวข้อคุณภาพใดบ้าง ณ วันไหน จำนวนเท่าไหร่ และพนักงานเตรียมวัตถุดิบ เพื่อสามารถเตรียมวัตถุดิบเป็นชุดเดียวกันในการทดลองทั้งหมด

ตารางที่ 4.20 ลำดับการทดลองการเติมเศษกระเบื้องบด

วันที่	Batch ที่	% การเติมเศษกระเบื้องบดแทนทราย
1	1	0
	2	25
	3	50
	4	75
2	5	75
	6	50
	7	0
	8	25

วันที่	Batch ที่	% การเติมเศษกระเบื้องบดแทนทราย
3	9	50
	10	25
	11	0
	12	75

2. เตรียมกองทราย และ กองเศษกระเบื้องบด เป็นกองเดียวกันสำหรับทุกสูตรการทดลอง เพื่อให้ทุก Batch การทดลองเป็นวัตถุดิบจากกองเดียวกัน โดยทำการคลุกแต่ละกองให้เข้ากันดีเสียก่อน แล้วตรวจค่าขนาดคละภายในกองใกล้เคียงกันหรือไม่หากไม่ใกล้เคียงให้ทำการคลุกจากนั้นตักเศษกระเบื้องบดใส่ถุงจำนวนตามการสูตรการทดลอง

3. ตรวจสอบสภาพเครื่อง Mixer, เครื่อง Press, Supporting Plate และ ห้องบ่ม รวมทั้งเครื่องมือในการทดสอบ คือ เครื่องวัดความชื้น, ตู้อบ และ เครื่องกดวัดความแข็งแรงกระเบื้อง เพื่อให้มั่นใจได้ว่าจะไม่มี ผลรบกวน ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่าง batch การทดลอง

4. ทำการป้อนทรายจาก Sand Bin เข้าสายพานไปที่ Mixer ส่วนเศษกระเบื้องบดทำการยกขึ้นเทลงใน Mixer พร้อมทั้งเทน้ำตามปริมาณสูตรการทดลอง ผสมกันที่เวลา Dry Mix 55 วินาที และ Wet Mix 55 วินาทีเมื่อผสมเสร็จทำการเทมอร์ตาร์ลงบนโม่ของเครื่อง Press

5. ทำการ Press ขึ้นรูปกระเบื้อง และ เขียนหมายเลขบอกลำดับกระเบื้อง เพื่อคัดเลือกในการทดสอบคุณภาพ ซึ่งเป็นการสุ่มแบบชั้นภูมิ (Stratifies systematic sampling) อันมีข้อดี คือ

a) สามารถได้กระเบื้องที่เป็นตัวแทน Batch การทดลองได้ดี เนื่องจากครอบคลุม Variation ภายใน batch ทำให้สามารถทำการรู้ Variation ที่แท้จริงได้

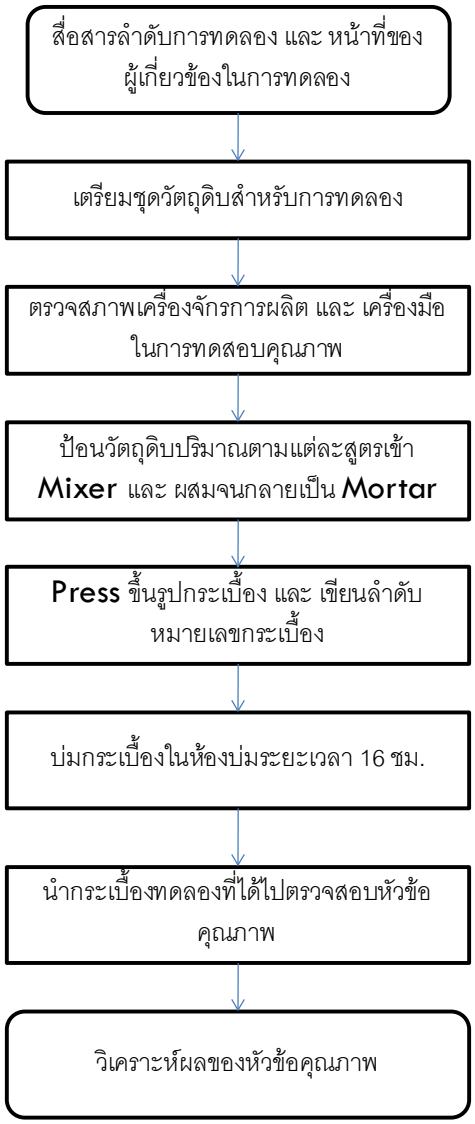
b) การเปรียบเทียบระหว่าง Batch สามารถทำได้แม่นยำ เนื่องจากเป็นการเลือกกระเบื้องในช่วงลำดับของกระเบื้องเดียวกันเทียบกัน

6. ทำการบ่มกระเบื้องในห้องบ่มระยะเวลา 16 ชม. หลังจากนั้นแกะกระเบื้องออกมาเพื่อทดสอบคุณภาพต่อไป

7. นำกระเบื้องทดลองที่ได้ไปตรวจสอบหัวข้อคุณภาพตามที่กำหนด พร้อมทั้งจดบันทึกค่าสำหรับการวิเคราะห์ โดยระยะเวลาที่สามารถเริ่มทดสอบคุณภาพในแต่ละหัวข้อ คือ การตรวจสภาพผิว วันแรกนับตั้งแต่แกะกระเบื้อง,ค่าแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย และ อัตราดูดซึมน้ำ หลังจากแกะกระเบื้อง 7 วัน

8. ทำการวิเคราะห์ผลของคุณภาพ และ เปรียบเทียบตามเกณฑ์การยอมรับของบริษัท

ซึ่งขั้นตอนการทดลองทั้งหมด สามารถทำการเขียนเป็นแผนภูมิการไหลของการทดลองได้ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 แผนภูมิการไหลของการทดลอง

8). ผลการทดลอง

จากตารางที่ 4.21 จะสังเกตุได้ว่าค่าโมดูลัส ความละเอียดภายในระหว่างทราย และ เศษกระเบื้องบดมีความแตกต่างกันไม่มาก ดังนั้นในการทดลองสามารถพิจารณาว่าวัตถุดิบมีความเป็นเนื้อเดียวกัน ในแต่ละสูตร และ สามารถทำการคำนวนช่วงโมดูลัสความละเอียดแต่ละสูตร ดังตารางที่ 4.22 และ ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย และ อัตราการดูดซึมน้ำแสดงดังตารางที่ 4.23

ตารางที่ 4.21 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสความละเอียดของทราย และ เศษกระเบื้องบด

ชนิดกองวัตถุดิบ	โมดูลัส ความละเอียด (Fineness Modulus, F.M. (F.M. แตกต่างไม่เกิน 0.1)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
ทราย	2.75	2.71
เศษกระเบื้องบด	2.00	2.01

ตารางที่ 4.22 ผลการคำนวน ค่าโมดูลัสความละเอียดของมวลรวมแต่ละสูตรการทดลอง

สูตรเติมเศษกระเบื้องบดแทนทราย	โมดูลัส ความละเอียด (Fineness Modulus, F.M.
0 %	2.71 – 2.75
25 %	2.54 - 2.56
50 %	2.36 - 2.37
75 %	2.18 - 2.19

ตารางที่ 4.23 ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย และ อัตราการดูดซึมน้ำ

วันที่	% การเติมเศษกระเบื้องบด	ค่าความแข็งแรง ณ จำหน่าย (Mean/SD)	อัตราการดูดซึมน้ำ (Mean/SD)	ความหนาชายด้านซ้าย (Mean/SD)	ความหนาชายตรงกลาง (Mean/SD)	ความหนาชายด้านขวา (Mean/SD)	น้ำหนัก (Mean/SD)	ค่าความชื้น (กำหนดค่า ± 0.2%)
1	0%	151.26/ 13.65	6.63 / 0.52	15.16 / 0.26	15.01 / 0.16	14.93 / 0.21	5540.40 / 40.10	13.00
	25%	144.13 / 10.88	7.19 / 0.61	15.18 / 0.31	15.16 / 0.26	14.953 / 0.20	5504.80 / 50.40	13.55
	50%	138.80 / 14.75	7.50 / 0.49	15.23 / 0.27	15.12 / 0.15	14.81 / 0.20	5425.90 / 49.30	13.95
	75%	134.47 / 11.02	7.83 / 0.79	14.99 / 0.13	14.92 / 0.15	14.74 / 0.20	5364.80 / 30.30	14.51
2	0%	149.53 / 9.68	6.54 / 0.41	15.14 / 0.11	15.11 / 0.13	14.97 / 0.10	5527.90 / 32.80	12.96
	25%	143.28 / 13.89	6.90 / 0.37	15.16 / 0.13	15.14 / 0.14	15.11 / 0.10	5453.40 / 39.30	13.53
	50%	136.21 / 14.13	7.15 / 0.30	14.98 / 0.09	15.00 / 0.12	14.96 / 0.12	5407.00 / 53.60	14.01
	75%	132.67 / 7.83	7.57 / 0.28	15.10 / 0.17	15.06 / 0.15	14.98 / 0.15	5345.10 / 28.10	14.50

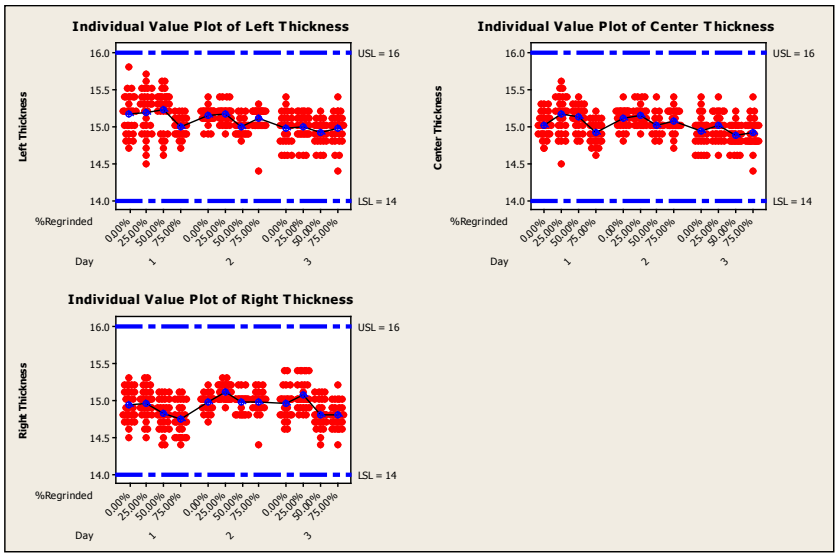
ตารางที่ 4.23 ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย และ อัตราการดูดซึมน้ำ (ต่อ)

วันที่	% การเติมเศษกระเบื้องบด	ค่าความแข็งแรง ณ จำหน่าย (Mean/SD)	อัตราการดูดซึมน้ำ (Mean/SD)	ความหนาชายด้านซ้าย (Mean/SD)	ความหนาชายตรงกลาง (Mean/SD)	ความหนาชายด้านขวา (Mean/SD)	น้ำหนัก (Mean/SD)	ค่าความชื้น (กำหนดค่า ± 0.2%)
3	0%	149.08 / 10.88	6.76 / 0.77	14.97 / 0.21	14.93 / 0.21	14.95 / 0.20	5529.00 / 66.50	13.00
	25%	143.28 / 11.92	7.13 / 0.59	14.99 / 0.18	15.00 / 0.17	15.07 / 0.20	5482.80 / 54.40	13.63
	50%	139.37 / 10.21	7.43 / 0.38	14.91 / 0.15	14.87 / 0.15	14.81 / 0.18	5433.0 / 44.50	13.94
	75%	135.55 / 11.34	7.72 / 0.59	14.97 / 0.21	14.91 / 0.19	14.79 / 0.17	5337.4 / 45.30	14.06

9).การพิจารณาค่าควบคุม

9.1 ค่าความหนากระเบื้องแห้ง

ซึ่งต้องทำการควบคุมให้อยู่ในค่าควบคุม คือ 14±1 มิลลิเมตร โดยเป็นค่าที่หากมากหรือน้อยเกินค่าควบคุมจะส่งผลต่อระดับคุณภาพที่แตกต่างกันได้ เช่น ที่ความหนามากกว่าค่าความแข็งแรงจะมากกว่า อีกทั้งส่งผลกับความสวยงามในระนาบการมุงกระเบื้อง และ หากหนาเกินไปจะส่งผลให้เกิดการขบแตกของกระเบื้องได้ ซึ่งในการควบคุมทำโดยในการตรวจเช็คระดับ Mould ในทุก batch การผลิต หากมีค่ามากกว่าที่กำหนดให้ทำการปรับระดับ Mould ใหม่ให้ได้ตามระดับที่กำหนด

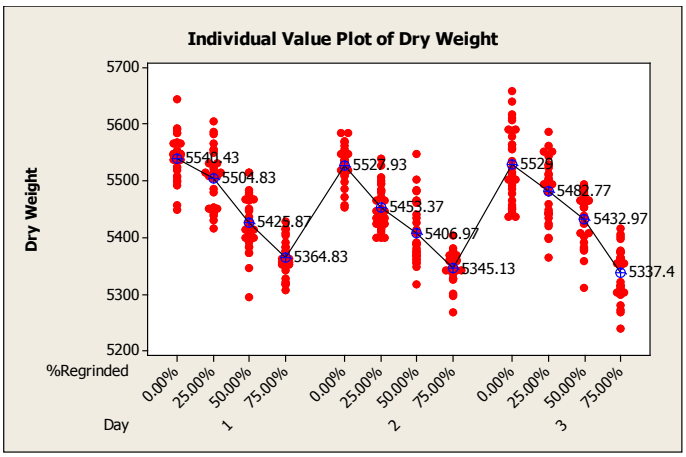


รูปที่ 4.12 กราฟค่าความหนากระเบื้องแห้งด้านซ้าย, กลาง และ ขวา รายแผ่นเทียบกับค่าควบคุมมาตราฐาน

จากรูปที่ 4.12 จะเห็นได้ค่าความหนากระเบื้องแห้งทั้งด้านซ้าย, กลาง และ ขวา จำนวนทั้งหมดค่าอยู่ในเกณฑ์กำหนด อันคาดได้ว่าจะไม่มีผลทำให้การวิเคราะห์ผลลัพธ์การเติมเศษกระเบื้องบดมีความผิดพลาด

9.2 น้ำหนักกระเบื้องแห้ง

เนื่องจากน้ำหนักแห้งของกระเบื้องจะมีผลให้ค่าความอัดแน่นกระเบื้องลดลง และค่าความแข็งแรง ณ จำหน่ายต่ำลงได้ แต่ก็ไม่จะเกิดผลกระทบข้างเคียงอื่น



รูปที่ 4.13 กราฟค่าน้ำหนักกระเบื้องแห้งรายแผ่น

จากรูปที่ 4.13 แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเติมเศษกระเบื้องบดในปริมาณเพิ่มขึ้นน้ำหนักของกระเบื้องแห้งมีแนวโน้มลดลง ซึ่งนำมาสู่ค่าความอัดแน่นกระเบื้องที่น้อยลง และ อาจส่งผลต่อค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่ายที่น้อยลงด้วย

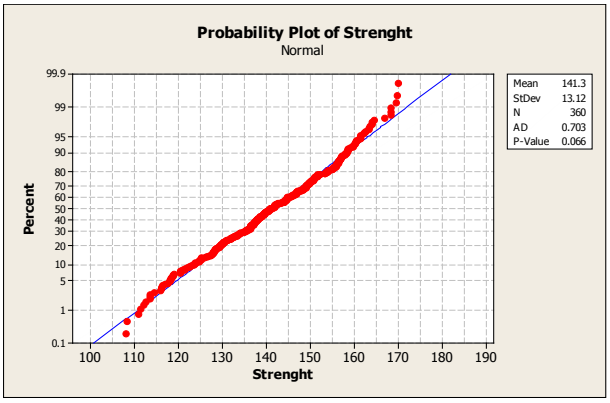
10). การวิเคราะห์ค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย

10.1. <u>ชนิดพารามิเตอร์ – ค่าเฉลี่ย ; เครื่องมือการวิเคราะห์ทางสถิติ - ANOVA (Randomized Blocks)</u>

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

ค่าความแข็งแรงกระเบื้องการวิเคราะห์ ANOVAในการออกแบบการทดลองนั้นจะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขที่สำคัญ คือ NID (0,σ^2) จึงต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) ว่าเป็นไปตามเงื่อนไขของ NID (0, σ^2) หรือไม่ โดยการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ประกอบด้วยการทดสอบข้อกำหนดเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อนของการทดลองภายในเงื่อนไข 3 ประการ คือ ข้อมูลเป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ ข้อมูลมีความอิสระต่อกัน และความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์และสรุปผลของการออกแบบการทดลอง ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

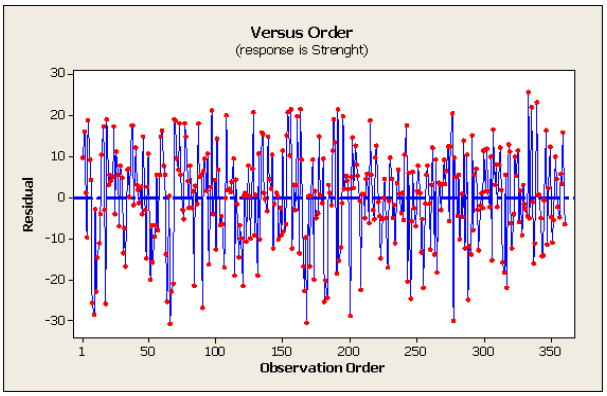
การทดสอบสมมุติฐานของความเป็นปกติ การทดสอบสมมุติฐานของความเป็นปกติ (Normality Assumption) สามารถตรวจสอบได้ด้วยการทดสอบการกระจายของค่าส่วนตกค้างของค่าตัวแปรตอบสนอง ที่ได้ควรเป็นเส้นตรงและมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 นั่นคือข้อมูลเป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ แสดงดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 กราฟการกระจายของค่าส่วนตกค้างของค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย

การทดสอบสมมุติฐานของความเป็นอิสระ (Independent)

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ (Independent) สามารถตรวจสอบได้โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับลำดับความต่อเนื่องในการเก็บข้อมูลแสดงดังรูปที่ 4.15 โดยแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้มหรือมีรูปแบบใด ๆควรที่จะมีการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน

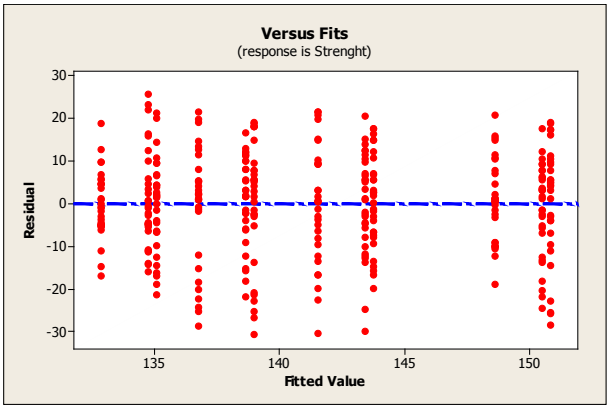


รูปที่ 4.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและลำดับของข้อมูลของค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย

จากกราฟสังเกตได้ว่า ค่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบดังนั้นสรุปได้ว่า ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน

ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability)

ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) สามารถตรวจสอบได้โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากตัวแบบถดถอย แสดงในรูปที่ 416 ซึ่งแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม ควรมีการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน

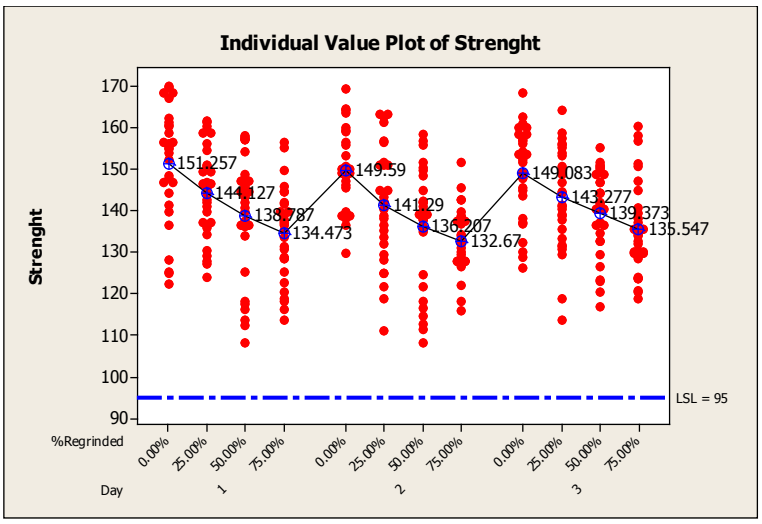


รูปที่ 4.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิตของค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย

จากกราฟสังเกตได้ว่า ค่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบ ดังนั้น สรุปได้ว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

สรุปผลจากการทดสอบความถูกต้องของตัวแบบของตัวแปรตอบสนอง (ความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย) ที่นำมาทดลองนี้ พบว่า ข้อมูลมีสมมติฐานตรงตามข้อกำหนดทั้ง 3 ข้อ คือ มีการกระจายเป็นแบบปกติ มีความเป็นอิสระต่อกัน และมีความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขของการออกแบบการทดลองที่ว่า NID (0,σ^2)

การวิเคราะห์ผลการทดลอง

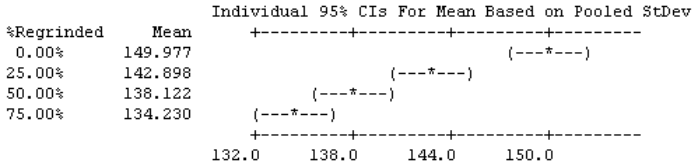


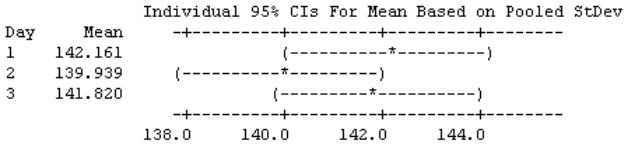
รูปที่ 4.17 กราฟค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่ายรายแผ่น

ตารางที่ 4.24 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลการทดสอบค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย ด้วยโปรแกรม Minitab

Two-way ANOVA: Strenght versus %Regrinded, Day

Source	DF	SS	MS	F	P
%Regrinded	3	12412.8	4137.61	29.88	0.000
Day (Block)	2	343.6	171.79	1.24	0.290
Error	354	49013.9	138.46		
Total	359	61770.3			





จากตารางที่ 4.24 สามารถสรุปผลการทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05 ได้ดังนี้

.

การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยหลัก

1) การทดสอบสมมติฐานของปริมาณเศษกระเบื้องบด

H_0: $\tau_i = 0$

H_1: อย่างน้อยหนึ่งตัวที่ $\tau_i \neq 0$

จากตารางที่ 4.24 จะเห็นว่า ค่า P-value < 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก H_0 และยอมรับสมมติฐานรอง H_1 ซึ่งหมายความว่า ปริมาณเศษกระเบื้องบดมีผลต่อค่าเฉลี่ยความแข็งแรงกะเบื้อง ณ จำหน่าย ที่ระดับนัยสำคัญ = 0.05 โดยเมื่อพิจารณาจากค่า Turkey จะแสดงให้เห็นว่าการเติมเศษกระเบื้องบดแทนทรายที่ 25%, 50% และ 75% ให้ผลค่าเฉลี่ยต่างจาก 0% อย่างมีนัยยะสำคัญ

2) การทดสอบสมมติฐานของวันการทดลอง

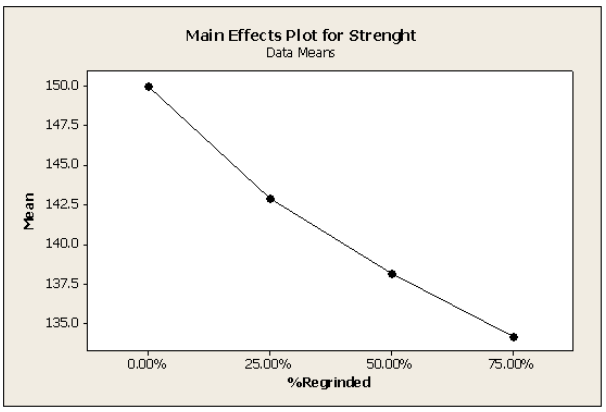
H_0: $\beta_i = 0$

H_1: อย่างน้อยหนึ่งตัวที่ $\beta_i \neq 0$

จากตารางที่ 5.1 จะเห็นว่า ค่า P-value > 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลัก H_0 ซึ่งหมายความว่า วันการทดลองไมมี มีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย ที่ระดับนัยสำคัญ = 0.05

การวิเคราะห์กราฟตัวแปรตอบสนองของความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย

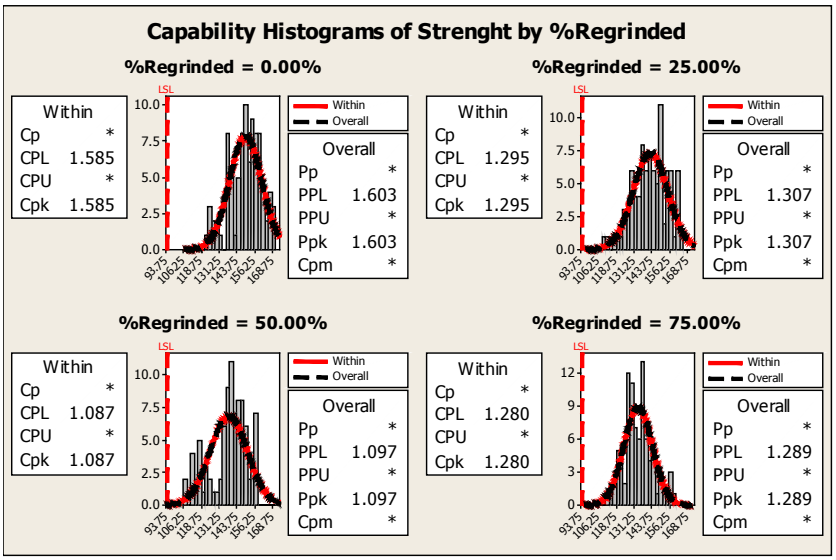
ทำการเขียนกราฟของตัวแปรตอบสนองปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลการ ทดสอบความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่ายได้ผลดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 กราฟตัวแปรตอบสนองของผลการทดสอบความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย

พบว่าปัจจัยปริมาณเศษกระเบื้องบดมีอิทธิพลต่อความค่าความแข็งแรง ณ จำหน่าย โดยที่ปริมาณเศษกระเบื้องบดที่มากขึ้นจะทำให้ค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย ลดน้อยลง และจากกราฟจะได้ว่า ปริมาณเศษกระเบื้องบด 0% จะทำให้ค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่ายสูงที่สุด รองลงมาคือ ปริมาณเศษกระเบื้องบดแทนทรายจำนวน 25%, 50% และ 75% ตามลำดับ

10.2 ชนิดพารามิเตอร์ – ความสามารถกระบวนการ (Cpk) ; เครื่องมือการวิเคราะห์ทางสถิติ – Process Capability Analysis



รูปที่ 4.19 กราฟความสามารถกระบวนการของค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่ายของการเติมเศษกระเบื้องบดแทนทรายจำนวน 0%, 25%, 50% และ 75%

จากรูปที่ 4.19 แสดงให้เห็นค่าความสามารถกระบวนการ (Cpk) ความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่ายของอัตราการเติมเศษกระเบื้องบดแทนทรายจำนวน 0%, 25%, 50% และ 75% เท่ากับ 1.59, 1.29, 1.09 และ 1.28 ตามลำดับ

10.3 การสรุปผลค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย

ตารางที่ 4.25 แสดงผลการวิเคราะห์ทั้งหมดของค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย

ลักษณะทางคุณภาพ	พารามิเตอร์	เครื่องมือการทดสอบทางสถิติ	0%	25%	50%	75%
ค่าความแข็งแรง	Mean	ANOVA (Randomized Complete Blocks Design)	-	Sig.	Sig.	Sig.
	Cpk	Process Capability Analysis	1.59	1.30	1.09	1.28

- การเปรียบเทียบกับ มอก.535-2527

เมื่อพิจารณาตามรูปที่ 4.17 แสดงให้เห็นว่าการเติมเศษบดแทนทรายตั้งแต่ 0%,25,50% และ %75% สามารถผ่านเกณฑ์ทั้งหมดสามารถผ่านเกณฑ์ข้อกำหนดความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย ตาม มอก.535-2527 ซึ่งกำหนดให้ทุกแผ่นมากกว่า 95 กิโลกรัม และค่าเฉลี่ยเกินกว่า 120 กิโลกรัม

- การเปรียบเทียบกับเกณฑ์ของบริษัท

จากตารางที่ 4.25 แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเติมเศษกระเบื้องบดแทนทรายที่ระดับ 25 %, 50% และ 75% แล้วจะทำให้ค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่ายแตกต่างอย่างมีนัยยะสำคัญ กับ สูตรการผลิตปกติ และ เมื่อทำการทดสอบความสามารถของกระบวนการจะเห็นได้ว่ามีค่า Cpk ถึง 1.30, 1.09, 1.28 ตามลำดับ ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์ของทางบริษัทที่ต้องการ Cpk เท่ากับ 1.33 ดังนั้นทางบริษัทจึงกำหนดให้ทางทีมทดลองหาวิธีการเพิ่มค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่ายถึงค่าที่กำหนด

11). อัตราการดูดซึมน้ำ

11.1 <u>ชนิดพารามิเตอร์ – ค่าเฉลี่ย ; เครื่องมือการวิเคราะห์ทางสถิติ - ANOVA (Randomized Blocks)</u>

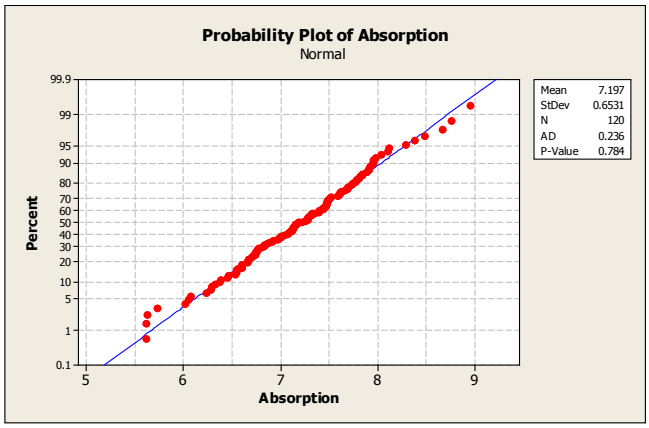
การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

ค่าความแข็งแรงกระเบื้องการวิเคราะห์ ANOVAในการออกแบบการทดลองนั้นจะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขที่สำคัญ คือ NID (0,σ^2) จึงต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) ว่าเป็นไปตามเงื่อนไขของ NID (0, σ^2) หรือไม่ โดยการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ประกอบด้วยการทดสอบข้อกำหนดเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อนของการทดลองภายในเงื่อนไข 3 ประการ คือ ข้อมูลเป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ ข้อมูลมี

ความอิสระต่อกัน และความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์และสรุปผลของการออกแบบการทดลอง ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

การทดสอบสมมุติฐานของความเป็นปกติ

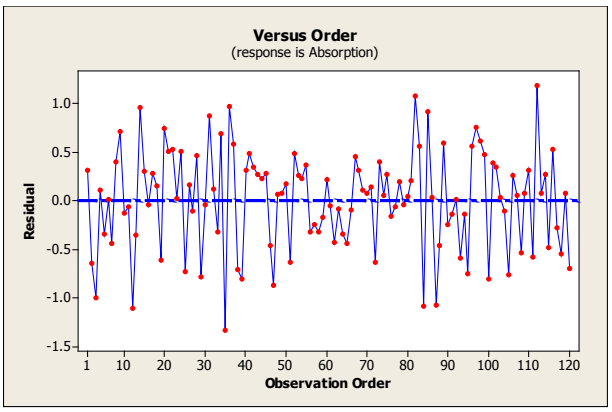
การทดสอบสมมุติฐานของความเป็นปกติ (Normality Assumption) สามารถตรวจสอบได้ด้วยการทดสอบการกระจายของค่าส่วนตกค้างของค่าตัวแปรตอบสนอง ที่ได้ควรเป็นเส้นตรงและมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 นั่นคือ ข้อมูลเป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ แสดงดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงการกระจายของค่าส่วนตกค้างของอัตราการดูดซึมน้ำ

การทดสอบสมมุติฐานของความเป็นอิสระ (Independent)

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ (Independent) สามารถตรวจสอบได้โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับลำดับความต่อเนื่องในการเก็บข้อมูลแสดงดังรูปที่ 4.21 โดยแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้มหรือมีรูปแบบใด ๆควรทีจะมีการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน

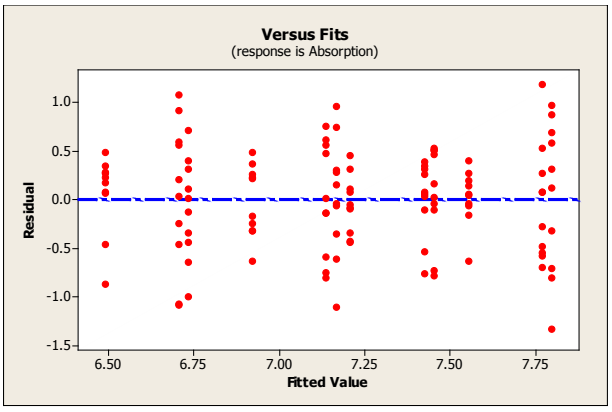


รูปที่ 4.21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและลำดับของข้อมูลของอัตราการดูดซึมน้ำ

จากกราฟสังเกตได้ว่า ค่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบ ดังนั้นสรุปได้ว่า ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน

ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability)

ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) สามารถตรวจสอบได้โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากตัวแบบถดถอย แสดงในรูปที่ 4.22 ซึ่งแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม ควรมีการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน

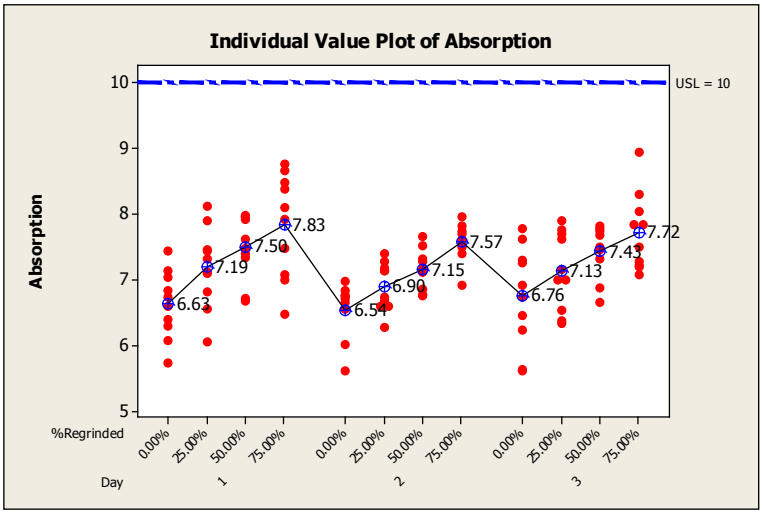


รูปที่ 4.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิตของอัตราการดูดซึมน้ำ

จากกราฟสังเกตได้ว่า ค่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบ ดังนั้น สรุปได้ว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

สรุปผลจากการทดสอบความถูกต้องของตัวแบบของตัวแปรตอบสนอง (สัดส่วนของเสียเนื่องจากคราบสกปรกบนชิ้นงาน) ที่นำมาทดลองนี้ พบว่า ข้อมูลมีสมมติฐานตรงตามข้อกำหนดทั้ง 3 ข้อ คือ มีการกระจายเป็นแบบปกติ มีความเป็นอิสระต่อกัน และมีความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขของการออกแบบการทดลองที่ว่า NID $(0,\sigma^2)$

การวิเคราะห์ผลการทดลอง

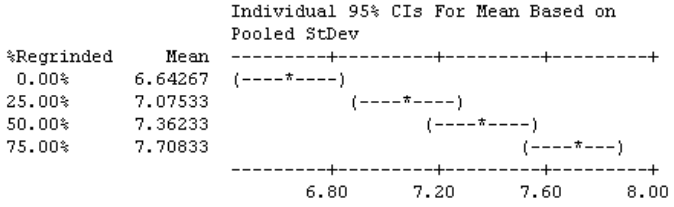


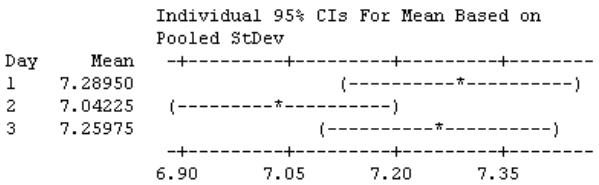
รูปที่ 4.23 กราฟค่าอัตราดูดซึมน้ำรายแผ่น

ตารางที่ 4.26 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลการทดสอบค่าอัตราดูดซึมน้ำ ด้วยโปรแกรม Minitab

Two-way ANOVA: Absorption versus %Regrinded, Day

Source	DF	SS	MS	F	P
%Regrinded	3	18.3265	6.10885	22.50	0.000
Day	2	1.4577	0.72883	2.68	0.073
Error	114	30.9496	0.27149		
Total	119	50.7338			





จากตารางที่ 4.26 สามารถสรุปผลการทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05 ได้ดังนี้

การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยหลัก

1) การทดสอบสมมติฐานของปริมาณเศษกระเบื้องบด

H_0: $\tau_i = 0$

H_1: อย่างน้อยหนึ่งตัวที่ $\tau_i \neq 0$

จากตารางที่ 4.26 จะเห็นว่า ค่า P-value < 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก H_0 และยอมรับสมมติฐานรอง H_1 ซึ่งหมายความว่า ปริมาณเศษกระเบื้องบดมีผลต่ออัตราดูดซึมน้ำ ที่ระดับนัยสำคัญ = 0.05 โดยเมื่อพิจารณาจากค่า Turkey จะแสดงให้เห็นว่าการเติมเศษกระเบื้องบดที่ 25%, 50% และ 75% ให้ผลค่าเฉลี่ยต่างจาก 0% อย่างมีนัยยะสำคัญ

2) การทดสอบสมมติฐานของวันการทดลอง

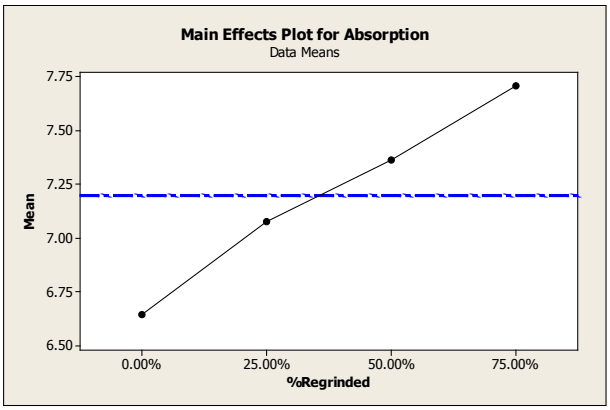
H_0: $\beta_i = 0$

H_1: อย่างน้อยหนึ่งตัวที่ $\beta_i \neq 0$

จากตารางที่ 5.1 จะเห็นว่า ค่า P-value > 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลัก H_0 ซึ่งหมายความว่า วันการทดลองไมมี มีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย ที่ระดับนัยสำคัญ = 0.05

การวิเคราะห์กราฟตัวแปรตอบสนองของอัตราดูดซึมน้ำ

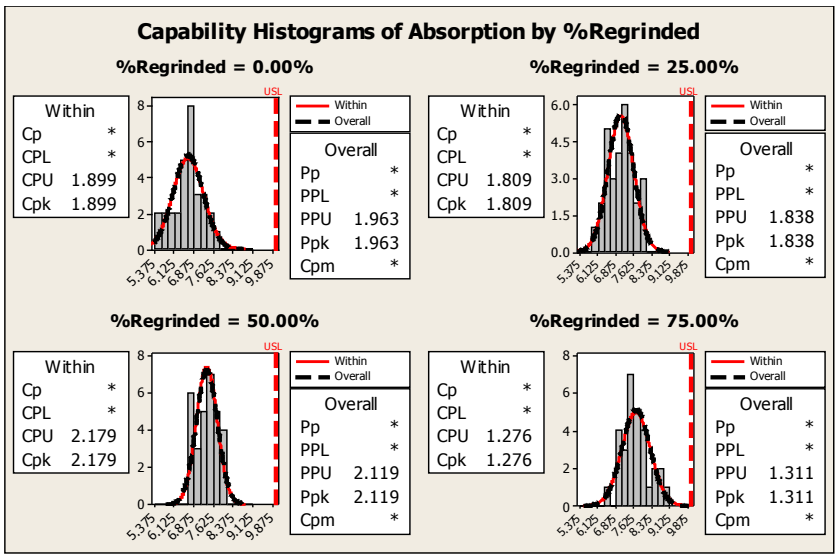
ทำการเขียนกราฟของตัวแปรตอบสนองปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลการ ทดสอบอัตราดูดซึมน้ำ ได้ผลดังรูปที่ 4.24



จากรูปที่ 4.24 กราฟตัวแปรตอบสนองของผลการทดสอบอัตราดูดซึมน้ำ

พบว่าปัจจัยปริมาณเศษกระเบื้องบดมีอิทธิพลต่อความค่าความแข็งแรง ณ จำหน่าย โดยที่ปริมาณเศษกระเบื้องบดที่มากขึ้นจะทำให้ค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย ลดน้อยลง และจากกราฟจะได้ว่า ปริมาณการเติมเศษกระเบื้องบด 0% จะทำให้ค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่ายสูงที่สุด รองลงมาคือ ปริมาณการเติมเศษกระเบื้องบด 25%, 50% และ 75% ของไม้ทั้งหมด ตามลำดับ

11.2 ชนิดพารามิเตอร์ – ความสามารถกระบวนการ (Cpk) ; เครื่องมือการวิเคราะห์ทางสถิติ– Process Capability Analysis



รูปที่ 4.25 กราฟความสามารถกระบวนการของค่าอัตราการดูดซึมน้ำของการเติมเศษกระเบื้องบดแทนทรายจำนวน 0%, 25%, 50% และ 75%

จากรูปที่ 4.25 แสดงให้เห็นค่าความสามารถกระบวนการ (Cpk) ความอัตราดูดซึมน้ำของอัตราการเติมเศษกระเบื้องบดแทนทรายจำนวน 0%, 25%, 50% และ 75% เท่ากับ 1.96, 1.84, 2.18 และ 1.311 ตามลำดับ

11.3 <u>การสรุปผลค่าอัตราการดูดซึมน้ำ</u>

ตารางที่ 4.27 แสดงผลการวิเคราะห์ทั้งหมดของค่าอัตราการดูดซึมน้ำ

ลักษณะทางคุณภาพ	พารามิเตอร์	เครื่องมือการทดสอบทางสถิติ	0%	25%	50%	75%
อัตราดูดซึมน้ำ	Mean	ANOVA (Randomized Complete Blocks Design)	-	Sig.	Sig.	Sig.
	Cpk	Process Capability Analysis	1.90	1.81	2.18	1.28

- การเปรียบเทียบกับ มอก.535-2527

เมื่อพิจารณาตามรูปที่ 4.23 แสดงให้เห็นว่าการเติมเศษบดแทนทรายตั้งแต่ 0%, 25, 50% และ 75% สามารถผ่านเกณฑ์ทั้งหมดสามารถผ่านเกณฑ์ข้อกำหนดอัตตราดูดซึมน้ำ ตาม มอก. 535-2527 ซึ่งกำหนดให้ทุกแผ่นน้อยกว่า 10% และ ค่าเฉลี่ยน้อยกว่า 9%

- การเปรียบเทียบกับเกณฑ์ของบริษัท

จากตารางที่ 4.27 แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเติมเศษกระเบื้องบดแทนทรายที่ระดับ 25 %, 50% และ 75% แล้วจะทำให้ค่าอัตราดูดซึมน้ำแตกต่างอย่างมีนัยยะสำคัญ กับ สูตรการผลิตปกติ และ เมื่อทำการทดสอบความสามารถของกระบวนการจะเห็นได้ว่ามีค่า Cpk ถึง 1.81, 2.18 และ 1.28 ตามลำดับ ซึ่งสูตรที่ผ่านเกณฑ์ของทางบริษัทที่ Cpk เท่ากับ 1.33 คือ ที่ระดับ 25 % และ 50% ดังนั้นทางบริษัทสามารถใช้เศษกระเบื้องแทนทรายได้สูงสุดที่ 50%

ตารางที่ 4.28 ผลการตรวจสอบปูดนูนผิวกระเบื้อง, รูพรุนผิวกระเบื้อง และ รอยร้าวผิวกระเบื้อง

สูตรเติมเศษกระเบื้องบดแทนทราย	จำนวนปูดนูนผิวกระเบื้อง (แผ่น)	จำนวนรูพรุนผิวกระเบื้อง (แผ่น)	จำนวนร้าวผิวกระเบื้อง (แผ่น)
0%	6	10	11
25%	15	6	9
50%	22	9	7
75%	31	7	5

12). อัตราของเสียปูดนูนผิวกระเบื้อง

พารามิเตอร์ – อัตราของเสีย ; เครื่องมือการวิเคราะห์ทางสถิติ – Chi-Square Table, 2 proportion test

<u>การวิเคราะห์ผลการทดลอง</u>

ตารางที่ 4.29 การวิเคราะห์ไคสแคว์ของค่าอัตราของเสียปูดปูดนผิวกระเบื้อง ด้วยโปรแกรม Minitab

Chi-Square Test: Reject, Good

```
Expected counts are printed below observed counts
Chi-Square contributions are printed below expected counts

        Reject    Good  Total
 0%          6     264    270
          18.50  251.50
          8.446   0.621

25%          15     255    270
          18.50  251.50
          0.662   0.049

50%          22     248    270
          18.50  251.50
          0.662   0.049

75%          31     239    270
          18.50  251.50
          8.446   0.621

Total        74    1006   1080

Chi-Sq = 19.556, DF = 3, P-Value = 0.000
```

การทดสอบสมมติฐานของปริมาณเศษกระเบื้องบด

H_0: $O_{ij} = E_{ij}$

H_1: $O_{ij} \neq E_{ij}$

โดยที่ Oij แทนความถี่การเกิดรูพรุนผิวกระเบื้องในแต่ละ % การเติมเศษกระเบื้องบด

Eij แทนความถี่ที่คาดหวังการเกิดรูพรุนผิวกระเบื้องในแต่ละ % การเติมเศษกระเบื้องบด

จากตารางที่ 4.29 จะเห็นว่า Chi-Square Test จะให้ค่า P-value < 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก H_0 และยอมรับสมมติฐานรอง H_1 ซึ่งหมายความว่า ปริมาณเศษกระเบื้องบดมีความสัมพันธ์ต่ออัตราของเสียปูดนูนผิวกระเบื้อง ที่ระดับนัยสำคัญ = 0.05 ดังนั้นจึงทำการพิจารณาเปรียบเทียบอัตราของเสียปูดนูนแบบคู่ทดสอบด้วย 2 proportion test ดังนี้

กำหนด

p_1^2= อัตราของเสียปูดนูน กระเบื้องไม่เติมเศษกระเบื้องบด

p_2^2= อัตราของเสียปูดนูน กระเบื้องเติมเศษกระเบื้องบดแทนทราย จำนวน 25%

p_3^2= อัตราของเสียปูดนูน กระเบื้องเติมเศษกระเบื้องบดแทนทราย จำนวน 50%

p_4^2= อัตราของเสียปูดนูน กระเบื้องเติมเศษกระเบื้องบด แทนทราย จำนวน 75%

ตารางที่ 4.30 การทดสอบ 2 Proportion test ระหว่างสูตรการทดลอง

การทดสอบสมมติฐาน	$H_0: p_1^2 \geq p_2^2$ $H_1: p_1^2 < p_2^2$	$H_0: p_1^2 \geq p_3^2$ $H_1: p_1^2 < p_3^2$	$H_0: p_1^2 \geq p_4^2$ $H_1: p_1^2 < p_4^2$
P-Value	0.022	0.001	0.000

จากตารางที่ 4.30 แสดงให้เห็นว่าการเติมเศษกระเบื้องบดแทนทรายที่อัตรา 25%,50% และ 75% เกิดอัตราของเสียปูดนูนผิวกระเบื้องมากกว่าการไม่เติมเศษกระเบื้องบดอย่างมีนัยยะสำคัญ ดังนั้นต้องกำหนดมาตราการในการวิเคราะห์ และ ลดอัตราของเสียปูดนูนผิวกระเบื้องลงต่อไป

10.4 อัตราของเสียร้าวผิวกระเบื้อง

ชนิดพารามิเตอร์ – อัตราของเสีย ; เครื่องมือการวิเคราะห์ทางสถิติ – Chi-Square Table

<u>การวิเคราะห์ผลการทดลอง</u>

ตารางที่ 4.31 การวิเคราะห์ไคสแคว์ของค่าอัตราของเสียร้าวผิวกระเบื้อง ด้วยโปรแกรม Minitab

Chi-Square Test: Reject, Good

```
Expected counts are printed below observed counts
Chi-Square contributions are printed below expected counts

        Reject    Good  Total
 0%         10     260    270
          8.00  262.00
         0.500   0.015

25%          6     264    270
          8.00  262.00
         0.500   0.015

50%          9     261    270
          8.00  262.00
         0.125   0.004

75%          7     263    270
          8.00  262.00
         0.125   0.004

Total       32    1048   1080

Chi-Sq = 1.288, DF = 3, P-Value = 0.732
```

การทดสอบสมมติฐานของปริมาณเศษกระเบื้องบด

$H_0: O_{ij} = E_{ij}$

$H_1: O_{ij} \neq E_{ij}$

โดยที่

Oij แทนความถี่การเกิดร้าวผิวกระเบื้องในแต่ละ % การเติมเศษกระเบื้องบด

Eij แทนความถี่ที่คาดหวังการเกิดร้าวผิวกระเบื้องในแต่ละ % การเติมเศษกระเบื้องบด

จากตารางที่ 4.31 จะเห็นว่า Chi-Square Test จะให้ค่า P-value > 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลัก H_0 ซึ่งหมายความว่า ปริมาณเศษกระเบื้องบดไม่มีความสัมพันธ์ต่อการเกิดอัตราของเสียรอยร้าวผิวกระเบื้อง ที่ระดับนัยสำคัญ = 0.05 ดังนั้นสามารถกำหนดการใช้งานได้ถึงระดับแทนทรายสูงสุด 75 %

10.5 อัตราของเสียรูพรุนผิวกระเบื้อง

ชนิดพารามิเตอร์ – อัตราของเสีย ; เครื่องมือการวิเคราะห์ทางสถิติ – Chi-Square Table

<u>การวิเคราะห์ผลการทดลอง</u>

ตารางที่ 4.32 การวิเคราะห์ไคสแคว์ของค่าอัตราของเสียรูพรุนผิวกระเบื้อง ด้วยโปรแกรม Minitab

Chi-Square Test: Reject, Good

```
Expected counts are printed below observed counts
Chi-Square contributions are printed below expected counts

        Reject    Good  Total
0%          11     259    270
          8.00  262.00
         1.125   0.034

25%          9     261    270
          8.00  262.00
         0.125   0.004

50%          7     263    270
          8.00  262.00
         0.125   0.004

75%          5     265    270
          8.00  262.00
         1.125   0.034

Total       32    1048   1080

Chi-Sq = 2.576, DF = 3, P-Value = 0.462
```

การทดสอบสมมติฐานของปริมาณเศษกระเบื้องบด

H_0: $O_{ij} = E_{ij}$

H_1: $O_{ij} \neq E_{ij}$

โดยที่ Oij แทนความถี่การเกิดรูพรุนผิวกระเบื้องในแต่ละ % การเติมเศษกระเบื้องบด

Eij แทนความถี่ที่คาดหวังการเกิดรูพรุนผิวกระเบื้องในแต่ละ % การเติมเศษกระเบื้องบด

จากตารางที่ 4.32 จะเห็นว่า Chi-Square Test จะให้ค่า P-value > 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลัก H_0 ซึ่งหมายความว่า ปริมาณเศษกระเบื้องบดไม่มีความสัมพันธ์ต่อการเกิดอัตราของรูพรุนผิวกระเบื้อง ที่ระดับนัยสำคัญ = 0.05 ดังนั้นสามารถกำหนดการใช้งานได้ถึงระดับสูงสุดแทนทรายจำนวน 75 %

4.3 สรุปผลการทดลองเติมเศษกระเบื้องบดแทนทรายจำนวน 0%,25%,50% และ 75%

ตารางที่ 4.33 สรุปผลการทดสอบคุณภาพทั้งหมดเทียบเกณฑ์การยอมรับ

อัตราส่วนเศษกระเบื้องบด / หัวข้อคุณภาพ	ดัชนีวัดผล	0%	25%	50%	75%
1.ค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย	Cpk	1.59	1.30	1.09	1.28
2.อัตราดูดซึมน้ำ	Cpk	1.90	1.81	2.18	1.28
3.อัตราของเสียปูดนูนผิวกระเบื้อง	Defect proportion	-	Sig.	Sig.	Sig.
4.อัตราของเสียรอยร้าวผิวกระเบื้อง	Defect proportion	-	Not Sig.	Not Sig.	Not Sig.
5.อัตราของเสียรูพรุนผิวกระเบื้อง	Defect proportion	-	Not Sig.	Not Sig.	Not Sig.

หมายเหตุ : ช่องสีเข้ม คือ ไม่ผ่านเกณฑ์การยอมรับของบริษัท

เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.33 จะสังเกตุได้ว่ามีหัวข้อคุณภาพที่ไม่ผ่านเกณฑ์บริษัท 3 หัวข้อ คือ ค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย, อัตราการปูดนูนผิวกระเบื้อง และ การทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระยะยาว ซึ่งทางทีมงานต้องทำการวิเคราะห์ผล และ ทำการปรับปรุงเพื่อให้ผ่านเกณฑ์มาตราฐานต่อไป

4.4 การระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้า (Key Process Input Variable หรือ KPIV)

เนื่องจากเมื่อทำการเติมเศษกระเบื้องบดแล้วส่งผลให้ระดับคุณภาพอันได้แก่ ความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย และ ปูดนูนผิวกระเบื้อง ไม่ผ่านเกณฑ์การยอมรับของบริษัท ดังนั้นจำเป็นจะต้องทำการพิจารณาปรับปัจจัยนำเข้าที่เกี่ยวข้องในการผลิตเพื่อให้มีความเหมาะสมมากขึ้น อันสามารถทำการเพิ่มระดับคุณภาพให้อยู่ในระดับมาตราฐาน โดยการค้นหาปัจจัยนำเข้าที่คาดว่าจะมีความสัมพันธ์มีความสำคัญมากผู้วิจัยได้จัดให้มีการประชุมระหว่าง

- ผู้เชี่ยวชาญทฤฎษีคอนกรีต : ผู้จัดการแผนกพัฒนาผลิตภัณฑ์
- ผู้ที่มีประสบการณ์ในการเดินเครื่องจักรผลิต : หัวหน้างานการผลิต
- ผู้เชี่ยวชาญทางด้านคุณภาพ : วิศวกรแผนกประกันคุณภาพ

ซึ่งผู้วิจัยทำหน้าที่เป็นผู้ประสานงานและสรุปผล โดยได้จัดทำเป็นแผนผังความสัมพันธ์ (Relation Diagram) ของความแข็งแรง ณ จำหน่าย และ ปูดนูนผิวกระเบื้องไม่ได้มาตราฐานการยอมรับของบริษัท ดังแสดงในรูปที่ 4.26, 4.27 ตามลำดับ

รูปที่ 4.26 แผนภาพเหตุและผลแสดงปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อความแข็งแรงของกระเบื้อง ณ จำหน่าย

รูปที่ 4.27 แผนภาพเหตุและผลแสดงปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อการเกิดปูดนูนผิวกระเบื้อง

พิจารณาจากแผนภาพเหตุและผลข้างต้น จะเห็นได้ว่าผู้วิจัยได้การสร้างแผนผังความสัมพันธ์ที่แบ่งสาเหตุเป็นหลายระดับเพื่อกำหนดมาตราการกับระดับสาเหตุสุดท้าย ซึ่งสามารถทำการสรุประดับสาเหตุ ดังตารางที่ 4.34 ,4.35 สำหรับความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย และ ปูดนูนผิวกระเบื้อง ตามลำดับ

ตารางที่ 4.34 ปัจจัยนำเข้าที่มีผลเกี่ยวข้องกับค่าความความแข็งแรง ณ จำหน่าย

สาหตุลำดับแรก	สาเหตุลำดับที่สอง	สาเหตุลำดับที่สาม
สัดส่วนของวัตถุดิบไม่เหมาะสม	สัดส่วนของซีเมนต์ไม่เหมาะสม	
	สัดส่วนของ เศษกระเบื้องบดไม่เหมาะสม	
ความอัดแน่นของแผ่นกระเบื้องไม่เหมาะสม	น้ำหนักกระเบื้องน้อยเกินไป	ขนาดถ้วยจ่ายปูนเล็กเกินไป
ขนาดคละ ของมวลรวมไม่เหมาะสม	ขนาดคละของ เศษกระเบื้องบดไม่เหมาะสม	
	ขนาดคละ ของทรายไม่เหมาะสม	
ค่าความชื้นของ มอร์ตาร์ไม่เหมาะสม	ปริมาณน้ำที่เติมใน Mixer ไม่เหมาะสม	
	ปริมาณดินเหนียว และฝุ่น ในทรายมากเกินไป	
สถาวะการบ่มไม่เหมาะสมทำปฏิกริยาไฮเดรชั่นไม่สมบูรณ์	อุณหภูมิห้องบ่มไม่เหมาะสม	
	ความชื้นห้องบ่มไม่เหมาะสม	
	เวลาในการบ่มน้อยเกินไป	
วัตถุดิบไม่เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน	เวลาในการผสม Dry Mix น้อยเกินไป	
	เวลาในการผสม Wet Mix น้อยเกินไป	
เกิดช่องว่างภายในกระเบื้อง	ปริมาณสารอินทรีย์ในทรายมากเกินไป	
มีก้อนแข็งมวลรวม	ที่เก็บมวลรวมไม่เหมาะสม	

หมายเหตุ : ช่องสีเข้ม คือ ระดับสาเหตุที่จะทำการจัดการ

ตารางที่ 4.35 ปัจจัยนำเข้าที่มีผลเกี่ยวข้องกับการเกิดปูดนูนผิวกระเบื้อง

สาหตุลำดับแรก	สาเหตุลำดับที่สอง	สาเหตุลำดับที่สาม
พื้นผิวกระเบื้องหนาแน่นเกินไปน้ำออกไม่ได้	สัดดส่วนของวัตถุดิบไม่เหมาะสม	สัดส่วนของเศษกระเบื้องบดไม่เหมาะสม
		สัดส่วนของเถ้าลอยไม่เหมาะสม
		สัดส่วนของซีเมนต์ไม่เหมาะสม
	ขนาดคละของมวลรวมละเอียดเกินไป	ขนาดคละของ เศษกระเบื้องบดละเอียดเกินไป
		ขนาดคละของทรายละเอียดเกินไป
		ปริมาณดินเหนียว/ฝุ่น ในทรายมากเกินไป
ปริมาณน้ำดันผิวกระเบื้องมากเกินไป	ค่าความชื้นของมอร์ตาร์สูงเกินไป	ปริมาณน้ำที่เติมใน Mixer มากเกินไป
วัตถุดิบไม่เป็นเนื้อเดียวกัน	เวลาในการผสม Dry Mix น้อยเกินไป	
	เวลาในการผสม Wet Mix น้อยเกินไป	
มีก้อนแข็งมวลรวม	ที่เก็บมวลรวมไม่เหมาะสม	

หมายเหตุ : สีเข้ม คือ ระดับสาเหตุที่จะทำการจัดการ

ซึ่งสำหรับปัจจัยทั้ง 14 ที่คาดว่ามีความสัมพันธ์กับผลตอบ (Response) คือ ความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย โดยมีรายละเอียดดังนี้

- ขนาดคละของทราย เนื่องจากขนาดคละที่ไม่เหมาะสม จะทำให้ช่องว่างระหว่างมวลรวมมากทำให้เกิดค่าความอัดแน่นต่ำ และ กรณีมีทรายขนาดละเอียดจะให้ขาดทรายขนาดใหญ่ในการรับแรง นอกจากนี้ทรายละเอียดจะทำให้ดูดน้ำไว้รอบตัวทำให้ซีเมนต์ขาดน้ำในการทำปฏิกริยาไฮเดรชั่น
- ปริมาณดินเหนียวและฝุ่น เนื่องจากหากมีปริมาณมากจะดูดซับน้ำในเนื้อมอร์ตาร์ทำให้ มอร์ตาร์ขาดน้ำในการทำปฏิกริยาไฮเดรชั่น ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงกระเบื้องที่ลดลง
- สารอินทรีย์ เนื่องจากหากมีปริมาณมากเมื่อเวลาผ่านไปสารอินทรีย์จะสลายตัวเกิดช่องว่างภายในกระเบื้องทำให้พื้นที่การรับแรงกระเบื้องน้อยลง และ ความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่ายจะน้อยลงด้วย

- ขนาดคละของเศษกระเบื้องบด เนื่องจากขนาดคละที่ไม่เหมาะสม จะทำให้ช่องว่างระหว่างมวลรวมน้อย ทำให้เกิดค่าความอัดแน่นต่ำ และ กรณีมีทรายขนาดละเอียดจะให้ขาดทรายขนาดใหญ่ในการรับแรง นอกจากนี้ทรายละเอียดจะทำให้ดูดน้ำไว้รอบตัวทำให้ซีเมนต์ขาดน้ำในการทำปฏิกริยาไฮเดรชั่น
- ขนาดก้อนแข็งของเศษกระเบื้องบด เนื่องจากเมื่อมีเศษกระเบื้องบดที่ใหญ่เกินไปผสมอยู่ปนอยู่ในเนื้อมอร์ตาร์จะทำให้เกิดแนวรับแรงที่รอยระหว่างเศษมอร์ตาร์แทนการกระจายแรงตามแนวขวางของพื้นที่กระเบื้องทำให้กระเบื้องรับแรงได้น้อยลง
- เวลาการผสมแห้ง เนื่องจากหากระยะเวลาการผสมแห้งน้อยเกินไปจะให้มวลรวมเกิดการแบ่งส่วนระหว่างมวลหยาบ และ มวลละเอียดทำให้ในกระเบื้องแต่ละแผ่นมีขนาดคละของมวลรวมไม่เหมาะสมส่งผลต่อการเกิดช่องระหว่างมวลรวม
- เวลาการผสมเปียก เนื่องจากหากระยะเวลาการผสมเปียกน้อยเกินไปจะทำให้น้ำกระจายไม่ทั่วเนื้อมอร์ตาร์ ส่งผลต่อความความชื้นที่แตกต่างระหว่างตัวกระเบื้อง ทำให้ปฏิกริยาไฮเดรชั่นเกิดขึ้นได้ไม่สมบูรณ์
- อัตราส่วนซีเมนต์ เนื่องจากหากมากเกินไปจะทำให้ขาดตัวประสานในการยึดเกาะมวลรวมเข้าด้วยด้วยกัน ทำให้แนวการรับ รับได้น้อยส่งผลต่อความแข็งแรงของกระเบื้อง
- %เศษกระเบื้องบด เนื่องจากหากมีปริมาณมากเกินไปจะทำการดูดซึมน้ำไว้ภายในตัวเศษ ส่งผลต่อมอร์ตาร์ที่ขาดน้ำในการทำปฏิกริยาไฮเดรชั่น ทำให้ค่าความแข็งแรงกระเบื้องลดลง
- ความชื้นมอร์ตาร์ เนื่องจากหากน้อยเกินไปจะให้มอร์ตาร์ขาดน้ำในการทำปฏิกริยาไฮเดรชั่นได้สมบูรณ์ หรือ ในกรณีมีค่าความชื้นมากเกินจะส่งผลให้เกิดช่องว่างภายในกระเบื้องภายหลังน้ำส่วนเกินระเหย ทำให้ค่าความแข็งแรงกระเบื้องตกลง
- น้ำหนักกระเบื้องเปียก เนื่องจากน้ำหนักกระเบื้องเปียกที่น้อยจะส่งผลให้ค่าความอัดแน่นกระเบื้องลดลง อันนำมาซึ่งความแข็งแรงกระเบื้องที่ลดลงด้วย
- อุณหภูมิห้องบ่ม เนื่องจากหากอุณหภูมิน้อยเกินไปจะทำให้การเร่งปฏิกริยาไฮเดรชั่นทำได้ไม่ดี และ กรณีที่อุณภูมิที่สูงเกินไปจะทำให้น้ำในกระเบื้องระเหยออก ทำให้กระเบื้องขาดน้ำในการทำปฏิกริยาไฮเดรชั่น
- ความชื้นสัมพัทธ์ห้องบ่ม เนื่องจากหากน้อยเกินไปจะให้กระเบื้องทำปฏิกริยาไฮเดรชั่นทำได้ไม่สมบูรณ์ แต่ถ้าสูงเกินไปจะเกิดการกลั้นตัวเป็นน้ำ ซึ่งเมื่อโดนสี Primer อาจเกิดสีฟองได้
- ระยะเวลาในการบ่ม เนื่องจากหากน้อยเกินไปจะทำให้ช่วงระยะเวลาการเร่ง

ปฏิกริยาไฮเดรชั่นได้ไม่ดีส่งผลให้ค่าความแข็งแรงไม่ได้ตามเป้าหมายในช่วงเวลา ณ จำหน่าย

ซึ่งสำหรับปัจจัยทั้ง 10 ที่คาดว่ามีความสัมพันธ์กับผลตอบ (Response) คือ อัตราปูดนูนผิวกระเบื้อง โดยมีรายละเอียดดังนี้

- ขนาดคละของทราย เนื่องจากขนาดคละละเอียดจะให้ผิวกระเบื้องทึบน้ำ เมื่อกระเบื้องถูกกดเพื่อขึ้นรูปกระเบื้อง ฟองอากาศในตัวกระเบื้องไม่สามารถดันตัวออกหน้าผิวได้จึงดันตัวเกิดการปูดนูนผิวกระเบื้อง
- ปริมาณดินเหนียวและฝุ่น เนื่องจากดินเหนียวและฝุ่นมีอนุภาคที่ละเอียดจะให้ผิวกระเบื้องทึบน้ำ เมื่อกระเบื้องถูกกดเพื่อขึ้นรูปกระเบื้อง ฟองอากาศในตัวกระเบื้องไม่สามารถดันตัวออกหน้าผิวได้จึงดันตัวเกิดการปูดนูนผิวกระเบื้อง
- ขนาดคละของเศษกระเบื้องบด เนื่องจากขนาดคละละเอียดจะให้ผิวกระเบื้องทึบน้ำ เมื่อกระเบื้องถูกกดเพื่อขึ้นรูปกระเบื้อง ฟองอากาศในตัวกระเบื้องไม่สามารถดันตัวออกหน้าผิวได้จึงดันตัวเกิดการปูดนูนผิวกระเบื้อง
- ขนาดก้อนแข็งเศษกระเบื้องบด เนื่องจากหากมีขนาดใหญ่มากจะเมื่อทำการขึ้นรูปแล้วจะดุนเนื้อกระเบื้องเกิดอากาศปูดนูนเป็นจุดๆ
- เวลาการผสมแห้ง เนื่องจากหากระยะเวลาการผสมแห้งน้อยเกินไปจะให้มวลรวมเกิดการแบ่งส่วนโดยจะมีกระเบื้องที่มีส่วนของมวลละเอียดมากจะให้ผิวกระเบื้องทึบน้ำ เมื่อกระเบื้องถูกกดเพื่อขึ้นรูปกระเบื้อง ฟองอากาศในตัวกระเบื้องไม่สามารถดันตัวออกหน้าผิวได้จึงดันตัวเกิดการปูดนูนผิวกระเบื้อง
- เวลาการผสมเปียก เนื่องจากหากระยะเวลาการผสมเปียกน้อยเกินไปจะทำให้น้ำกระจายไม่ทั่วเนื้อมอร์ตาร์ ส่งผลให้บางกระเบื้องมีปริมาณน้ำจำนวนมาก ทำให้เมื่อโดนกดขึ้นรูปจะเกิดการดันตัวเป็นจำนวนมากที่ผิวกระเบื้อง โดยไม่สามารถระบายทั้งหมดจึงเกิดการดันตัวที่ผิวกระเบื้อง
- อัตราส่วนซีเมนต์ เนื่องจากหากมีอัตราส่วนน้อยจะให้ให้มีซีเมนต์ และ เถ้าลอยเป็นจำนวนมาก ซึ่งเป็นอนุภาคขนาดเล็กจะให้ผิวกระเบื้องทึบน้ำ เมื่อกระเบื้องถูกกดเพื่อขึ้นรูปกระเบื้อง ฟองอากาศในตัวกระเบื้องไม่สามารถดันตัวออกหน้าผิวได้จึงดันตัวเกิดการปูดนูนผิวกระเบื้อง
- อัตราส่วนเถ้าลอย เนื่องจากหากมีจำนวนมากซึ่งเป็นอนุภาคขนาดเล็กมาก จะให้ผิวกระเบื้องทึบน้ำ เมื่อกระเบื้องถูกกดเพื่อขึ้นรูปกระเบื้อง ฟองอากาศในตัวกระเบื้องไม่สามารถดัน

ตัวออกหน้าผิวได้จึงดันตัวเกิดการปูดนูนผิวกระเบื้อง

- อัตราส่วนเศษกระเบื้องบด เนื่องจากหากมีจำนวนมากซึ่งเป็นอนุภาคขนาดเล็กมาก จะให้ผิวกระเบื้องทึบน้ำ เมื่อกระเบื้องถูกกดเพื่อขึ้นรูปกระเบื้อง ฟองอากาศในตัวกระเบื้องไม่สามารถดันตัวออกหน้าผิวได้จึงดันตัวเกิดการปูดนูนผิวกระเบื้อง
- ความชื้นมอร์ตาร์ เนื่องหากกระเบื้องมีปริมาณน้ำจำนวนมาก ทำให้เมื่อโดนกดขึ้นรูปจะเกิดการดันตัวเป็นจำนวนมากที่ผิวกระเบื้อง โดยไม่สามารถระบายทั้งหมดจึงเกิดการดันตัวที่ผิวกระเบื้อง

4.5 การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA)

หลังจากได้พิจารณาเลือกปัจจัยที่สำคัญจากการพิจารณาด้วยผังก้างปลา (Cause & Effect Diagram) แล้ว จึงมาทำการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) โดยเพื่อให้การประเมิน FMEA มีประสิทธิ์ภาพมากที่สุดนั้น จะต้องดำเนินการโดยคณะทำงาน (Team) ที่มีความเชี่ยวชาญในด้านต่างๆ ซึ่งในที่นี้ คือกลุ่มเดียวกับผู้ประเมินผังก้างปลาเพื่อ

1. นำปัจจัยนำเข้าที่อาจมีผล (KPIV) ต่อการเกิดความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่ายลดลง และ ปูดนูนผิวกระเบื้อง จำนวน 15 และ 10 ปัจจัย มาทำการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA)

2. ระดมความคิดในการแจกแจง การเกิดความเสียหายหรือข้อบกพร่อง (Potential Failure Mode) ทั้ง KPIV ทั้งหมดที่อาจมีผลกระทบต่อการเกิดความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่ายลดลง และ ปูดนูผิวกระเบื้อง รวมทั้งผลกระทบที่เกิดความเสียหายนั้น (Potential Failure Effects) ซึ่งก็คือผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นได้ที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ จากนั้นให้คะแนนความร้ายแรง (Severity Score: S) ซึ่งเป็นการประเมินความร้ายแรงที่เกิดขึ้นของผลกระทบในแต่ละความเสียหาย (Potential Failure Mod) ที่มีต่อการเกิดของเสียประเภทความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่ายลดลง และ ปูดนูผิวกระเบื้อง ซึ่งมาจากการประเมินผลจากข้อมูลที่มีอยู่ การประเมินคะแนนของความร้ายแรงของแต่ละผลกระทบดังกล่าวอยู่ในช่วงคะแนน 1 ถึง 10 คะแนนที่มีค่ามากจะบอกถึงลักษณะของผลกระทบที่มีความรุนแรงมากตามลำดับคะแนน เกณฑ์การสร้างช่วงคะแนนความร้ายแรง ได้กำหนดโดยประยุกต์ให้เหมาะกับผลิตภัณฑ์และลักษณะปัญหาที่ทำการศึกษา

3. วิเคราะห์สาเหตุที่เป็นไปได้ของแต่ละความเสียหาย (Potential Causes) ที่เป็นที่มาของการเกิดความแข็งแรงกระเบื้องลดลง และ ปูดนูนผิวกระเบื้อง และให้คะแนนความถี่ในการเกิด

(Occurrence Score: O) ซึ่งเป็นการคาดคะเนความน่าจะเป็นที่สาเหตุของปัญหาที่ระบุจะเกิดขึ้น ในที่นี้มาจากการประเมินของความเหมาะสมของการออกแบบระดับของสาเหตุในช่อง Current Prevention control จากผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งในที่นี้ คือ ผู้จัดการแผนกพัฒนาผลิตภัณฑ์ โดยช่วงของคะแนนความถี่นี้เป็นช่วงของตัวเลขที่เหมือนกับการสร้างช่วงคะแนนของความร้ายแรงคือ 1 ถึง 10

4. พิจารณาระบบการตรวจจับในปัจจุบัน (Current Detection Control) เป็นการอธิบายการควบคุมที่สามารถจะป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหาย หรือเป็นการตรวจจับการเกิดขึ้นของความเสียหายเพื่อที่จะพิจารณาหรือกำจัดสาเหตุของความเสียหายนั้น จากนั้นให้คะแนนการตรวจจับ (Detection Score: D) ซึ่งเป็นการประเมินคะแนนของความสามารถของระบบการควบคุมที่ใช้ในปัจจุบันในการตรวจจับข้อบกพร่องต่างๆ ที่เกิดขึ้นก่อนที่ผลิตภัณฑ์จะออกจากกระการผลิต ช่วงคะแนนของการตรวจจับอยู่ระหว่า 1 ถึง 10 เช่นกัน

5. ทำการคำนวณค่า RPN (Risk Priority Number) ซึ่งได้มาจากผลคูณค่าคะแนนที่ได้ 3 ตัว ในแต่ละแถวของตาราง ดังสมการ RPN = S x O x D

หมายเหตุ เกณฑ์การให้คะแนนของทั้ง 3 ค่า คือ คะแนนระดับความรุนแรง คะแนนความถี่ และคะแนนระดับความสามารถในการตรวจจับปัญหา แสดงในตารางที่ 4.36 เป็นเกณฑ์การให้คะแนนที่ได้ทำการอ้างอิงมาจากตัวอย่างเกณฑ์การให้คะแนนของ AIAG (2008): FMEA Fourth Edition ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่ใช้สำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์ ดังนั้นในการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมรวมทั้งปริมาณของเสียที่พบในปัจจุบันด้วย ซึ่งการปรับเกณฑ์นี้ได้กระทำโดยการระดมสมองจากคณะทำงานของโครงการซึ่งมีประสบการณ์ความรู้ และความชำนาญเกี่ยวกับกระบวนการ เพื่อให้ได้เกณฑ์การให้คะแนนที่เหมาะสม

ตารางที่ 4.36 เกณฑ์การให้คะแนน DFMEA ของบริษัทกรณีศึกษา

Score	Severity	Occurrence		Detection
		ลักษณะการออกแบบ	ความถี่ต่อครั้งการผลิต	
10	มีผลกระทบต่อความปลอดภัยของผู้ใช้ หรือขัดต่อกฎหมาย โดยไม่มีการเตือน Function (Safety or PL Law)	เทคโนโลยีใหม่/การออกแบบใหม่ โดยไม่เคยมีข้อมูล	≥ 100/1000 (≥ 10%)	ไม่สามารถตรวจจับ หรือ ตรวจสอบได้
9	มีผลกระทบต่อความปลอดภัยของผู้ใช้ หรือขัดต่อกฎหมาย โดยมีการเตือน หรือ คู่มือการใช้งาน Function (Safety or PL Law)	มีโอกาสเกิดสูง กับการออกแบบใหม่ หรือ การประยุกต์ใช้งานแบบใหม่	50/1000 (5%)	การควบคุมทำได้โดยอ้อม หรือ เป็นการเฟ้นสุ่มตรวจเท่านั้น
7	ปัญหาส่วนใหญ่เป็นทั้งผืนหลังคา และ ลูกค้าไม่พอใจมาก เช่น สีเพี้ยน ; คราบขาว ; สี fade	มีโอกาสเกิดน้อย กับการออกแบบใหม่ หรือ การประยุกต์ใช้งานแบบใหม่	10/1000 (0.1%)	ใช้คนตัดสินใจ ไม่มีเครื่องมือ
5	ปัญหาส่วนใหญ่ไม่เป็นทั้งผืนหลังคา และ ลูกค้าสังเกตุได้ชัดเจนนัก เช่น ปูดนูน ; สีย่น	การออกแบบใกล้เคียงเดิม	1/2000 (0.5%)	ใช้คนตัดสินใจ มีเครื่องมือ
3	ปัญหาส่วนใหญ่ไม่เป็นทั้งผืนหลังคา และ ลูกค้าสังเกตุเห็นได้ไม่ชัดเจนนัก เช่น ความคมขอบ ; รูพรุน ; icing	การออกแบบเหมือนเดิมกับปัจจุบัน	1/10,000 (0.01%)	ใช้คนอ่านค่าจากเครื่องมือ
1	ไม่มีผลกระทบที่สังเกตุได้	ไม่เกิด Failure เลย	0	Automatic Inspection

หลักเกณฑ์ในการพิจารณาเพื่อเลือกข้อบกพร่องมาทำการแก้ไขนี้ จะเริ่มจากการพิจารณาถึงลักษณะข้อบกพร่องที่มีความรุนแรงมาก (S = 10) โดยไม่สนใจค่า RPN ว่าจะมีค่ามากน้อยเพียงไร จากนั้นจึงพิจารณาถึงลักษณะข้อบกพร่องที่มีค่า RPN สูงเพื่อนำ ปัจจัยมาวิเคราะห์ต่อ ดังแสดงในตารางที่ 4.37 สำหรับความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่ายลดลงและ 4.38 สำหรับการเกิดผิวกระเบื้องปูดนูน

ตารางที่ 4.37 FMEA ของค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย

No.	Key Process Input	Potential Failure Mode	Potential Failure Effect	SEV	Potential Cause	Current Control Prevention	OCC	Current Control Detection	DET	RPN	Action Recommend
1	ขนาดคละของทราย	ขนาดคละของทรายค่อนข้างละเอียดเกินไป (FM ต่ำ)	• ความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่ายลดลง	9	การคลุกผสมทรายทำได้ไม่ดี ทำให้ได้ขนาดคละไม่เหมาะสม	มาตราฐานการคลุกทราย	3	การทดสอบขนาดคละ (GN-W-QC-101)	5	135	
					ขอบเขตของขนาดคละ ของทรายไม่เหมาะสม	ให้มวลรวมได้ ขนาดคละตาม QC Process Chart	5	การทดสอบขนาดคละ (GN-W-QC-101)	5	315	• ทดลองหาขอบเขตขนาดคละของทรายให้เหมาะสมที่สุด
2	ขนาดคละเศษกระเบื้องบด	ขนาดคละของทรายค่อนข้างละเอียดเกินไป (FMต่ำ)	• ความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่ายลดลง	9	ขอบเขตขนาดคละของ เศษกระเบื้องบดไม่เหมาะสม	-	7	การทดสอบขนาดคละ (GN-W-QC-101)	5	315	• ทดลองหาขอบเขตเศษกระเบื้องบดให้เหมาะสมที่สุด
3	ก้อนแข็งมวลรวม	การเกาะเป็นก้อนแข็งมากเกินไป	• ความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่ายลดลง	9	ที่เก็บมวลรวมไม่เหมาะสม	-	7	การตรวจด้วยสายตา	7	441	• สร้างผ้าใบคลุมกันฝน
4	ปริมาณสารอินทรีย์ในทราย	ปริมาณสารอินทรีย์ในทรายมากเกินไป	• ความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่ายลดลง	9	ขอบเขตของปริมาณสารอินทรีย์ในทรายมากเกินไป	มาตราฐานตาม ASTM C 40	3	การตรวจสอบสารอินทรย์ (GN-W-QC-102)	5	135	
5	ปริมาณดินเหนียวและฝุ่น	ปริมาณดินเหนียวและฝุ่นมากเกินไป	• ความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่ายลดลง	9	ขอบเขตของปริมาณดินเหนียวและฝุ่น ในทรายมากเกินไป	มาตราฐานตาม ASTM C 117	3	การตรวจสอบดินเหนียวและหินฝุ่น (GN-W-QC-103)	5	135	
6	เวลาการ Dry Mix	เวลาการ Dry Mix น้อยเกินไป	• ความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่ายลดลง	9	ขอบเขตของเวลาในการผสม Dry Mix น้อยเกินไป	-	7	การตรวจสอบจากหน้าปัดเครื่อง	3	189	• ทดลองการผสม Dry Mix เพิ่มนอก Mixer
7	เวลาการ Wet Mix	เวลาการ Wet Mix น้อยเกินไป	• ความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่ายลดลง	9	ขอบเขตของเวลาในการผสม Wet Mix น้อยเกินไป	การดูจากหน้าปัดเครื่อง Mix	5	การตรวจสอบจากหน้าปัดเครื่อง	3	135	
8	ปริมาณซีเมนต์	ปริมาณซีเมนต์น้อยเกินไป หรือ ปริมาณซีเมนต์มากเกินไป	• ความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่ายลดลง	9	ขอบเขตสัดส่วนของซีเมนต์ไม่เหมาะสม	-	7	การตรวจสอบจากหน้าปัดเครื่อง	3	189	• ทดลองหาขอบเขตสัดส่วนซีเมนต์ให้เหมาะวมให้เหมาะสมที่สุด

ตารางที่ 4.37 FMEA ของค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย (ต่อ)

No.	Key Process Input	Potential Failure Mode	Potential Failure Effect	SEV	Potential Cause	Current Control Prevention	OCC	Current Control Detection	DET	RPN	Action Recommend
9	ปริมาณเศษกระเบื้องบดแทนทราย	ปริมาณเศษกระเบื้องบดแทนทรายมากเกินไป	• ความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่ายลดลง	9	ขอบเขตสัดส่วนของ เศษกระเบื้องบดไม่เหมาะสม	-	7	การตรวจสอบจากหน้าปัดเครื่อง	3	189	• ทดลองหาค่าปริมาณเศษกระเบื้องบดให้เหมาะสมที่สุด และกำหนดเป็นเอกสารมาตราฐาน
10	ความชื้น Mortar	ความชื้น Mortar น้อยเกินไป หรือ ความชื้น Mortar มากเกินไป	• ความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่ายลดลง	9	ขอบเขตของปริมาณน้ำที่เติมใน Mixer ไม่เหมาะสม	มีการทดลองหาช่วงความชื้นที่เหมาะสมที่สุดในห้องทดลองแล้ว	3	การวัดค่าความชื้นมอร์ตาร์ (GN-W-QC-106)	3	81	
11	น้ำหนักกระเบื้องเปียก	น้ำหนักกระเบื้องเปียกน้อยเกินไป	• ความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่ายลดลง	9	ขนาดถ้วยจ่ายปูนเล็กเกินไป	-	7	มีการตรวจสอบน้ำหนักทุกชม. (GN-W-QC-301)	5	315	• เปลี่ยนขนาด ถ้วยจ่ายมอร์ตาร์ เมื่อทำการใช้เศษกระเบื้องบด
12	อุณหภูมิภายในห้องบ่ม	อุณหภูมิภายในห้องบ่มน้อยเกินไป หรือ อุณหภูมิภายในห้องบ่มสูงเกินไป	• ความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่ายลดลง	9	ขอบเขตของอุณหภูมิห้องบ่มไม่เหมาะสม	มาตราฐานห้องบ่ม	3	ตรวจสอบทุกชัวโมง ตามเอกสาร (GN-F-QC-309)	3	81	
13	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องบ่ม	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องบ่มน้อยเกินไป	• ความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่ายลดลง	9	ขอบเขตความชื้นห้องบ่มไม่เหมาะสม	มาตราฐานห้องบ่ม	3	ตรวจสอบทุกชัวโมง ตามเอกสาร (GN-F-QC-309)	3	81	
14	ระยะเวลาการให้ความร้อน	ระยะเวลาการให้ความร้อนน้อยเกินไป หรือ ระยะเวลาการให้ความร้อนมากเกินไป	• ความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่ายลดลง	9	ขอบเขตของเวลาในการบ่มน้อยเกินไป	-	7	ตรวจสอบตามระยะเวลาการบ่มเอกสาร (GN-F-QC-305)	3	189	• เพิ่มระยะเวลาการบ่มให้มากกว่า 16 ชม.

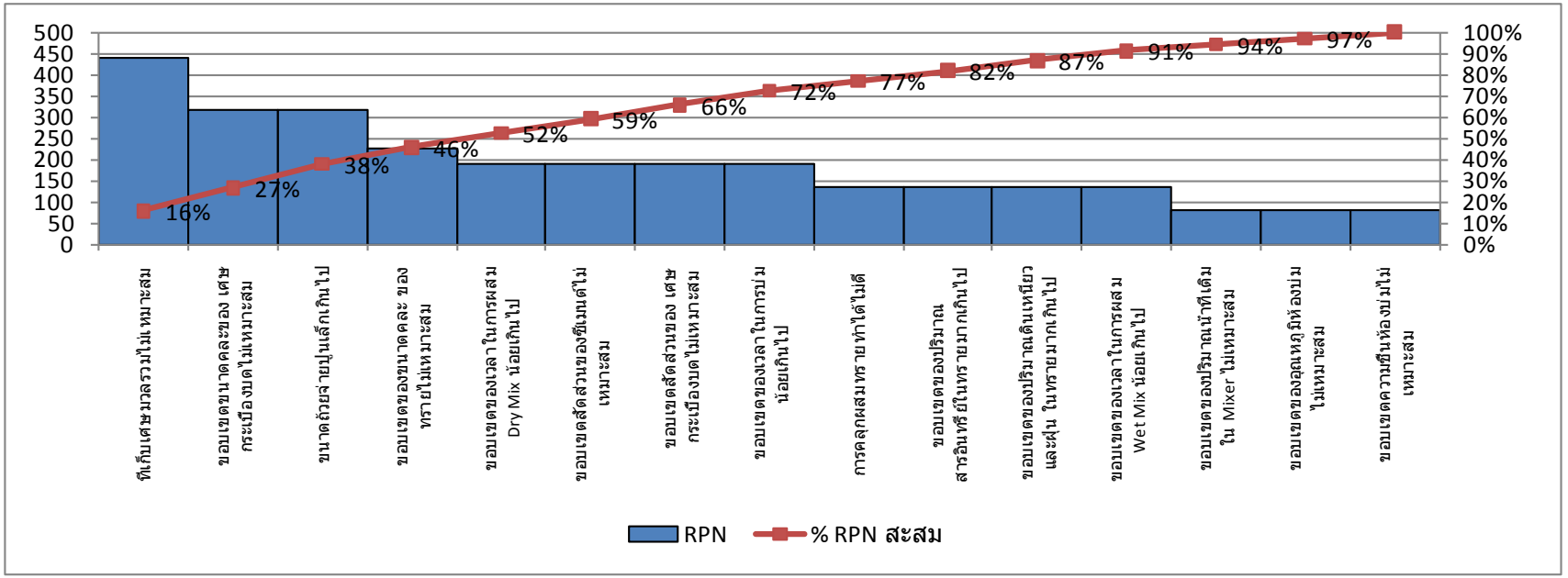
ตารางที่ 4.38 FMEA ของปูดนูนผิวกระเบื้อง

No.	Key Process Input	Potential Failure Mode	Potential Failure Effect	SEV	Potential Cause	Current Control Prevention	OCC	Current Control Detection	DET	RPN	Action Recommend
1	ขนาดคละของทราย	ขนาดคละของทรายค่อนข้างละเอียดเกินไป (FM ต่ำ)	• เกิดกระเบื้องปูดนูน	5	การคลุกผสมทรายทำได้ไม่ดี ทำให้ได้ขนาดคละไม่เหมาะสม	มาตราฐานการคลุกทราย	3	การทดสอบขนาดคละ (GN-W-QC-101)	5	75	
					ขอบเขตของขนาดคละของทรายละเอียดเกินไป	ให้มวลรวมได้ ขนาดคละตาม QC Process Chart	5	การทดสอบขนาดคละ (GN-W-QC-101)	5	175	• ทดลองหาขอบเขตขนาดคละของทรายให้เหมาะสมที่สุด
2	ขนาดคละเศษกระเบื้องบด	ขนาดคละของทรายค่อนข้างละเอียดเกินไป (FMต่ำ)	• เกิดกระเบื้องปูดนูน	5	ขนาดคละของ เศษกระเบื้องบดละเอียดเกินไป	-	7	การทดสอบขนาดคละ (GN-W-QC-101)	5	175	• ทดลองหาขอบเขตเศษกระเบื้องบดให้เหมาะสมที่สุด
3	ก้อนแข็งมวลรวม	การเกาะเป็นก้อนแข็งมากเกินไป	• เกิดผิวกระเบื้องปูดนูน	5	ทีเก็บมวลรวมไม่เหมาะสม	-	7	การตรวจด้วยสายตา	7	245	• สร้างผ้าใบคลุมกันฝน
4	ปริมาณดินเหนียวและฝุ่น	ปริมาณดินเหนียวและฝุ่นมากเกินไป	• เกิดปูดนูนผิวกระเบื้อง	5	ขอบเขตของปริมาณดินเหนียว/ฝุ่น ในทรายมากเกินไป	มาตราฐานตาม ASTM C 117	3	การตรวจสอบดินเหนียวและหินฝุ่น (GN-W-QC-103)	5	75	
5	เวลาการ Dry Mix	เวลาการ Dry Mix น้อยเกินไป	• เกิดปูดนูนผิวกระเบื้อง	5	ขอบเขตของเวลาการ Dry Mix น้อยเกินไป	-	7	การตรวจสอบจากหน้าปัดเครื่อง	3	105	• ทดลองการผสม Dry Mix เพิ่มนอก Mixer
6	เวลาการ Wet Mix	เวลาการ Wet Mix น้อยเกินไป	• เกิดปูดนูนผิวกระเบื้อง	5	ขอบเขตของเวลาการ Wet Mix น้อยเกินไป	การดูจากหน้าปัดเครื่อง Mix	5	การตรวจสอบจากหน้าปัดเครื่อง	3	75	
7	ปริมาณซีเมนต์	ปริมาณซีเมนต์มากเกินไป	• เกิดกระเบื้องปูดนูน	5	ขอบเขตของสัดส่วนซีเมนต์ไม่เหมาะสม	-	7	การตรวจสอบจากหน้าปัดเครื่อง	3	45	
8	ปริมาณเถ้าลอยต่อตัวประสาน	ปริมาณเถ้าลอยต่อตัวประสานมากเกินไป	• เกิดกระเบื้องปูดนูน	5	ขอบเขตของสัดส่วนเถ้าลอยไม่เหมาะสม	-	7	การตรวจสอบจากหน้าปัดเครื่อง	3	45	

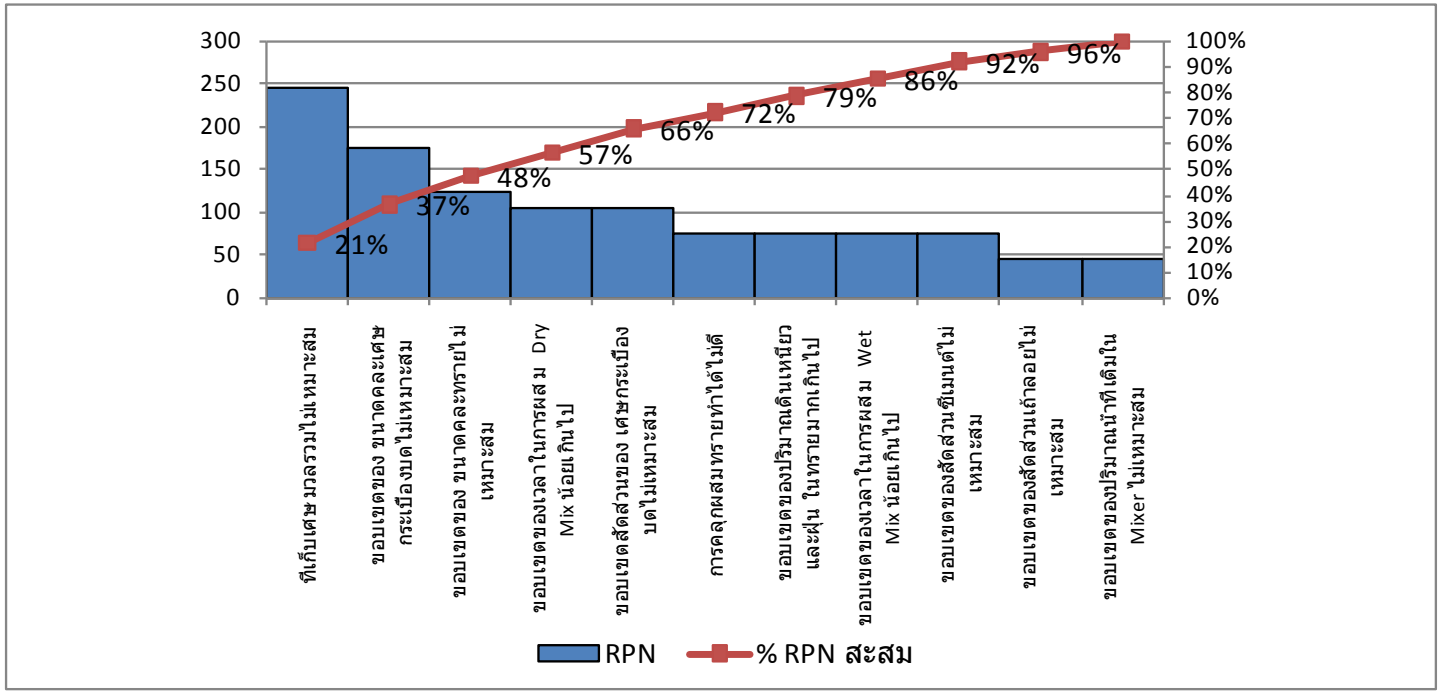
ตารางที่ 4.38 FMEA ของปูดนูนผิวกระเบื้อง (ต่อ)

No.	Key Process Input	Potential Failure Mode	Potential Failure Effect	SEV	Potential Cause	Current Control Prevention	OCC	Current Control Detection	DET	RPN	Action Recommend
9	ปริมาณเศษกระเบื้องบดแทนทราย	ปริมาณเศษกระเบื้องบดแทนทรายมากเกินไป	• เกิดกระเบื้องปูดนูน	5	ขอบเขตของสัดส่วนของเศษกระเบื้องบดไม่เหมาะสม	-	7	การตรวจสอบจากหน้าปัดเครื่อง	3	105	• ทดลองหาค่าปริมาณเศษกระเบื้องบดให้เหมาะสมที่สุด
10	ความชื้น Mortar	ความชื้น Mortar มากเกินไป	• เกิดกระเบื้องปูดนูน	5	ขอบเขตของปริมาณน้ำที่เติมใน Mixer มากเกินไป	มีการทดลองหาช่วงความชื้นที่เหมาะสมที่สุดใน ห้องทดลองคอนกรีต แล้ว	3	การวัดค่าความชื้นมอร์ตาร์ (GN-W-QC-106)	3	45	

จากผลการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA) ได้นำผลคะแนน RPN มาจัดเรียงจากมาไปน้อยและพล็อตแผนกฎมิพาเรโต เพื่อพิจารณาลำดับความสำคัญของแต่ละปัจจัย ดังรูปที่ 4.28 สำหรับปัญหาความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย ลดลง และ 4.29 สำหรับปัญหาปูดนูนผิวกระเบื้อง ทำการเลือกปัจจัยที่สำคัญเพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.28 กราฟเรียงลำดับคะแนน RPN ของปัญหาความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย



รูปที่ 4.29 กราฟเรียงลำดับคะแนน RPN ของปัญหาปูดนูนผิวกระเบื้อง

จากการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effects Analysis) และทำการจัดเรียงลำดับตามคะแนน RPN ที่ได้ จากมากไปน้อย โดยใช้พาเรโตมาพิจารณา สำหรับความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย ดังรูปที่ 4.34 พบว่าปัจจัย 8 ลำดับแรกซึ่งมีคะแนนสูงและมีเปอร์เซ็นต์สะสม 72% แรก มีคะแนนรวมเท่ากับ 2,052 คะแนน จากคะแนนรวมทั้งหมด 2,850 คะแนน ดังนั้นจึงได้เลือกเป็นปัจจัยนำเข้า (KPIVs) ที่จะนำไปวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป ดังแสดงดังตารางที่ 4.39 และ สำหรับปูดนูนผิวกระเบื้อง ดังรูปที่ 4.35 พบว่าปัจจัย 5 ลำดับแรกซึ่งมีคะแนนสูงและมีเปอร์เซ็นต์สะสม 66% แรก มีคะแนนรวมเท่ากับ 755 คะแนน จากคะแนนรวมทั้งหมด 1,144 คะแนน ดังนั้นจึงได้เลือกเป็นปัจจัยนำเข้า (KPIVs) ที่จะนำไปวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป ดังแสดงดังตารางที่ 4.40

ตารางที่ 4.39 ปัจจัยนำเข้า 8 ปัจจัยที่มีคะแนนสะสม 72% แรก ของปัญหาความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่ายลดลงเมื่อใช้เศษกระเบื้องบด

ลำดับ	ปัจจัยนำเข้า	RPN	RPN สะสม	เปอร์เซ็นต์สะสม
1	ที่เก็บเศษมวลรวมไม่เหมาะสม	441	441	16%
3	ขอบเขตขนาดคละของ เศษกระเบื้องบดไม่เหมาะสม	315	756	27%
4	ขนาดถ้วยจ่ายปูนเล็กเกินไป	315	1071	38%
2	ขอบเขตของขนาดคละ ของทรายไม่เหมาะสม	225	1296	46%
5	ขอบเขตของเวลาในการผสม Dry Mix น้อยเกินไป	189	1485	52%
6	ขอบเขตสัดส่วนของซีเมนต์ไม่เหมาะสม	189	1674	59%
7	ขอบเขตสัดส่วนของ เศษกระเบื้องบดไม่เหมาะสม	189	1863	66%
8	ขอบเขตของเวลาในการบ่มน้อยเกินไป	189	2052	72%

ตารางที่ 4.40 ปัจจัยนำเข้า 5 ปัจจัยที่มีคะแนนสะสม 66% แรก ของปัญหาปูดนูนผิวกระเบื้องเมื่อใช้เศษกระเบื้องบด

ลำดับ	ปัจจัย	RPN	RPN สะสม	เปอร์เซ็นต์สะสม
1	ที่เก็บเศษมวลรวมไม่เหมาะสม	245	245	21%
2	ขอบเขตของ ขนาดคละเศษกระเบื้องบดไม่เหมาะสม	175	420	37%
3	ขอบเขตของ ขนาดคละทรายไม่เหมาะสม	125	545	48%
4	ขอบเขตของเวลาในการผสม Dry Mix น้อยเกินไป	105	650	57%
5	ขอบเขตสัดส่วนของ เศษกระเบื้องบดไม่เหมาะสม	105	755	66%

หลังการประเมิน RPN ของทั้งปัญหาความแข็งแรงกระเบื้อง และ ปูดนูนผิวกระเบื้องจึงได้ทำการรวม RPN เพื่อประเมินปัจจัยนำเข้าแต่ละอันว่ามีผลร่วมระหว่างปัญหาทั้ง 2 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ 4.41

ตารางที่ 4.41 ปัจจัยนำเข้า 8 ปัจจัยแรก ของปัญหาความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่ายลดลง และอัตราปูดนูนผิวกระเบื้อง

ลำดับ	ปัจจัยนำเข้า	RPN
1	ที่เก็บมวลรวมไม่เหมาะสม	686
2	ขอบเขตขนาดคละของ เศษกระเบื้องบดไม่เหมาะสม	490
3	ขอบเขตของขนาดคละ ของทรายไม่เหมาะสม	350
4	ขนาดถ้วยจ่ายปูนเล็กเกินไป	315
5	ขอบเขตของเวลาในการผสม Dry Mix น้อยเกินไป	294
6	ขอบเขตสัดส่วนของ เศษกระเบื้องบดไม่เหมาะสม	294
7	ขอบเขตสัดส่วนของซีเมนต์ไม่เหมาะสม	189
8	ขอบเขตของเวลาในการบ่มน้อยเกินไป	189

จากตารางที่ 4.41 แสดงปัจจัยเรียงตามระดับ RPN ดังนี้ต่อทั้ง 2 ปัญหา คือ ที่เก็บเศษกระเบื้องบดไม่เหมาะสม,ขอบเขตของขนาดคละ ของทรายไม่เหมาะสม,ขอบเขตขนาดคละของเศษกระเบื้องบดไม่เหมาะสม,ขนาดถ้วยจ่ายปูนเล็กเกินไป,ขอบเขตของเวลาในการผสม Dry Mix น้อยเกินไป,ขอบเขตสัดส่วนของ เศษกระเบื้องบดไม่เหมาะสม ,ขอบเขตสัดส่วนของซีเมนต์ไม่เหมาะสม และ ขอบเขตของเวลาในการบ่มน้อยเกินไป

4.6 สรุประยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา

ในขั้นตอนแรกของระยะวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา ได้ทำการวิเคราะห์ระบบการวัดแบบข้อมูลตามลักษณะ (Attribute Agreement Analysis) โดยทดสอบพนักงานตรวจสอบปัญหาของเสียรูพรุน,ปูดนูน และ รอยร้าวผิวกระเบื้อง จำนวน 4 คน ผลจากการวิเคราะห์พบว่า ค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงานตรวจสอบ เปอร์เซ็นต์ความไบอัสของพนักงานตรวจสอบ เปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลด้านความสามารถในการวัดซ้ำของการตรวจสอบ และเปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลด้านไบอัสของการตรวจสอบ ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดว่าจะยอมรับทั้ง 4 ค่า คือ 100% เนื่องจากพนักงานตรวจสอบทุกคนสามารถตัดสินปัญหาได้ถูกต้องทุกแผ่น

จากนั้นจึงศึกษาทดลองเติมเศษกระเบื้องบดที่ระดับต่าง และ มีจุดประสงค์คือ 0% สำหรับเปรียบเทียบ 25% เป็นเป้าหมายการใช้งานของบริษัท และ 50% กับ 75% สำหรับการหาจุดการใช้งานค่าสูงสุดที่เป็นไปได้ โดยทำการศึกษาผลค่าความแข็งแรง ณ จำหน่าย, อัตราดูดซึมน้ำ อัตราของเสียปูดนูน รูพรุน และ รอยร้าวผิวกระเบื้อง จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าที่ระดับการเติมมากกว่าเป้าหมาย 25 % มีค่าที่ไม่ผ่านการยอมรับ คือ ค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย (Cpk)และ อัตราของเสียปุดนูนผิวกระเบื้อง (Significant)

ดังนั้นจึงกำหนดให้ต้องหามาตราการในการแก้ไขปรับปรุง โดยทำการระดมสมองสมาชิกในคณะทำงาน เพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่สำคัญเกี่ยวกับคุณภาพที่ต่ำกว่ามาตราฐาน ด้วยแผนผังความสัมพันธ์ (Relation Diagram) จากนั้นได้นำปัจจัยเหล่านี้ไปทำการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis) พบว่าสำหรับคุณภาพกระเบื้อง ณ จำหน่าย ได้ปัจจัยที่มีคะแนน RPN ที่มีคะแนนสูงเป็นเปอร์เซ็นต์สะสมรวม 72% แรก จำนวน 8 ปัจจัย และ สำหรับปูดนูนผิวกระเบื้อง ได้ปัจจัยที่มีคะแนน RPN ที่มีคะแนนสูงเป็นเปอร์เซ็นต์สะสมรวม 66% แรก จำนวน 5 ปัจจัย และ เมื่อนำ RPN มารวมกันเพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลร่วมระหว่างหัวข้อคุณภาพทั้ง 2 หัวข้อ จะได้ปัจจัยนำเข้าเรียงลำดับตามคะแนน RPN ดังนี้ ที่เก็บมวลรวมไม่เหมาะสม,ขอบเขตของขนาดคละ ของทรายไม่เหมาะสม,ขอบเขตขนาดคละของ เศษกระเบื้องบดไม่เหมาะสม,ขนาดถ้วยจ่ายปูนเล็กเกินไป,ขอบเขตของเวลาในการผสม Dry Mix น้อยเกินไป,ขอบเขตสัดส่วนของ เศษกระเบื้องบดไม่เหมาะสม ,ขอบเขตสัดส่วนของซีเมนต์ไม่เหมาะสม และ ขอบเขตของเวลาในการบ่มน้อยเกินไป

บทที่ 5

ระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

หลังจากระยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหาแล้ว ในขั้นตอนของการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode & Effect Analysis หรือ FMEA) พบว่าปัจจัยนำเข้าที่สำคัญในการนำไปทดสอบและวิเคราะห์ในระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา เพื่อลดปัญหาความแข็งกระบื้อง ณ จำหน่ายลดลง และ ปูดนูนผิกระเบื้อง ทั้งหมด 8 ปัจจัย คือ ปัจจัยนำเข้าเรียงลำดับตามคะแนน RPN ดังนี้

1. ที่เก็บมวลรวมไม่เหมาะสม
2. ขอบเขตของขนาดคละ ของทรายไม่เหมาะสม
3. ขอบเขตขนาดคละของ เศษกระเบื้องบดไม่เหมาะสม
4. ขนาดถ้วยจ่ายปูนเล็กเกินไป
5. ขอบเขตของเวลาในการผสม Dry Mix น้อยเกินไป
6. ขอบเขตสัดส่วนของ เศษกระเบื้องบดไม่เหมาะสม
7. ขอบเขตสัดส่วนของซีเมนต์ไม่เหมาะสม
8. ขอบเขตของเวลาในการบ่มน้อยเกินไป

โดยในบทนี้จะนำปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ 8 ปัจจัยนี้มาทำการทดลองเพื่อวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยนำเข้า และความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีต่อตัวแปรตอบสนอง คือ ความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่ายลดลง และ อัตราดูดซึมน้ำเพื่อคัดเลือกปัจจัยนำเข้าที่สำคัญในการนำไปกำหนดแนวทางการปรับปรุงต่อไป

5.1 การกำหนดลำดับการวิเคราะห์

เนื่องจากในการปรับปัจจัยนำเข้าการผลิตแต่ละชนิดเพื่อให้ได้ระดับคุณภาพผ่านการยอมรับ ต้องทำการปรับเปลี่ยนจากกระบวนการผลิตปัจจุบัน อันส่งผลต่อความยากง่ายในการผลิต นอกจากนี้ยังส่งผลต่อแนวโน้มค่าใช้จ่ายในการผลิตที่แตกต่างกัน ทางผู้บริหารจึงได้กำหนดลำดับการวิเคราะห์ตามดังตารางที่ 5.1 โดยเริ่มจากมาตราการที่คะแนนโดยรวมมากที่สุดก่อน ซึ่งหากสามารถทำให้คุณภาพเกิดการยอมรับของบริษัทได้ก็จะยอมรับที่เงื่อนไขการปรับปัจจัยนำเข้าดังกล่าวมาใช้งานในการผลิตจริง

ตาราง 5.1 ลำดับการวิเคราะห์ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ

หัวข้อที่	ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ KPIV	ความง่ายต่อการประยุกต์ใช้ (น้ำหนัก : 8)	แนวโน้มจำนวนค่าใช้จ่าย (น้ำหนัก : 10)	คะแนนโดยรวม
1	ที่เก็บมวลรวมไม่เหมาะสม	⦿	⦿	162
2	ขอบเขตของเวลาในการผสม Dry Mix น้อยเกินไป	⦿	⦿	162
3	ขอบเขตสัดส่วนของ เศษกระเบื้องบดไม่เหมาะสม	⦿	⦿	162
4	ขอบเขตขนาดคละของเศษกระเบื้องบดไม่เหมาะสม	○	○	54
5	ขนาดถ้วยจ่ายปูนเล็กเกินไป	△	○	38
6	ขอบเขตของขนาดคละ ของทรายไม่เหมาะสม	△	○	38
7	ขอบเขตสัดส่วนของซีเมนต์ไม่เหมาะสม	○	△	34
8	ขอบเขตของเวลาในการบ่มน้อยเกินไป	△	△	18

หมายเหตุ : ช่องสีเข้ม คือ สิ่งที่มีข้อมูลในอดีต

⦿ (สูง)= 9 คะแนน ; ○ (ปานกลาง) = 3 คะแนน ; △ (น้อย)= 1 คะแนน

แต่เนื่องจากในตอนต้นของโครงการ ได้มีการทำการทดลองเพื่อศึกษาในเรื่องขอบเขตสัดส่วนของซีเมนต์ และ ขอบเขตของเวลาในการบ่ม จึงจะได้แสดงการวิเคราะห์ความสามารถในการเพิ่มคุณภาพได้จริง และ ในลำดับถัดไปจะทำการวิเคราะห์ตามลำดับของคะแนนโดยรวมซึ่งเป็นการทดลองที่ทำเพิ่มขึ้น โดยแบ่งกลุ่มดังนี้

ครั้งที่ 1 : ที่เก็บเศษกระเบื้องบดไม่เหมาะสม,ขอบเขตของเวลาในการผสม Dry Mix น้อยเกินไป และ ขอบเขตสัดส่วนของ เศษกระเบื้องบดไม่เหมาะสม

ครั้งที่ 2 : ขอบเขตขนาดคละของเศษกระเบื้องบดไม่เหมาะสม,ขนาดถ้วยจ่ายปูนเล็กเกินไป และ ขอบเขตของขนาดคละ ของทรายไม่เหมาะสม

5.2 การวิเคราะห์ข้อมูลปัจจัยนำเข้าในตอนต้นของโครงการ

ในระหว่างทำการทำวิธีการกำหนดการใช้งานเศษกระเบื้องบดนั้น ทางโรงงานเองได้มีการทดลองเพื่อหาทางเพิ่มความสามารถกระบวนการของค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย โดยได้มีการทดลอง 2 ชนิด คือ การปรับขอบเขตสัดส่วนของซีเมนต์ และ การปรับระยะเวลาการบ่มของกระเบื้อง อันมีรายละเอียดการดำเนินการและการวิเคราะห์ดังนี้

5.2.1 ขอบเขตสัดส่วนของซีเมนต์

ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญในการนำไปทดสอบและวิเคราะห์ มีทั้งหมด 2 ปัจจัย อันมาจากเป็นปัจจัยที่คอนครีตเทคโนโลยีบอกว่ามีผลอย่างมีนัยยะสำคัญต่อการเพิ่มความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย คือ

1) อัตราส่วนตัวมวลรวมต่อตัวประสาน

2) อัตราส่วนซีเมนต์ต่อตัวประสาน (ขอบเขตสัดส่วนของซีเมนต์)

โดยจะนำปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ 2 ปัจจัยนี้มาทำการทดลองเพื่อวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยนำเข้า และความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีต่อตัวแปรตอบสนอง

<u>รูปแบบในการทดลอง</u>

1) การทดสอบที่นำมาพิจารณา

งานวิจัยนี้ได้เลือกทำการออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลแบบมีจุดศูนย์กลางสำหรับปัจจัยที่เป็นแบบแปรผัน (Variable Factor) มาใช้ทำการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment, DOE) เนื่องจากทำให้สามารถทราบถึงอิทธิพลหลัก (Main Effect) และอิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่างปัจจัย

2) การกำหนดระดับของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ

นำเข้าที่สำคัญจำนวน 2 ปัจจัย คือ อัตราส่วนตัวมวลรวมต่อตัวประสาน และ อัตราส่วนซีเมนต์ต่อตัวประสานมาทำการศึกษาเพื่อหาผลกระทบต่อค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย

การกำหนดระดับการทดลองของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ จะกำหนดตามช่วงของการใช้งานที่อยู่ในปัจจุบัน (Operating Range) โดยแต่ละปัจจัยแบ่งเป็น 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ (-1) ระดับศูนย์กลาง (0) และระดับสูง (+1) โดยระดับของแต่ละปัจจัยในการทดลองแสดงดังตารางที่ 5.2 โดยการกำหนดค่าระดับต่ำที่สุด และ สูงสุด สำหรับอัตราส่วนตัวมวลรวมต่อตัวประสานมาจากความสามารถสูงสุดในการขึ้นรูปได้ หากค่าต่ำกว่าระดับที่กำหนดมอร์ตาจะแข็งตัวไม่สามารถขึ้นรูปได้ และ หากค่าสูงกว่ากำหนดชิ้นงานก็จะเหลวไม่สามารถขึ้นรูปได้ สำหรับอัตราส่วนซีเมนต์ต่อตัวประสานจะเป็นขอบเขตที่มาจากการิจารณาต้นทุนที่เพิ่มขึ้นที่พอจะยอมรับได้

ตารางที่ 5.2 ปัจจัยและระดับของปัจจัยในการทำการทดลอง

ลำดับ	ปัจจัย	ระดับ		
		-1	0	+1
1	อัตราส่วนตัวมวลรวมต่อตัวประสาน	0.8	1.0	1.2
2	อัตราส่วนซีเมนต์ต่อตัวประสาน	70%	80%	90%

3) การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองในงานวิจัยนี้ใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (Full Factorial Design) ผลสรุปจากการทดลองแบบแฟคทอเรียลนั้นสามารถสรุปในส่วนของอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยในการทดลองได้นอกจากนั้นการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลนี้ยังเป็นการทดลองแบบมีจุดศูนย์กลาง (Full Factorial Design with Center Point) (2^2)ซึ่งช่วยให้ประหยัดจำนวนครั้งการทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐานเชิงเส้น (Linearity) ของผลที่จะเกิดขึ้นจากปัจจัยต่างๆ

ซึ่งจากการวิเคราะห์การทดลองพบว่างานวิจัยนี้มีปัจจัยแปรผัน (Variable Factor) จำนวน 2 ปัจจัย โดยทำการทดลอง 2 ซ้ำ ดังนั้นจะทำการทดลองจำนวนทั้งสิ้น 10 ลำดับการทดลอง (10 runs) อันมาจากข้อกำจัดในการทดสอบ

ใช้โปรแกรม Minitab ในการออกแบบการทดลอง โดยการสร้างเมทริกซ์การออกแบบ (Design Matrix) และการสุ่มลำดับการทดลอง (Randomization) เพื่อให้ได้ค่าสังเกตุจากการทดลองที่มีความเป็นอิสระต่อกัน โดยรายละเอียดของการออกแบบการทดลองโดยโปรแกรม Minitab และเมทริกซ์การออกแบบ (Design Matrix) แสดงดังตารางที่ 5.3

การสุ่ม (Randomization) คือ การลำดับการทดลองให้เป็นไปโดยสุ่ม ไม่มีกำหนดลำดับแบบมีรูปแบบ ซึ่งทำให้การวิเคราะห์ผลการทดลองมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น โดยการสุ่มจะทำการเฉลี่ยออกความผันแปรภายนอกที่ไม่ได้เกิดจากสาเหตุโดยธรรมชาติออกไปได้ อีกทั้งยังทำให้ค่าสังเกตจากการทดลองมีความเป็นอิสระต่อกัน

ตารางที่ 5.3 ตารางการออกแบบการทดลอง (Design Matrix)

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A- S/(C+F)	B- %C	Average Strength 7th day
3	1	1	1	0.8	90	152.66
1	2	1	1	0.8	70	147.74
4	3	1	1	1.2	90	142.03
5	4	0	1	1.0	80	140.08
2	5	1	1	1.2	70	134.20
6	6	1	2	0.8	70	148.80
7	7	1	2	1.2	70	134.17
8	8	1	2	0.8	90	155.57
9	9	1	2	1.2	90	138.21
10	10	0	2	1.0	80	141.91

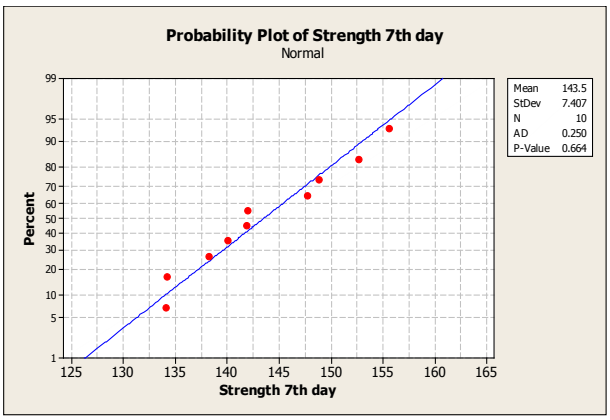
4) การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

การตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) เป็นการตรวจสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของข้อมูลก่อนที่จะนำมาวิเคราะห์ โดยทำการตรวจสอบว่าข้อมูลมีรูปแบบของความผิดพลาดเป็นไปตามหลักการ $\varepsilon_{ij} \approx NID(0,\sigma^2)$ หรือไม่ โดยการทดสอบข้อกำหนดเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อนของการทดลองตามสมมติฐาน 3 ข้อ คือ สมมติฐานของการแจกแจงปกติ สมมติฐานของความเป็นอิสระ, และสมมติฐานของความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน ก่อนที่จะนำข้อมูลไปทำการวิเคราะห์และสรุปผลของการออกแบบการทดลอง

4.1 <u>การทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติ</u>

การทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติ (Normality Assumption) สามารถตรวจสอบได้โดยการพิจารณาจาก Normal Probability Plot ว่ามีการแจกแจงปกติ (Normal Distribution) หรือไม่ และหากทดสอบโดยการทดสอบความเป็นปกติ (Normality Test) จะมีค่า P-Value มากกว่า 0.05

จากการทดสอบค่าตัวแปรตอบสนอง คือ ค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวตามแนวส้นตรง และมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 คือ 0.664 ดังนั้นสรุปได้ว่าข้อมูลเป็นไปตามสมมติฐานของการแจกแจงปกติ แสดงดังรูปที่ 5.1

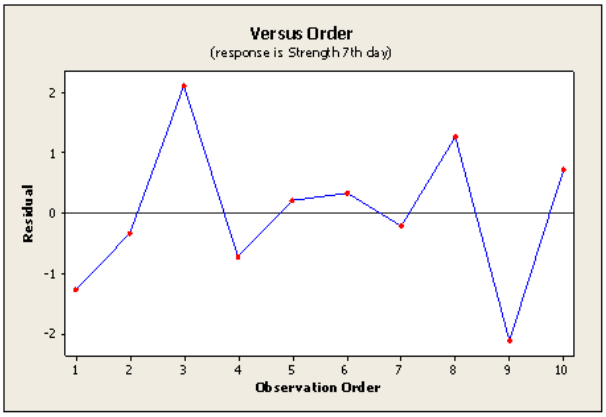


รูปที่ 5.1 ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติ

4.2 <u>การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ (Independence)</u>

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระของส่วนตกค้าง (Independence of Residual) สามารถตรวจสอบได้โดยการพิจารณาจากแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับลำดับของการเก็บข้อมูล (Observation Order) โดยการกระจายตัวของส่วนตกค้างควรมีรูปแบบที่เป็นอิสระต่อกัน ไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม หรือมีรูปแบบที่แน่นอน

จากการทดสอบค่าตัวแปรตอบสนอง คือ ค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวที่เป็นอิสระไม่มีรูปแบบที่แน่นอน ดังนั้นสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน แสดงดังรูปที่ 5.2

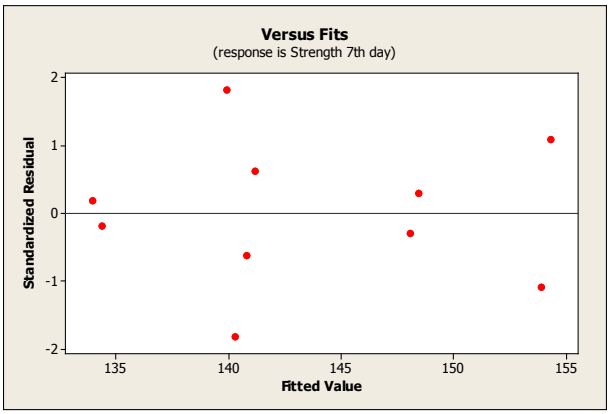


รูปที่ 5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและลำดับของการเก็บข้อมูล

4.3 <u>ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability)</u>

การทดสอบสมมติฐานของความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) สามารถตรวจสอบได้โดยการพิจารณาจากแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับค่าที่ถูกฟิต (Fitted value) ซึ่งแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม หรือมีการกระจายตัวที่มีรูปแบบกรวยปากเปิด

จากการทดสอบค่าตัวแปรตอบสนอง คือ ค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่ายพบว่าข้อมูลไม่มีลักษณะการกระจายตัวที่เป็นรูปแบบกรวยปากเปิด จึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน แสดงดังรูปที่ 5.3



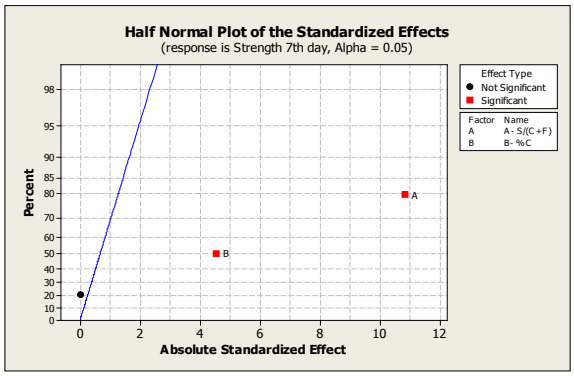
รูปที่ 5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิต

สรุปผลจากการทดสอบความถูกต้องของตัวแบบของตัวแปรตอบสนอง ความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย ที่นำมาทดลองนี้ พบว่า ข้อมูลมีสมมติฐานตรงตามข้อกำหนดทั้ง 3 ข้อ คือ มีการกระจายเป็นแบบปกติ มีความเป็นอิสระต่อกัน และมีความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน ซึ่งเป็นไป ตามเงื่อนไขของการออกแบบการทดลองที่ว่า NID $(0,\sigma^2)$

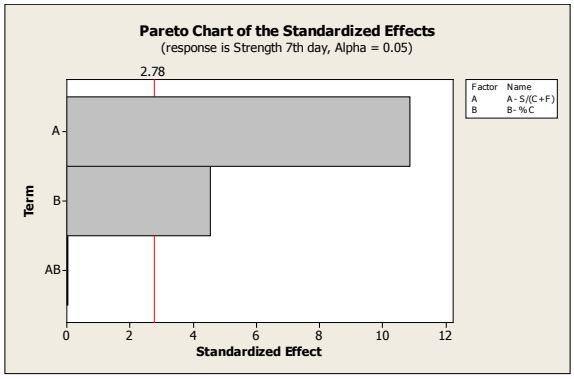
5) การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองเบื้องต้นด้วยโปรแกรม MINITAB สามารถแสดงผลของปัจจัยหลักและอัตรกิริยาที่นัยสำคัญออกมาในรูปของกราฟ Normal Probability Plot และ แผนภูมิพาเรโตแสดงดังรูปที่ 5.4 และ รูปที่ 5.5 ตามลำดับ รวมถึงการ

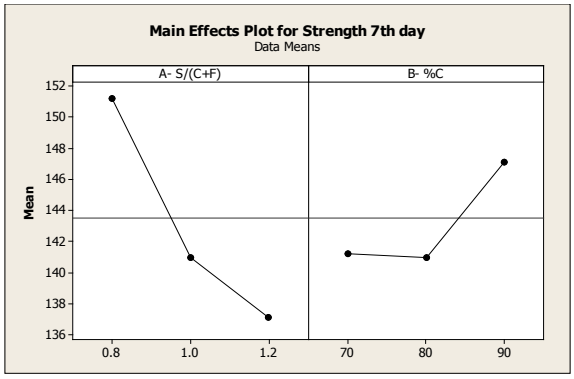
แสดงผลของการออกแบบการทดลองของผลหลักของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง คือ ความ
ดังรูปที่ 5.6 กับผลของอัตรกิริยาของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง ดังรูปที่ 5.7



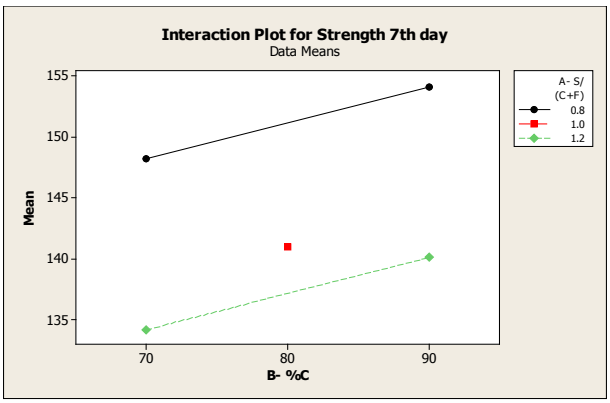
รูปที่ 5.4 กราฟ Normal Plot ของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง



รูปที่ 5.5 แผนภูมิพาเรโตของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง



รูปที่ 5.6 ผลของปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย



รูปที่ 5.7 ผลของอัตรกิริยาที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย

จากการวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม MINITAB สามารถแสดงผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองได้ดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab

Factorial Fit: Strength 7th day versus Block, A- S/(C+F), B- %C

Estimated Effects and Coefficients for Strength 7th day (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		144.173	0.6474	222.70	0.000
Block		-0.194	0.5791	-0.34	0.754
A- S/(C+F)	-14.043	-7.022	0.6474	-10.85	0.000
B- %C	5.890	2.945	0.6474	4.55	0.010
A- S/(C+F)*B- %C	0.045	0.023	0.6474	0.04	0.974
Ct Pt		-3.180	1.4476	-2.20	0.093

S = 1.83112 PRESS = 112.729
R-Sq = 97.28% R-Sq(pred) = 77.17% R-Sq(adj) = 93.89%

Analysis of Variance for Strength 7th day (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	1	0.377	0.377	0.377	0.11	0.754
Main Effects	2	463.808	463.808	231.904	69.16	0.001
A- S/(C+F)	1	394.419	394.419	394.419	117.63	0.000
B- %C	1	69.389	69.389	69.389	20.69	0.010
2-Way Interactions	1	0.004	0.004	0.004	0.00	0.974
A- S/(C+F)*B- %C	1	0.004	0.004	0.004	0.00	0.974
Curvature	1	16.176	16.176	16.176	4.82	0.093
Residual Error	4	13.412	13.412	3.353		
Total	9	493.776				

การวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองเบื้องต้นจากโปรแกรม Minitab เพื่อพิจารณาปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่มีผลต่อความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย พบว่าที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง คือ ปัจจัยที่มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 โดยมี

ค่า R-Square เท่ากับ 97.28% ซึ่งได้แก่ ปัจจัยหลัก (Main Effect) จำนวน 2 ปัจจัย ได้แก่

A คือ อัตราส่วนตัวมวลรวมต่อตัวประสาน ซึ่งเมื่อทำการลดค่า จะทำให้ค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่ายเพิ่มมากขึ้น

B คือ อัตราส่วนซีเมนต์ส่วนต่อตัวประสาน ซึ่งเมื่อทำการเพิ่มค่า จะทำให้ค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่ายเพิ่มมากขึ้น

และ พบว่าไม่มีอันตรกิริยา (Interaction) ตัวใดที่มีนัยสำคัญ รวมทั้ง Block และ Center Point ไม่มีผลอย่างมีนัยยะสำคัญแสดงให้เห็นว่าสมการแสดงผลเป็นลักษณะเส้นตรง

สรุปผลการทดลองอัตราส่วนซีเมนต์ส่วนต่อตัวประสาน (ขอบเขตสัดส่วนของซีเมนต์)

จากการทำการทดลองแฟคทอเรียลแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอัตราส่วนซีเมนซีเมนต์ต่อตัวประสาน (ขอบเขตสัดส่วนของซีเมนต์)สามารถช่วยทำการเพิ่มค่าความแข็งแรงของกระเบื้อง ณ จำหน่ายได้จริงอาจเป็นทางเลือกหนึ่งในการเพิ่มระดับคุณภาพด้านนี้ต่อไป ในกรณีที่ผลการปรับปัจจัยนำเข้าตัวอื่นไม่สามารถปรับให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้

5.2.2.ขอบเขตระยะเวลาการบ่มกระเบื้อง

เนื่องจากการเพิ่มระยะเวลาการบ่มจะทำให้การเกิดปฏิกริยาไฮเดรชั่นในตัวกระเบื้องทำได้ดีขึ้น ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่ายเพิ่มขึ้น ซึ่งช่วงต้นปีทางโรงงานได้ทำการเพิ่มระยะการบ่ม จาก 8 เป็น 16 ชม. ในช่วงวันที่ 6 พฤศจิกายน 2553 ถึงวันที่ 25 กุมภาพันธ์ ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 ผล Cpk ของความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย เมื่อปรับเพิ่มระยะเวลาการบ่ม

ช่วง	ช่วงระยะเวลา	ระยะเวลาการบ่ม (ชม.)	สถานะ Cpk
1	ก่อน 6 พฤศจิกายน 2553	8	0.88
2	6 พฤศจิกายน 2553 – 19 ธันวาคม 2553	10	0.93
3	20 ธันวาคม 2553 – 18 มกราคม 2554	12	1.17
4	19 มกราคม – 25 กุมภาพันธ์ 2554	16	1.47

สรุปผลการเพิ่มระยะเวลาการบ่มกระเบื้อง

เมื่อพิจารณาตามตารางที่ 5,5 แสดงให้เห็นระดับ Cpk ก็เพิ่มขึ้นการสอดคล้องกับการเพิ่มระยะเวลาการบ่มจาก 8 ชม.เป็น 10, 12 และ 16 ชม.ตามลำดับ ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มระยะเวลาการบ่มจะสามารถช่วยเพิ่มคุณภาพด้านความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่ายได้ แต่การเพิ่มระยะเวลาการบ่มมากกว่าปัจจุบัน ต้องทำการต้องลงทุนเงินกว่าจำนวนมากเพื่อเพิ่ม Supporting Plate ในปริมาณมาก และ หากเพิ่มระยะเวลามากเกินไปอาจส่งผล ทำให้ความสามารถการผลิตตกลงได้ ดังนั้นจะถูกพิจารณาเป็นทางเลือกท้ายในการปรับปรุงคุณภาพ

5.2.3 สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลในอดีต

จากกการวิเคราะห์ข้อมูลในอดีต แสดงให้เห็นความสามารถในการแก้ปัญหาความแข็งกระเบื้อง ณ จำหน่ายได้จริง แต่ในการวิเคราะห์จึงเริ่มจากการพิจารณาทางเลือกที่ทำให้เกิดต้นทุนสูงขึ้นน้อยก่อน หากไม่สามารถทำการเพิ่มระดับคุณภาพสู่เป้าหมายได้ก็จะทำการพิจารณากำหนดเป็นมาตราการใช้งานต่อไป

5.3 การวิเคราะห์ปัจจัยนำเข้าที่ทำเพิ่ม

5.3.1 การปรับปรุงสถานที่การทำงาน เนื่องจากสถานที่เก็บมวลรวมไม่เหมาะสม

เพื่อป้องกันการเกิดมวลรวมที่ผสมเศษกระเบื้องบดแข็งตัว เนื่องจากฝนตกใส่ขณะที่อยู่ใน Sand Bin รอการโหลดเข้า Mixer อันทำให้เมื่อทำการผสมวัตถุดิบจะเกิดการแยกตัวไมเป็นเนื้อเดียวกัน ส่งผลต่อคุณภาพกระบื้องที่แย่ลงหลายด้าน เช่น ความแข็งแรงกระเบื้องลดลง อัตราดูดซึมน้ำสูงขึ้น และ ปัญหาสภาพผิวกระเบื้อง จึงทำการปรับปรุงสถานที่เก็บ Sand Bin โดยการติดผ้าใบป้องกันฝนโดยรอบ ดังรูปที่ 5.8

รูปที่ 5.8 การติดตั้งผ้าใบให้กับ sand bin

5.3.2 การวิเคราะห์ขอบเขตของเวลาในการผสม Dry Mix น้อยเกินไป และปริมาณการเติมเศษกระเบื้องบดไม่เหมาะสม

การผสม Dry Mix ด้วยเครื่อง Mixer เป็นกระบวนการคอขวด การเพิ่มระยะเวลามากกว่าในปัจจุบันไม่สามารถทำได้ เนื่องจากจะทำให้ความสามารถการผลิตลดลง ดังนั้นเพื่อให้สามารถทำการเพิ่มเวลาการ Dry Mix ได้ จึงกำหนดให้ทำการผสมนอกสายการผลิต โดยการใช้พนักงานในการช่วยผสมวัตถุดิบ ระหว่างทรายและเศษกระเบื้องบด โดยกำหนดเป็นการทดลอง เพื่อวิเคราะห์ผล ณ การใช้เศษกระเบื้องบดปริมาณต่างๆ โดยมีขั้นตอนดังนี้

5.3.2.1 การทดลองผสมเศษกระเบื้องบดและทราย

เบื้องต้นเนื่องจากการผสมเศษกระเบื้องบดกับทรายก่อน ซึ่งมีความเสี่ยงที่เศษกระเบื้องดูดซับความชื้นของทรายจนเกิดการทำปฏิกริยาไฮเดรชั่น ทำให้มวลรวมเป็นก้อนแข็ง จนระบบ Mixer ไม่สามารถ ตีให้วัตถุเป็นขนาดเล็ก หรือ เข้ากันได้ดี อันจะนำมาซึ่งค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่ายตกลง และ อัตราปูดนูนสูงขึ้นได้ ดังนั้นจึงทำการทดลอง ผสมเศษกระเบื้องบดกับทรายที่ค่าความชื้นต่างๆ เพื่อดูว่าจะเกิดอาการก้อนแข็งหรือไม่ มีวิธีทำการทดลองดังนี้

1. นำทรายของโรงงานของโรงงานมาเติมให้ได้ความชื้นประมาณ 8% อ้างอิงจากประสบการณ์ ขณะใช้งานทรายจะมีความชื้นไม่เกินนี้

2. นำทรายมาทำการผสมเศษกระเบื้องบด ที่จำนวน 5%,10% และ 20% ของมวลรวมทำการอัดขึ้นรูป ตั้งทิ้งไว้ 1 วัน เพื่อให้แข็งตัว

3. ทดสอบรบดก้อนชิ้นงานด้วยมือ ในกรณีที่บดด้วยมือไม่แตกให้เอาไปกดด้วยเครื่องวัดค่าความแข็งแรงดัด

รูปที่ 5.9 ความสามารถบดก้อนมวลรวมผสมเศษกระเบื้องบดได้ด้วยมือ

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าที่ระดับการผสมของทรายและเศษกระเบื้องบด 5%,10% และ 20% ของมวลรวม ทั้งหมดสามารถทำการบดได้ด้วยมือ ดังรูปที่ 5.8 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าไม่มีความเสี่ยงที่เศษกระเบื้องบดผสมทรายจะแข็งตัว อันนำไปสู่ปัญหาคุณภาพต่างๆได้ ดังนั้นวิธีการผสมก่อนนอกสายการผลิตสามารถใช้ได้จริง

5.3.2.2 การทดลองเติมเศษกระเบื้องบดในผลิตภัณฑ์จริง ณ การผลิตจริง

1). วัตถุประสงค์

ศึกษาหาผลของลักษณะคุณภาพ จากการเติมเศษกระเบื้องบดแทนทราย ณ ระดับปริมาณต่างๆ และ มีการเพิ่มกระบวนการคลุกเศษบดและทรายเพิ่มเติมนอก Mixer อันประกอบด้วย ค่าความแข็งแรง, อัตราการดูดซึมน้ำ, อัตราปูดนูนผิวกระเบื้อง, อัตรารอยร้าวผิวกระเบื้อง และ อัตรารูพรุนผิวกระเบื้อง ว่าแตกต่างจากการเดิมอย่างมีนัยยะสำคัญ และ มีค่าระดับคุณภาพผ่านมาตราฐาน หรือไม่

2). ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ

ปัจจัยที่จะทำการทดลองคือ

1. การเติมเศษกระเบื้องบดแทนทรายเท่ากับจำนวน 0, 10% และ 20% โดยกำหนดที่ 0% เป็นตัวเปรียบเทียบ ที่ 20% เป็นเป้าหมายการใช้งาน
2. กำหนดค่าความชื้น สูตรเศษกระเบื้องบดแทนทรายเท่ากับ 13%,13.25% และ 13.50 % ตามลำดับการเติมเศษกระเบื้องบดในการทดลอง

3).ตัวแปรตอบสนอง

ค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย, อัตราการดูดซึมน้ำ และ อัตราปูดนูนผิวกระเบื้อง

4).การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองนี้จะใช้การออกแบบการแบบ One-Way ANOVAs เนื่องจากมีระดับการทดลอง 3 ระดับ คือ การเติมเศษกระเบื้องบดแทนทราย จำนวน 0%, 10% และ 20% โดยทุกระดับกำหนดการคลุกผสมเพิ่มนอกสายการผลิต เนื่องจากเป็นขั้นตอนที่ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมเมื่อทำการผลิตจริง

4.1 <u>การทดลองซ้ำ (Replication)</u>

การทำซ้ำหมายถึงการที่ Treatment Combination หนึ่งจะถูกทำการทดลองมากกว่า 1 ครั้ง ซึ่งการทำซ้ำนี้จะช่วยให้สามารถที่จะประมาณค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดลองได้ และทำให้ขนาดของความคลาดเคลื่อนลดลงได้ โดยการทดลองนี้จะทำการทดลองโดยการทำซ้ำในแต่ละ Treatment Combination เท่ากับ 2 ครั้ง (2 replications) เนื่องจากทำให้ประหยัดเวลาในการทดลองและเป็นการประหยัดวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองด้วยเช่นกัน

4.2 การสุ่ม (Randomization)

การสุ่มเป็นหลักสำคัญในการใช้หลักการทางสถิติในการออกแบบการทดลอง โดยการสุ่มจะหมายถึงการจัดสรรหน่วยการทดลองและลำดับการทดลองให้เป็นไปโดยสุ่ม ซึ่งทำให้ผลการทดลองตรงกับข้อกำหนดทางสถิติที่ว่า ค่าสังเกตจากการทดลองต้องมีความเป็นอิสระต่อกัน และการสุ่มยังสามารถที่จะเฉลี่ยออกความผันแปรภายนอกที่ไม่ได้เกิดจากสาเหตุโดยธรรมชาติออกไปได้ ทำให้การวิเคราะห์ผลจากการทดลองมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

ตารางที่ 5.6 เมตริกการออกแบบการทดลองการใช้เศษกระเบื้องบด โดยเพิ่มการผสมเพิ่มนอกสายการผลิต

สูตรเติมเศษกระเบื้องบดแทนทราย	การทำซ้ำครั้งที่	
	1	2
0%	1*	4*
10%	2*	5*
20%	3*	6*

หมายเหตุ : * = หมายเลขสภาวะการทดลอง

5). รูปแบบและขั้นตอนในการวิเคราะห์

ตามรูปแบบของหัวข้อ 4.2.2 การทดลองเติมเศษกระเบื้องบดในผลิตภัณฑ์จริง

6). จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

จากการที่ปริมาณการการทดสอบมีข้อกำจัดจากความสามารถของเครื่องมือทดสอบ และเงื่อนไขการทดสอบที่ต้องทำให้เสร็จระยะเวลาที่กำหนด เนื่องจากอายุของกระเบื้องคอนกรีตมีผลทำให้ระดับของคุณภาพเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นจึงกำหนดจำนวนการทดสอบดังตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 แสดงจำนวนการทดสอบคุณภาพตามข้อจำกัด ณ หัวข้อคุณภาพต่างๆ

หัวข้อ	ลักษณะทางคุณภาพ	รูปแบบ	จำนวนการทดสอบต่อ batch	จำนวน batch การทดสอบ	จำนวนชิ้นงานทดสอบทั้งหมด	ระยะเวลาการทดสอบ
1	ค่าความแข็งแรง	สุ่มทดสอบ	40	6	240	1 วัน
2	ค่าอัตราดูดซึมน้ำ	สุ่มทดสอบ	15	6	90	1 วัน
3	อัตราของเสียจากปูดนูน	100%	90	6	540	5 วัน

7). ขั้นตอนในการทดลอง

<u>วิธีการทดลอง</u>

1. ทำการสื่อสารลำดับการทดลองให้กับพนักงานในการทดลองทั้งหมดซึ่งประกอบด้วยทำการทดลองการเติมเศษกระเบื้องบดที่ปริมาณ 0%, 10% และ 20% จำนวนอย่างละ 3 Batch (3 Replicate) อันเนื่องมาจากข้อจำกัดแผนการผลิตส่งมอบกระเบื้องให้ลูกค้า ซึ่งใน 1 Batchประกอบด้วยกระเบื้องจำนวนประมาณ 90 แผ่น โดยมีลำดับการทดลองเป็นดังตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5.8 แสดงลำดับการทดลองเติมเศษกระเบื้องบด

การทำซ้ำ	Batch ที่	สูตรเติมเศษกระเบื้องบดแทนทราย
1	1	10%
	2	20%
	3	0%
2	4	10%
	5	20%
	6	0%

พร้อมทั้งสื่อสารหน้าที่ในการทดลองดังนี้ พนักงานเครื่อง Mixer เพื่อสามารถผสมวัตถุดิบได้ถูกต้องทั้งตามลำดับการทดลอง และ ปริมาณวัตถุดิบ , พนักงานผลิต หน้าเครื่อง Press เพื่อสามารถทำเครื่องหมายที่กระเบื้องได้อย่างถูกต้อง , พนักงานปรับเครื่องจักรผลิต เพื่อทดสอบความหนากระเบื้อง และ ปรับระดับ Mould ให้ได้ตามเกณฑ์ รวมทั้งปรับแก้เครื่องจักรกรณีเกิดปัญหา , พนักงานวัดค่าความชื้น เพื่อหาค่าความชื้น batch การทดลอง และ จดค่าการใช้วัตถุดิบ

ทั้งหมดจริง , พนักงานผลิตใน Line เพื่อจะไม่ทิ้งกระเบื้องเสียในการทดลองที่ผ่านในสายพ่นการผลิต , พนักงานทดสอบ เพื่อทราบว่าต้องทดสอบหัวข้อคุณภาพใดบ้าง ณ วันไหน จำนวนเท่าไหร และ พนักงานเตรียมวัตถุดิบ เพื่อสามารถเตรียมวัตถุดิบเป็นชุดเดียวกันในการทดลองทั้งหมดในปริมาณที่เพียงพอต่อการทดลองได้

2. เตรียมทรายจำนวน 3 กอง กองละ 800 กิโลกรัม และ เศษกระเบื้องบดปริมาณ 89 กิโลกรัม จำนวน 1 กอง และ 200 กิโลกรัมจำนวน 1 กอง

3. ทำการผสมกองวัตถุดิบกองทรายและเศษกระเบื้องบด จำนวน 2 สูตร ให้เข้ากันดีโดยใช้เวลาประมาณ 30 นาที ดังรูปที่ 5.10 แล้วตรวจค่าขนาดคละภายในกองว่าใกล้เคียงกันหรือไม่ หากไม่ใกล้เคียงให้ทำการคลุกต่อจนเข้ากันดี จากนั้นตักมวลรวมใส่ถุงในแต่ละสูตร

รูปที่ 5.10 การผสมทราย และเศษกระเบื้องบด นอกสายการผลิต

4. ตรวจสอบสภาพเครื่อง Mixer, เครื่อง Press, Supporting Plate และ ห้องบ่ม รวมทั้งเครื่องมือในการทดสอบ คือ เครื่องวัดความชื้น, ตู้อบ และ เครื่องกดวัดความแข็งแรงกระเบื้อง เพื่อให้มั่นใจได้ว่าจะไม่มี ผลรบกวน ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่าง batch การทดลอง

5. ทำการยกทรายและเศษกระเบื้องบดขึ้นเทลงใน Mixer ผสมกันที่เวลา Dry Mix 55 วินาที แล้วเทน้ำตามปริมาณแต่ละสูตรการทดลอง และทำการ Wet Mix 55 วินทีเมื่อผสมเสร็จทำการเทมอร์ตาร์ลงบนโม่ของเครื่อง Press

6. ทำการ Press ขึ้นรูปกระเบื้อง และ เขียนหมายเลขบ่งบอกลำดับบนกระเบื้องเพื่อคัดเลือกมาเป็นกระเบื้องในการทดสอบคุณภาพ ซึ่งเป็นการสุ่มแบบแบบชั้นภูมิ (Stratifies systematic sampling)

7. ทำการบ่มกระเบื้องในห้องบ่มระยะเวลา 16 ชม. หลังจากนั้นแกะกระเบื้องออกมาเพื่อทดสอบคุณภาพต่อไป

8. นำกระเบื้องทดลองที่ได้ไปตรวจสอบหัวข้อคุณภาพตามที่กำหนด พร้อมทั้งจด

บันทึกค่าสำหรับการวิเคราะห์ โดยระยะเวลาที่สามารถเริ่มทดสอบคุณภาพในแต่ละหัวข้อเป็นดังคือ การตรวจสภาพผิว วันแรกนับตั้งแต่แกะกระเบื้อง , ค่าแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย และ อัตราดูดซึมน้ำ หลังจากแกะกระเบื้อง 7 วัน

9. ทำการวิเคราะห์ผลของหัวข้อคุณภาพ และ เปรียบเทียบตามเกณฑ์การยอมรับของบริษัท

ซึ่งสามารถทำการเขียนเป็นแผนภูมิการไหลของการทดลองได้ดังรูปที่ 5.11

หมายเหตุ : ช่องสีเข้ม คือ ขั้นตอนการปรับปรุงที่เพิ่มมาจากเดิม

รูปที่ 5.11 แสดงแผนภูมิการไหลของการทดลองการใช้งานเศษกระเบื้องบด โดยเพิ่มการผสมนอกสายการผลิต

8).ผลการทดลอง

จากตารางที่ 5.9 จะสังเกตุได้ว่าค่าโมดูลัส ความละเอียดภายในกองทราย และ เศษกระเบื้องบดมีความแตกต่างกันไม่มาก ดังนั้นในการทดลองสามารถพิจารณาว่าวัตถุดิบมีความเป็นเนื้อเดียวกันในแต่ละสูตร ไม่ส่งผลให้เกิดความแตกต่างทางด้านคุณภาพ และ สามารถทำการคำนวนช่วงโมดูลัสความละเอียดแต่ละสูตร ดังตารางที่ 5.9

ตารางที่ 5.9 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสความละเอียดของทราย และ เศษกระเบื้องบดก่อนการทดลอง

กองวัตถุดิบ	โมดูลัส ความละเอียด (Fineness Modulus, F.M) (ค่า F.M.ต่างกันไม่เกิน 0.1)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
กองทราย	2.64	2.60
กองเศษกระเบื้องบด	2.04	2.05
กองมวลรวมผสมเศษกระเบื้องบดจำนวน 10 %	2.56	2.55
กองมวลรวมผสมเศษกระเบื้องบดจำนวน 20 %	2.46	2.49

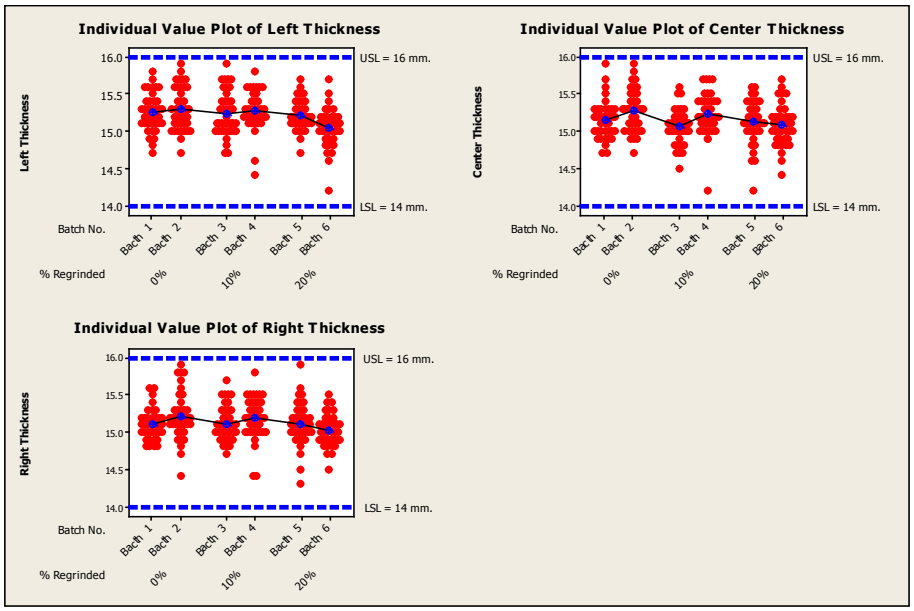
ตารางที่ 5.10 ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย และ อัตราการดูดซึมน้ำ

การทำซ้ำครั้งที่	% เศษกระเบื้องบด	ค่าความแข็งแรง ณ จำหน่าย (Mean/SD)	อัตราการดูดซึมน้ำ (Mean/SD)	ความหนาชายด้านซ้าย (Mean/SD)	ความหนาชายตรงกลาง (Mean/SD)	ความหนาชายด้านขวา (Mean/SD)	น้ำหนัก (Mean/SD)	ค่าความชื้น (กำหนดค่า ± 0.15%)
1	0%	156.90 / 13.06	6.76 / 0.22	15.25 / 0.25	15.16 / 0.25	15.11 / 0.20	5,696.33 / 65.80	13.05
	10%	155.96 / 11.49	6.93 / 0.34	15.23 / 0.30	15.06 / 0.23	15.12 / 0.23	5,648.68 / 88.08	13.23
	20%	153.38 / 11.40	7.00 / 0.52	15.21 / 0.19	15.12 / 0.29	15.11 / 0.28	5,605.20 / 72.13	13.49
2	0%	156.32 / 10.52	6.881 / 0.38	15.30 / 0.29	15.28 / 0.27	15.22 / 0.31	5,685.43 / 75.90	12.90
	10%	154.94 / 13.24	7.089 / 0.34	15.27 / 0.26	15.23 / 0.28	15.18 / 0.28	5,644.08 / 86.19	13.22
	20%	153.15 / 15.04	6.86 / 0.64	15.05 / 0.26	15.08 / 0.27	15.11 / 0.21	5,608.08 / 68.59	13.58

9) การพิจารณาค่าควบคุม

9.1 ค่าความหนากระเบื้องแห้ง

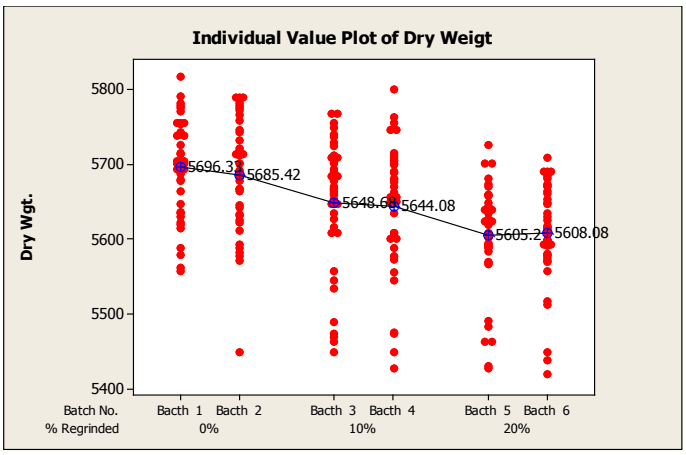
ซึ่งต้องทำการควบคุมให้อยู่ในค่าควบคุม คือ 14±1 มิลลิเมตร โดยเป็นค่าที่หากมากหรือน้อยเกินค่าควบคุมจะส่งผลต่อระดับคุณภาพที่แตกต่างกันได้ เช่น ที่ความหนามากกว่าค่าความแข็งแรงจะมากกว่า อีกทั้งส่งผลกับความสวยงามในระนาบการมุงกระเบื้อง และ หากหนาเกินไปจะส่งผลให้เกิดการขบแตกของกระเบื้องได้ ซึ่งในการควบคุมทำโดยในการตรวจเช็คระดับ Mould ในทุก batch การผลิต หากมีค่ามากกว่าที่กำหนดให้ทำการปรับระดับ Mould ใหม่ให้ได้ตามระดับที่กำหนด



รูปที่ 5.12 กราฟค่าความหนากระเบื้องแห้งรายแผ่นด้านซ้าย, กลาง และ ขวา เทียบกับค่าควบคุมมาตราฐาน

จากรูปที่ 5.12 จะเห็นได้ค่าความหนากระเบื้องแห้งทั้งด้านซ้าย, กลาง และ ขวา จำนวนทั้งหมดค่าอยู่ในเกณฑ์กำหนด อันคาดได้ว่าจะไม่มีผลต่อทำให้การวิเคราะห์ผลลัพธ์การเติมเศษกระเบื้องบดมีความผิดพลาด สามารถทำการวิเคราะห์ผลเรื่องอื่นๆต่อไปได้

9.2 น้ำหนักกระเบื้องแห้ง



รูปที่ 5.13 กราฟแสดงค่าน้ำหนักกระเบื้องแห้งรายแผ่น

จากรูปที่ 5.13 แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเติมเศษกระเบื้องบดในปริมาณเพิ่มขึ้นน้ำหนักของกระเบื้องแห้งมีแนวโน้มลดลงแสดงให้เห็นว่าน้ำหนักของเศษกระเบื้องบดมีค่าความหนาแน่นน้อยกว่า ซึ่งนำมาสู่ค่าความอัดแน่นกระเบื้องที่น้อยลง และ อาจส่งผลต่อค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่ายน้องลงด้วย

10) การวิเคราะห์ค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย

10.1. <u>ชนิดพารามิเตอร์ – ค่าเฉลี่ย ; เครื่องมือทางสถิติ – One-Way ANOVA</u>

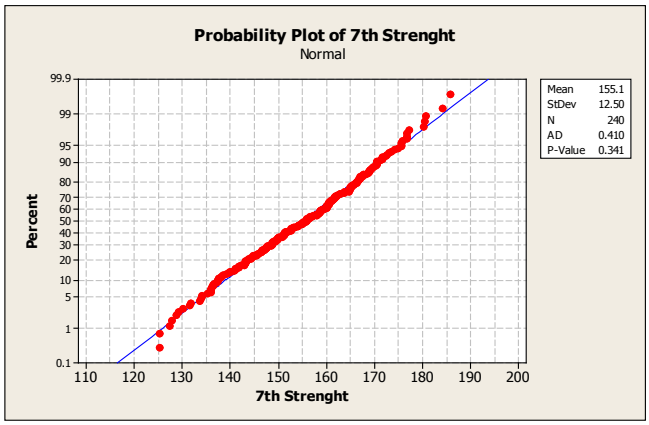
การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

ค่าความแข็งแรงกระเบื้องการวิเคราะห์ ANOVAในการออกแบบการทดลองนั้นจะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขที่สำคัญ คือ NID (0,σ^2) จึงต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) ว่าเป็นไปตามเงื่อนไขของ NID (0, σ^2) หรือไม่ โดยการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ประกอบด้วยการทดสอบข้อกำหนดเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อนของการทดลองภายในเงื่อนไข 3 ประการ คือ ข้อมูลเป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ ข้อมูลมีความอิสระต่อกัน และความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์และสรุปผลของการออกแบบการทดลอง ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

การทดสอบสมมุติฐานของความเป็นปกติ

การทดสอบสมมุติฐานของความเป็นปกติ (Normality Assumption) สามารถตรวจสอบได้ด้วยการทดสอบการกระจายของค่าส่วนตกค้างของค่าตัวแปรตอบสนอง ที่ได้ควร

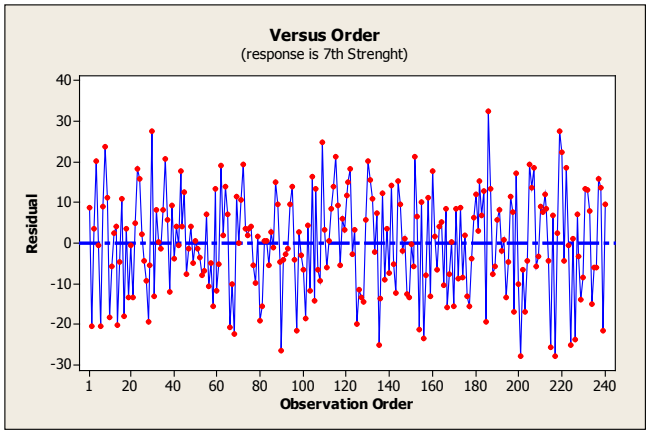
เป็นเส้นตรงและมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 นั่นคือ ข้อมูลเป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ แสดงดังรูปที่ 5.14



รูปที่ 5.14 กราฟแสดงการกระจายของค่าส่วนตกค้าง

การทดสอบสมมุติฐานของความเป็นอิสระ (Independent)

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ (Independent) สามารถตรวจสอบได้โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับลำดับความต่อเนื่องในการเก็บข้อมูลแสดงดังรูปที่ 5.15 โดยแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้มหรือมีรูปแบบใด ๆ ควรทีจะมีการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน

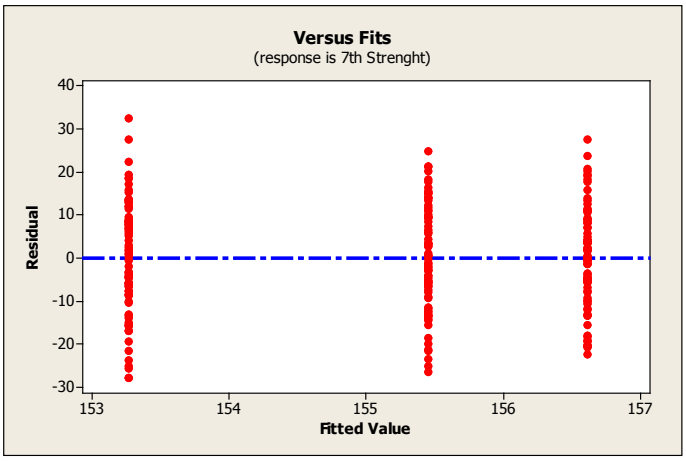


รูปที่ 5.15 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและลำดับของข้อมูล

จากกราฟสังเกตได้ว่า ค่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบ ดังนั้นสรุปได้ว่า ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน

ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability)

ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) สามารถตรวจสอบได้โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากตัวแบบถดถอย แสดงในรูปที่ 5.16 ซึ่งแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม ควรมีการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน

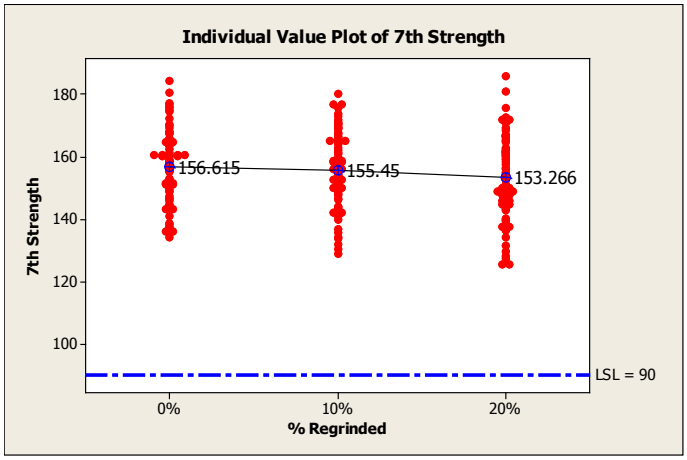


รูปที่ 5.16 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิต

จากกราฟสังเกตได้ว่า ค่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบ ดังนั้น สรุปได้ว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

สรุปผลจากการทดสอบความถูกต้องของตัวแบบของตัวแปรตอบสนอง (ความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย) ที่นำมาทดลองนี้ พบว่า ข้อมูลมีสมมติฐานตรงตามข้อกำหนดทั้ง 3 ข้อ คือ มีการกระจายเป็นแบบปกติ มีความเป็นอิสระต่อกัน และมีความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขของการออกแบบการทดลองที่ว่า NID (0,σ^2)

การวิเคราะห์ผลการทดลอง



รูปที่ 5.17 กราฟค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่ายรายแผ่น

ตารางที่ 5.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลการทดสอบค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย ด้วยโปรแกรม Minitab

One-way ANOVA: 7th Strenght versus % Regrinded

Source	DF	SS	MS	F	P
% Regrinded	2	462	231	1.49	0.228
Error	237	36855	156		
Total	239	37317			

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
0%	80	156.62	11.78	(----------*----------)
10%	80	155.45	12.33	(----------*----------)
20%	80	153.27	13.26	(----------*----------)
				152.5 155.0 157.5 160.0

Pooled StDev = 12.47

จากตารางที่ 5.1 สามารถสรุปผลการทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05 ได้ดังนี้

การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยหลัก

การทดสอบสมมติฐานของปริมาณเศษกระเบื้องบด

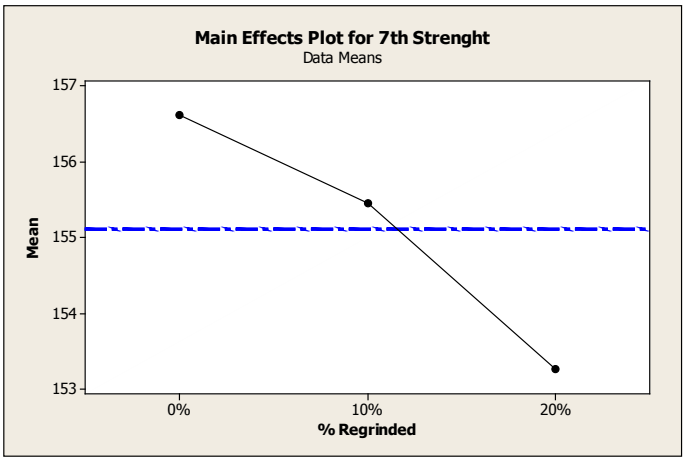
H_0: $\tau_i = 0$

H_1: อย่างน้อยหนึ่งตัวที่ $\tau_i \neq 0$

จากตารางที่ 5.1 จะเห็นว่า ค่า P-value > 0.05 จึงยอมรับสมมติฐาน H_0 ซึ่งหมายความว่า การเติมเศษกระเบื้องบดแทนทรายจำนวน 0%, 10% และ 20% ไม่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย ที่ระดับนัยสำคัญ = 0.05

การวิเคราะห์กราฟตัวแปรตอบสนองของความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย

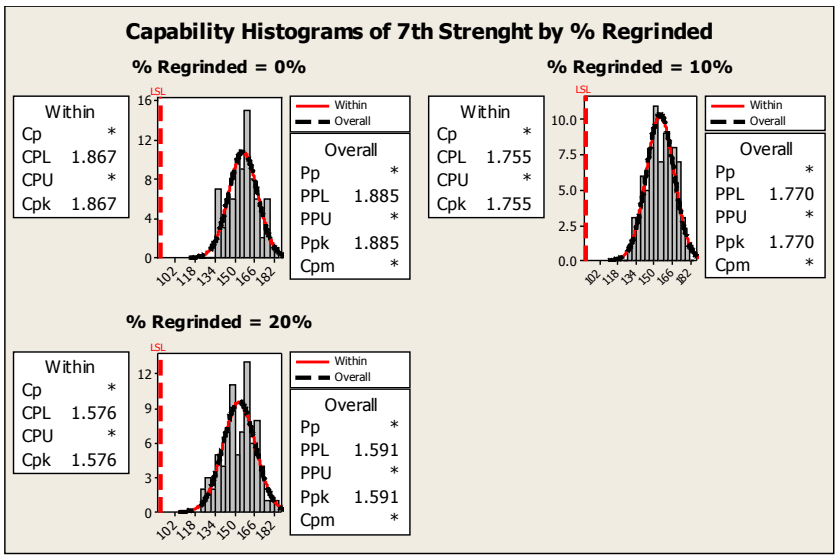
ทำการเขียนกราฟของตัวแปรตอบสนองปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลการ ทดสอบความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่ายได้ผลดังรูปที่ 5.19



รูปที่ 5.18 กราฟตัวแปรตอบสนองของผลการทดสอบความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย

จากรูปที่ 5.18 กราฟตัวแปรตอบสนองของผลการทดสอบความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่ายพบว่าปัจจัยปริมาณเศษกระเบื้องบดมีอิทธิพลต่อความค่าความแข็งแรง ณ จำหน่าย โดยที่ปริมาณเศษกระเบื้องบดที่มากขึ้นจะทำให้ค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่ายลดน้อยลง และจากกราฟจะได้ว่า ปริมาณการเติมเศษกระเบื้องบดแทนทรายจำนวน 0% จะทำให้ค่าความแข็งแรงของกระเบื้อง ณ จำหน่ายสูงที่สุด รองลงมาคือ ปริมาณเศษกระเบื้องบดแทนทรายจำนวน 10% และ 20% ตามลำดับ แต่ก็มีแนวโน้มการลดลงที่ไม่มากนัก

10.2 ชนิดพารามิเตอร์ – ความสามารถกระบวนการ (Cpk) ; เครื่องมือการวิเคราะห์ทางสถิติ – Process Capability Analysis



รูปที่ 5.19 กราฟความสามารถกระบวนการของค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่ายของการเติมเศษกระเบื้องบดแทนทรายจำนวน 0%, 10% และ 20%

จากรูปที่ 5.19 แสดงให้เห็นค่าความสามารถของกระบวนการ (Cpk) ของความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่ายของอัตราการเติมเศษกระเบื้องบดแทนทรายจำนวน 0%, 10% และ 20% เท่ากับ 1.87, 1.76 และ 1.58 ตามลำดับ

10.3 <u>การสรุปผลค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย</u>

ตารางที่ 5.12 แสดงผลการวิเคราะห์ทั้งหมดของค่าอัตราการดูดซึมน้ำ

ลักษณะทางคุณภาพ	พารามิเตอร์	เครื่องมือการทดสอบทางสถิติ	0%	10%	20%
ค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย	Mean	One-Way ANOVA	-	Not Sig	Not Sig
	Cpk	Process Capability Analysis	1.87	1.76	1.58

- การเปรียบเทียบกับมอก.535-2527

เมื่อพิจารณาตามรูปที่ 5.17 แสดงให้เห็นว่าการเติมเศษบดแทนทรายจำนวน 0%,10 และ 20% สามารถผ่านเกณฑ์ทั้งหมดสามารถผ่านเกณฑ์ข้อกำหนดความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย ตาม มอก.535-2527 ซึ่งกำหนดให้ทุกแผ่นมากกว่า 95 กิโลกรัม และ ค่าเฉลี่ยเกินกว่า 120 กิโลกรัม

- การเปรียบเทียบกับเกณฑ์ของบริษัท

จากตารางที่ 5.12 แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเติมเศษกระเบื้องบดแทนทรายจำนวน 10 %,20% แล้วจะทำให้ค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่ายไม่แตกอย่างมีนัยยะสำคัญและ เมื่อทำการทดสอบความสามารถของกระบวนการจะเห็นได้ว่าความแข็งแรงของกระเบื้อง ณ จำหน่ายมีค่า Cpk ถึง 1.76 และ 1.58 ตามลำดับ ดังนั้นทางบริษัทจึงกำหนดให้สามารถใช้เศษกระเบื้องบดแทนทรายได้จำนวนสูงสุด 20%

11). อัตราการดูดซึมน้ำ

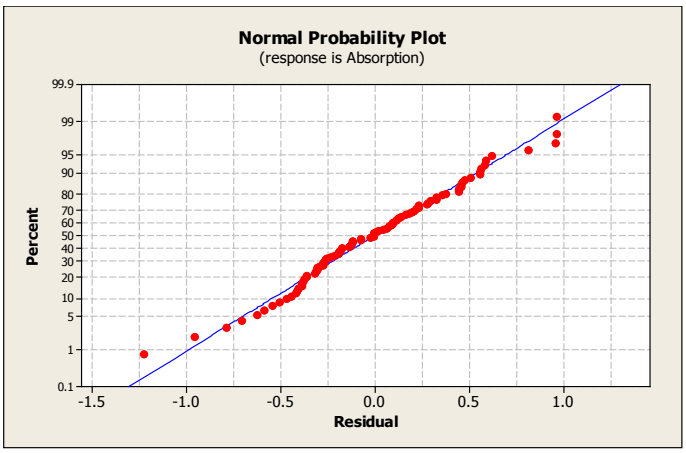
11.1 ชนิดพารามิเตอร์ – ค่าเฉลี่ย ; เครื่องมือทางสถิติ – One-Way ANOVA

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

ค่าความแข็งแรงกระเบื้องการวิเคราะห์ ANOVAในการออกแบบการทดลองนั้นจะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขที่สำคัญ คือ NID (0,σ^2) จึงต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) ว่าเป็นไปตามเงื่อนไขของ NID (0, σ^2) หรือไม่ โดยการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ประกอบด้วยการทดสอบข้อกำหนดเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อนของการทดลองภายในเงื่อนไข 3 ประการ คือ ข้อมูลเป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ ข้อมูลมีความอิสระต่อกัน และความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์และสรุปผลของการออกแบบการทดลอง ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

การทดสอบสมมุติฐานของความเป็นปกติ

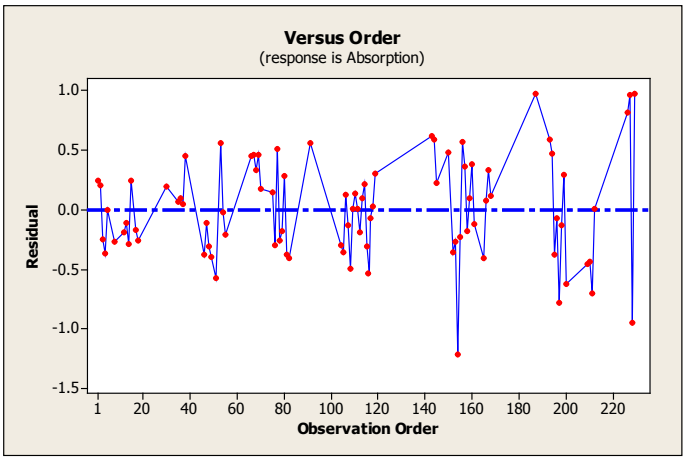
การทดสอบสมมุติฐานของความเป็นปกติ (Normality Assumption) สามารถตรวจสอบได้ด้วยการทดสอบการกระจายของค่าส่วนตกค้างของค่าตัวแปรตอบสนอง ที่ได้ควรเป็นเส้นตรงและมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 นั่นคือ ข้อมูลเป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ แสดงดังรูปที่ 5.20



รูปที่ 5.20 กราฟแสดงการกระจายของค่าส่วนตกค้าง

การทดสอบสมมุติฐานของความเป็นอิสระ (Independent)

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ (Independent) สามารถตรวจสอบได้โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับลำดับความต่อเนื่องในการเก็บข้อมูลแสดงดังรูปที่ 5.21 โดยแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้มหรือมีรูปแบบใด ๆควรทีจะมีการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน

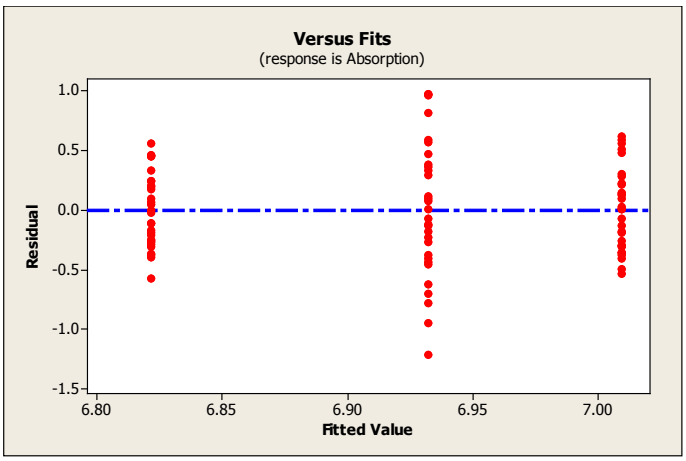


รูปที่ 5.21 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและลำดับของข้อมูล

จากกราฟสังเกตได้ว่า ค่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบ ดังนั้นสรุปได้ว่า ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน

ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability)

ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) สามารถตรวจสอบได้โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากตัวแบบถดถอย แสดงในรูปที่ 5.22 ซึ่งแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม ควรมีการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน

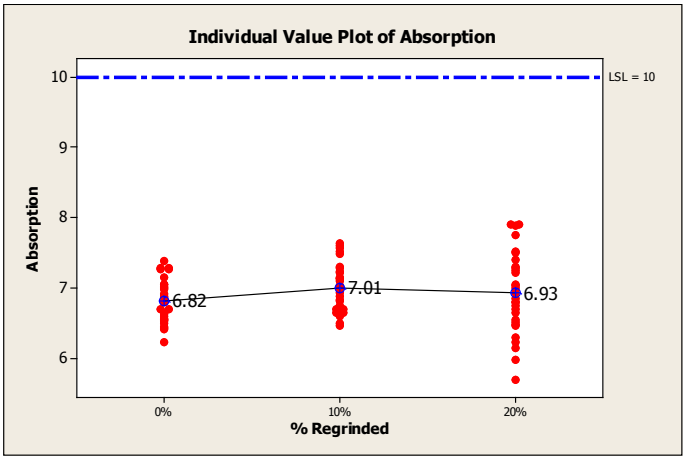


รูปที่ 5.22 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิต

จากกราฟสังเกตได้ว่า ค่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบ ดังนั้น สรุปได้ว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

สรุปผลจากการทดสอบความถูกต้องของตัวแบบของตัวแปรตอบสนอง (อัตราการดูดซึมน้ำ)ที่นำมาทดลองนี้ พบว่า ข้อมูลมีสมมติฐานตรงตามข้อกำหนดทั้ง 3 ข้อ คือ มีการกระจายเป็นแบบปกติ มีความเป็นอิสระต่อกัน และมีความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขของการออกแบบการทดลองที่ว่า NID (0,σ^2)

การวิเคราะห์ผลการทดลอง



รูปที่ 5.23 กราฟค่าอัตราดูดซึมน้ำรายแผ่น

ตารางที่ 5.13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลการทดสอบค่าอัตราดูดซึมน้ำ ด้วยโปรแกรม Minitab

One-way ANOVA: Absorption versus % Regrinded

Source	DF	SS	MS	F	P
% Regrinded	2	0.534	0.267	1.47	0.237
Error	87	15.840	0.182		
Total	89	16.374			

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
0%	30	6.8217	0.3098	(----------*---------)
10%	30	7.0093	0.3426	(---------*----------)
20%	30	6.9320	0.5770	(---------*---------)
				6.75 6.90 7.05 7.20

Pooled StDev = 0.4267

จากตารางที่ 5.12 สามารถสรุปผลการทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05 ได้ดังนี้

การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยหลัก

การทดสอบสมมติฐานของปริมาณเศษกระเบื้องบด

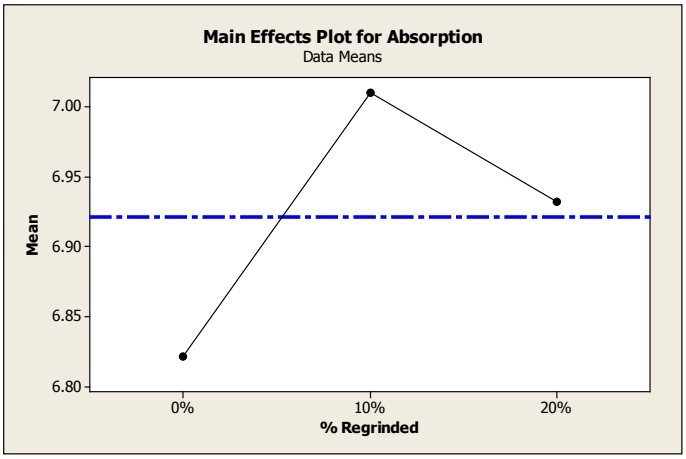
H_0: $\tau_i = 0$

H_1: อย่างน้อยหนึ่งตัวที่ $\tau_i \neq 0$

จากตารางที่ 5.12 จะเห็นว่า ค่า P-value > 0.05 จึงยอมรับสมมติฐาน H_0 ซึ่งหมายความว่า การเติมเศษกระเบื้องบดแทนทรายจำนวน 0%, 10% และ 20% ไม่มีผลต่อค่าเฉลี่ยอัตราดูดซึมน้ำ ที่ระดับนัยสำคัญ = 0.05

การวิเคราะห์กราฟตัวแปรตอบสนองของอัตราดูดซึมน้ำ

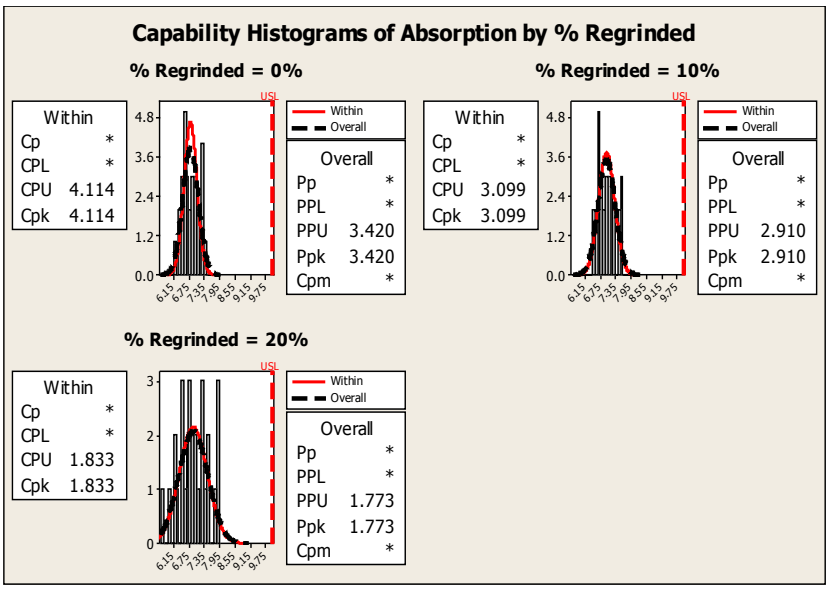
ทำการเขียนกราฟของตัวแปรตอบสนองปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลอัตราดูดซึมน้ำ ได้ผลดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.24 กราฟตัวแปรตอบสนองของผลการทดสอบอัตราดูดซึมน้ำ

จากรูปที่ 5.24 กราฟตัวแปรตอบสนองของผลการทดสอบอัตราดูดซึมน้ำพบว่า ปัจจัยปริมาณเศษกระเบื้องบดมีอิทธิพลต่อความค่าอัตราดูดซึมน้ำโดยที่ปริมาณเศษกระเบื้องบดที่มากขึ้นจะทำให้ค่าอัตราดูดซึมน้ำมากขึ้น และจากกราฟจะได้ว่า ปริมาณเศษกระเบื้องบดแทนทรายจำนวน 0% จะทำให้ค่าอัตราดูดซึมน้ำต่ำที่สุด รองลงมาคือ ปริมาณเศษกระเบื้องบดแทนทรายจำนวน 10% และ 20% ตามลำดับ

11.2 ชนิดพารามิเตอร์ – ความสามารถกระบวนการ (Cpk) ; เครื่องมือการวิเคราะห์ทางสถิติ – Process Capability Analysis



รูปที่ 5.25 กราฟความสามารถกระบวนการของค่าอัตราการดูดซึมน้ำของการเติมเศษกระเบื้องบดแทนทรายจำนวน 0%, 10% และ 20%

จากรูปที่ 5 .25 แสดงให้เห็นค่าความสามารถของกระบวนการ (Cpk) อัตตราการดูดซึมน้ำของการเติมเศษกระเบื้องบดแทนทรายจำนวน 0%, 10%, และ 20% เท่ากับ 4.11, 3.10 และ 1.83 ตามลำดับ

11.3 <u>การสรุปผลอัตราดูดซึมน้ำ</u>

ตารางที่ 5.14 แสดงผลการวิเคราะห์ทั้งหมดของค่าอัตราการดูดซึมน้ำ

ลักษณะทางคุณภาพ	พารามิเตอร์	เครื่องมือการทดสอบทางสถิติ	0%	10%	20%
อัตราดูดซึมน้ำ	Mean	One-Way ANOVA	-	Not Sig	Not Sig
	Cpk	Process Capability Analysis	4.11	3.10	1.83

- การเปรียบเทียบกับ มอก.535-2527

เมื่อพิจารณาตามรูปที่ 5.23 แสดงให้เห็นว่าการเติมเศษบดแทนทรายตั้งแต่ 0%,10 และ 20% สามารถผ่านเกณฑ์ทั้งหมดสามารถผ่านเกณฑ์ข้อกำหนดอัตราดูดซึมน้ำ ตาม มอก.535-2527 ซึ่งกำหนดให้ทุกแผ่นน้อยกว่า 10 % และ เฉลี่ยน้อยกว่า 9%

- การเปรียบเทียบกับเกณฑ์ของบริษัท

จากตารางที่ 5.14 แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเติมเศษกระเบื้องบดแทนทรายจำนวน 10% และ 20% แล้วจะทำให้ค่าอัตราดูดซึมน้ำไม่แตกอย่างมีนัยยะสำคัญและ เมื่อทำการทดสอบความสามารถของกระบวนการจะเห็นได้ว่าอัตตราดูดซึมน้ำมีค่า Cpk ถึง 3.10 และ 1.83 ตามลำดับ ซึ่งผ่านเกณฑ์การยอมรับของบริษัท ดังนั้นทางจึงกำหนดให้สามารถใช้เศษกระเบื้องบดแทนทรายได้สูงสุด 20%

ตารางที่ 5.15 ผลการตรวจสอบปูดนูนผิวกระเบื้อง, รูพรุนผิวกระเบื้อง และ รอยร้าวผิวกระเบื้อง

% เศษกระเบื้องบด	อัตราปูดนูนผิวกระเบื้อง (แผ่น / 180 แผ่น)
0%	5
10%	7
20%	8

12). อัตราการปูดนูนผิวกระเบื้อง

ชนิดพารามิเตอร์ – อัตราของเสีย ; เครื่องมือการวิเคราะห์ทางสถิติ – Chi-Square Test

<u>การวิเคราะห์ผลการทดลอง</u>

ตารางที่ 5.16 การวิเคราะห์ไคสแคว์ของค่าอัตราของเสียปูดปูดนผิวกระเบื้อง ด้วยโปรแกรม Minitab

Chi-Square Test: Good, Reject

```
Expected counts are printed below observed counts
Chi-Square contributions are printed below expected counts

        Good  Reject  Total
0%         5     175    180
        6.67  173.33
       0.417   0.016

10%        7     173    180
        6.67  173.33
       0.017   0.001

20%        8     172    180
        6.67  173.33
       0.267   0.010

Total     20     520    540

Chi-Sq = 0.727, DF = 2, P-Value = 0.695
```

การทดสอบสมมติฐานของปริมาณเศษกระเบื้องบด

$H_0: O_{ij} = E_{ij}$

$H_1: O_{ij} \neq E_{ij}$

โดยที่ Oij แทนความถี่การเกิดปูดนูนผิวกระเบื้องในแต่ละ % การเติมเศษกระเบื้องบด

Eij แทนความถี่ที่คาดหวังการเกิดปูดนูนผิวกระเบื้องในแต่ละ % การเติมเศษกระเบื้องบด

จากตารางที่ 5.1 จะเห็นว่า Chi-Square Test จะให้ค่า P-value > 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลัก Ho ซึ่งหมายความว่า ปริมาณเศษกระเบื้องบดไม่มีความสัมพันธ์ต่ออัตราของเสียปูดนูนผิวกระเบื้อง ที่ระดับนัยสำคัญ = 0.05 ดังนั้นสามารถกำหนดการใช้งานที่ระดับการใช้งานสูงสุด 20%

13). การทดสอบความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในระยะยาวด้วยเครื่องทดสอบ Heat Rain Test ; ชนิดพารามิเตอร์ – จำนวนแผ่นแตกร้าว

<u>วิธีการทดสอบ</u>

1. เนื่องจากข้อจำกัดของขนาดแผงการทดสอบ และ ระยะเวลาการทดสอบที่ยาวนาน ดังนั้นการเลือกกระเบื้อง ทดสอบทำโดยการหยิบมาอย่างสุ่มทั้ง Batch การทดลองภายในสูตร และ ลำดับแผ่น และ ทำการตรวจสภาพรอยร้าวของกระเบื้องก่อนทำการทดสอบ โดยจะต้องไม่มีรอยร้าวทั้งด้านหน้า และ ด้านหลัง ดังแสดงตารางที่ 5.17

ตารางที่ 5.17 กระเบื้องที่ถูกเลือกทดสอบ และ สภาพก่อนการทดสอบ

ปริมาณเศษกระเบื้องบด	Batch ที่	จำนวน (แผ่น)	ตำแหน่งกระเบื้อง (แผ่นที่)	สภาพก่อนทดสอบ
0%	3	10	1, 7, 13, 19, 25 2, 8, 14, 20, 26	ไม่พบรอยร้าวทั้งด้านหน้าและด้านหลัง
10%	1	10	15, 21 ,3, 9, 27 4, 10, 16, 22, 28	ไม่พบรอยร้าวทั้งด้านหน้าและด้านหลัง
20%	2	10	5, 11, 17, 23, 29 ,6, 12, 18, 24, 30	ไม่พบรอยร้าวทั้งด้านหน้าและด้านหลัง

2. ทดสอบโดย Condition การทดสอบ 1 Cycle ประกอบด้วย:

การให้ความร้อน 70°C เป็นเวลา 4 ชม. 55 นาที → Dwell (Light off) 5 นาที → พ่นน้ำลงบน ก/บ เป็นเวลา 2 ชม. 55 นาที → Draining (Water spray off) 5 นาที → ทำ

การทดสอบจนครบ 100 Cycle

3. นำกระเบื้องออกจากแผงเช็คกระเบื้องเพื่อดูขนาดและรอยร้าวที่เกิดขึ้น ทำการจดบันทึกค่า และ สรุปผล

ตารางที่ 5.18 ผลการทดสอบ ความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในระยะยาว

จำนวนผสมเศษกระเบื้องบดแทนทราย	0 %	10%	20%
จำนวนกระเบื้องดี	10	10	10
จำนวนกระเบื้องเสีย	0	0	0
จุดการเสียของกระเบื้อง	ไม่พบรอยร้าวทั้งด้านหน้าและด้านหลัง	ไม่พบรอยร้าวทั้งด้านหน้าและด้านหลัง	ไม่พบรอยร้าวทั้งด้านหน้าและด้านหลัง

จากตารางที่ 5.18 การทดสอบกระเบื้องเติมเศษกระเบื้องบดแทนทรายที่ระดับ 0, 10 และ 20 % แสดงให้เห็นว่าสามารถผ่านการทดสอบความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในระยะยาวด้วยเครื่องทดสอบ Heat Rain Test ที่ 100 cycle โดยไม่เกิดรอยร้าวทั้งด้านหน้า และด้านหลังของกระเบื้อง ดังนั้นการใช้งานเศษกระเบื้องบดสามารถแทนทรายใช้งานได้สูงสุดที่ 20 % โดยไม่มีผลกระทบด้านความทนทานระยะยาวของกระเบื้อง

5.3.3 **สรุปผลการเพิ่มขอบเขตของเวลาในการผสม** Dry Mix **น้อยเกินไป และปริมาณการเติมเศษกระเบื้องบดแทนทรายจำนวน 0%,10% และ 20%**

ตารางที่ 5.19 สรุปผลการทดสอบคุณภาพทั้งหมดเทียบเกณฑ์การยอมรับ

อัตราส่วนเศษกระเบื้องบด / หัวข้อคุณภาพ	ดัชนีวัดผล	0%	10%	20%
1.ค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย	Cpk	1.87	1.76	1.58
2.อัตราดูดซึมน้ำ	Cpk	4.11	3.10	1.83
3.อัตราของเสียปูดนูนผิวกระเบื้อง	Defect proportion	-	Not Sig.	Not Sig.
4.การทนต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณภูมิในระยะยาว	การเกิดการแตกร้าว	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน

เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 5.19 จะสังเกตุได้ว่าที่ระดับการเติมเศษกระเบื้องบดแทนทรายจำนวน 10% และ 20% ผ่านเกณฑ์การยอมรับทั้ง 4 หัวข้อ คือ ค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย,อัตราดูดซึมน้ำ, อัตราการปูดนูนผิวกระเบื้อง และ การทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระยะยาวทั้งหมดผ่านเกณฑ์บริษัท ดังนั้นทางบริษัทจึงกำหนดการใช้งานที่ 20% ของมวลรวม โดยต้องทำการผสมเพิ่มเติมก่อนการผลิต และ กำหนดค่าความชื้นที่ 13.5 %

5.4 มาตราการเพื่อให้เกิดการฝังกลบของโรงงานกรณีศึกษาเป็น 0

ภายหลังจากการทดลองเติมเศษกระเบื้องบดที่ 20% พบว่าระดับคุณภาพผ่านทุกหัวข้อคุณภาพ ทางบริษัทจึงกำหนดให้ทางโรงงานกรณีศึกษาใช้งานเป็นจำนวน 20% ของมวลรวม หรือประมาณ 120 กิโลกรัมต่อตันการผลิต แต่เพื่อให้เกิดการฝังกลบของโรงงานกรณีศึกษาเป็น 0 จำเป็นต้องกำหนดมาตราการกับส่วนที่เหลือจำนวน 30 กิโลกรัมต่อตันการผลิต ทางผู้บริหารจึงได้กำหนดมาตราการให้ทำการโอนไปใช้ในการผลิตที่ สายการผลิตที่มีจำนวนการใช้ต่ออัตราส่วนการผลิตน้อยที่สุด อีกทั้งเป็นโรงงานที่ตั้งของโรงบด ในอนาคต ทำให้ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการขนย้าย คือ โรงงาน SB1/1 ซึ่งจะทำให้การใช้แทนทรายจากเดิม 3% เป็นประมาณ 4 %

5.5 สรุประยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

ในขั้นตอนนี้ได้ทำการวิเคราะห์ปัจจัยที่สามารถทำได้การปรับปรุงค่าความแข็งแรงกระเบื้อง และ ปูดนูนผิวกระเบื้อง โดยได้ลำดับเรียงลำดับการวิเคราะห์จากความยากง่ายในการผลิต และ แนวโน้มค่าใช้จ่ายที่เพิ่มในการผลิต โดยไดแสดงการวิเคราะห์ในช่วงต้นโครงการที่เคยทำมาก่อน คือ ขอบเขตระยะเวลาการบ่มกระเบื้อง และ ขอบเขตสัดส่วนของซีเมนต์ ซึ่งในการปรับระดับสามารถเพิ่มผลด้านคุณภาพจริง แต่เนื่องจากมีแนวโน้มค่าใช้จ่ายสูง จึงพิจารณาปัจจัยนำเข้าตัวอื่นก่อน ซึ่งคือขอบเขตการ Dry Mix ซึ่ง โดยการผสมเพิ่มนอกสายการผลิต และ ขอบเขตปริมาณเศษกระเบื้องบดแทนทราย ที่ 0, 10 และ 20% โดยออกแบบการทดลอง One-Way Anova จากนั้นทำการวิเคราะห์หัวข้อคุณภาพ 4 หัวข้อ คือ ความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย , อัตราดูดซึมน้ำ,ปูดนูผิวกระเบื้อง และ ความทนทานต่อการเปลี่ยนอุณภูมิระยะยาว จากการวิเคราะห์พบว่าที่อัตราการใช้งานแทนทราย 20% เมื่อทำการผสม Dry mix เพิ่มเติมสามารถผ่านเกณฑ์ มอก. 535-2527 และ ของเกณฑ์การยอมรับของบริษัทได้ทั้งหมด จากมาตราการดังกล่าวทำให้ไม่ต้องทำการปรับปรุงปัจจัยนำเข้าที่สำคัญอื่น ซึ่งอาจต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูงกว่าในการปรับปรุงอีก

เนื่องจากเราไม่ได้นำเศษกระเบื้องบดมาใช้แทนทรายเป็นจำนวน 25% จึงคงเหลือของเสียมอร์ตาร์ส่วนหนึ่ง และ เพื่อให้การฝังกลบเป็น 0 ทางผู้บริหารจึงกำหนดให้นำเศษกระเบื้องบดที่ยัง

คงเหลือนี้โอนไปทำการผลิตที่สายการผลิตที่มีอัตราการใช้เศษกระเบื้องบดแทนทรายน้อยที่สุด ซึ่งคือ สายการผลิต SB1/1 ซึ่งจะทำให้การใช้แทนทรายจากเดิม 3% เพิ่มเป็นประมาณ 4 %

บทที่ 6

ระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

ในบทนี้เป็นการทดสอบเพื่อยืนยันผลจากการหาแนวทางการปรับปรุง โดยปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ คือ

1. การเพิ่มการผสมระหว่างทราย และ เศษกระเบื้องบดนอกสายการผลิต
2. การใช้งานเศษกระเบื้องบดแทนทรายจำนวน 20 %
3. กำหนดความชื้นมอร์ตาร์ที่ 13.5 %

โดยทำการทดลองผลิตแบบเต็มกำลังการผลิต จำนวน 6 กะ การผลิตเพื่อศึกษาผล โดยมีการพิจารณาหัวข้อคุณภาพที่มีผลกระทบจากการเติมเศษกระเบื้องบด คือ ความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย, อัตราดูดซึมน้ำ และ ปูดนูนผิวกระเบื้อง โดยจะมีการพิจารณาค่าความสามารถกระบวนการ และ อัตราของเสียตามลำดับว่าสามารถผ่านเกณฑ์มาตราฐานของบริษัทได้หรือไม่

6.1 ขั้นตอนการทดสอบยืนยันผล

6.1.1 จุดประสงค์ของการทดสอบ

- เพื่อตรวจสอบผลการเติมเศษกระเบื้องบดจำนวน 20% ของมวลรวม โดยมีการกำหนดมาตราฐานการทำงานตามที่กำหนดในการผสมทราย และ เศษกระเบื้องบดเพิ่มเติม รวมทั้งกำหนดค่าความชื้นเป็น 13.5%

6.1.2 การเตรียมการทดลอง

- จำนวนตัวอย่าง จะเก็บข้อมูลตัวอย่างตามการทดสอบปกติของโรงงาน ซึ่งมีการผลิตเป็นจำนวน ~ 27, 000 แผ่น หรือ 300 batch ต่อกะการผลิต รวม 6 กะ การผลิตเป็นกระเบื้องจำนวน 78,000 แผ่น
- ทำการทดลองที่สภาพการปฏิบัติงานจริงของการผลิต

6.1.3 ขั้นตอนในการทดสอบ

ทำการทดสอบตามสภาพการปฏิบัติงานจริงของการผลิต และ ทำการเก็บข้อมูลของค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย, อัตราดูดซึมน้ำ และ ปูดนูนผิวกระเบื้อง ดังตารางที่ 6.1

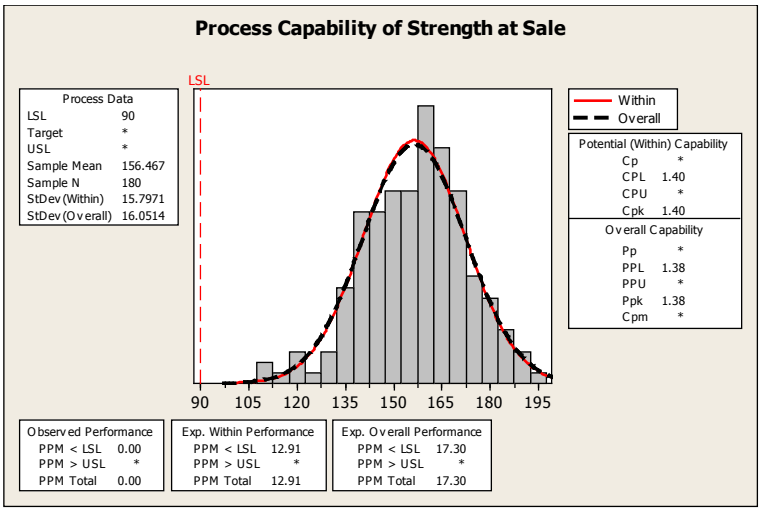
ตารางที่ 6.1 จำนวนแผ่นกระเบื้องทดสอบ ในแต่ละหัวข้อคุณภาพ

หัวข้อคุณภาพ	ลักษณะการทดสอบ	จำนวนต่อ Lot	จำนวนกะการผลิต/วัน	จำนวนวันการทดลอง	จำนวนทั้งหมด (แผ่น)
1. ค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย	สุ่มทดสอบ	30	2	3	180
2. อัตราดูดซึมน้ำ	สุ่มทดสอบ	30	2	3	180
3. อัตราของเสียปูดนูนผิวกระเบื้อง	100 %	~13,000	2	3	78,000

6.2 การสรุปผลด้านคุณภาพ

6.2.1 ค่าความสามารถของความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย เมื่อใช้เศษกระเบื้องบด

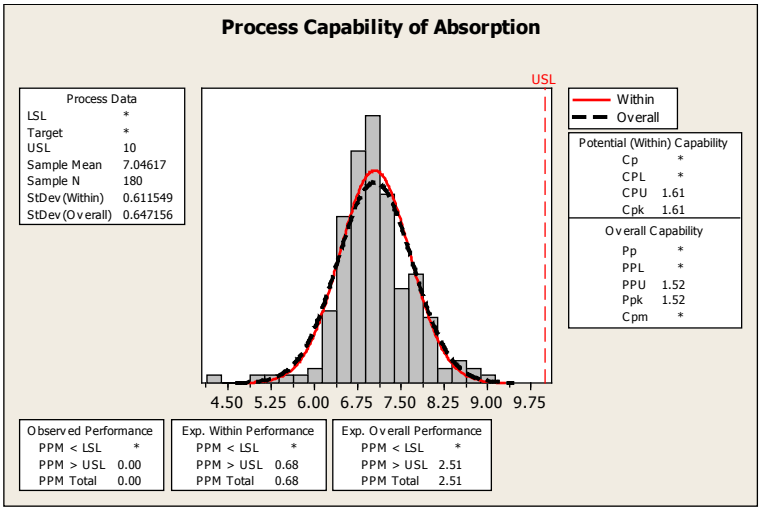
จากข้อมูลทางการทดสอบที่ได้ นำมาวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ ซึ่งพิจารณาจาก ตามข้อกำหนดของค่าควบคุมมาตราฐาน ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นน (DPPM) ดังแสดงในรูปที่ 6.1 พบว่าดัชนีความสามารถของกระบวนการ (Cpk) เท่ากับ 1.40 สามารถผ่านมาตราฐานการยอมรับของบริษัทที่ 1.33 ได้



รูปที่ 6.1 กราฟความสามารถกระบวนการของค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย เมื่อใช้เศษกระเบื้องบดแทนทรายจำนวน 20%

6.2.2 ค่าความสามารถของอัตราดูดซึมน้ำ เมื่อใช้เศษกระเบื้องบด

จากข้อมูลทางการทดสอบที่ได้ นำมาวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ ซึ่งพิจารณาจาก ตามข้อกำหนดของค่าควบคุมมาตราฐาน ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น (DPPM) ดังแสดงในรูปที่ 6.2 พบว่าดัชนีความสามารถของกระบวนการ (Cpk) เท่ากับ 1.61 สามารถผ่านมาตราฐานการยอมรับของบริษัทที่ 1.33 ได้



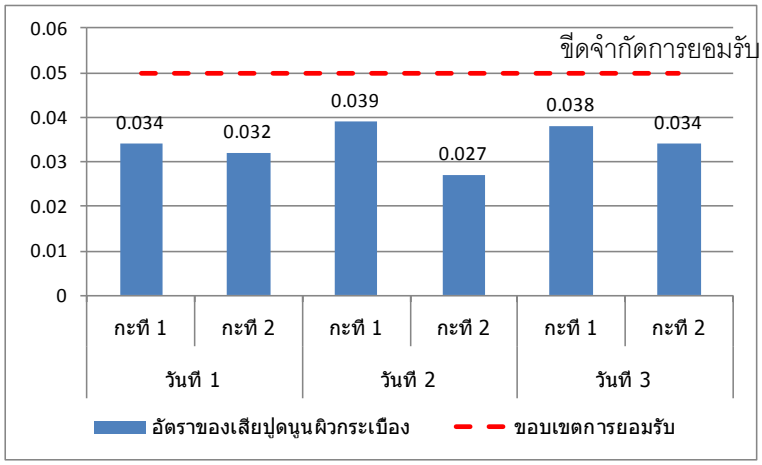
รูปที่ 6.2 กราฟความสามารถกระบวนการของอัตราดูดซึมน้ำ เมื่อใช้เศษกระเบื้องบดแทนทรายจำนวน 20%

6.2.3 อัตราของเสียกระเบื้องปูดนูนกระเบื้อง เมื่อใช้เศษกระเบื้องบด

จากการเก็บข้อมูลเพื่อนำมาสร้างกราฟสัดส่วนของเสียกระเบื้องปูดนูน ดังรูปที่ 6.3 พบว่าสัดส่วนของสัดส่วนของเสียกระเบื้องปูดนูน ในการทดสอบยืนยันผลมีค่าเท่ากับ 0.034 โดยเมื่อเทียบกับเป้าหมายของบริษัทที่กำหนดไม่ให้เกิน 5% พบว่าผ่านเกณฑ์มาตราฐานที่กำหนด

ตารางที่ 6.2 สัดส่วนปูดนูนผิวกระเบื้องเมื่อใช้เศษกระเบื้องบดแทนทรายจำนวน 20%

ชนิดการผลิต	วันที่ 1		วันที่ 2		วันที่ 3		เฉลี่ย
	กะที่ 1	กะที่ 2	กะที่ 1	กะที่ 2	กะที่ 1	กะที่ 2	
แบบเติมเศษกระเบื้องบด จำนวน 20% ของมวลรวม	0.034	0.032	0.039	0.027	0.038	0.034	0.034



รูปที่ 6.3 กราฟแสดงอัตราของเสียปูดนูนผิวกระเบื้อง

6.2.4 สรุปผลด้านคุณภาพเมื่อใช้เศษกระเบื้องบดแบบเต็มกำลังการผลิต

จากการสอบยืนยันผลทางคุณภาพที่มีผลกระทบจากการเติมเศษกระเบื้องบดทั้ง 3 หัวข้อ แสดงให้เห็นว่าระดับคุณภาพสามารถผ่านค่าการยอมรับได้ทั้งหมด โดยมีผลตามตารางที่ 6.3

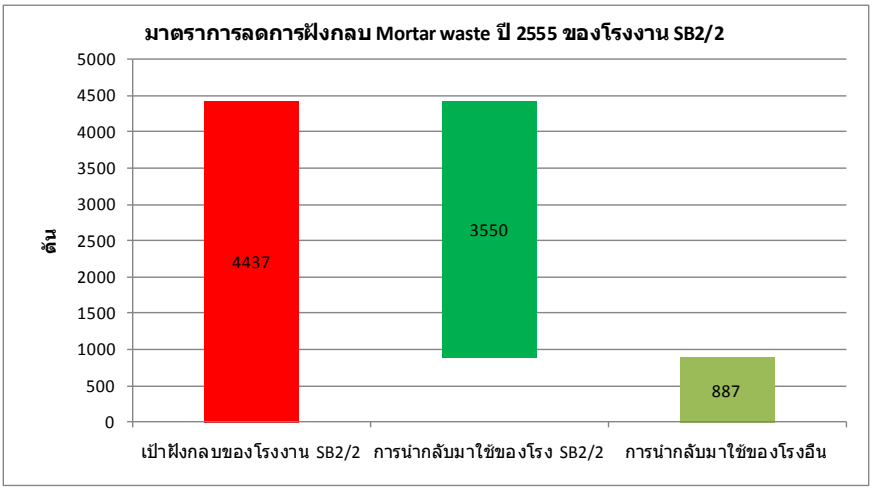
ตารางที่ 6.3 สรุปผลคุณภาพกระเบื้องเรียบเมื่อใช้เศษกระเบื้องบดแทนทรายจำนวน 20%

หัวข้อคุณภาพ	ตัววัดผล	เกณฑ์การยอมรับ	ผลลัพธ์	ผ่าน/ไม่ผ่าน
1. ค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย	Cpk	≥ 1.33	1.40	ผ่าน
2. อัตราดูดซึมน้ำ	Cpk	≥ 1.33	1.61	ผ่าน
3. ปูดนูนผิวกระเบื้อง	% Reject เฉลี่ย	≤ 5%	3.4%	ผ่าน

ซึ่งสามารถทำการสรุปได้ว่าเมื่อมีการใช้เศษกระเบื้องที่ 20% ของมวลรวมสามารถทำการใช้งานได้ในการผลิตจริง

6.3 การสรุปผลคาดการณ์ด้านการลดปริมาณการฝังกลบเศษกระเบื้องบด ในปี 2555

จากการที่เราสามารถใช้เศษกะบื้องบดผสมแทนมวลรวมกระเบื้องจำนวน 20% จะสามารถคาดการณ์การลดการฝังกลบของเศษกระเบื้องบดได้ดังนี้



รูปที่ 6.4 กราฟปริมาณการนำเศษกระเบื้องบดของโรงงาน SB2/2 กลับมาใช้ ในปี 2555

จากรูปที่ 6.4 แท่งกราฟด้านซ้ายแสดงปริมาณเศษกระเบื้องบดของกระเบื้องเรียบ ที่ต้องทำการฝังกลบคาดการณ์ ภายในทั้ง ปี 2555 คือ ปริมาณ 4,437 ตัน ส่วนกราฟแท่งกลางแสดงปริมาณการนำกลับนำมาใช้เป็นวัตถุดิบแทนทรายของโรงงาน SB2/2 คือ 3,550 ตัน ส่วนกราฟแท่งขวา เป็นการนำกลับมาใช้งานที่โรงงานอื่น ซึ่งคือ SB1 จำนวน 887 ตัน ดังนั้นในการนำกลับมาใช้นั้น จะสามารถช่วยลดปริมาณการฝังกลบจำนวน 4,437 ตัน ซึ่งทำให้ลดการสูญเสียพื้นที่การเพาะปลูก หรือ ที่อยู่อาศัย อีกทั้งสามารถประหยัดทรัพยากรทรายตามธรรมชาติได้จำนวนมาก

6.4 การสรุปผลคาดการณ์ด้านค่าใช้จ่ายการผลิต ในปี 2555

พิจารณาผลกระทบที่เกิดขึ้น ที่สำคัญที่สุด คือ ต้นทุนวัตถุดิบหลักในการผลิต เปรียบเทียบระหว่างการผลิตปกติ และ การผลิตแบบใช้เศษกระเบื้องบดเป็นส่วนประกอบจำนวน 20% ของมวลรวม ซึ่งพิจารณาจากจำนวนการผลิต กระเบื้องเรียบทั้งหมด ภายในปี 2555 ดังแสดงในตารางที่6.4

ตารางที่ 6.4 การคำนวนค่าใช้จ่ายคาดการณ์ที่สามารถประหยัดได้ เมื่อใช้เศษกระเบื้องบด ในปี 2555

ชนิดวัตถุดิบ	ราคาต่อตัน (บาท)	กรณีการผลิตปกติ		กรณีการผลิตโดยใช้เศษกระเบื้องบด	
		จำนวนต่อตันการผลิต (ตัน)	จำนวนเงิน (บาท)	จำนวนต่อตันการผลิต (ตัน)	จำนวนเงิน (บาท)
1. ซีเมนต์	2,099.61	0.37	776.86	0.37	776.86
2. ขี้เถ้าลอย	750.4	0.09	67.54	0.09	67.54
3. ทราย	289.92	0.54	156.56	0.43	124.67
4. เศษกระเบื้องบด	200.31			0.11	22.03
	จำนวนบาทต่อตันการผลิต		1,000.95		991.09
	จำนวนแผ่นต่อตันผลิต		181		181
	ต้นทุนวัถถุดิบหลักตัวกระเบื้องต่อแผ่น		5.53		5.47
	จำนวนต้นทุนค่าวัตถุดิบหลักตัวกระเบื้องทั้งปี 2555		29,475,445		29,185,178
	จำนวนการประหยัดเงินต้นวัตถุดิบตัวกระเบื้อง ทั้งปี 2555				290,267.09
	ค่าใช้จ่ายการคลุกเพิ่มนอกสายการผลิต				-
	จำนวนการประหยัดเงินทั้งปี 2555				***290,267.09***

หมายเหตุ : การคลุกเพิ่มนอกสายการผลิตไม่มีค่าใช้จ่าย เนื่องจากเป็นขั้นตอนการทำงานใกล้เคียงปกติ ซึ่งต้องทำการผสมทรายระหว่าง 2 แหล่งอยู่แล้ว โดยในขั้นตอนนี้เพียงเพิ่มเศษกระเบื้องบดในการผสมด้วยเท่านั้น

6.5 สรุประยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

จากการผลิตโดยใช้เศษกระเบื้องบดผสมในมวลรวมจำนวน 20 % แบบเต็มกำลังการผลิต จำนวน 3 วัน หรือ 6 กะ การผลิต หลังการทดสอบคุณภาพแสดงให้เห็นว่าหัวข้อคุณภาพที่มีผลกระทบจากการเติมเศษกระเบื้องบด คือ ค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย,อัตราดูดซึมน้ำ และ ค่าปูดนูนผิวกระเบื้องสามารถผ่านค่ามาตราฐานการยอมรับทั้งหมด อันเป็นการเห็นยืนยันถึงความสามารถในการใช้เศษกระเบื้องบดเป็นส่วนหนึ่งของวัตถุดิบตัวกระเบื้องได้จริงในกระบวนการผลิต และ มาตราการนี้ส่งผลให้เกิดการลดการฝังกลบลงเป็นจำนวน 3,550 ในปี 2555 อีกทั้งจากการที่เศษกระเบื้องบดมีราคาถูกว่าทราย ดังนั้นจะสามารถทำการคาดการณ์ต้นทุนวัตถุดิบหลักตัวกระเบื้องที่ลดลงได้ภายในปี 2555 ได้เท่ากับ 290,267.09 บาท สำหรับกระเบื้องเรียบ

บทที่ 7

ระยะการติดตามควบคุม

หลังจากระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ ในระยะการติดตามควบคุมนี้ จะเป็นการจัดทำแผนควบคุม เพื่อควบคุมปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ คือ

1. จำนวนการผสมเศษกระเบื้องบด
2. การผสมทรายและเศษกระเบื้องบดก่อนเข้าเครื่อง Mixer
3. ขนาดคละของเศษกระเบื้องบด
4. ก้อนแข็งมวลรวม
5. ความชื้นมอร์ตาร์

โดยกำหนดในแผนผังการควบคุมคุณภาพการผลิตกระเบื้อง (QC Process Chart) และ มีการตรวจสอบระดับคุณภาพของความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย,อัตราดูดซึมน้ำ และ ปูดนูนผิวกระเบื้องผ่าน Control Chart และ กราฟ รวมทั้งกำหนดมาตราการแก้ไข เพื่อรักษาระดับคุณภาพมาตรฐานไว้

7.1 แผนควบคุมปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ

ได้มีการทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยนำเข้าที่สำคัญให้เหมาะสมกับการใช้เศษกระเบื้องบดกับการผลิตกระเบื้อง ดังนี้

1.ปริมาณการผสมเศษกระเบื้องบดแทนทราย กำหนดให้ผสมจำนวนไม่เกิน 20% ในทุก batch การผลิต ในแผนผังการควบคุมคุณภาพการผลิตกระเบื้อง (QC Process Chart) , ปรับแบบฟอร์มรายงานการทดสอบส่วนผสมปูนทราย ดังอ้างอิงใน รูปที่ ข.4 โดยเพิ่มส่วนของเศษกระเบื้องบด และ สำหรับกรณีไม่ได้ตามมาตราฐานให้ทำการปรับส่วนผสมเพิ่ม หรือ ทิ้งมอร์ตาร์

2. การผสมเตรียมวัตถุดิบ กำหนดให้ทำการผสมเศษกระเบื้องบด และ ทรายก่อนทำการ นอกสายการผลิตเพิ่ม โดยต้องทำการผสมเป็นระยะเวลา 30 นาที ดังแสดงในส่วนอ้างอิง ข. รูปที่ 5 ทำการสังเกตุด้วยสายตาสีของกองมวลรวมต้องสม่ำเสมอไม่เห็นความแตกต่างกันระหว่างทราย และ เศษกระเบื้องบด

3.ก้อนแข็งมวลรวม กำหนดให้ทำการตรวจด้วยสายตาทุกต้นกะการผลิตขณะทำการลำเลียงมวลรวมขึ้นสายพานไปที่ Mixer ในกรณีที่พบว่ามีก้อนแข็งให้ทำการเทมวลรวมออกจาก Sand Bin แล้วทำการผสมวัตถุดิบใหม่แทนที่

4.การควบคุมขนาดคละของเศษกระเบื้องบด โดยการกำหนดให้มีขนาดมาตราฐาน F.M. เท่ากับ 2.0±0.1 ในแผนผังการควบคุมคุณภาพการผลิตกระเบื้อง (QC Process Chart),กำหนดแบบฟอร์มการรายงานการทดสอบคุณภาพเศษกระเบื้องบด ดังรูปที่ ข.3 และกำหนดรอบการตรวจการตรวจเศษกระเบื้องบดทุกวัน กรณีขนาดของเศษกระเบื้องบดไม่ได้ขนาดตามกำหนด ให้ทำการเปลี่ยนของค้อน หรือ ตะแกรงเครื่องบดเศษกระเบื้อง ตามมาตราฐานวิธีการทำงาน ดังอ้างอิงส่วน ข. รูปที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

5. ค่าความชื้นมอร์ตาร์ กำหนดค่าความชื้นในกรณีการใช้เศษกระเบื้องบดโดยทำการเพิ่มเป็น 13.5% ในแผนผังการควบคุมคุณภาพการผลิตกระเบื้อง (QC Process Chart) มีการปรับแบบฟอร์มการคำนวนปริมาณวัตถุดิบโดยเพิ่มส่วนของเศษกระเบื้องบด สำหรับกรณีไม่ได้ตามมาตราฐานให้พิจารณาทำการปรับส่วนผสมเพิ่ม หรือ ทิ้งมอร์ตาร์

ตารางที่ 7.1 แผนผังการควบคุมคุณภาพการผลิต (QC Process Chart) ที่การปรับให้เหมาะสมกับการใช้เศษกระเบื้องบดเป็นวัตถุดิบ

Reject			ขั้นตอน* (Step)	รายละเอียดการทดสอบ						ผู้ทดสอบ (Inspector)	การแก้ไขกรณีที่ไม่ผ่านเกณฑ์ (Countermeasure)
ความแข็งแรงกระเบื้อง	อัตราตูดขึ้นน้ำ	ปูไม่นอน		รายการทดสอบ (Inspection Items)	เกณฑ์กำหนด (Specification)	การชักตัวอย่าง (Sampling Plan)		เอกสารอ้างอิง (Document)			
						จำนวน	ความถี่	วิธีการทดสอบ	ฟอร์มบันทึกผล		
2. กระบวนการผสมส่วนผสม											
O	**O**	**O**		**2.4 เศษกระเบื้องบด - ขนาดคละ F.M.**	**2.00 ± 0.1**	**1 กิโลกรัม**	**ทุกกะการบดกระเบื้อง**	**GN-W-QC-101 อ้างอิง ASTM C-109/C136-95a**	**GN-F-QC-133**	**พนักงานควบคุมคุณภาพ**	**ยกเลิกการใช้งาน GN-W-PD-190,191**
O	O	O		2.5 มวลรวม - ขนาดคละ F.M.	2.44 - 2.90	1 กิโลกรัม	ทุก Lot การผลิต	GN-W-QC-101 อ้างอิง ASTM C-109/C136-95a	GN-F-QC-301 / กรณีผสมทราย SB2-F-PD-324	พนักงานควบคุมคุณภาพ	GN-P-PD-102
O	**O**	**O**	*o เครื่องจักร*	**2.6 Mixing Time การผสมมวลรวมนอกสายการผลิต**	**30 นาที**	**-**	**ทุกการผสมมวลรวม**	**GN-W-QC-101 อ้างอิง ASTM C-109/C136-95a**	**SB2-F-PD-341**	**พนักงานควบคุมคุณภาพ**	**ผสมวัตถุดิบเพิ่ม**
O	O	O		Dry Mix	55 วินาที	-	ทุกครั้งที่เริ่มกระบวนการผลิต	ตรวจค่าจากจอ Monitor	-	พนักงานผลิต	ดำเนินการปรับแก้ไข
O	O	O		Wet Mix	55 วินาที						
O	**O**	**O**		**2.7 อัตราการผสมเศษกระเบื้องบดแทนทราย**	**≤ 20%**	**-**	**ทุก batch**	**-**	**GN-F-QC-302**	**พนักงานผลิต**	**ดำเนินการปรับแก้ไขสูตร**
O	**O**	**O**		**2.8 ความชื้นมอร์ตา เติมเศษกระเบื้องบด**	**13.5 ± 0.15**	**-**	**ทุก batch**	**GN-W-QC-106**	**GN-F-QC-302**	**พนักงานผลิต**	**ดำเนินการปรับแก้ไขสูตร**
				ไม่ได้เติมเศษกระเบื้องบด	13 ± 0.15						

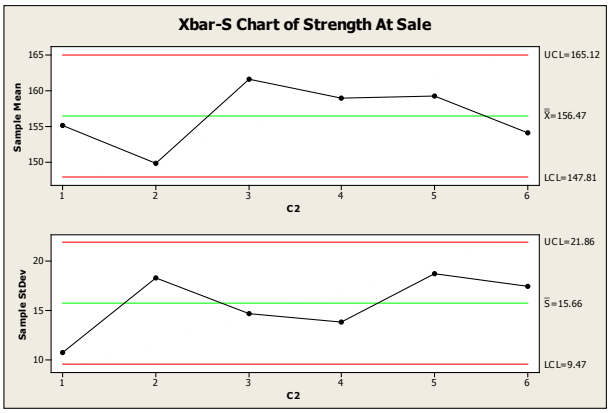
หมายเหตุ : กรอบด้านซ้าย คือ QA Matix

7.2 การตรวจติดตามคุณภาพ

ในการตรวจติดตามคุณภาพ ได้มีการการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมกับหัวข้อคุณภาพที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานเศษกระเบื้องบด ซึ่ง คือ ความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย,อัตราดูดซึมน้ำ ของเสียปูดนูนผิวกระเบื้อง ว่ามีความผิดปกติ หรือ ไม่ หากเกิดอาการผิดปกติขึ้นจะได้ทำการค้นหาสาเหตุผ่านปัจจัยนำเข้าที่เกี่ยวข้อง ผ่านแผนผังการควบคุมคุณภาพการผลิตกระเบื้อง และกำหนดมาตราการป้องกัน ต่อไป

7.2.1 แผนภูมิควบคุมของความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย

จากการทดสอบการยืนยันผลการใช้งาน จำนวน 6 กะการผลิต สามารถ plot ผลความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย เป็นแผนภูมิควบคุม ชนิด $\bar{x}$ – S Chart ดังรูปที่ 7.1 ซึ่งสามารถนำมากำหนดเส้นควบคุม รวมทั้งได้กำหนดกฎการตัดสินใจแก้ไขดังตารางที่ 7.2



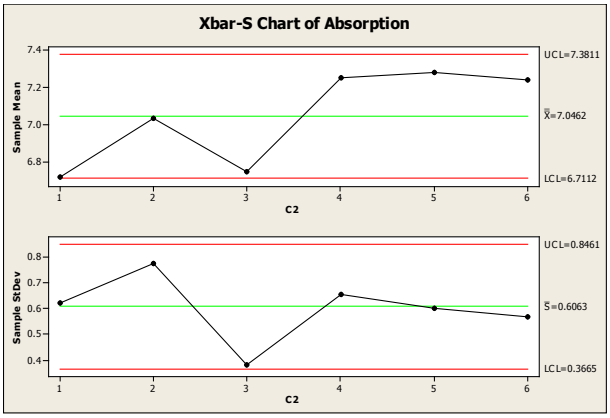
รูปที่ 7.1 $\bar{x}$ – S Chart ของค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย เมื่อใช้เศษกระเบื้องบดแทนทรายจำนวน 20 %

ตารางที่ 7.2 การกำหนด ค่า Control limit ของค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย เมื่อใช้เศษกระเบื้องบดแทนทรายจำนวน 20 %

หัวข้อคุณภาพ	ขนาดตัวอย่าง (แผ่น/กะ)	ชนิดแผนควบคุม	$\bar{x}$		S		กฎการตัดสินใจ
			LSL	USL	LSL	USL	
ความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย	30	$\bar{x}$-S chart	165.12	147.81	21.86	9.47	1. ค่า $\bar{x}$ออกนอกเส้นควบคุมด้านต่ำ 2. ค่า S ออกนอกเส้นควบคุมด้านสูง

7.2.2 แผนภูมิควบคุมของอัตราดูดซึมน้ำ

จากการทดสอบการยืนยันผลการใช้งาน จำนวน 6 กะการผลิต สามารถ plot ผลความอัตราดูดซึมน้ำ เป็นแผนภูมิควบคุม ชนิด $\bar{x}$ – S Chart ดังรูปที่ 7.2 ซึ่งสามารถนำมากำหนดเส้นควบคุม รวมทั้งได้กำหนดกฎการตัดสินใจแก้ไขดังตารางที่ 7.3



รูปที่ 7.2 $\bar{x}$– S Chart ของค่าอัตราดูดซึมน้ำ เมื่อใช้เศษกระเบื้องบดแทนทรายจำนวน 20 %

ตารางที่ 7.3 การกำหนด ค่า Control limit ของค่าอัตราดูดซึมน้ำ เมื่อใช้เศษกระเบื้องบดแทนทรายจำนวน 20 %

หัวข้อคุณภาพ	ขนาดตัวอย่าง (แผ่น/กะ)	ชนิดแผนควบคุม	$\bar{x}$		S		กฎการตัดสินใจ
			LSL	USL	LSL	USL	
อัตราดูดซึมน้ำ	30	$\bar{x}$-S chart	7.38	6.71	0.85	0.37	1. ค่า $\bar{x}$ ออกนอกเส้นควบคุมด้านสูง 2. ค่า S ออกนอกเส้นควบคุมด้านสูง

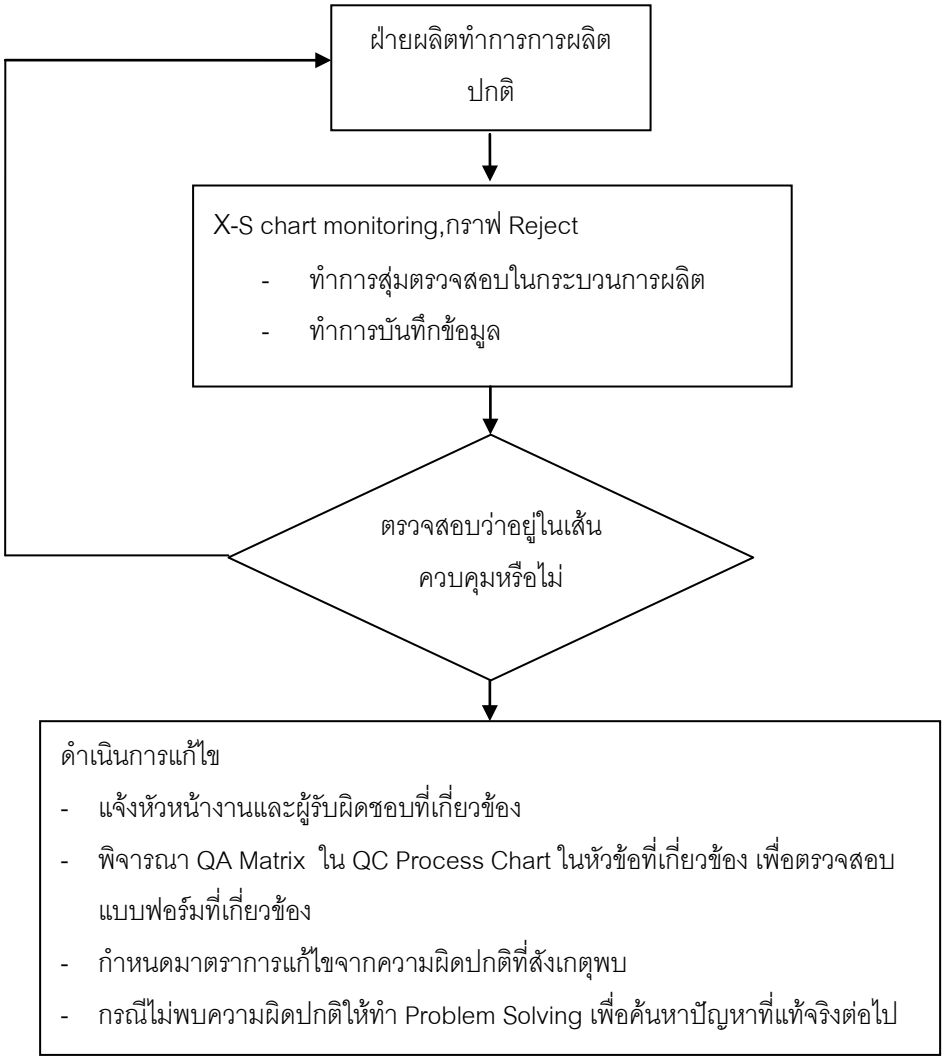
7.2.3 กราฟควบคุมอัตราของเสียปูดนูนผิวกระเบื้อง

การควบคุมของเสียผิวกระเบื้อง กำหนดจากเป้าหมายของบริษัท คือ ไม่เกิน 6% ของจำนวนการผลิตกระเบื้องทั้งหมด รวมทั้งได้กำหนดกฎการตัดสินใจแก้ไขดังตารางที่ 7.4

ตารางที่ 7.4 การกำหนด ค่า Control limit ของสัดส่วนของเสียปูดนูนผิวกระเบื้อง เมื่อใช้เศษกระเบื้องบดแทนทรายจำนวน 20 %

หัวข้อคุณภาพ	ขนาดตัวอย่าง (แผ่น/กะ)	ชนิดแผนควบคุม	USL	กฎการตัดสินใจ
อัตราของเสียปูดนูนผิวกระเบื้อง	ทุกแผ่น	กราฟสัดส่วนของเสีย	0.05	ออกนอกเส้นควบคุมด้านสูง

และ สามารถนำมากำหนดแผนการแก้ไขเมื่อกระบวนการออกนอกเส้นควบคุมดังรูปที่ 7.3



รูปที่ 7.3 ขั้นตอนการตรวจสอบและแก้ไข สำหรับค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย,อัตราดูดซึมน้ำ และ ปูดนูนผิวกระเบื้อง ออกนอกการควบคุม

7.3 **สรุประยะการติดตามควบคุม**

ในระยะการควบคุมได้กำหนดมาตราฐานการทำงาน ผ่านผังการควบคุมคุณภาพการผลิตกระเบื้องเรียบ และ มาตราฐานวิธีการปฏิบัติงานต่างๆ เพื่อให้การทำงานใช้เศษกระเบื้องบดแทนทรายได้ถูกต้อง อีกทั้งทำการกำหนด Control limit เพื่อตรวจติดตามสถานะผลลัพธ์ทางคุณภาพที่อาจมีผลจากการผลิตโดยใช้เศษกระเบื้องบด และ กำหนดแผนการแก้ไขเมื่อกระบวนการออกนอกเส้นควบคุม สำหรับค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย,อัตราดูดซึมน้ำ และ ปูดนูนผิวกระเบื้อง

บทที่ 8

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นที่จะนำเศษกระเบื้องบดซึ่งเป็นของเสียจากการผลิตมาใช้ผสมเป็นวัตถุดิบแทนทรายในตัวกระเบื้อง โดยประยุกต์แนวคิดซิกซ์ ซิกมาเข้ามาใช้ ซึ่งประกอบไปด้วย 5 ระยะคือ ระยะการนิยามปัญหา, ระยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา, ระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา, ระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ และระยะการติดตามควบคุม เพื่อหาวิธีการใช้งานโดยสามารถคุณภาพผ่านเกณฑ์มาตราฐาน มอก. 535-2527 และของบริษัท โดยบทสรุปของการดำเนินงานและผลการปรับปรุงในแต่ละระยะ มีดังนี้

8.1 บทสรุประยะนิยามปัญหา

ขั้นตอนการนิยามปัญหาที่จะกล่าวถึงในบทนี้ ถือว่าเป็นขั้นตอนแรกที่จะนำไปสู่การกำหนดจุดเริ่มต้นและทิศทางการวิจัย ตามวิธีการทางซิกซ์ ซิกม่า ที่จะนำมาประยุกต์กับการใช้เศษกระเบื้องบดเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์กระเบื้องหลังคา คอนกรีตชนิดเรียบ ที่ทำการศึกษานี้ โดยมีรายละเอียดต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง คือ กำหนดทีมงานในการรับผิดชอบโครงการ โดยมีการศึกษาส่วนประกอบและกระบวนการผลิต ภายหลังจากนั้นได้ทำการระดมความคิดจากผู้เชี่ยวชาญเพื่อกำหนดการทดสอบคุณสมบัติของเศษกระเบื้องบดเทียบกับทรายใน ห้องทดสอบ อันนำมาสู่การสรุปหัวข้อคุณภาพกระเบื้องเรียบ ที่ต้องติดตามผลต่อการผลิตกระเบื้องจริง อันเนื่องจากอาจเกิดผลกระทบจากการเติมเศษกระเบื้องบด ทั้งระยะสั้น คือ การทดสอบความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่ายอัตราการดูดซึมน้ำ , ของเสียผิวปูดนูนกระเบื้อง , รูพรุนผิวกระเบื้อง และ รอยร้าวผิวกระเบื้อง รวมทั้งหัวข้อคุณภาพในระยะยาว คือ การทดสอบการทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระยะยาว โดยได้กำหนดระดับมาตราฐานคุณภาพที่ต้องผ่านเกณฑ์ประกอบไปด้วย ตามเกณฑ์มาตราฐานผลิตภัณฑ์อุตสากรรม กระเบื้องคอนกรีตมุงหลังคา มอก.535-2527 และ เกณฑ์การยอมรับของบริษัท

8.2 บทสรุประยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา

ในบทนี้จะเป็นการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรการผลิตกับหัวข้อคุณภาพที่เกี่ยวข้องกับการเติมเศษกระเบื้องบด โดยอาศัยเครื่องมือทางคุณภาพและสถิติมาช่วยในการวิเคราะห์ เริ่มจากการวิเคราะห์ความถูกต้องและความแม่นยำของระบบการวัด (Gauge R&R) ในการตรวจสอบผิวกระเบื้องด้วยสายตา เพื่อประกันความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการวัด ต่อมาทำ

การทดลองผลิตกระเบื้องในสายการผลิตจริง เพื่อศึกษาผลลัพท์ทางคุณภาพที่เกิดขึ้น จากนั้นทำการระดมสมองพิจารณาหัวข้อทางคุณภาพที่ไม่ผ่านเกณฑ์การยอมรับกับปัจจัยนำเข้าการผลิตที่สำคัญที่เกี่ยวข้อง ที่อาจต้องปรับเปลี่ยน เพื่อช่วยปรับระดับคุณภาพให้อยู่ในเกณฑ์ยอมรับ โดยใช้เครื่องมือต่างๆมาช่วยในการวิเคราะห์ คือ แผนผังความสัมพันธ์ (Relation Diagram) และ การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode & Effect Analysis หรือ FMEA)

ในขั้นตอนแรกของระยะวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา ได้ทำการวิเคราะห์ระบบการวัดแบบข้อมูลตามลักษณะ (Attribute Agreement Analysis) โดยทดสอบพนักงานตรวจสอบปัญหาของเสียรูพรุน,ปูดนูน และ รอยร้าวผิวกระเบื้อง จำนวน 4 คน ผลจากการวิเคราะห์พบว่า ค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงานตรวจสอบ เปอร์เซ็นต์ความไบอัสของพนักงานตรวจสอบ เปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลด้านความสามารถในการวัดซ้ำของการตรวจสอบ และเปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลด้านไบอัสของการตรวจสอบ ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดว่าจะยอมรับทั้ง 4 ค่า คือ 100% เนื่องจากพนักงานตรวจสอบทุกคนสามารถตัดสินปัญหาได้ถูกต้องทุกแผ่น

จากนั้นจึงศึกษาทดลองเติมเศษกระเบื้องบดที่ระดับต่าง และ มีจุดประสงค์คือ 0% สำหรับเปรียบเทียบ 25% เป็นเป้าหมายการใช้งานของบริษัท และ 50% กับ 75% สำหรับการหาจุดการใช้งานค่าสูงสุดที่เป็นไปได้ โดยทำการศึกษาผลค่าความแข็งแรง ณ จำหน่าย, อัตราดูดซึมน้ำ อัตราของเสียปูดนูน รูพรุน และ รอยร้าวผิวกระเบื้อง จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าที่ระดับการเติมมากกว่าเป้าหมาย 25 % มีค่าที่ไม่ผ่านการยอมรับ คือ ค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย (Cpk)และ อัตราของเสียปุดนูนผิวกระเบื้อง (Significant)

ดังนั้นจึงกำหนดให้ต้องหามาตราการในการแก้ไขปรับปรุง โดยทำการระดมสมองสมาชิกในคณะทำงาน เพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่สำคัญเกียวกับคุณภาพที่ต่ำกว่ามาตราฐาน ด้วยแผนผังความสัมพันธ์ (Relation Diagram) แล้วปรับให้มีความเหมาะสมเมื่อมีการใช้กับเศษกระเบื้องบดมากขึ้น จึงได้นำปัจจัยเหล่านี้ไปทำการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis) พบว่าสำหรับคุณภาพกระเบื้อง ณ จำหน่าย ได้ปัจจัยที่มีคะแนน RPN ที่มีคะแนนสูงเป็นเปอร์เซ็นต์สะสมรวม 72% แรก จำนวน 8 ปัจจัย และ สำหรับปูดนูนผิวกระเบื้อง ได้ปัจจัยที่มีคะแนน RPN ที่มีคะแนนสูงเป็นเปอร์เซ็นต์สะสมรวม 66% แรก จำนวน 5 ปัจจัย และ เมื่อนำ RPN มารวมกันเพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลร่วมระหว่างหัวข้อคุณภาพทั้ง 2 หัวข้อ จะได้ปัจจัยนำเข้าเรียงลำดับตามคะแนน RPN ดังนี้ ที่เก็บมวลรวมไม่เหมาะสม,ขอบเขตของขนาดคละ ของทรายไม่เหมาะสม,ขอบเขตขนาดคละของ เศษกระเบื้องบดไม่เหมาะสม,ขนาดถ้วยจ่ายปูนเล็กเกินไป,ขอบเขตของเวลาในการผสม Dry Mix น้อยเกินไป,ขอบเขตสัดส่วนของ

เศษกระเบื้องบดไม่เหมาะสม ,ขอบเขตสัดส่วนของซีเมนต์ไม่เหมาะสม และ ขอบเขตของเวลาในการบ่มน้อยเกินไป

8.3 บทสรุประยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

ในขั้นตอนนี้ได้ทำการวิเคราะห์ปัจจัยที่สามารถปรับปรุงค่าความแข็งแรงกระเบื้อง และปูดนูนผิวกระเบื้อง โดยได้ลำดับเรียงลำดับการวิเคราะห์จากความยากง่ายในการผลิต และแนวโน้มค่าใช้จ่ายที่เพิ่มในการผลิต โดยได้แสดงการวิเคราะห์ในช่วงต้นโครงการที่เคยทำมาก่อน คือ ขอบเขตระยะเวลาการบ่มกระเบื้อง และ ขอบเขตสัดส่วนของซีเมนต์ ซึ่งในการปรับระดับสามารถเพิ่มผลด้านคุณภาพจริง แต่เนื่องจากมีแนวโน้มค่าใช้จ่ายสูง จึงพิจารณาปัจจัยนำเข้าตัวอื่นก่อน ซึ่งคือขอบเขตการ Dry Mix ซึ่ง โดยการผสมเพิ่มนอกสายการผลิต และ ขอบเขตปริมาณเศษกระเบื้องบดแทนทราย ที่ 0, 10 และ 20% โดยออกแบบการทดลอง One-Way Anova จากนั้นทำการวิเคราะห์หัวข้อคุณภาพ 4 หัวข้อ คือ ความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย , อัตราดูดซึมน้ำ,ปูดนูผิวกระเบื้อง และ ความทนทานต่อการเปลี่ยนอุณภูมิระยะยาว จากการวิเคราะห์พบว่าที่อัตราการใช้งานแทนทราย 20% เมื่อทำการผสม Dry mix เพิ่มเติมนอกสายการผลิต สามารถผ่านเกณฑ์ มอก. 535-2527 และ ของเกณฑ์การยอมรับของบริษัทได้ทั้งหมด จากมาตราการดังกล่าวทำให้ไม่ต้องทำการปรับปรุงปัจจัยนำเข้าที่สำคัญอื่น ซึ่งอาจต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูงกว่าในการปรับปรุงอีก

เนื่องจากเราไม่ได้นำเศษกระเบื้องบดมาใช้แทนทรายเป็นจำนวน 25% จึงคงเหลือของเสียมอร์ตาร์ส่วนหนึ่ง และ เพื่อให้การฝังกลบของเสียมอร์ตาร์เป็น 0 ทางผู้บริหารจึงกำหนดให้นำเศษกระเบื้องบดที่ยังคงเหลือนี้โอนไปทำการผลิตที่สายการผลิตที่มีอัตราการใช้เศษกระเบื้องบดแทนทรายน้อยที่สุด ซึ่งคือ สายการผลิต SB1/1 ซึ่งจะทำให้การใช้แทนทรายจากเดิม 3% เพิ่มเป็นประมาณ 4 %

8.4 บทสรุประยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

ในบทนี้เป็นการทดสอบเพื่อยืนยันผลจากการหาแนวทางการปรับปรุง โดย KPIV ที่สำคัญ โดยทำการทดลองผลิตแบบเต็มกำลังการผลิต จำนวน 6 กะ การผลิต เพื่อศึกษาผล โดยมีการพิจารณาหัวข้อคุณภาพที่มีผลกระทบจากการเติมเศษกระเบื้องบด คือ ความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย, อัตราดูดซึมน้ำ และ ปูดนูนผิวกระเบื้อง โดยจะมีการพิจารณาค่าความสามารถกระบวนการ และ อัตราของเสียตามลำดับว่าสามารถผ่านเกณฑ์มาตราฐานของบริษัทได้หรือไม่

จากการผลิตโดยใช้เศษกระเบื้องบดผสมในมวลรวมจำนวน 20 % แบบเต็มกำลังการผลิต

จำนวน 3 วัน หรือ 6 กะ การผลิต หลังการทดสอบคุณภาพแสดงให้เห็นว่าหัวข้อคุณภาพที่มีผลกระทบจากการเติมเศษกระเบื้องบด คือ ค่าความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย,อัตราดูดซึมน้ำ และ ค่าปูดนูนผิวกระเบื้องสามารถผ่านค่ามาตราฐานการยอมรับทั้งหมด อันเป็นการเห็นยืนยันถึงความสามารถในการใช้เศษกระเบื้องบดเป็นส่วนหนึ่งของวัตถุดิบตัวกระเบื้องได้จริงในกระบวนการผลิต และ มาตราการนี้ส่งผลให้เกิดการลดการฝังกลบลงเป็นจำนวน 3,550 ในปี 2555 อีกทั้งจากการที่เศษกระเบื้องบดมีราคาถูกว่าทราย ดังนั้นจะสามารถทำการคาดการณ์ต้นทุนวัตถุดิบหลักตัวกระเบื้องที่ลดลงได้ภายในปี 2555 ได้เท่ากับ 290,267.09 บาท สำหรับกระเบื้องเรียบ Neustile

8.5 บทสรุประยะการติดตามควบคุม

ในระยะการติดตามควบคุมนี้ จะเป็นการจัดทำแผนควบคุม เพื่อควบคุมปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ คือ จำนวนการผสมเศษกระเบื้องบด,การผสมทรายและเศษกระเบื้องบดก่อนเข้าเครื่อง Mixer,ขนาดคละของเศษกระเบื้องบด ก้อนแข็งมวลรวม และ ความชื้นมอร์ตาร์โดยกำหนดในแผนผังการควบคุมคุณภาพการผลิตกระเบื้อง (QC Process Chart) และ มีการตรวจสอบระดับคุณภาพของความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย,อัตราดูดซึมน้ำ และ ปูดนูนผิวกระเบื้องผ่าน Control Chart และ กราฟ รวมทั้งกำหนดมาตราการแก้ไข เพื่อรักษาระดับคุณภาพมาตรฐานไว้

8.6 ข้อจำกัดในงานวิจัย

1. การทำการทดลองที่เกี่ยวกับซีเมนต์ ผลทางคุณภาพจะสัมพันธ์กับอายุของชิ้นงาน ดังนั้นการทดสอบชิ้นงานทั้งหมดต้องทำให้เสร็จภายในระยะเวลาใกล้เคียงกัน เมื่อประกอบกับความสามารถของเครื่องทดสอบต่อจำนวนการทดสอบ ประกอบกับข้อจำกัดเรื่องการส่งมอบสินค้า จึงเป็นข้อจำกัด sample size โดยเฉพาะอย่างยิ่งตัวแปรตอบสนองที่เป็นข้อมูลตามลักษณะ (Attribute Data) หรือเป็นค่าสัดส่วนของเสีย เนื่องจากในโครงการนี้ไม่ได้เป็นการลดระดับของเสียจากปริมาณมาก แต่เป็นการเปรียบเทียบกับระดับความแตกต่างของเสียที่น้อยระหว่างก่อนและหลังการใช้งานเศษกระเบื้องบด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ขนาดตัวอย่างการทดลองจำนวนมาก เพื่อให้สามารถตรวจจับความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในการทดลองได้

2. ในการสร้างแผนภูมิควบคุมชนิด $\bar{x}$-S chart ในงานวิจัยนี้ สร้างมาจากจำนวนกะการผลิตยืนยันผลที่ทำการทดอลองเพียง 6 กะการผลิต เนื่องจากข้อจำกัดปัจจุบันยังไม่ได้ทำการสร้าง

โรงบดเศษกระเบื้องบดภายในจังหวัดที่โรงงานผลิต ทำให้ต้องทำการขนส่งระหว่างจังหวัด ซึ่งในการสร้างแผนภูมิที่ดีควรทำการสร้างจากข้อมูลอย่างน้อย 30 ชุด เพื่อให้ขอบเขตควบคุมครอบคลุมเหมาะสมกับความแปรปรวนของกระบวนการทั้งหมดภายในเดือน

3. การทดลองเป็นสายพานการผลิตจริง ร่วมกับการผลิตผลิตภัณฑ์ปกติ รวมทั้งใช้คนทดลองเป็นพนักงานที่ต้องผลิตงานพร้อมงานปกติบางส่วน ทำให้ในการทดลองยากต่อควบคุมการทดลอง

8.7 ข้อเสนอแนะ

1. ในการนำวัตถุดิบชนิดใหม่มาใช้งานในการผลิต เป็นเรื่องยากในการคาดเดาลักษณะผลกระทบทางคุณภาพที่เกี่ยวข้อง อีกทั้งวัตถุดิบมักเกิดหลายด้านมากกว่าการเปลี่ยน พารามิเตอร์กระบวนการ ดังนั้นความเข้าใจเกี่ยวกับทฤฎษี และ การทำการทดสอบใน ห้องทดลองเบื้องต้นเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างมากต่อการจำกัดขอบเขตการศึกษา

2. ในการทดสอบผลิตภัณฑ์นั้น นอกจากการทดสอบผลคุณภาพที่ปรากฏได้ในระยะสั้นแล้วการทดสอบความทนทานในระยะยาวก็เป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากบางผลิตภัณฑ์ต้องได้คุณสมบัติในระยะยาวตามที่กำหนดด้วย

3. การยืนยันผลการใช้วัตถุดิบในกระบวนการผลิตปกติเป็นเรื่องที่ค่อนข้างยาก เนื่องจากผลของกระบวนการปกติมักมีการขึ้นลงทำให้แยกผลไม่ออก การเปรียบเทียบกับสูตรการผลิตปกติผ่านการเตรียมวัตถุดิบ และ การสถานะการผลิต เดียวกันเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อให้สามารถนำมาซึ่งผลสรุปได้ชัดเจน

4. งานวิจัยนี้ยังขาดปัจจัยนำเข้าที่สำคัญหลายตัวที่ยังไม่ได้ทำการวิเคราะห์ เนื่องจากสามารถบรรลุเกณฑ์กำหนดด้วยมาตราการที่มีแนวโน้มค่าใช้จ่ายต่ำ ส่วนกรณีเมื่อใช้เศษกระเบื้องบดแล้วระดับคุณภาพต่ำกว่างานวิจัยนี้ อาจต้องทำการปรับปรุงโดยมาตราการที่ใช้ค่าใช้จ่ายสูงกว่านี้

5. กระบวนการนำเศษกระเบื้องบดมาประยุกต์ใช้ในกระเบื้องคอนกรีตในการวิจัยนี้สามารถจะนำไปประยุกต์ใช้เป็นกระบวนการใช้วัตถุดิบใหม่ ในผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. การวิเคราะห์ระบบการวัด. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2546ก.

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ . พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2551ข.

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. สถิติสำหรับงานวิศวกรรม เล่มที่ 2. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2551ค.

ฆนนัช พระพุทธคุณ. การศึกษาหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลอง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2552.

ชัชวาล เศรษฐบุตร. คอนกรีตเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ : ผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง, 2539.

ณัฐเศรษฐ์ สมแสน. การประยุกต์ใช้ของเสียจากการผลิตกระเบื้องซีเมนต์ใยหิน สำหรับผลิตภัณฑ์หมอนคอนกรีตรองกระเบื้อง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

ทิชา แสนสม. การลดของเสียที่เป็นเม็ดฝุ่นในกระบวนการพ่นสีกันชน หน้าพลาสติกของรถยนต์โดยแนวทางซิกซ์ ซิกมา. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.

ธีรพร เสนพรหม. การลดแม่แบบแก้วเสียในกระบวนการผลิตเลนส์พลาสติกโดยใช้แนวคิดซิกซ์ ซิกมา. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

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

ภัทรา อายุวัฒน์. การลดของเสียที่เกิดจากค่าการรับน้ำหนักกดของชุดหัวอ่านสำเร็จ ไม่ได้ตามข้อกำหนดในกระบวนการประกอบหัวอ่านโดยใช้แนวทางซิกซ์ ซิกม่า. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.

มาร์ติน อัศวลาภสกุล. การใช้กรรมวิธีทางซิกซ์ซิกม่าเพื่อลดปัญหาสีเป็นหลุม ที่แผนกพ่นสีในอุตสาหกรรมยานยนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2543.

รณภพ กิตติอัครเสถียร. การลดต้นทุนของเสียในกระบวนการผลิตไดออกทิลพทาเลตโดยประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกมา. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม ศูนย์ระดับภูมิภาคทางวิศวกรรมระบบการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

วีรเทพ เฉลิมสมิทธิ์ชัย. การศึกษาปริมาณธาตุที่เหมาะสมในอุตสาหกรรมการผลิตเหล็กดิบโดยวิธีการออกแบบการทดลอง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2550.

วสันต์ พุกผาสุก. การลดของเสียจากกระบวนการชุบโครเมียม โดยประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกม่า : กรณีศึกษาบริษัทในอุตสาหกรรมชุบโครเมียม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2551.

วิชาญ วรรณา. ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเหล็กปลายสั้น สำหรับกระบวนการหล่อเหล็กแท่งแบบต่อเนื่อง โดยวิธีการออกแบบการทดลอง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

วิทย์ วรรณจิตร. การปรับปรุงกระบวนการผลิตแม่พิมพ์โลหะของอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.

ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ และ จันทนา จันทโร. สถิติสำหรับงานวิศวกรรม. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่ง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

ศิริวดี เอื้ออรัญโชติ. การลดการปนเปื้อนจากกระบวนการผลิตหัวอ่าน-เขียนสำหรับคอมพิวเตอร์โดยประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกม่า. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.

สุชาติ แซ่แต้. การปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูก. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.

สรียา กสิกพันธ์. การนำเศษแผ่นพาร์ทิเคิลจากการตัดริมมาเป็นส่วนผสมในการผลิตแผ่นพาร์ทิเคิล. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

สุรพล สุรบรรเจิดพร. การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเชื่อมดีบุก-ตะกั่วบนแผ่นวงจรพิมพ์ด้วยเครื่องเชื่อมอัตโนมัติโดยวิธีการออกแบบการทดลอง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

สำนักงานมาตราฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มาตราฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรม กระเบื้องคอนกรีตมุงหลังคา. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : กระทรวงอุตสาหกรรม, 2542.

อรวรรณ พิทักษ์เกียรติกุล. การปรับปรุงกระบวนการทดสอบตัวรับส่งสัญญาณทางแสงในโรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.

อินทิรา เหล่าศรีมงคล. การประยุกต์แนวทาง FMEA เพื่อลดของเสียในผลิตภัณฑ์หล่อเหล็ก. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม ศูนย์ระดับภูมิภาคทางวิศวกรรมระบบการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.

อุษณีย์ ถิ่นเกาะแก้ว. การลดของเสียจากกระบวนการผลิตกระป๋อง โดยประยุกต์ใช้ วิธีการซิกซ์ ซิกมา. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

ภาษาอังกฤษ

Automative Industry Action Group (AIAG). Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). 4th printing. Michigan. USA.1995.

American Standard for Testing and Material. ASTM C109/C109M-08 Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimen).

American Standard for Testing and Material. ASTM C128-97 Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate.

American Standard for Testing and Material. ASTM C136 – 96a Standard Test Method for Seive Analysis of Fine and Coarse Aggregates.

American Standard for Testing and Material. ASTM C807- 08 Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic Cement by Modified Vicat Needle.

American Standard for Testing and Material. ASTM C78 Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete.

De Juan,M.S. and Gutierrez,P.A. , Study on the influence of attached mortar content on the properties of recycled concrete aggregate. Journal of Construction and Building Materials 23 (2009) : 872-877.

Nayatani,Y., Seven New QC Tools: Practical Applications for Managers. 1 edition. Japan : Productivity Press, 1994.

Pyzdek,T., Implementing Six Sigma (Smarter Solutions Using Statistical Methods). John United States of America : Willey & Sons, 1999.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ค่าผลการทดสอบการยืนยันผลการทดลอง

ตารางที่ ก.1 ค่าผลการทดสอบการยืนยันผลการทดลอง แบบเต็มกำลังการผลิต

กะที่	แผ่นที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	ความหนาด้านซ้าย (เซนติเมตร)	ความหนาตรงกลาง (เซนติเมตร)	ความหนาด้านขวา (เซนติเมตร)	ความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย (กิโลกรัม)	อัตราดูดซึมน้ำ (%)
1	1	5601	15.3	15.1	14.9	139.0	6.53
1	2	5662	15.2	15.3	14.9	166.3	7.69
1	3	5593	15.5	15.2	15.2	141.6	7.23
1	4	5725	15.4	15.4	15.3	154.0	6.74
1	5	5672	15.4	15.5	15.4	151.1	5.31
1	6	5739	15.4	15.4	15.4	166.0	6.48
1	7	5710	14.7	14.9	15.0	158.1	7.52
1	8	5674	15.3	15.2	15.2	164.9	7.16
1	9	5680	15.4	15.4	15.3	154.7	6.60
1	10	5626	15.3	15.1	14.9	144.4	6.74
1	11	5753	15.4	15.4	15.2	166.7	7.02
1	12	5774	15.5	15.5	15.4	167.4	6.84
1	13	5764	15.7	15.4	15.2	147.6	6.31
1	14	5606	14.9	14.9	14.8	140.4	6.78
1	15	5725	14.9	15.0	15.0	163.7	7.06
1	16	5706	15.3	15.5	15.2	140.1	6.45
1	17	5695	15.1	15.1	15.3	167.4	6.78
1	18	5674	15.3	15.2	15.3	171.6	6.67
1	19	5783	15.2	15.4	15.4	166.3	4.89
1	20	5573	15.3	15.2	15.3	158.1	6.58
1	21	5503	14.4	14.7	14.6	141.6	7.53
1	22	5669	15.3	15.4	15.4	149.9	6.42
1	23	5525	15.0	14.9	14.7	155.0	7.00
1	24	5688	15.2	15.3	15.2	161.1	7.09
1	25	5793	15.5	15.3	15.5	167.6	7.25
1	26	5713	15.6	15.3	15.4	160.1	6.33
1	27	5578	14.9	15.1	15.0	136.1	5.59
1	28	5618	15.5	15.4	15.4	146.0	7.38
1	29	5603	15.2	15.0	15.0	147.3	6.63
1	30	5608	15.1	14.9	14.9	158.1	6.98
2	1	5340	14.8	14.7	14.7	110.0	7.94
2	2	5487	15.0	15.0	15.0	139.6	8.21
2	3	5563	15.3	15.2	15.5	149.2	7.88
2	4	5670	15.3	15.3	15.0	140.1	7.28

ตารางที่ ก.1 ค่าผลการทดสอบการยืนยันผลการทดลอง แบบเต็มกำลังการผลิต (ต่อ)

กะที่	แผ่นที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	ความหนาด้านซ้าย (เซนติเมตร)	ความหนาตรงกลาง (เซนติเมตร)	ความหนาด้านขวา (เซนติเมตร)	ความแข็งแรงกระเบื้อง ณ จำหน่าย (กิโลกรัม)	อัตราดูดซึมน้ำ (%)
2	5	5644	15.2	15.2	14.9	145.7	7.10
2	6	5635	15.2	15.0	15.2	138.9	4.29
2	7	5600	15.1	14.9	14.7	135.1	6.98
2	8	5725	15.5	15.4	15.2	181.3	6.36
2	9	5534	14.9	15.0	14.9	133.7	5.96
2	11	5679	15.5	15.3	14.9	142.3	6.55
2	12	5685	15.6	15.4	15.3	147.6	6.71
2	13	5660	15.1	15.0	14.9	132.7	7.15
2	14	5686	15.2	15.3	15.0	137.8	6.88
2	15	5771	15.1	15.2	15.3	134.6	6.93
2	16	5801	15.4	15.3	15.2	192.6	6.32
2	17	5572	15.1	15.0	14.8	158.4	7.31
2	18	5416	14.4	14.3	14.3	144.9	7.96
2	19	5559	15.4	15.1	14.9	160.4	7.34
2	20	5634	15.4	15.3	15.1	145.6	7.24
2	21	5761	15.4	15.5	15.7	159.3	6.77
2	22	5654	15.1	14.9	15.0	147.3	6.61
2	23	5633	15.0	14.9	14.8	147.6	7.93
2	24	5728	15.3	15.1	15.0	169.1	8.10
2	25	5618	15.2	15.1	15.3	139.6	6.54
2	26	5612	15.3	15.2	15.0	158.0	7.40
2	27	5768	14.8	14.9	14.9	129.3	7.63
2	28	5760	15.0	14.9	15.1	144.4	7.17
2	29	5793	15.1	15.1	15.2	187.8	6.63
2	30	5478	15.4	15.4	15.2	178.4	7.01
3	2	5770	15.6	15.7	15.8	160.7	6.76
3	3	5670	15.5	15.5	15.5	122.7	7.01
3	4	5683	15.5	15.3	15.1	155.0	6.35
3	5	5678	15.1	15.4	15.3	158.3	6.79
3	6	5703	15.1	15.2	15.0	170.1	6.01
3	7	5763	15.5	15.3	15.3	168.7	6.89
3	8	5570	15.2	15.5	15.3	140.4	7.85
3	9	5656	15.5	15.3	14.9	170.3	6.21
3	10	5652	15.5	15.3	15.2	158.1	6.66

ตารางที่ ก.1 ค่าผลการทดสอบการยืนยันผลการทดลอง แบบเต็มกำลังการผลิต (ต่อ)

กะที่	แผ่นที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	ความหนาด้านซ้าย (เซนติเมตร)	ความหนาตรงกลาง (เซนติเมตร)	ความหนาด้านขวา (เซนติเมตร)	ความแข็งแรงกระเบื้องณ จำหน่าย (กิโลกรัม)	อัตราดูดซึมน้ำ (%)
3	11	5847	15.5	15.5	15.4	178.4	6.76
3	12	5721	15.4	15.3	15.5	165.2	6.58
3	13	5749	15.4	15.5	15.5	155.3	6.49
3	14	5760	15.3	15.3	15.1	146.4	7.01
3	15	5793	15.6	15.6	15.6	184.8	6.35
3	16	5759	15.5	15.7	15.7	154.2	6.42
3	17	5661	15.1	15.2	15.3	163.1	7.19
3	18	5759	15.5	15.7	15.5	178.2	6.48
3	19	5484	14.9	15.3	15.0	143.0	6.63
3	20	5715	15.6	15.5	15.4	169.0	6.37
3	21	5668	15.2	15.2	15.2	160.9	6.97
3	22	5631	15.4	15.4	15.3	155.7	6.58
3	23	5843	15.5	15.5	15.4	154.3	6.52
3	24	5735	15.2	15.4	15.5	173.1	6.73
3	25	5836	15.8	15.7	15.6	184.7	6.60
3	26	5775	15.0	15.1	15.2	148.4	6.97
3	27	5774	15.3	15.2	15.4	144.4	7.27
3	28	5772	15.4	15.1	15.3	178.8	6.91
3	29	5634	15.3	15.3	15.1	152.6	6.55
3	30	5621	15.3	15.5	15.6	175.4	6.92
3	11	5847	15.5	15.5	15.4	178.4	7.50
4	1	5698	15.2	15.1	14.8	159.3	6.70
4	2	5837	15.4	15.3	15.2	155.1	6.48
4	3	5692	15.3	15.2	15.0	174.9	6.48
4	4	5731	15.4	15.3	15.3	148.7	8.73
4	5	5729	15.3	15.3	15.4	120.9	6.75
4	6	5711	15.5	15.6	15.5	167.4	6.98
4	7	5689	15.5	15.4	15.2	168.7	6.66
4	8	5792	15.2	15.1	15.2	173.2	6.77
4	9	5591	15.1	15.0	14.8	166.8	7.02
4	10	5727	14.9	14.8	14.7	151.4	7.79
4	11	5703	15.3	15.4	15.4	144.7	7.83
4	12	5630	15.2	15.2	15.2	153.3	7.51
4	13	5690	14.9	14.9	15.0	152.7	7.10

ตารางที่ ก.1 ค่าผลการทดสอบการยืนยันผลการทดลอง แบบเต็มกำลังการผลิต (ต่อ)

กะที่	แผ่นที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	ความหนาด้านซ้าย (เซนติเมตร)	ความหนาตรงกลาง (เซนติเมตร)	ความหนาด้านขวา (เซนติเมตร)	ความแข็งแรงกระเบื้องณ จำหน่าย (กิโลกรัม)	อัตราดูดซึมน้ำ (%)
4	14	5636	15.2	15.2	15.1	166.7	8.56
4	15	5721	15.2	15.1	14.9	148.7	7.38
4	16	5669	15.3	15.3	15.1	163.6	6.71
4	17	5727	15.1	15.1	15.1	181.9	8.11
4	18	5693	15.1	15.0	15.0	179.3	7.67
4	19	5704	15.4	15.3	15.3	150.1	7.73
4	20	5688	15.3	15.3	15.3	165.2	6.27
4	21	5688	15.2	15.2	15.3	162.3	6.89
4	22	5698	14.9	14.9	15.0	166.3	6.95
4	23	5599	15.2	15.2	15.1	134.8	7.52
4	24	5687	15.4	15.2	15.0	158.1	7.94
4	25	5765	15.5	15.5	15.3	162.4	7.85
4	26	5646	15.4	15.2	15.3	134.0	6.90
4	27	5710	14.8	14.9	15.0	156.6	6.99
4	28	5857	15.2	15.4	15.5	175.7	6.49
4	29	5692	15.0	15.0	14.8	167.4	6.74
4	30	5695	15.5	15.4	15.4	160.4	8.11
5	1	5523	15.2	15.8	15.2	147.6	8.03
5	2	5620	14.9	15.1	15.4	187.3	7.22
5	3	5504	14.6	14.7	14.8	175.7	7.21
5	4	5596	15.0	14.8	15.0	137.7	7.30
5	5	5532	15.0	15.1	15.1	133.9	7.09
5	6	5532	15.2	15.1	15.2	128.0	7.44
5	7	5641	15.0	14.9	15.2	152.9	7.00
5	8	5678	15.1	15.1	15.3	168.1	6.59
5	9	5657	15.4	15.2	15.2	169.4	7.03
5	10	5621	15.1	15.4	15.3	185.1	7.28
5	11	5577	15.0	15.0	14.8	157.1	6.84
5	12	5719	15.1	15.1	15.4	188.0	6.75
5	13	5573	15.3	15.0	14.7	151.7	7.64
5	14	5629	15.1	15.0	15.1	163.7	7.64
5	15	5598	15.1	15.0	14.9	171.0	7.07
5	16	5627	15.4	15.5	15.4	167.7	7.75
5	17	5437	14.3	14.5	14.7	151.0	7.37

ตารางที่ ก.1 ค่าผลการทดสอบการยืนยันผลการทดลอง แบบเต็มกำลังการผลิต (ต่อ)

กะที่	แผ่นที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	ความหนาด้านซ้าย (เซนติเมตร)	ความหนาตรงกลาง (เซนติเมตร)	ความหนาด้านขวา (เซนติเมตร)	ความแข็งแรงกระเบื้องณ จำหน่าย (กิโลกรัม)	อัตราดูดซึมน้ำ (%)
5	18	5660	14.9	15.2	15.5	170.6	6.97
5	19	5698	15.3	15.3	15.6	135.1	7.24
5	20	5701	15.1	15.2	15.5	175.9	7.33
5	21	5736	15.2	15.5	15.5	170.1	7.07
5	22	5683	15.3	15.5	15.4	167.6	6.28
5	23	5673	15.1	15.0	15.1	158.1	9.00
5	24	5676	15.3	15.3	15.5	170.1	7.03
5	25	5717	14.9	15.0	14.9	173.1	8.21
5	26	5497	14.8	14.9	14.9	117.4	8.74
5	27	5674	15.2	15.0	15.2	176.0	6.74
5	28	5614	14.8	14.9	15.1	139.3	6.87
5	29	5525	15.2	15.0	15.3	131.3	7.25
5	30	5570	14.9	14.8	14.9	157.9	6.51
6	1	5187	13.5	13.6	13.4	118.7	8.51
6	2	5679	15.7	15.3	15.2	147.3	7.30
6	3	5712	16.0	15.9	15.8	170.1	5.75
6	4	5497	15.2	15.1	15.2	144.4	8.60
6	5	5689	15.6	15.4	15.4	182.8	7.22
6	6	5723	14.9	15.0	15.3	154.2	6.67
6	7	5551	15.6	15.3	15.4	160.7	7.77
6	8	5656	15.1	14.9	15.3	110.6	7.61
6	9	5683	15.0	15.0	15.1	175.4	7.85
6	10	5696	15.3	15.4	15.4	164.3	7.01
6	11	5687	15.1	15.4	15.2	145.6	7.51
6	12	5609	15.3	15.4	15.7	164.4	7.40
6	14	5678	15.1	15.3	14.9	160.3	7.31
6	15	5584	14.8	15.2	15.2	154.2	7.25
6	16	5647	14.7	15.3	15.3	149.9	6.80
6	17	5528	15.1	15.2	15.1	144.4	7.24
6	18	5568	14.8	15.1	15.2	188.1	6.69
6	19	5629	15.2	15.1	15.1	167.4	6.92
6	20	5695	15.2	15.5	15.3	168.1	6.71
6	21	5695	14.9	14.8	14.9	160.9	7.12
6	22	5624	15.0	15.1	15.0	140.7	7.54

ตารางที่ ก.1 ค่าผลการทดสอบการยืนยันผลการทดลอง แบบเต็มกำลังการผลิต (ต่อ)

กะที่	แผ่นที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	ความหนาด้านซ้าย (เซนติเมตร)	ความหนาตรงกลาง (เซนติเมตร)	ความหนาด้านขวา (เซนติเมตร)	ความแข็งแรงกระเบื้องณ จำหน่าย (กิโลกรัม)	อัตราดูดซึมน้ำ (%)
6	23	2604	14.6	14.8	14.7	142.3	7.03
6	24	2634	14.9	15.1	15.3	161.0	6.78
6	25	5717	15.3	15.1	15.3	149.0	6.95
6	26	5612	15.2	15.2	15.4	147.9	6.57
6	27	5628	15.2	15.0	15.1	161.8	7.01
6	28	5593	15.2	15.5	15.4	164.9	7.68
6	29	5506	14.8	15.1	15.4	119.1	7.37
6	14	5678	15.1	15.3	14.9	160.3	7.31
6	15	5584	14.8	15.2	15.2	154.2	7.25
6	16	5647	14.7	15.3	15.3	149.9	6.80
6	17	5528	15.1	15.2	15.1	144.4	7.24
6	18	5568	14.8	15.1	15.2	188.1	6.69
6	19	5629	15.2	15.1	15.1	167.4	6.92
6	20	5695	15.2	15.5	15.3	168.1	6.71
6	21	5695	14.9	14.8	14.9	160.9	7.12
6	22	5624	15.0	15.1	15.0	140.7	7.54
6	23	2604	14.6	14.8	14.7	142.3	7.03
6	24	2634	14.9	15.1	15.3	161.0	6.78
6	25	5717	15.3	15.1	15.3	149.0	6.95
6	26	5612	15.2	15.2	15.4	147.9	6.57
6	27	5628	15.2	15.0	15.1	161.8	7.01
6	28	5593	15.2	15.5	15.4	164.9	7.68
6	29	5506	14.8	15.1	15.4	119.1	7.37
6	30	5551	15.4	15.5	15.6	151.4	7.28

ภาคผนวก ข
มาตราฐานการทำงาน และ แบบฟอร์มที่เกี่ยวข้อง

อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล

ข้อควรระวังด้านสิ่งแวดล้อม/ความปลอดภัย

Safety : 1. สวมหมวกนิรภัยขณะปฏิบัติงาน
2. ใส่ที่ครอบหูและสวมถุงมือทุกครั้งก่อนทำงาน
3. ใส่รองเท้า Safety ขณะปฏิบัติงาน

Environment : ให้ระวังอันตรายจากการยกค้อนกระแทกมือ

1.0 ผู้ใช้งาน : พนักงานประจำโรงบดกระเบื้อง

2.0 วัตถุประสงค์ : เพื่อควบคุมค่าเข็มประสิทธิ์ความละเอียดของแกนกระเบื้องบด

3.0 เครื่องมือและอุปกรณ์ :

1. ป้ายห้ามเดินเครื่องจักร (Tag Out)
2. หมวกนิรภัย
3. หน้ากากป้องกันฝุ่น
4. รองเท้า safety
5. ถุงมือผ้า
6. ประแจปากผสม เบอร์ 21
7. ค้อน

4.0 เอกสารอ้างอิง

GN-F-QC-133

5.0 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

ภาพประกอบ	รายละเอียด	สิ่งที่ต้องควบคุม
	1.กดปุ่ม Emergency แขวนป้ายห้ามเดินเครื่องจักร และปิด Switch ควบคุมมอเตอร์ชุด Hammer Mill 2.ใช้ประแจปากผสมเบอร์ 21 ขันสกรูยึดฝาครอบชุด Hammer Mill และเปิดฝาครอบ Hammer Mill ออก 3.ถอดค้อนชุดเก่าออกจากแท่นยึดทั้ง 4 ชุด 4.นำค้อนชุดใหม่มาใส่รูร้อยแฮมเมอร์ Daimeter เล็ก และร้อยแฮมเมอร์เข้ากับแท่นยึดทั้ง 4 ชุด โดยให้ปลายของแฮมเมอร์ทั้ง 2 ด้าน โผล่ออกจากค้อนเท่า ๆ กัน 5.ปิดฝาครอบ Hammer Mill และขันสกรูยึดให้แน่น 6.ปลดป้ายห้ามเดินเครื่องจักร (Tag Out)	1.ค่าเข็มประสิทธิ์ความละเอียดของแกนกระเบื้องบด 2.0 ± 0.1 2.ชั่วโมงการทำงานของค้อน ซึ่งค้อนหนึ่งชุดใช้ได้ 4 ครั้งคือ 2.1 ครั้งที่ 1 และ 2 ใส่ที่รู Daimeter เล็ก ใช้ได้ครั้งละ 1.50 ชั่วโมง 2.2 ครั้งที่ 3 และ 4 ใส่ที่รู Daimeter ใหญ่ ใช้ได้ครั้งละ 1.10 ชั่วโมง หมายเหตุ ชั่วโมงการทำงานของค้อนแต่ละครั้งขึ้นอยู่กับค่าเข็มประสิทธิ์ความละเอียดของแกนกระเบื้องบดที่ต้องการ

.

รูปที่ ข.1. มาตราฐานการการเปลี่ยนค้อนบดเศษกระเบื้องบด (GNWPD190)

อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล	ข้อควรระวังพิเศษเกี่ยวกับความปลอดภัย
	Safety : 1. สวมหมวกนิรภัยขณะปฏิบัติงาน 2. ใส่ที่ครอบหูและสวมถุงมือทุกครั้งก่อนทำงาน 3. ใส่รองเท้า Safety ขณะปฏิบัติงาน Environment : ให้ระวังอันตรายจากการยกหนักและแหลมคม

1.0 ผู้ใช้งาน : พนักงานประจำโรงบดกระเบื้อง

2.0 วัตถุประสงค์ : เพื่อควบคุมห้ามสัมประสิทธิ์ความละเอียดของเศษกระเบื้องบด

3.0 เครื่องมือและอุปกรณ์ :

1. ป้ายห้ามเดินเครื่องจักร (Tag Out)
2. หมวกนิรภัย
3. หน้ากากป้องกันฝุ่น
4. รองเท้า safety
5. ถุงมือผ้า
6. ประแจปากผสม เบอร์ 21
7. ค้อน
8. ประแจปากผสมเบอร์ 24

4.0 เอกสารอ้างอิง

GN-F-QC-133

5.0 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

ภาพประกอบ	รายละเอียด	จุดที่ต้องควบคุม
	1.กดปุ่ม Emergency แขวนป้ายห้ามเดินเครื่องจักร และปิด Switch ควบคุมมอเตอร์ชุด Hammer Mill 2.ใช้ประแจปากผสมเบอร์ 21 ขันสกรูยึดฝาครอบชุด Hammer Mill และเปิดฝาครอบ Hammer Mill ออก 3.นอตค้อนออกจากแท่นยึดทั้ง 4 ชุด 4.ใช้ประแจปากผสมเบอร์ 24 ขันสกรูล็อคชี่ตะแกรงและนอตหมอนล็อคชี่ตะแกรงออก 5.นอตชี่ตะแกรงเก่าออกทั้งหมด 6.นำชี่ตะแกรงชุดใหม่ประกอบเข้าจนครบ 7.ประกอบหมอนล็อคชี่ตะแกรงและล็อคสกรูให้แน่น 8.ประกอบค้อนเข้ากับแท่นยึด 9.ปิดฝาครอบ Hammer Mill และขันสกรูยึดให้แน่น 10.ปลดป้ายห้ามเดินเครื่องจักร (Tag Out)	การเปลี่ยนชี่ตะแกรงขึ้นอยู่กับการสึกของชี่ตะแกรงอยู่ที่ 7 มม.

รูปที่ 2 ข.2. มาตราฐานการเปลี่ยนตะแกรงเครื่องบดเศษ (GNWPD191)

รายงานการทดสอบคุณภาพเศษกระเบื้องบด

วันที่ผลิต ...../...../..... กะ ..... โรงงาน .....

การทดสอบหาขนาดคละของเศษกระเบื้องบด

ตะแกรง หมายเลข	นน.	นน.ค้าง	% ค้าง	% ค้าง สะสม
#4				
#8				
#16				
#30				
#50				
#100				
#200				
ถาด				
	F.M.		ค่าควบคุม 2.0 ± 0.1	ค่าจริง

การประเมินขนาดคละและสภาพทั่วไป

ผลการทดสอบ

☐ ผ่านเกณฑ์

☐ ไม่ผ่านเกณฑ์

ผู้ทดสอบ.....

การนำไปใช้งาน

☐ ไม่อนุมัติให้นำไปใช้

☐ อนุมัติให้นำไปใช้

หง.ผลิต .....

วันที่ ..... / ..... / .....

หมายเหตุ: หากผลทดสอบขนาดคละไม่ผ่านเกณฑ์ ให้พิจารณาทำการปรับเปลี่ยนรอบค้อนบดเศษกระเบื้องบ ตามวิธีการระบุในGN-W-PD-190 หรือ ทำการเปลี่ยนรอบตะแกรงเครื่องบดเศษกระเบื้องบด ตามวิธีการระบุในGN-W-PD-191

รูปที่ ข.3. รายงานการทดสอบคุณภาพเศษกระเบื้องบด (GNFQC133)

รายงานการทดสอบส่วนผสมปูนทราย

วันที่ผลิต...../...../..... กะ ..... รุ่นที่ ..... สี ..... โรงงาน .....

เปอร์เซ็นต์เถ้าลอยต่อปูนรวมเถ้าลอย$F/(C+F)$ ..... % เปอร์เซ็นต์ความชื้นทรายเมื่อเริ่มผลิต ..... % (ช.ท.)

อัตราส่วนผสมทรายต่อปูนรวมเถ้าลอย$S/(C+F)$ ..... เปอร์เซ็นต์ความชื้นส่วนผสม ..... %

เวลา	ลักษณะการทดสอบ		น้ำหนักส่วนผสม (กก.)					ค่าความชื้นทรายที่ตั้งไว้ที่เครื่องผสมวัดอุดิบ	คุณสมบัติส่วนผสม				การคำนวนเพื่อปรับแก้ความชื้น		Pass / No Pass
	ปกติ	ซ้ำ	ปูน (ป)	ปูนรวมเถ้าลอย (ป+ถ)	ทราย (ท)	กระเบื้องบด (ก.บ.)	น้ำ (น)	(ศ)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นส่วนผสม (%) (ช)	อัตราส่วนผสม S/(C+F) (ท+ก.บ.) x (1-ค/100) / ป+ถ	เปอร์เซ็นต์เถ้าลอย F/(C+F)x100 ((ป+ถ)-ป)x100 / (ป+ถ) (%)	อัตราส่วนเศษกระเบื้องบด ก.บ. / (ท-(ทx ช.ท.))+ก.บ.)	ปริมาณน้ำในส่วนผสม (ป+ถ+ท+ก.บ.+น)x ช / 100 (ผ)	ค่าความชื้นทรายจริง (ผ - น) x 100 / ท	
เฉลี่ย															

หมายเหตุ

รูปที่ ข.4. แบบฟอร์มรายงานการทดสอบส่วนผสมปูนทราย (GNFQC302)

	มาตรฐานการทำงาน(SOP)	โรงงานกระเบื้องสระบุรี2
เรื่อง : ขั้นตอนการ Blend มวลรวม	ผู้ปฏิบัติงาน : พนักงานควบคุมคุณภาพ	
วันที่ ...../...../.....	ผู้ปฏิบัติงาน :.....	ผู้อนุมัติ :.....

ลำดับ	ขั้นตอน	รายละเอียดงาน	การตรวจสอบ
1	นำค่าทรายหยาบและทรายละเอียด จากผลทดสอบของหน่วยงานQC ใส่ลงในสูตร เพื่อหาแหล่งทรายที่สามารถใช้งานได้ และ จะได้รู้ว่าต้องใช้ทรายแต่ละแหล่งจำนวนกี่เปอร์เซ็นต์ เช่น ทรายหยาบกี่เปอร์เซ็นต์และทรายละเอียดกี่เปอร์เซ็นต์ เพื่อใช้ในการ Blend แต่ละครั้ง		ทรายที่จะนำมา Blend ต้องผ่านเกณฑ์ และมีจำนวนมากพอที่จะ Blend ในแต่ละครั้ง ☐ ผ่าน ☐ ไม่ผ่าน
2	เมื่อได้ค่าทรายที่ต้องการอยู่ในค่าควบคุมให้ทำการ Print เอกสารส่งให้ ผู้มีอำนาจในการตัดสินใจ อนุมัติเพื่อทำการสั่ง Blend (เอกสาร GN-F-PD-311)		ค่าทรายที่จะนำมา Blend ต้องอยู่ในค่าควบคุม ให้เข้าใกล้ค่ากลางมากที่สุด ☐ ผ่าน ☐ ไม่ผ่าน
3	เมื่อได้รับการอนุมัติแล้ว ให้รถตักทรายตักทรายตามแหล่งและจำนวนทรายตามที่ต้องการและให้ดำเนินการโปรยทรายดังนี ขั้นที่ 1ให้โปรยทรายหยาบลงเป็นอันดับแรกก่อน ขั้นที่ 2 ให้โปรยทรายละเอียดลงทับทรายหยาบเป็นชั้นที่ 2 ขั้นที่ 3 ให้โปรยเศษกระเบื้องบดลงทับบนทรายละเอียดอีกชั้น เป็นชั้นที่3 (กรณีมีการใช้เศษกระเบื้องบด)		พนักงานขับรถตักทราย ทำตามขั้นตอนอย่างถูกต้อง ☐ ผ่าน ☐ ไม่ผ่าน
4	เมื่อทำการโปรยทรายจนครบตามต้องการแล้วให้รถตักเริ่มคลุกให้เข้ากันเป็นเวลา30 นาที ตรวจสอบดูว่ามวลรวมเข้ากันหรือไม่ โดยการสังเกตุสีของกองมวลรวมต้องสม่ำเสมอไม่เห็นความแตกต่างกันระหว่างกัน ถ้าพบให้ทำการคลุกใหม่ทันที		พนักงานขับรถตักทราย ทำงานได้ตามเวลา และการตรวจสอบสีของมวลรวม ไม่ผิดปกติ ☐ ผ่าน ☐ ไม่ผ่าน
5	เมื่อรถตักทรายทำการคลุกเรียบร้อยแล้ว ให้ทำการสุ่มหยิบมวลรวม4 ด้านของมวลรวม ให้ได้ประมาณ 2 ก.ก. (GN-W-QC-101การทดสอบหาขนาดคละ สัมประสิทธิ์ความละเอียด และความชื้นของมวลรวมผสมดิ)		
6	ทำการคลุกทรายด้วยมือ ในถาดอีกครั้งหนึ่งประมาณ5 นาที แล้วเกลี่ยทรายให้เต็มทั้งถาด ทำการแบ่งทรายเป็น 4 ส่วน เท่าๆกัน ตักในส่วนที่ 1 และ 3 มาทำการทดสอบ (GN-W-QC-101การทดสอบหาขนาดคละ สัมประสิทธิ์ความละเอียด และความชื้นของมวลรวมผสมดิ)		
7	ทำการ Test Sieve โดยเครื่อง ตามขั้นตอนมาตรฐาน และที่สำคัญต้องขุดทรายออกจากตะแกรงให้หมดทุกครั้งเพื่อไม่ให้เกิดค่า Error (GN-W-QC-101การทดสอบหาขนาดคละ สัมประสิทธิ์ความละเอียด และความชื้นของมวลรวมผสมดิ)		
8	นำค่ามวลรวมที่ได้จากการ Sieve มาลงข้อมูลในFile เพื่อดูค่าต่างๆว่าอยู่ในเกณฑ์ควบคุมหรือไม่ จากนั้น Print เพื่อให้ ผู้มีอำนาจในการตัดสินอนุมัติตรวจสอบค่าต่าง (เอกสาร SB2-F-PD-324)		ค่าทรายที่ได้หลังการ Blend ต้องอยู่ในค่าควบคุม ☐ ผ่าน ☐ ไม่ผ่าน
9	ถ้าค่าทรายอยู่ในค่าควบคุมทั้งหมด ให้รถตักทรายดันทรายเข้ายุ้งเพื่อรอใช้งาน กรณีค่าไม่อยู่ในควบคุมให้ทำการ Blend เพิ่ม หรือ ปรับโดยใช้ทรายอีกแหล่งหนึ่ง		

รูปที่ ข.5. แบบฟอร์มรายงานการตรวจสอบการผสมมวลรวมนอกสายการผลิต (SB2PD341)

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายศรุต จุฑานนท์ เกิดวันที่ 8 พฤษภาคม พ.ศ.2527 ที่จังหวัดอุตรดิตถ์ สำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาบัณฑิต จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในปีการศึกษา 2548 และ เข้าทำงานที่บริษัทผลิตกระเบื้องหลังคาแห่งหนึ่ง ในตำแหน่งวิศวกรพัฒนากระบวนการ ต่อมาเข้าศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปี 2552