

การปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิตกระเบื้องปัสกิตโดยใช้วิธีการออกแบบการทดลอง



นายธีรยุทธ์ ยกชีว

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

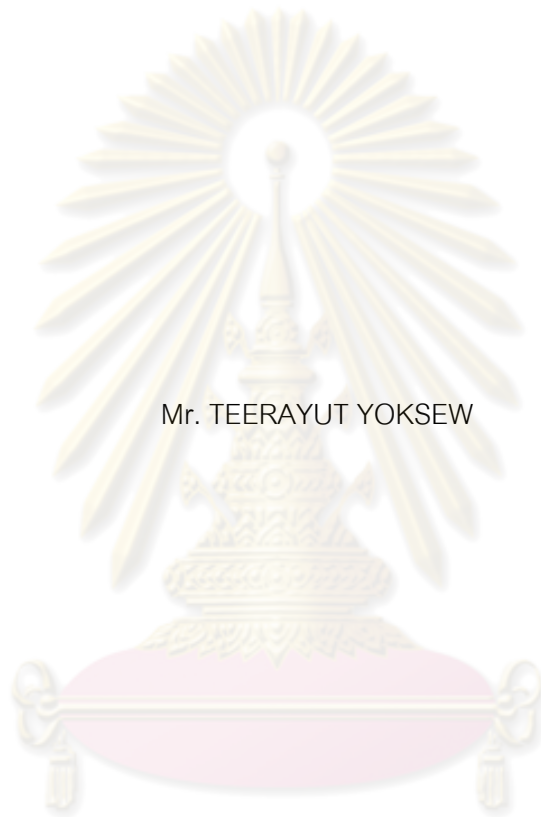
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

IMPROVING THE MANUFACTURING PROCESS QUALITY OF BISCUIT TILES USING
DESIGN OF EXPERIMENT METHOD



Mr. TEERAYUT YOKSEW

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิต กระเบื้อง
บิสกิต โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลอง

โดย

นายธีรยุทธ์ ยกชีว

สาขาวิชา

วิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศสิทธิ์วงค์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สมชาย พวงเพ็กคึก)


..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์จรรณ มหิธาพองกุล)

ธีรยุทธ์ ยกชี้้ว : การปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิต กระเบื้องบิสกิต โดยใช้วิธีการ ออกแบบการทดลอง. (IMPROVING THE MANUFACTURING PROCESS QUALITY OF BISCUIT TILES USING DESIGN OF EXPERIMENT) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ.ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ, 161 หน้า.

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตของกระเบื้องบิสกิต ซึ่งใช้เทคนิค การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล (Factorial Design) โดยมีตัวแปรตอบสนองที่สนใจ 2 ตัวคือ ขนาดของกระเบื้องด้าน 8 นิ้วและด้าน 10 นิ้ว เนื่องมาจากในกระบวนการผลิต กระเบื้อง บิสกิตขนาด 8x10 นิ้ว มีปริมาณของเสียประเภทขนาดไม่ได้มาตรฐานเกิดขึ้นในระหว่างการผลิต โดยก่อนการปรับปรุงมีปริมาณของเสียกระเบื้องบิสกิตที่เกิดจากด้าน 8 นิ้ว และ 10 นิ้ว เกิดขึ้น 19,117 และ 10,625 DPPM โดยมีดัชนีความสามารถของกระบวนการผลิต (C_{pk}) เป็น 0.69 และ 0.83 ตามลำดับ

จากการใช้แผนผังก้างปลาและการวิเคราะห์สาเหตุของลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) พบว่าปัจจัยที่ถูกเลือกและใช้ในการทดลองเบื้องต้นโดยเทคนิคการออกแบบเศษส่วนเชิง แฟกทอเรียลแบบสองระดับ (2^{k-p} Fractional Factorial Design) มี 4 ปัจจัย ได้แก่ อัตราการป้อน ผงดิน (Feeder Setting) แรงอัดขึ้นรูปกระเบื้อง (2^{nd} Stroke Pressure) อัตราการเผาไหม้ภายใน เตาเผา (Burner modulation) และอุณหภูมิในการเผา (Firing Temperature)

จากผลการทดลองเบื้องต้นทำให้เหลือปัจจัยที่ใช้ในการทดลองต่อเพียง 3 ปัจจัย ได้แก่ อัตราการป้อนผงดิน(Feeder Setting) แรงอัดขึ้นรูปกระเบื้อง(2^{nd} Stroke Pressure) และอุณหภูมิ ในการเผา (Firing Temperature) เมื่อทำการทดลองโดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบ 2^k Factorial design พบว่าปัจจัยอัตราการป้อนผงดิน(Feeder Setting) ไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญ ส่วน 2 ปัจจัยที่เหลือนำไปกำหนดค่าระดับที่เหมาะสมเพื่อให้ค่าขนาดของกระเบื้องทั้ง 4 ด้านได้ ตามมาตรฐาน โดยกำหนดแรงอัดขึ้นรูปกระเบื้อง(2^{nd} Stroke Pressure) ที่ 240 bar และอุณหภูมิ ในการเผา(Firing Temperature) ที่ 1130°C แล้วทำการทดสอบเพื่อยืนยันผลก่อนนำไปใช้ในการ ผลิตจริง โดยผลหลังจากการปรับปรุงกระบวนการผลิต มีปริมาณของเสียกระเบื้องบิสกิตที่เกิดจาก ด้าน 8 นิ้วและ 10 นิ้ว เหลือเพียง 8,196 และ 1,378 DPPM โดยมีดัชนีความสามารถของ กระบวนการผลิต (C_{pk}) เพิ่มขึ้นเป็น 0.81 และ 1.02 ตามลำดับ

ภาควิชา.....วิศวกรรมอุตสาหการ.....ลายมือชื่อนิสิต.....
 สาขาวิชา.....วิศวกรรมอุตสาหการ.....ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
 ปีการศึกษา...2552

5071422221 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS : DESIGN OF EXPERIMENT / DEFECT PART PER MILLION / PROCESS CAPABILITY / 2^{k-p} FRACTIONAL FACTORIAL DESIGN / 2^k FACTORIAL DESIGN

TEERAYUT YOKSEW: IMPROVING THE MANUFACTURING PROCESS QUALITY OF BISCUIT TILES USING DESIGN OF EXPERIMENT METHOD.

THESIS ADVISOR: ASST.PROF.SOMKIAT TANGJITSITCHAREON, D.Eng.,

161 pp.

The objective of this research is to improve the manufacturing process of Biscuits Tiles using Design of Experiment; Factorial Design. This Factorial design was being carried out based on two interesting response variables; tile size 8 inch in breadth and 10 inch in length. Because of the manufacturing process of Biscuits Tile size 8x10 inch, there was a lot of waste as a result of non-standard size. Before improvement, there was 19,117 DPPM of waste on the 8 inch side and 10,625 DPPM on the 10 inch side which caused the process capability index (C_{pk}) to be 0.69 and 0.83 respectively.

From the C&ED and FMEA, It was found that the factor which was selected and used in the first experiment by 2^{k-p} Fractional Factorial Design had 4 factors which were Feeder Setting, 2nd Stroke Pressure, Burner Modulation and Firing Temperature.

By considering the result above, 3 factors; Feeder Setting, 2nd Stroke Pressure and Firing Temperature, were used in the next experiment. The result of 2^k Factorial design found that the Feeder Setting did not have any significant impact on size of the tiles. After that, the 2nd Stroke Pressure was fixed at 240 bar and the Firing Temperature was fixed at 1,130 °C in order to make the size of the Biscuits Tiles standard size. Then, they were tested for assurance before use in the manufacturing process. After improvement it was found that the amount of waste from the non-standard size of Biscuits Tiles on the 8 inch side and the 10 inch side were 8,196 and 1,378 DPPM which caused the capability index (C_{pk}) to increase to 0.81 and 1.02 respectively.

Department : Industrial Engineering.....

Student's Signature .....

Field of Study : Industrial Engineering.....

Advisor's Signature .....

Academic Year : 2009.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์เป็นอย่างดีของอาจารย์ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งเป็นผู้ให้คำแนะนำ ทั้งทฤษฎีและหลักการที่นำมาประยุกต์ใช้กับงานจริงในการทำวิทยานิพนธ์ ด้วยดี รวมถึงข้อคิดเห็นต่าง ๆ ในการทำวิจัยมาโดยตลอด รวมถึง รองศาสตราจารย์ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย ประธานกรรมการสอบ รองศาสตราจารย์สมชาย พวงเพิกคี่ก กรรมการ และ รองศาสตราจารย์จรูญ มหิทธิภาพงกุล กรรมการภายนอก ที่ได้ชี้แนะให้วิทยานิพนธ์มีความถูกต้อง สมบูรณ์ พร้อมทั้งตรวจสอบแก้ไข ข้อบกพร่องภายในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้ทำวิจัยใคร่ขอกราบพระคุณอาจารย์ทุกท่านเป็นอย่างสูง ไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณโรงงานกรณีศึกษา ผู้บริหาร หัวหน้าแผนก ทุกคนที่ให้ความร่วมมือ รวมทั้งหัวหน้าพนักงานและวิศวกรฝ่ายผลิตทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือ สละเวลา ข้อมูล ความคิดเห็น และมีส่วนร่วมในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

ท้ายนี้ประโยชน์และความดีอันพึงเกิดขึ้นจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอขอบแต่บิดา มารดา พี่น้อง เพื่อนนิสิตและเพื่อนร่วมงาน นอกจากนั้นขอขอบคุณทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวไว้ในที่นี้ ที่กรุณาให้ความร่วมมือช่วยเหลือ และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จ ด้วยดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	6
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	6
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	7
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	8
1.6 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ.....	8
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 การออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์การทดลองเชิงสถิติ.....	9
2.2 หลักการพื้นฐานของการออกแบบการทดลอง.....	11
2.3 แนวทางในการออกแบบการทดลอง.....	12
2.4 การเลือกแบบการทดลอง.....	13
2.5 หลักการทางสถิติที่จำเป็นในการวิเคราะห์ข้อมูล.....	19
2.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวน(Analysis of Variance; ANOVA).....	23
2.7 การวิเคราะห์ข้อบกพร่องในกระบวนการผลิต (Failure Mode and Effect Analysis).....	27
2.8 การสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	32
บทที่ 3 ศึกษากระบวนการผลิตกระเบื้องบิสกิต	
3.1 กระบวนการอัดขึ้นรูปกระเบื้อง (Pressing Processing).....	39
3.2 กระบวนการอบกระเบื้อง (Drying Processing).....	40

บทที่	หน้า
บทที่ 3 ศึกษากระบวนการผลิตกระเบื้องบิสกิต	
3.3 กระบวนการเผากระเบื้องบิสกิต (Biscuit Firing).....	40
3.4 กระบวนการตกแต่ง (Glazing Processing).....	43
3.5 กระบวนการเผากระเบื้องที่ผ่านการตกแต่งลดลาย (Glost Firing Processing).....	43
3.6 กระบวนการคัดเลือก (Sorting Processing).....	44
บทที่ 4 วิธีดำเนินการวิจัย	
4.1 การกำหนดตัวแปรตอบสนอง (Response Variables).....	45
4.2 การเลือกปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง.....	45
4.3 การเลือกแผนการออกแบบการทดลอง.....	50
4.4 การเตรียมวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....	51
4.5 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	52
4.6 ขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิต กระเบื้องบิสกิต.....	53
บทที่ 5 ผลการศึกษาและวิเคราะห์ปัจจัย	
5.1 การรวบรวมปัจจัยที่มีผลต่อขนาดกระเบื้องบิสกิต.....	54
5.2 การคัดเลือกปัจจัยสำหรับการทดลองเบื้องต้น.....	56
5.3 การทดลองเบื้องต้นเพื่อคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง.....	69
5.4 ผลการคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองในการทดลองเบื้องต้น.....	84
บทที่ 6 ผลการทดลองและการวิเคราะห์	
6.1 การออกแบบการทดลองเพื่อปรับปรุงค่าขนาดของกระเบื้องบิสกิต.....	85
6.2 ผลการทดลองเพื่อปรับปรุงค่าขนาดของกระเบื้องบิสกิต.....	85
6.3 การทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลอง.....	101
บทที่ 7 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
7.1 บทนำ.....	104
7.2 สรุปผลจากการค้นหาสาเหตุของปัญหาด้วยแผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram).....	104
7.3 สรุปผลการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA).....	105

บทที่	หน้า
บทที่ 7 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
7.4 สรุปผลการทดลองเบื้องต้นโดยการออกแบบการทดลองแบบ 2^{k-p} Fraction Factorial design.....	105
7.5 สรุปผลการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design)....	106
7.6 ปัญหาและอุปสรรคในการวิจัย.....	107
7.7 ข้อจำกัดของงานวิจัยนี้.....	108
7.8 ข้อเสนอแนะ.....	108
รายการอ้างอิง.....	110
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก.....	113
ภาคผนวก ข.....	115
ภาคผนวก ค.....	121
ภาคผนวก ง.....	127
ภาคผนวก จ.....	132
ภาคผนวก ฉ.....	141
ภาคผนวก ช.....	145
ภาคผนวก ซ.....	148
ภาคผนวก ฌ.....	149
ภาคผนวก ฎ.....	150
ภาคผนวก ฏ.....	152
ภาคผนวก ฐ.....	153
ภาคผนวก ส.....	155
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	161

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	การตัดสินใจในการทดสอบสมมติฐาน.....	21
2.2	การวิเคราะห์ความแปรปรวน สำหรับ One-way ANOVA.....	24
2.3	การวิเคราะห์ความแปรปรวน สำหรับการทดลองแบบสุ่มในบล็อก.....	26
2.4	การวิเคราะห์ความแปรปรวน สำหรับ Two – Factor Fixed Effect Model.....	27
4.1	แสดงเหตุผลที่ไม่เลือกปัจจัยต่าง ๆ เบื้องต้น.....	48
5.1	เกณฑ์การประเมินความรุนแรง (S) สำหรับ FMEA.....	57
5.2	เกณฑ์การประเมินความถี่ในการเกิด (O) สำหรับ FMEA.....	58
5.3	เกณฑ์การประเมินความเป็นไปได้ในการตรวจพบ (D) สำหรับ FMEA.....	58
5.4	การประเมินความถี่ในการเกิดผลกระทบจากปัจจัย.....	62
5.5	FMEA สำหรับกระบวนการผลิตกระเบื้องปิสกิต.....	66
5.6	ปัจจัยที่ใช้ในการทดลองเบื้องต้น.....	68
5.7	ปัจจัยที่ถูกควบคุมในการทดลองเบื้องต้น.....	68
5.8	ระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองเบื้องต้น.....	71
5.9	ตารางการเก็บข้อมูลในการทดลองเบื้องต้น.....	72
5.10	ตารางแสดงผลการทดลองเบื้องต้น.....	72
5.11	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียล (2^{k-p} Fractional Factorial Design) ของขนาดกระเบื้องด้าน 8 นิ้ว.....	79
5.12	Effects และ Coefficients สำหรับค่าขนาดกระเบื้องด้าน 8 นิ้ว แบบ Coded Unit.....	79
5.13	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียล (2^{k-p} Fractional Factorial Design) ของขนาดกระเบื้องด้าน 10 นิ้ว.....	83
5.14	Effects และ Coefficients สำหรับค่าขนาดกระเบื้องด้าน 10 นิ้ว แบบ Coded Unit.....	83
5.15	ปัจจัยหลักในการออกแบบการทดลอง.....	84
5.16	ปัจจัยที่ถูกควบคุมเพิ่มเติมในการออกแบบการทดลอง.....	84
6.1	ตารางการเก็บข้อมูลในการออกแบบการทดลอง.....	85
6.2	ตารางผลการเก็บข้อมูลในการออกแบบการทดลอง.....	86

ตารางที่		หน้า
6.3	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design) ของขนาดกระเบื้องด้าน 8 นิ้ว.....	92
6.4	Effects และ Coefficients สำหรับค่าขนาดกระเบื้องด้าน 8 นิ้ว แบบ Coded Unit.....	92
6.5	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design) ของขนาดกระเบื้องด้าน 10 นิ้ว.....	96
6.6	Effects และ Coefficients สำหรับค่าขนาดกระเบื้องด้าน 10 นิ้ว แบบ Coded Unit.....	96
6.7	Interaction Plot ของปัจจัยที่มีผลต่อค่าขนาดของกระเบื้องบิสกิตด้าน 8 นิ้ว.....	97
6.8	Main Effects Plot ของปัจจัยที่มีผลต่อค่าขนาดของกระเบื้องบิสกิตด้าน 8 นิ้ว...	98
6.9	Interaction Plot ของปัจจัยที่มีผลต่อค่าขนาดของกระเบื้องบิสกิตด้าน 10 นิ้ว...	98
6.10	Main Effects Plot ของปัจจัยที่มีผลต่อค่าขนาดของกระเบื้องบิสกิตด้าน 10 นิ้ว.	99
6.11	ระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยเพื่อให้ได้ค่าขนาดกระเบื้องบิสกิตมีค่าตรง ตามมาตรฐานการผลิตมากที่สุด.....	100

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
1.1	แสดงของเสียจากกระบวนการผลิตกระเบื้องบุผนัง.....	2
1.2	แสดงของเสียในกระบวนการผลิตกระเบื้องบิสกิต.....	2
1.3	แสดงขนาดกระเบื้องที่มีขนาดเปลี่ยนไป (Work-Size Variations)	3
1.4	แสดงกำลังการผลิตกระเบื้องบิสกิตแต่ละขนาด ที่โรงผลิต4.....	3
1.5	แสดงดัชนีความสามารถของกระบวนการการผลิตกระเบื้องบิสกิตด้าน 10 นิ้ว...	4
1.6	แสดงดัชนีความสามารถของกระบวนการการผลิตกระเบื้องบิสกิตด้าน 8 นิ้ว.....	5
1.7	แสดงกระบวนการการผลิตกระเบื้องบุผนัง.....	6
2.1	แสดงปัจจัยและพารามิเตอร์ของกระบวนการ.....	10
2.2	แสดงอิทธิพลของปัจจัยร่วมที่ไม่มีผล และมีผล.....	17
3.1	แสดง กระบวนการผลิตกระเบื้องบุผนัง.....	38
3.2	แสดงลำดับของการขึ้นรูปกระเบื้อง.....	39
3.3	แสดงเครื่องจักรที่ใช้ในการขึ้นรูปกระเบื้อง.....	39
3.4	แสดงเครื่องอบกระเบื้องแบบแนวนอน (Horizontal Drier)	40
3.5	แสดงเตาเผากระเบื้องบิสกิต (Biscuit Firing Kiln)	40
3.6	แสดงภาพด้านข้าง, ด้านบนและลักษณะตัดขวางในแต่ละส่วนของเตาเผา กระเบื้องบิสกิต.....	42
3.7	แสดงการเคลือบสีโดยใช้เครื่อง (a) Waterfall (Bell unit) (b) Roto Color.....	43
3.8	แสดงอุณหภูมิในแต่ละช่วงของการเผาของกระเบื้องบิสกิตและกระเบื้องเคลือบ สี.....	44
3.9	แสดงเครื่องคัดแยกขนาดและความสมมาตรของกระเบื้องบุผนัง.....	44
4.1	แสดงแผนผังก้างปลา (Fishbone Diagram).....	46
4.2	แสดงแผนผังก้างปลาเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อขนาดกระเบื้องบิสกิต.....	47
4.3	แสดงอุปกรณ์การวัดขนาดกระเบื้องซึ่งรูป (a) คือไต่ระดับ, (b) คือ เวอร์เนียคา ลิปเปอร์.....	51
4.4	ขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพการผลิตกระเบื้องบิสกิต.....	53
5.1	แสดงแผนผังก้างปลาเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อขนาดกระเบื้องบิสกิต.....	54
5.2	แสดงแผนภูมิพาเรโตของตัวเลขแสดงลำดับความเสียของแต่ละปัจจัย.....	68

รูปที่		หน้า
5.3	Pareto Chart แสดงผลของปัจจัยที่มีต่อขนาดกระเบื้องด้าน 8 นิ้ว ในการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียล (2^{k-p} Fractional Factorial Design).....	73
5.4	Normal Probability Plot แสดงผลของปัจจัยที่มีต่อขนาดกระเบื้องด้าน 8 นิ้ว ในการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียล (2^{k-p} Fractional Factorial Design).....	73
5.5	Pareto Chart แสดงผลของปัจจัยที่มีต่อขนาดกระเบื้องด้าน 10 นิ้ว ในการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียล (2^{k-p} Fractional Factorial Design).....	74
5.6	Normal Probability Plot แสดงผลของปัจจัยที่มีต่อขนาดกระเบื้องด้าน 10 นิ้ว ในการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียล (2^{k-p} Fractional Factorial Design).....	75
5.7	กราฟแสดงผลการทดสอบความสุ่ม Residuals Versus the Order of the Data ของขนาดกระเบื้องด้าน 8 นิ้ว.....	76
5.8	กราฟแสดงผลการทดสอบความเป็นปกติของผลการทดลอง ของขนาดกระเบื้องด้าน 8 นิ้ว.....	77
5.9	กราฟแสดงผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าฟิต ของขนาดกระเบื้องด้าน 8 นิ้ว.....	78
5.10	กราฟแสดงผลการทดสอบความสุ่ม Residuals Versus the Order of the Data ของขนาดกระเบื้องด้าน 10 นิ้ว.....	80
5.11	กราฟแสดงผลการทดสอบความเป็นปกติของผลการทดลอง ของขนาดกระเบื้องด้าน 10 นิ้ว.....	81
5.12	กราฟแสดงผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าฟิต ของขนาดกระเบื้องด้าน 10 นิ้ว.....	82
6.1	Pareto Chart แสดงผลของปัจจัยที่มีต่อขนาดกระเบื้องด้าน 8 นิ้ว ในการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design).....	86
6.2	Normal Probability Plot แสดงผลของปัจจัยที่มีต่อขนาดกระเบื้องด้าน 8 นิ้ว ในการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design).....	87

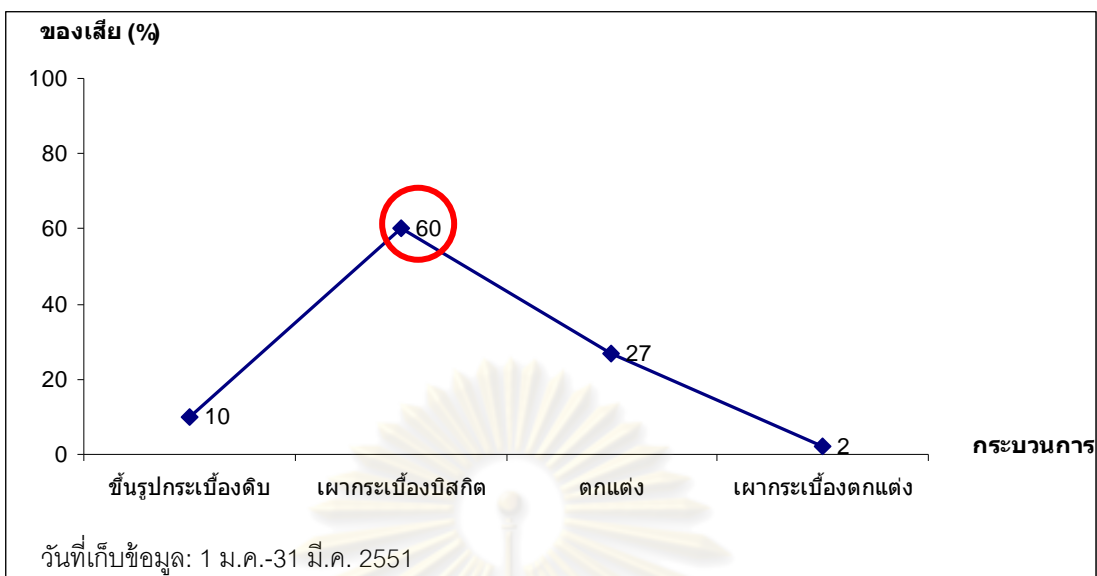
รูปที่		หน้า
6.3	Pareto Chart แสดงผลของปัจจัยที่มีต่อขนาดกระเบื้องด้าน 10 นิ้ว ในการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (2k Factorial Design).....	88
6.4	Normal Probability Plot แสดงผลของปัจจัยที่มีต่อขนาดกระเบื้องด้าน 10 นิ้ว ในการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (2k Factorial Design).....	88
6.5	กราฟแสดงผลการทดสอบความสุ่ม Residuals Versus the Order of the Data ของขนาดกระเบื้องด้าน 8 นิ้ว.....	89
6.6	กราฟแสดงผลการทดสอบความเป็นปกติของผลการทดลอง ของขนาดกระเบื้องด้าน 8 นิ้ว.....	90
6.7	กราฟแสดงผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าฟิต ของขนาดกระเบื้องด้าน 8 นิ้ว.....	91
6.8	กราฟแสดงผลการทดสอบความสุ่ม Residuals Versus the Order of the Data ของขนาดกระเบื้องด้าน 10 นิ้ว.....	93
6.9	กราฟแสดงผลการทดสอบความเป็นปกติของผลการทดลอง ของขนาดกระเบื้องด้าน 10 นิ้ว.....	94
6.10	กราฟแสดงผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าฟิต ของขนาดกระเบื้องด้าน 10 นิ้ว.....	95
6.11	กราฟแสดงผลการปรับตั้งระดับปัจจัยที่เหมาะสม ของขนาดกระเบื้องด้าน 8 นิ้ว และ 10 นิ้ว.....	100
6.12	การทดสอบเพื่อยืนยันความสามารถของกระบวนการสำหรับค่า ขนาดกระเบื้องด้าน 10 นิ้ว.....	101
6.13	การทดสอบเพื่อยืนยันความสามารถของกระบวนการสำหรับค่า ขนาดกระเบื้องด้าน 8 นิ้ว.....	102

บทที่ 1

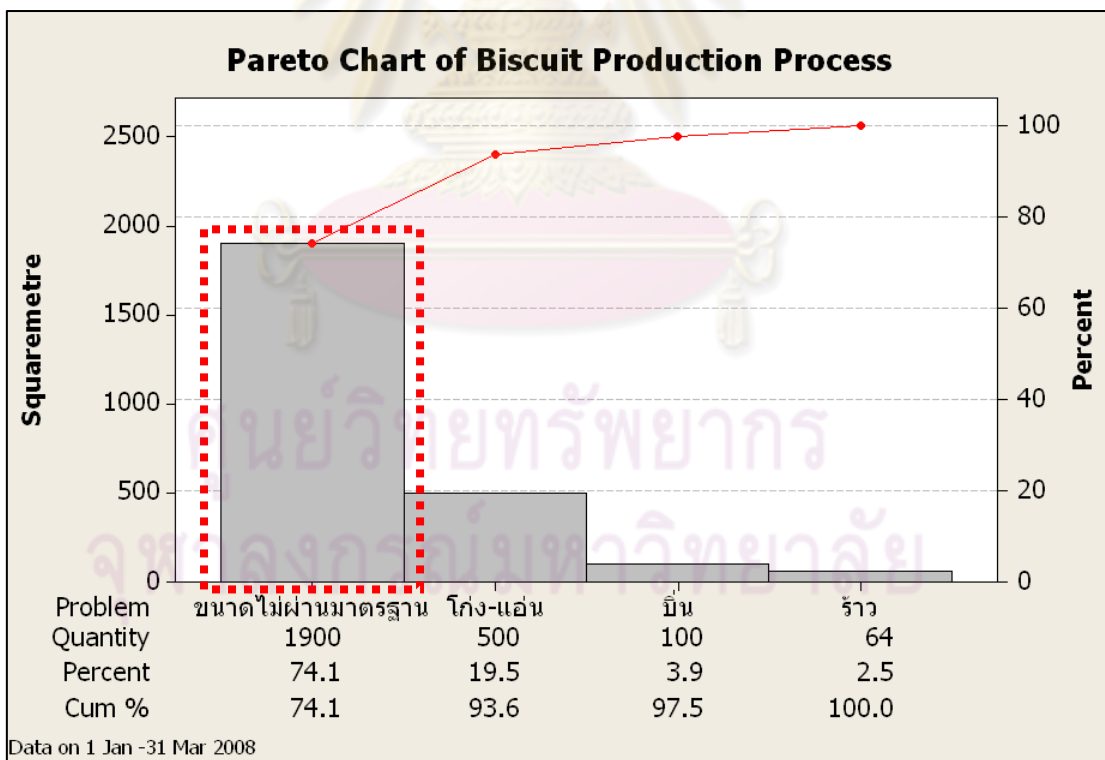
บทนำ

1.1 ความสำคัญและปัญหา

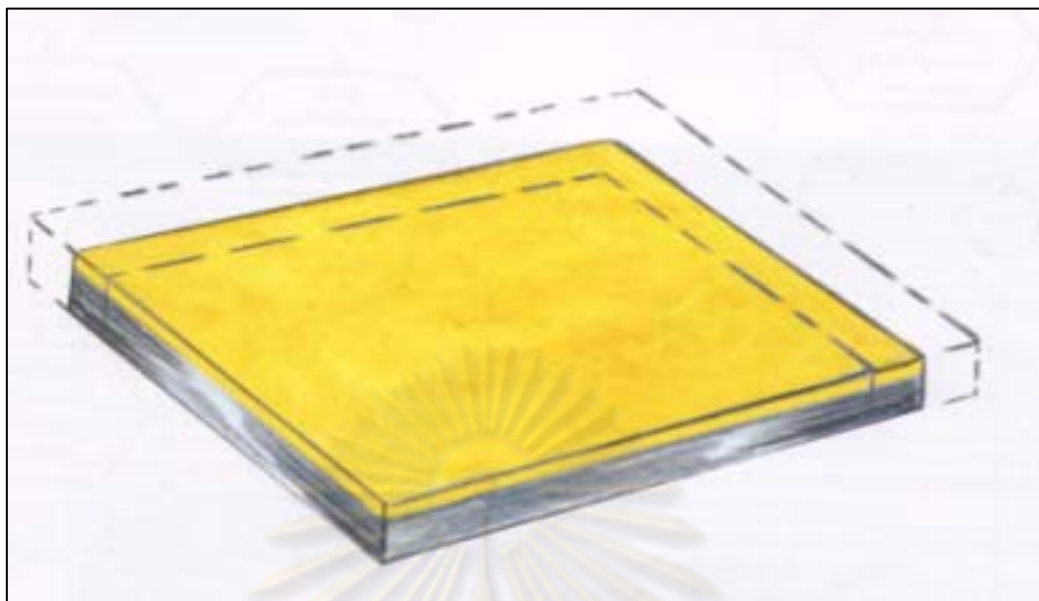
อุตสาหกรรมกระเบื้องเซรามิกส์ นับว่าเป็นอุตสาหกรรมที่มีบทบาทในการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศที่สำคัญอุตสาหกรรมหนึ่ง ทั้งยังมีโอกาสที่จะเติบโตต่อไปในอนาคต และสามารถพัฒนาให้มีขีดความสามารถในการแข่งขันในตลาดโลกได้ กระเบื้องเซรามิกส์(Ceramic Tile) จัดเป็นอุตสาหกรรมเซรามิกส์ประเภทที่ใช้ในงานก่อสร้าง มีคุณสมบัติเป็นสินค้ากึ่งแฟชั่นที่มีวัตถุประสงค์ในการนำไปใช้งานได้หลากหลายรูปแบบทั้งปูพื้น บุนนัง และตกแต่งที่อยู่อาศัย คอนโดมิเนียม และอาคารสำนักงานต่าง ๆ เพื่อเพิ่มความสวยงาม ซึ่งโรงงานผลิตส่วนใหญ่จะมีขนาดใหญ่และได้มาตรฐาน ใช้เงินลงทุนและเทคโนโลยีที่ซับซ้อน โดยการนำเข้าเทคโนโลยีการผลิตจากต่างประเทศ เช่น อิตาลี ซึ่งถือได้ว่าเป็นประเทศผู้นำทางด้านเทคนิคการผลิตกระเบื้องเซรามิกส์ของโลก ทำให้กระเบื้องที่ผู้ผลิตไทยแต่ละรายผลิตได้นั้นมีคุณภาพและมาตรฐานเป็นที่ยอมรับของตลาดทั้งภายในและต่างประเทศ แต่ด้วยภาวะการแข่งขันของตลาดที่มีการแข่งขันที่รุนแรง ทั้งจากสินค้าที่ผลิตได้ภายใน ประเทศและสินค้านำเข้าจากต่างประเทศ ทำให้บริษัทต้องสร้างกลยุทธ์ด้านต่าง ๆ ในการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับสินค้า โดยเฉพาะในเรื่องคุณภาพของผลิตภัณฑ์รวมถึงต้นทุน ซึ่งปัจจุบันในโรงงานผลิตกระเบื้องบุนนัง มีของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตกระเบื้องบิสกิตมากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 1.1 โดยส่วนใหญ่เป็นปัญหาที่เกิดจากกระเบื้องมีขนาดไม่เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดดังแสดงในรูปที่ 1.2 (ข้อมูลแสดงในภาคผนวก ก) และรูปที่ 1.3 ทำให้ไม่สามารถนำมาดำเนินการหรือผลิตต่อได้ และสืบเนื่องจากบริษัทมีนโยบายทางด้านคุณภาพ ซึ่งว่าด้วยการผลิตสินค้าให้ได้คุณภาพ ทั้งรูปแบบและคุณภาพของกระเบื้องเพื่อลดต้นทุนการผลิตลงรวมถึงสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับสินค้ามากขึ้น ดังนั้นเพื่อสนองต่อนโยบายคุณภาพของบริษัท จึงได้ทำการศึกษาเพื่อปรับปรุงคุณภาพและความสามารถในการ กระบวนการ ซึ่งจากการเก็บข้อมูลทำให้พบจุดที่ซึ่งมีโอกาสและแนวโน้มที่จะปรับปรุง ได้แก่ การปรับปรุงคุณภาพและการเพิ่มความสามารถของกระบวนการเพื่อลดโอกาสในการเกิดของเสียจากกระเบื้องที่มีขนาดไม่ได้ตามมาตรฐานที่กำหนด โดยปัญหาส่วนใหญ่เกิดจากความแปรปรวนของกระบวนการที่มีมากเกินไป ดังนั้นกรณีศึกษาจึงเน้นไปที่การลดความผันแปรของกระบวนการ เพื่อเพิ่มค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการ(Process Capability Index) หรือค่า C_{pk} โดยจะเลือกขนาดกระเบื้องที่มีการผลิตมากที่สุด นั่นก็คือ ขนาด 8×10 นิ้ว แสดงดังรูปที่ 1.4



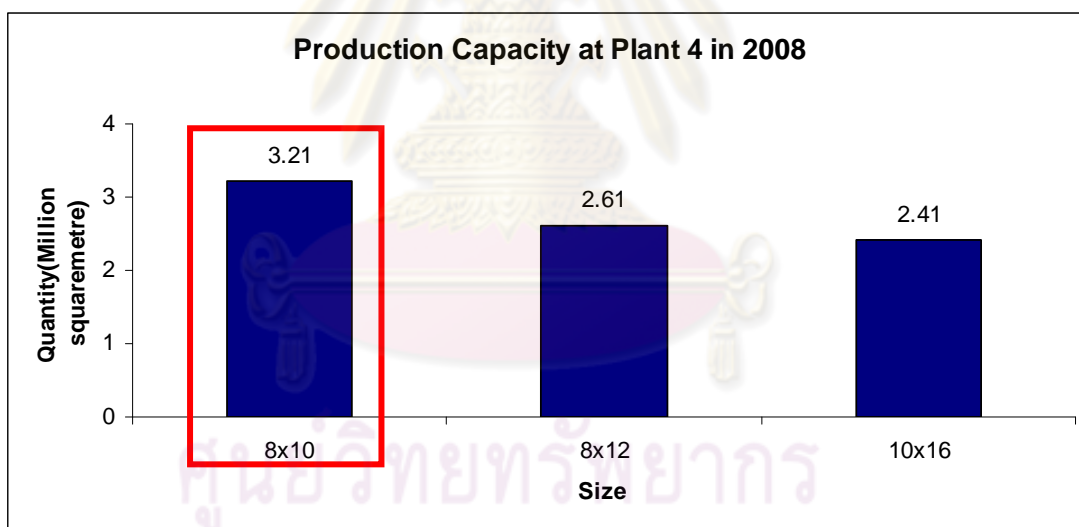
รูปที่ 1.1 แสดงของเสียจากกระบวนการผลิตกระเบื้องบุผนัง



รูปที่ 1.2 แสดงของเสียในกระบวนการผลิตกระเบื้องบิสกิต

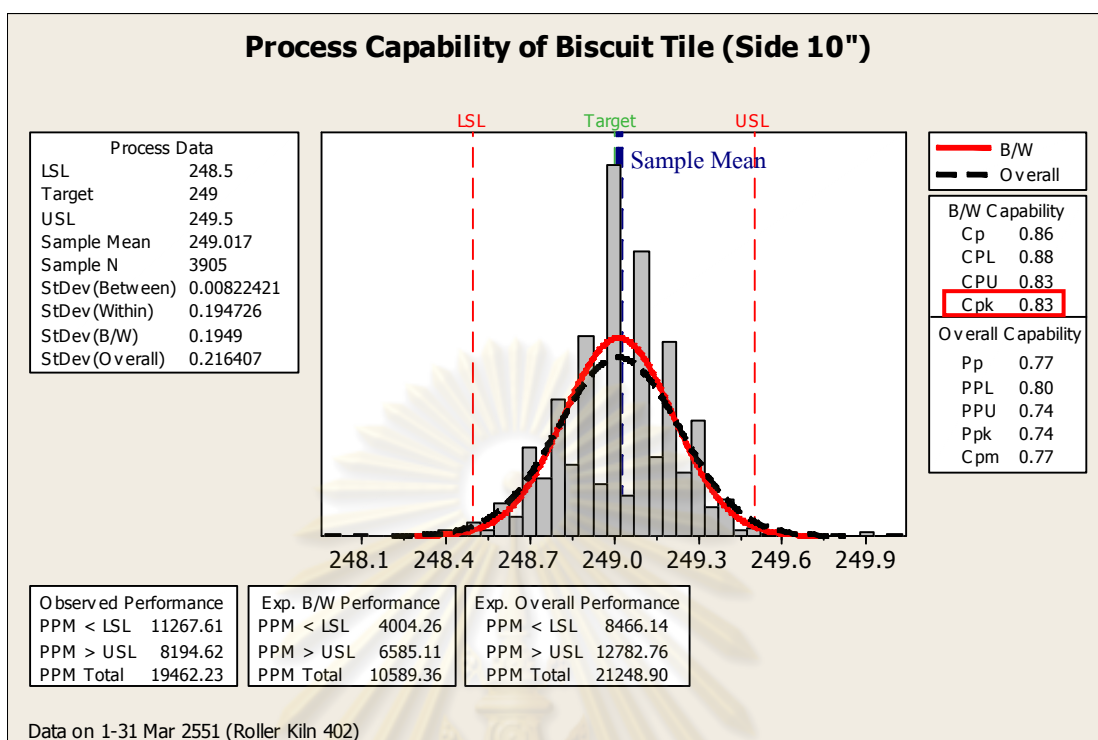


รูปที่ 1.3 แสดงตัวอย่างขนาดกระเบื้องที่มีขนาดเปลี่ยนไป (Tile-Size Variations)



รูปที่ 1.4 แสดงกำลังการผลิตกระเบื้องปิสกิตแต่ละขนาด ที่โรงผลิต4

ซึ่งปัจจุบันค่า C_{pk} ของด้าน 10 นิ้ว อยู่ที่ 0.83 และด้าน 8 นิ้ว อยู่ที่ 0.69 แสดงดังรูปที่ 1.4 และ 1.5 ตามลำดับ (ข้อมูลแสดงดังภาคผนวก ข)



รูปที่ 1.5 แสดงดัชนีความสามารถของกระบวนการการผลิตกระเบื้องบิสกิตด้าน 10 นิ้ว

จากรูปที่ 1.5 สามารถสรุปผลการทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองได้ ดังนี้

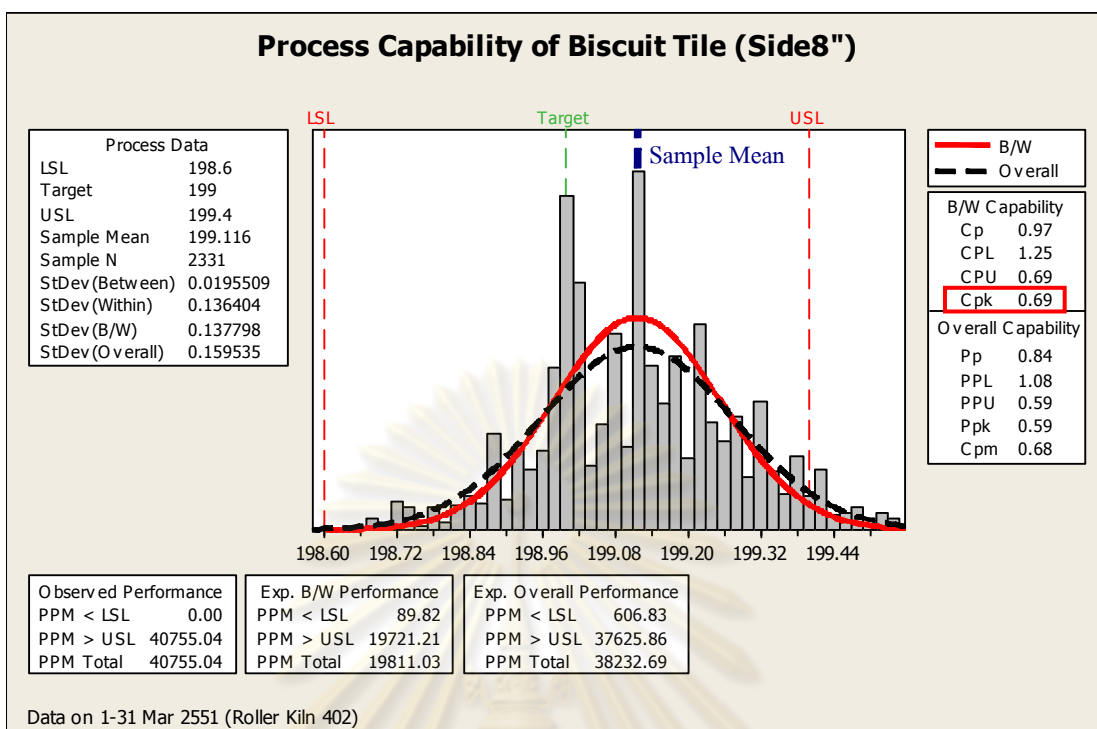
- ข้อกำหนดของกระบวนการผลิตค่าขนาดกระเบื้องบิสกิต ต้องเท่ากับ 10 นิ้ว หรือ 249 มิลลิเมตร

- ค่าเบี่ยงเบนโดยเฉลี่ยของ ขนาดกระเบื้องบิสกิต (Mean) เท่ากับ 249.017 มิลลิเมตร

- ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ (Standard Deviation) เท่ากับ 0.1947 มิลลิเมตร

- ความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ (C_{pk}) เท่ากับ 0.83

- มีปริมาณของเสียของเสียเกิดขึ้นคือ DPPM (Defect Part Per Million)/2 (ค่าขนาดกระเบื้องด้าน 10 นิ้ว มี 2 ด้านใน 1 แผ่น) เท่ากับ $21248.90/2$ หรือเท่ากับ 10,625 DPPM



รูปที่ 1.6 แสดงดัชนีความสามารถของกระบวนการการผลิตกระเบื้องบิสกิตด้าน 8 นิ้ว

จากรูปที่ 1.6 สามารถสรุปผลการทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองได้ ดังนี้

- ข้อกำหนดของกระบวนการผลิตค่าขนาดกระเบื้องบิสกิต ต้องเท่ากับ 8 นิ้ว หรือ 199 มิลลิเมตร

- ค่าเบี่ยงเบนโดยเฉลี่ยของ ขนาดกระเบื้องบิสกิต (Mean) เท่ากับ 199.116 มิลลิเมตร

- ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ (Standard Deviation) เท่ากับ 0.1364 มิลลิเมตร

- ความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ (C_{pk}) เท่ากับ 0.69

- มีปริมาณของเสียของเสียเกิดขึ้นคือ DPPM (Defect Part Per Million)/2 (ค่าขนาดกระเบื้องด้าน 8 นิ้ว มี 2 ด้านใน 1 แผ่น) เท่ากับ $38232.69/2$ หรือเท่ากับ 19,117 DPPM

จากผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการผลิตกระเบื้องบิสกิตในรูปที่ 1.5 และ 1.6 นี้มีปัญหาด้านความสามารถของกระบวนการ กล่าวคือ มีค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการ (C_{pk}) น้อยกว่า 1.33 แสดงว่ากระบวนการมีโอกาสทำให้เกิดของเสียมาก

ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น จึงได้มีการประยุกต์ใช้หลักการการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) เพื่อพิจารณาถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อขนาดกระเบื้องที่แตกต่างกันในกระบวนการผลิต

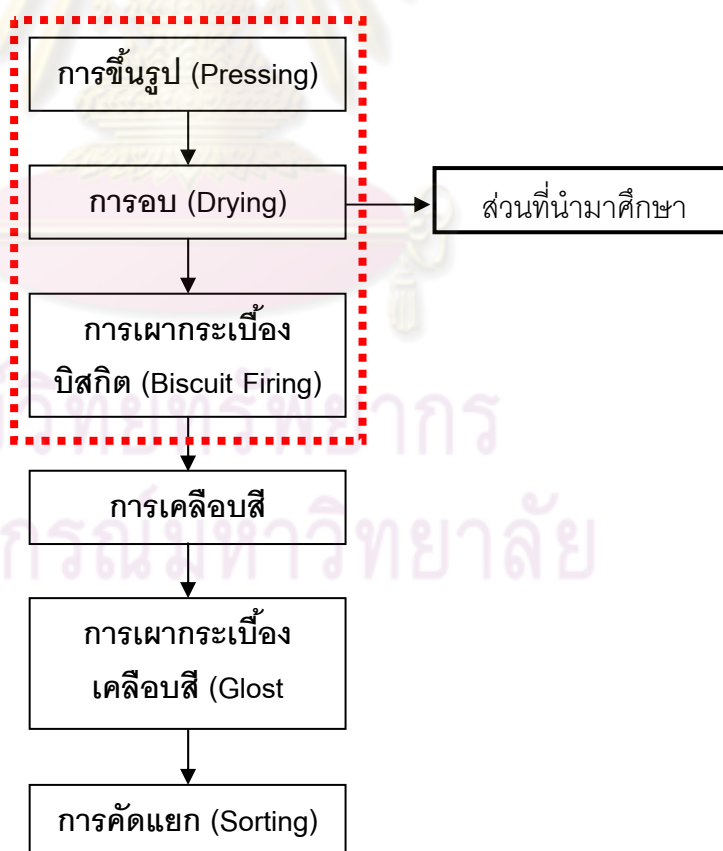
ซึ่งจะทำให้สามารถปรับปรุงคุณภาพการผลิตกระเบื้องให้ได้ขนาดตามมาตรฐาน อย่างต่อเนื่อง โดยที่ความสามารถของกระบวนการผลิตก็สูงขึ้นในระดับที่เหมาะสม

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อขนาดของกระเบื้องบิสกิต และหาสภาวะที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย โดยอาศัยหลักการของการออกแบบการทดลอง(Design of Experiment) เพื่อปรับปรุง C_{pk} ของกระบวนการการผลิตกระเบื้องบิสกิต

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาการผลิตกระเบื้องบุผนัง เฉพาะกระบวนการการผลิตกระเบื้องบิสกิต (กระเบื้องที่ผ่านการเผา (Firing) โดยไม่มีการตกแต่งใด ๆ หลังจากการขึ้นรูป (Pressing)) เพราะกระบวนการนี้เป็นกระบวนการแรกในการผลิตกระเบื้องบุผนังและมีความสำคัญอย่างมากเมื่อนำกระเบื้องบิสกิตที่ได้นี้ไปดำเนินการต่อโดยเฉพาะขนาดของกระเบื้อง ดังแสดงในรูปที่ 1.7



รูปที่ 1.7 แสดงกระบวนการการผลิตกระเบื้องบุผนัง

1.3.2 ศึกษาปัจจัยในกระบวนการผลิตโดยเริ่มตั้งแต่การขึ้นรูป (Pressing) กระเบื้องจนถึงการเผาเป็นกระเบื้อง บิสกิต

1.3.3 ศึกษาปัจจัยที่สามารถควบคุมได้และเกี่ยวข้องกับกระบวนการการผลิตที่ทำให้กระเบื้องมีขนาดแตกต่างกัน โดยมีปัจจัยที่ทำการศึกษาเบื้องต้นดังนี้

- แรงกด(Pressure)ที่ใช้ในการขึ้นรูปกระเบื้อง
- ความชื้น(Moisture)ที่อยู่ในผงดิน
- รอบเวลา (Speed of Cycle)ในการเผากระเบื้อง
- การตั้งอุณหภูมิในการเผา (Firing Temperature)

1.3.4 ศึกษาเฉพาะกระเบื้องบิสกิตที่มีขนาด 8x10 นิ้ว เท่านั้น

1.3.5 ศึกษาโดยเลือกใช้วิธีการออกแบบการทดลองเชิงสถิติที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือ พร้อมทั้งทำการทดลองกับผลิตภัณฑ์กระเบื้องบุผนังที่มีขนาด 8x10 นิ้ว โดยเลือกจากขนาดที่มีการผลิตเป็นจำนวนมาก และเป็นขนาดที่ใช้ในการผลิตอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งจะสามารถศึกษา รวบรวม และทดลองวัดผลข้อมูลได้อย่างต่อเนื่อง

1.3.6 ทำการออกแบบ วิเคราะห์ผล ตลอดจนสรุปปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดขนาดที่แตกต่างกัน (Size Variation)

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.4.1 สํารวจงานวิจัยและศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

1.4.2 ศึกษาสภาพปัจจุบันของกระบวนการการผลิตกระเบื้องบิสกิต

1.4.3 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อขนาดของกระเบื้องบิสกิตโดยการใช้แผนภูมิแก๊งปลา, FMEA และการออกแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ เพื่อพิสูจน์เบื้องต้น ว่าปัจจัยใดบ้างที่มีอิทธิพลต่อค่าขนาดของกระเบื้องบิสกิต และเลือกปัจจัยที่มีอิทธิพลเหล่านั้นมาออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ

1.4.4 ศึกษาหลักการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ

1.4.5 วางแผนการออกแบบการทดลองที่เหมาะสม

1.4.6 ดำเนินการทดลองตามแผนการออกแบบการทดลอง

1.4.7 วิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติเชิงวิศวกรรม

1.4.8 ทดลองผลิตกระเบื้องบิสกิต โดยใช้ระดับของปัจจัยที่พิสูจน์แล้วว่า มีผลต่อการปรับปรุงค่าขนาดของกระเบื้องบิสกิตอย่างเหมาะสมที่สุด

1.4.9 ประเมินผล

1.4.10 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

1.4.11 จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ผลจากการศึกษาจะทำให้ทราบถึง ปัจจัยที่มีผลต่อขนาดกระเบื้องที่แตกต่างกัน (Size Variation)

1.5.2 ผลจากการศึกษาสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการตั้งค่าที่เหมาะสมในการผลิตให้ได้ขนาดของกระเบื้องตรงกับมาตรฐานมากที่สุด

1.5.3 ลดของเสียที่เกิดจากขนาดที่แตกต่างกัน (Size Variation) ของกระเบื้อง Biscuit

1.5.4 เพิ่มดัชนีความสามารถของกระบวนการผลิต (Process Capability Index) ในการผลิตกระเบื้อง Biscuit

1.5.5 ลดต้นทุนในการผลิต

1.5.6 สามารถนำผลจากการศึกษาไปอ้างอิงในการปฏิบัติงาน และเป็นแนวทางในการพัฒนาและวิจัยต่อไป

1.6 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ

ลำดับ ที่	ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลา(พ.ศ.2551-ม.ศ.2552)								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	ศึกษาสภาพปัจจุบันในการผลิตกระเบื้อง Biscuit									
2.	ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อขนาดของกระเบื้อง Biscuit									
3.	ศึกษาหลักการออกแบบการทดลอง									
4.	วางแผนการออกแบบการทดลองที่เหมาะสม									
5.	ดำเนินการทดลองตามแผนการออกแบบการทดลอง									
6.	วิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติเชิงวิศวกรรม									
7.	ประเมินผลการทดลองจากการกระบวนการผลิต									
8.	จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์									

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิเคราะห์ปัจจัยใดๆในการทำงานของสิ่งใดสิ่งหนึ่ง จำเป็นจะต้องอาศัยทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาที่ทำการศึกษา โดยในงานวิจัยฉบับนี้จะเน้นการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเป็นหลัก ดังนั้นในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีต่าง ๆ ที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์และการออกแบบการทดลอง

2.1 การออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์การทดลองเชิงสถิติ [1]

การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ (Statistical Design of Experiment) หมายถึง กระบวนการในการวางแผนการทดลองเพื่อที่จะได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสมที่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธีการทางสถิติ ซึ่งจะทำให้เราสามารถหาข้อสรุปที่สมเหตุสมผลได้ วิธีการออกแบบการทดลองในเชิงสถิติเป็นสิ่งที่จำเป็น ถ้าเราต้องการหาข้อสรุปที่มีความหมายจากข้อมูลที่เรามีอยู่ และถ้ายังปัญหาที่สนใจนั้นเกี่ยวข้องกับความผิดพลาดในการทดลอง (Experimental Error) วิธีการทางสถิติเป็นวิธีการเพียงอย่างเดียวเท่านั้นที่จะสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองนั้นได้ ดังนั้นสิ่งสำคัญ 2 ประการสำหรับปัญหาที่เกี่ยวกับการทดลองก็คือการออกแบบการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ ซึ่งศาสตร์ทั้งสองนี้มีความเกี่ยวข้องกันอย่างมาก ทั้งนี้เพราะว่าวิธีการวิเคราะห์เชิงสถิติที่เหมาะสมนั้นจะขึ้นกับการออกแบบการทดลองที่จะนำมาใช้

2.1.1 การออกแบบทดลอง (Design of Experiment)

หมายถึง การออกแบบทดลองเพื่อตรวจสอบดูว่า ปัจจัย (Factor) ใดๆ หรือตัวแปร (input Variable) ใด ที่มีผลต่อสิ่งสำคัญในผลิตภัณฑ์ที่ออกมา โดยมีจุดมุ่งหมายดังนี้

1. เพื่อยืนยันข้อเท็จจริง (Confirmation) คือการพิสูจน์ข้อเท็จจริงหรือความเชื่อ จากประสบการณ์หรือ ทฤษฎีบางอย่างที่เกี่ยวกับกระบวนการผลิต

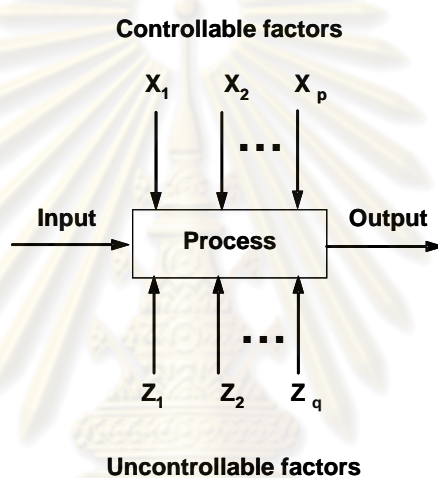
2. เพื่อค้นหาข้อเท็จจริง (Exploration) คือ การศึกษาถึงอิทธิพลของเงื่อนไขใหม่ ที่มีผลต่อกระบวนการ

2.1.2 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของการทดลอง

1. ทรีทเมนต์ (Treatment) คือ สิ่งหรือวิธีที่เราปฏิบัติต่อสิ่งทดลอง เพื่อวัดผลเปรียบเทียบตามวัตถุประสงค์ของการทดลอง

2. หน่วยทดลอง (Experiment Unit) เป็นมาตรฐานหรือหน่วยที่ใช้วัดอิทธิพลของทรีทเมนต์ซึ่งโดยคำจำกัด ความแล้ว หมายถึง สิ่งหนึ่งหรือกลุ่มหนึ่งของการทดลอง ซึ่งได้รับจากทรีทเมนต์เดียวกันในการกระทำ ครั้งใดครั้งหนึ่ง หน่วยทดลองมีขนาดไม่จำกัด อาจผันแปรไปได้จากการทดลองไปสู่อีกการทดลอง หนึ่ง แม้จะใช้สิ่งทดลองเหมือนกันก็ตาม ในการทำการทดลองแต่ละครั้งจึงต้องให้คำจำกัดความของหน่วยทดลองให้ชัดเจน

3. ปัจจัย (Factor) ได้แก่กลุ่มของทรีทเมนต์ทั้งหลายที่มีความเกี่ยวข้องกัน (A Particular Class of Related Treatment) อาจใช้คำว่าตัวแปรอิสระก็ได้ ปัจจัยนั้นอาจเป็นได้ทั้งข้อมูลเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงปัจจัยและพารามิเตอร์ของกระบวนการ

ปัจจัยสามารถแบ่งออกได้เป็น

3.1 ปัจจัยที่ควบคุม (Controllable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่สามารถหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในการ ดำเนินการทดลอง

3.2 ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่ไม่สามารถของกำหนดค่าของ ปัจจัยนั้นได้ อาจเนื่องมาจากมีข้อจำกัดทางเทคโนโลยีและต้นทุน ปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ แบ่งออกเป็น

3.2.1 ตัวแปรรบกวน (Noise variable) หรือ Background variable ตัวแปรที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) ในการทดลองแต่ไม่ใช่ปัจจัยที่เรากำลังทำการศึกษา ส่วนใหญ่มักได้แก่ เวลา หรือ เครื่องมืออุปกรณ์ เป็นต้น

3.2.2 Nuisance Variable คือตัวแปรที่มีผลตอบสนองแต่เราไม่ทราบมาก่อน เราสามารถจำกัดอิทธิพลของ Nuisance Variable ได้โดยการสุ่ม

4. ตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) คือตัวแปรที่ถูกสังเกตหรือวัดค่าในการทดลอง เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ตัวแปร ซึ่งตัวแปรที่สะท้อนให้เห็นถึงอิทธิพลของตัวแปรอิสระนั้น ในการทดลองหนึ่ง ๆ อาจวัดค่าตัวแปรตามมากกว่า 1 ก็ได้ การเลือกตัวแปรตามที่ดี และความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ นอกจากนี้ ในการเลือกตัวแปรตามจะต้องพิจารณาว่า ค่าสังเกตที่ได้รับจากทรีทเมนต์หนึ่ง ๆ ควรมีการแจกแจงแบบปกติโดยประมาณ ซึ่งข้อสมมติฐานในเรื่องความเป็นปกติ (Normality) นี้ เป็นสิ่งจำเป็นในการออกแบบการทดลอง ซึ่งอาจจะใช้การแปลงข้อมูล (Transformation) ค่าสังเกตที่มีการแจกแจงไม่ปกติเป็นแบบปกติ

5. วัตถุประสงค์ของการทดลองอาจจะเกี่ยวข้องกับประเด็นต่าง ๆ ดังนี้

5.1 หาตัวแปรที่มีผลมากที่สุดต่อผลตอบ y

5.2 หาวิธีการตั้งค่าของ x ที่มีผลต่อค่าผลตอบ y เพื่อให้ผลตอบ y มีค่าตามที่ต้องการ

5.3 หาวิธีการตั้งค่าของ x ที่มีผลต่อค่าผลตอบ y เพื่อให้ผลตอบ y มีค่าน้อย

5.4 หาวิธีการตั้งค่าของ x ที่มีผลต่อค่าผลตอบ y เพื่อให้ผลของตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ Z_1, Z_2, \dots, Z_q มีค่าน้อยที่สุด

2.2 หลักการพื้นฐานของการออกแบบการทดลอง [2,3]

หลักการพื้นฐาน 3 ประการสำหรับการออกแบบการทดลอง มีดังนี้

1. เพลกเคชัน (Replication) หมายถึง การทำการทดลองซ้ำ ซึ่งมีคุณสมบัติที่สำคัญ 2 ประการ คือ เพลกเคชันทำให้สามารถหาค่าประมาณของความผิดพลาดในการทดลองได้ หน่วยวัดขั้นพื้นฐานสำหรับการพิจารณา ความแตกต่างของข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นมีความแตกต่างกันในเชิงสถิติหรือไม่ และประการที่สองถ้าค่าเฉลี่ย ถูกนำมาใช้เพื่อประมาณผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่งในการทดลอง เพลกเคชันทำให้สามารถหาตัวประมาณที่ ถูกต้องยิ่งขึ้นในการประมาณผลกระทบ

2. แรมดอมไมเซชัน (Randomization) หมายถึง การทำการทดลองที่มีทั้งวัสดุที่ใช้ในการทดลอง และลำดับของการทดลองแต่ละครั้งเป็นแบบสุ่ม วิธีการเชิงสถิติกำหนดข้อมูล (หรือความผิดพลาด) จะต้องเป็นตัวแปรแบบสุ่มที่มีการกระจายแบบอิสระ แรมดอมไมเซชันจะทำให้สมมติฐานนี้เป็นจริง การแรมดอมไมเซชันการทดลอง ทำให้สามารถลดผลของปัจจัยภายนอกที่อาจจะปรากฏในการทดลองได้

3. บล็อกกิง (Blocking) เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับเพิ่มความเที่ยงตรง (Precision) ได้แก่การทดลอง บล็อกกันหนึ่งอาจจะหมายถึงส่วนหนึ่งของวัสดุที่ใช้ในการทดลองที่ควรจะมีความเป็นอัน

เดียวกันมากกว่าเซตทั้งหมดของวัตถุ การเปรียบเทียบเงื่อนไขที่น่าสนใจต่างๆ ภายในแต่ละบล็อก จะเกิดจากการทำบล็อกกิ่ง

2.3 แนวทางในการออกแบบการทดลอง [13]

การใช้วิธีการเชิงสถิติในการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง มีความจำเป็นที่ต้องเข้าใจอย่างถ่องแท้ล่วงหน้าว่า กำลังศึกษาอะไรอยู่ จะเก็บข้อมูลได้อย่างไร และวิเคราะห์ข้อมูลที่เก็บได้นั้นอย่างไร ขั้นตอนในการดำเนินการมีดังนี้

2.3.1 การนิยามปัญหา (Recognition of and Statement of Problem)

เป็นการระบุว่าความต้องการในการผลิตนั้นคืออะไร และต้องการรู้อะไรบ้างในการผลิตซึ่งการนิยามปัญหานี้ ผู้ทดลองต้องทำความเข้าใจต่อสภาพของปัญหาที่เกี่ยวข้องต่อวัตถุประสงค์ของการทดลอง ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความชัดเจนในการวางแผน และดำเนินการทดลองต่อไป

2.3.2 การเลือกปัจจัย ระดับ และขอบเขตของปัจจัย (Choice of Factors and Levels)

เป็นการใช้หลักการทางทฤษฎี และประสบการณ์จากงานวิจัยต่างๆ เพื่อระบุว่าปัจจัยใดที่น่าจะมีผลต่อการทดลอง และแต่ละในปัจจัยนั้น ควรจะมีช่วงในการทดลองอย่างไร สุดท้ายคือ ระบุว่าที่ใช้เป็นแบบกำหนดตายตัว (Fixed effect) แบบสุ่ม (Random Effect) หรือแบบผสม ซึ่งสามารถอธิบายได้เป็นพอสังเขปดังนี้

1. แบบกำหนดตายตัว (Fixed effect) หมายถึงระดับของปัจจัยที่สามารถควบคุมหรือกำหนดค่าได้แน่นอน
2. แบบสุ่ม (Random Effect) หมายถึงระดับของปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมหรือกำหนดค่าของปัจจัยได้อย่างแน่นอน
3. แบบผสม (Mixed Effect) หมายถึงการกำหนดระดับของปัจจัยที่เป็นแบบกำหนดตายตัวและแบบสุ่ม และกำหนดระดับของปัจจัยที่ต้องทำการปรับในการทดลอง รวมถึงทราบวิธีการควบคุมและการวัดระดับของปัจจัยดังกล่าวนี้ด้วย

2.3.3 การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Choice of Response Variable)

ในการเลือกตัวแปรตอบสนอง ผู้ทดลองต้องแน่ใจว่าตัวแปรตอบสนองนี้ให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการที่กำลังศึกษาอยู่ และสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการทดลอง ซึ่งมักจะเป็นค่าเฉลี่ยหรือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ และเป็นไปได้ในว่าการทดลองหนึ่งอาจมีตัวแปรตอบสนองหลายตัว จึงจำเป็นต้องกำหนดว่า อะไรบ้างคือตัวแปรตอบสนองและ

สามารถวัดค่าดังกล่าวได้อย่างไร ก่อนเริ่มดำเนินการทดลองควรมีการวิเคราะห์ระบบการวัดค่าตัวแปรตอบสนองนั้น เพื่อมั่นใจได้ว่าระบบวัดดังกล่าวสามารถใช้กับการทดลองได้

2.3.4 การเลือกการออกแบบการทดลอง (Choice of Experimental Design)

การเลือกการออกแบบเกี่ยวกับการกำหนดขนาดของสิ่งตัวอย่าง (Replications) การเลือกลำดับที่เหมาะสมของการทดลองที่จะใช้ในการเก็บข้อมูล การเลือกใช้หลักการพื้นฐานใดบ้างในการออกแบบ ซึ่งในการเลือกการออกแบบจำเป็นต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการทดลองตลอดเวลา

2.3.5 การดำเนินการทดลอง (Performing the Experiment)

การดำเนินการทดลองเป็นการทำตามแผนการทดลองที่ออกแบบ ซึ่งจำเป็นต้องติดตามกระบวนการดำเนินการอย่างระมัดระวัง เนื่องจากมีสิ่งผิดพลาดเกิดขึ้นจะทำให้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นไม่สามารถนำไปวิเคราะห์ต่อได้

2.3.6 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ (Statistical Analysis of data)

ในการวิเคราะห์ข้อมูลจะนำวิธีการทางสถิติมาใช้ เพื่อพิจารณาว่าผลลัพธ์และข้อสรุปที่เกิดขึ้นเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการทดลองหรือไม่ ทั้งนี้ในการวิเคราะห์ควรใช้ความรู้ทางวิศวกรรมหรือความรู้เกี่ยวกับกระบวนการการประกอบด้วย เพื่อให้ได้ข้อสรุปที่มีเหตุผล และมีความน่าเชื่อถือ

2.3.7 การสรุปและการทดสอบเพื่อยืนยันผล (Conclusions and Recommendations)

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลแล้ว ผู้ทดลองต้องหาข้อสรุปในทางปฏิบัติของกระบวนการที่เกิดขึ้น ในขั้นตอนนี้ควรนำเอาวิธีการทางกราฟเข้ามาช่วยการนำเสนอข้อมูล นอกจากนี้แล้วควรทำการทดลองเพื่อยืนยันผล (Confirmation Testing) เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อสรุปอีกครั้งด้วย

2.4 การเลือกแบบการทดลอง [2, 3, 13]

1. แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD)

เป็นแผนการทดลองแบบที่ง่ายที่สุด เหมาะสมกับการทดลองที่ไม่สามารถแยกได้ว่าหน่วยทดลองที่นำมาใช้นั้นมีลักษณะแตกต่างกันอย่างไรก่อนการทดลอง การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับแผนการทดลองนี้จะแยกสาเหตุของความผันแปรของข้อมูลทั้งหมดว่าเนื่องมาจากอิทธิพลของทรีทเมนต์แต่เพียงอย่างเดียว ไม่มีสาเหตุจากปัจจัยอื่นอีก จึงเรียกข้อมูลนี้ว่า ข้อมูลแบบแจกแจงทางเดียว (One - Way Classification)

ตามแผนการทดลองนี้แสดงว่า เมื่อหน่วยทดลองได้รับทรีทเมนต์ที่ต้องการทดสอบแล้ว ความแตกต่างของข้อมูลที่เกิดขึ้นได้จากแต่ละหน่วยทดลอง จะต้องเกิดจากอิทธิพลของทรีทเมนต์ที่ต่างกันเท่านั้น ดังนั้น เพื่อให้แผนการทดลองนี้มีประสิทธิภาพสูงสุด หน่วยทดลองที่นำมาใช้จึงควรมีลักษณะที่สม่ำเสมอหรือคล้ายคลึงกันมากที่สุด (Homogenous) หรือมีความผันแปรระหว่างหน่วยทดลองน้อยที่สุด หลักสำคัญของแผนการทดลองนี้คือ การจัดทรีทเมนต์ให้กับหน่วยทดลอง หรือจัดหน่วยทดลองให้แก่ทรีทเมนต์จะต้องเป็นไปโดยสุ่ม ไม่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับการสุ่ม

1.1) ข้อดีและข้อเสีย

ข้อดี

1. เป็นแผนการทดลองที่จัดง่าย
2. ให้ค่าองศาแห่งความเป็นอิสระของความคลาดเคลื่อน (Degree of freedom for error) สูงสุด
3. วิธีการวิเคราะห์ห้ง่ายที่สุดในเมื่อเทียบกับแผนการทดลองอื่น ๆ
4. ในแต่ละทรีทเมนต์ ถึงแม้ว่าจะมีจำนวนซ้ำไม่เท่ากัน ก็ไม่ทำให้การวิเคราะห์มีความซับซ้อนแต่อย่างใด

ข้อเสีย

1. มีข้อจำกัดว่าจะใช้ได้เหมาะสมเมื่อมีจำนวนทรีทเมนต์น้อย ๆ หากมีทรีทเมนต์จำนวนมากแล้ว จำเป็นต้องใช้หน่วยทดลองมากขึ้นอาจไม่สามารถกระทำได้
2. ใช้กับหน่วยทดลองที่มีความสม่ำเสมอ
3. ไม่สามารถตรวจสอบอิทธิพลร่วม (Interaction effect) ระหว่างปัจจัยหรือสิ่งที่เราสนใจในการทดลองได้

1.2) โครงรูปข้อมูล

สมมุติให้ การทดลองมี	a	ทรีทเมนต์ (หรือ a ระดับ)
	n	คือ จำนวนค่าสังเกตในแต่ละทรีทเมนต์
	Y_{ij}	คือ ค่าสังเกตที่ j เมื่อได้รับทรีทเมนต์ i

	Treatment					
	1	2	...	i	...	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	—	y_i		y_a $y_{..} = \text{Grand Total}$
Sample means	\bar{y}_1	\bar{y}_2	—	\bar{y}_i		\bar{y}_a $\bar{y}_{..} = \text{Grand mean}$

ตัวแบบทางสถิติของแผนการทดลองนี้ คือ

$$Y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} ; \quad \begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, a \\ j = 1, 2, \dots, n \end{array}$$

โดยที่ Y_{ij} คือ ค่าสังเกตที่ j เมื่อได้รับทรีทเมนต์ i

μ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของทุกประชากร

τ_i คือ อิทธิพลอันเกิดจากทรีทเมนต์ i

ε_{ij} คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

2. แผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design : RCB)

ในบางการทดลองอาจประสบปัญหาเกี่ยวกับหน่วยทดลองที่ใช้ไม่มีความสม่ำเสมอ ทำให้การใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอดไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควรจะเป็น เนื่องจากความผันแปรของข้อมูลจะไม่ใช้ผลของทรีทเมนต์เพียงอย่างเดียว แต่ยังมีความผันแปรที่เกิดจากหน่วยทดลองรวมอยู่ด้วย ซึ่งความผันแปรส่วนหลังนี้จะไปรวมอยู่กับความคลาดเคลื่อนของการทดลอง ทำให้ยอดรวมของผลบวกของกำลังสองของความคลาดเคลื่อนมีค่าสูงขึ้น มีผลต่อการทดสอบทำให้ผิดพลาดได้ ดังนั้นจึงต้องพยายามแยกผลอันเกิดจากอิทธิพลอื่นที่ไม่ใช่ทรีทเมนต์ออกจากความแปรปรวนทั้งหมด เพื่อให้แน่ใจว่าผลที่นำมาวิเคราะห์นั้นเป็นอิทธิพลของทรีทเมนต์ (Treatment Effect) แต่เพียงอย่างเดียว

แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อก เป็นวิธีหนึ่งในหลาย ๆ วิธีของการจำแนกแบบ 2 ทาง (Two – Way Classification) จะใช้เมื่อหน่วยทดลองมีความแตกต่างกัน 2 ลักษณะ คือ ทางแนวนอน (Row) และแนวตั้ง (Column) มีหลักการคือ พยายามจัดหน่วยทดลองที่มีความคล้ายคลึงกันให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน ซึ่งจะเรียกว่าบล็อก ดังนั้นความแปรปรวนระหว่างหน่วยทดลองในบล็อกเดียวกันจึงมีค่าต่ำและให้ความแตกต่างระหว่างบล็อกมีค่าสูง ในแต่ละบล็อกจะมี

ครบทุกทรีทเมนต์ การจะให้ทรีทเมนต์ใดแก่หน่วยทดลองใดภายในแต่ละบล็อกกระทำโดยสุ่ม
กรณีนี้จะทำให้เราแยกความแตกต่างระหว่างบล็อกออกมาจากยอดรวมของผลบวกของกำลังสอง
ได้

2.1) ข้อดีและข้อเสีย

ข้อดี

1. ไม่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับจำนวนทรีทเมนต์หรือบล็อก
2. ถ้าหากจำเป็นที่จะต้องมีซ้ำสำหรับทรีทเมนต์ใดก็อาจเพิ่มหน่วยทดลองเป็นสอง
หรือมากกว่านั้นในแต่ละบล็อก
3. กรณีที่ข้อมูลในบล็อกใดหรือทรีทเมนต์ใดใช้ไม่ได้หรือสูญหายไป สามารถละเว้น
ได้โดยไม่ก่อให้เกิดความยุ่งยากในการคำนวณวิเคราะห์สำหรับส่วนข้อมูลที่
เหลือ

ข้อเสีย

1. ถ้าหน่วยทดลองในแต่ละบล็อกมีความผันแปรมากจะทำให้ ความผันแปรที่
เกิดขึ้นจากการทดลองย่อมมากด้วย ตามกรณีนี้มักเกิดขึ้นถ้าไม่สามารถ
ควบคุมหน่วยทดลองภายในบล็อกให้สม่ำเสมอตลอดได้

2.2) โครงรูปข้อมูล

สมมติให้การทดลองมี a ทรีทเมนต์ และ b บล็อก ตามแผนภาพจะเห็นว่ามีค่า
สังเกต 1 ค่าต่อ 1 ทรีทเมนต์ในแต่ละบล็อก

Block 1	Block 2	Block b
y_{11}	y_{12}	y_{1b}
y_{21}	y_{22}	y_{2b}
y_{31}	y_{32}	y_{3b}
\vdots	\vdots	\vdots
\cdot	\cdot	\cdot
y_{a1}	y_{a2}	y_{ab}

ตัวแบบทางสถิติของแผนการทดลองนี้คือ

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, a$$

$$j = 1, 2, \dots, b$$

โดยที่ Y_{ij} คือ ค่าสังเกตที่ j เมื่อได้รับทรีทเมนต์ i

μ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของทุกประชากร

τ_i คือ อิทธิพลอันเกิดจากทรีทเมนต์ i

β_j คือ อิทธิพลอันเกิดจากบล็อกที่ j

ε_{ij} คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

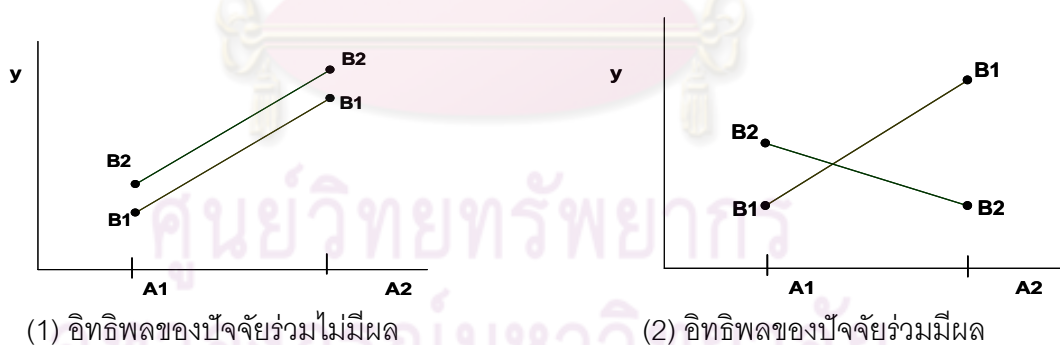
3. แผนการทดลองแบบแฟคตอเรียล (Factorial Experiment)

เป็นการทดลองที่มุ่งศึกษาถึงอิทธิพลของปัจจัยมากกว่าหนึ่งปัจจัยพร้อม ๆ กัน โดยให้ความสนใจที่อิทธิพลร่วมของปัจจัยซึ่งเป็นอิทธิพลที่ส่งผลให้กับตัวแปรตอบสนอง

โดยทั่วไปแล้วอาจกล่าวได้ว่าการทดลองแบบแฟคตอเรียล เป็นแผนการทดลองที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการตรวจสอบอิทธิพลของหลาย ๆ แฟกเตอร์พร้อมกัน คำว่า แฟกตอเรียล หมายถึง การทดลองที่สมบูรณ์ในแต่ละครั้ง หรือแต่ละซ้ำของการทดลองนั้น กล่าวคือ มีการใช้ระดับของแฟกเตอร์ต่าง ๆ ร่วมกัน จึงสามารถตรวจสอบอิทธิพลต่าง ๆ ในการทดลองครั้งหนึ่ง ๆ ได้พร้อมกัน เช่น ถ้าแฟกเตอร์ A มี a ระดับ แฟกเตอร์ B มี b ระดับ แต่ละซ้ำจะมี ab treatment combination แบ่งได้ 2 ประเภท คือ

อิทธิพลหลัก (Main Effect) คือ อิทธิพลของปัจจัยที่แสดงต่อตัวแปรตอบสนองด้วยตัวของมันเอง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยเกิดขึ้น

อิทธิพลร่วม (Interaction Effect) คือ อิทธิพลของปัจจัยหนึ่งที่จะเปลี่ยนไปเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยร่วมกัน แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงอิทธิพลของปัจจัยร่วมที่ไม่มีผล และมีผล

การทดลองแบบแฟคตอเรียลนั้น เป็นการประกอบกันของทรีทเมนต์ ไม่ใช่ชนิดของแผนการทดลอง การประกอบกันของทรีทเมนต์นี้อาจใช้ในแผนการทดลองแบบใด ๆ ก็ได้ เช่น การทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ แบบสุ่มบล็อก หรือจัดรูสลาตินก็ได้

3.1) ข้อดีและข้อเสีย

ข้อดี

1. เป็นการใช้น้อยทดลองทั้งหมดเพื่อตรวจสอบอิทธิพลของทรีทเมนต์หลาย ๆ ทรีทเมนต์พร้อมกันได้ จึงเป็นการประหยัดและเสียเวลาน้อยลงกว่าการทดสอบครั้งละ 1 แฟกเตอร์
2. ทำให้สามารถตรวจสอบอิทธิพลของกิริยาร่วมระหว่างแฟกเตอร์ได้ จึงช่วยให้การสรุปผลได้กว้างขวางกว่าการทดลองครั้งละ 1 แฟกเตอร์

ข้อเสีย

1. เนื่องจากมี Treatment combination จึงต้องใช้หน่วยทดลองมากขึ้น จึงอาจมีข้อจำกัดเกี่ยวกับจำนวนหน่วยทดลอง
2. ในกรณีที่มีกิริยาร่วมเกิดขึ้น อาจทำให้การสรุปผลเป็นภาษาที่เข้าใจง่ายได้ยาก
3. ถ้าจำนวนปัจจัยมีมาก ขนาดของการทดลองก็จะใหญ่ขึ้น ซึ่งเป็นการเสียค่าใช้จ่ายสูง และการหาวัตถุทดลองที่มีความสม่ำเสมอจำนวนมากก็เป็นไปได้ยาก

3.2) โครงรูปข้อมูล

สมมติการทดลองปัจจัย A มี i ระดับ (i = 1,2,...,a) และปัจจัย B มี j ระดับ (j = 1,2,...,b) ทำการทดลอง k ซ้ำ (k = 1,2,...,n) การทดลองแฟกตอเรียลของปัจจัย 2 ปัจจัย สามารถแสดงได้ดังนี้

		Factor B			
		1	2	...	b
Factor A	1	$y_{111}, y_{112}, \dots, y_{11n}$	$y_{121}, y_{122}, \dots, y_{12n}$		$y_{1b1}, y_{1b2}, \dots, y_{1bn}$
	2	$y_{211}, y_{212}, \dots, y_{21n}$	$y_{221}, y_{222}, \dots, y_{22n}$		$y_{2b1}, y_{2b2}, \dots, y_{2bn}$
	...				
	a	$y_{a11}, y_{a12}, \dots, y_{a1n}$	$y_{a21}, y_{a22}, \dots, y_{a2n}$		$y_{ab1}, y_{ab2}, \dots, y_{abn}$

ตัวแบบทางสถิติของแผนการทดลองนี้ คือ

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk};$$

i = 1, 2, ..., a
j = 1, 2, ..., b
k = 1, 2, ..., n

โดยที่ Y_{ij}	คือ	ค่าสังเกตที่ j เมื่อได้รับทริทเมนต์ที่ i
μ	คือ	ค่าเฉลี่ยรวมของทุกประชากร
τ_i	คือ	อิทธิพลของปัจจัย A ที่เกิดจากทริทเมนต์ที่ i
β_j	คือ	อิทธิพลของปัจจัย B ที่เกิดจากทริทเมนต์ที่ j
$(\tau\beta)_{ij}$	คือ	อิทธิพลร่วมของปัจจัย A ที่เกิดจากทริทเมนต์ที่ i และปัจจัย B ที่เกิดจากทริทเมนต์ที่ j
ε_{ijk}	คือ	ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

แผนการทดลองแบบแฟคตอเรียลทั่วไปมีรูปแบบ คือ $A \times B \times C \dots$ แฟคตอเรียล เช่น แฟคตอเรียล $3 \times 2 \times 3$ รูปแบบของแผนการทดลองแบบแฟคตอเรียลที่สำคัญ ได้แก่

1. 2^k แฟคตอเรียล ใช้กับการทดลองหลายปัจจัย ที่กำหนดระดับของปัจจัยไว้ 2 ระดับ ในปัจจัยทั้งหมด k ปัจจัย
2. 3^k แฟคตอเรียล ใช้กับการทดลองหลายปัจจัย ที่กำหนดระดับของปัจจัยไว้ 3 ระดับ ในปัจจัยทั้งหมด k ปัจจัย

2^k แฟคตอเรียลเหมาะสมกับรูปแบบที่มีความเป็นเส้นตรงซึ่งจะทำให้สามารถตีความข้อมูลได้อย่างถูกต้อง แต่ถ้าหากว่าอิทธิพลของปัจจัยต่อตัวแปรตอบสนองมีความเป็นเส้นตรงไม่ดีแล้ว ใช้แบบ 3^k แฟคตอเรียล แทนจะเหมาะสมกว่า

2.5 หลักการทางสถิติที่จำเป็นในการวิเคราะห์ข้อมูล [13, 3]

1. การทดสอบสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R – Square)

เป็นการวิเคราะห์ว่าการออกแบบที่ได้ออกแบบขึ้นมาใช้ในการทดลอง มีความเหมาะสมเพียงใด ซึ่งในการทดลองทุกครั้งจะต้องมีความผันแปรที่อธิบายไม่ได้ (Unexplained Variable) หรือ ความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นเสมอ การออกแบบการทดลองที่ดี จะต้องทำให้เกิดความผันแปรที่อธิบายไม่ได้ให้น้อยที่สุด

$$\text{สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R – Square)} = \frac{\text{ความผันแปรที่อธิบายได้}}{\text{ความผันแปรทั้งหมด}} \times 100\%$$

ถ้าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R – Square) ต่ำสามารถแก้ไขได้โดย

- 1.1) เพิ่มจำนวนซ้ำในการทดลอง
- 1.2) ตรวจสอบหาปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้องแล้วออกแบบการทดลองใหม่

1.3) ถ้าทำการเพิ่มปัจจัยอื่นแล้ว ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R – Square) ยังต่ำอยู่ แสดงว่าผลจากปัจจัยรบกวน (Noise Factor) มีมาก ต้องทำการบล็อก (Blocking) เพื่อลดปัจจัยรบกวน

2. การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ (Model Adequacy Checking)

จากสมการ $y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$

ซึ่ง μ คือ ค่าเฉลี่ย

τ คือ อิทธิพลที่เกิดจากปัจจัย

ε คือ ความคลาดเคลื่อน

ในการออกแบบการทดลองส่วนใหญ่ มักจะตั้งสมมติฐานในการวิเคราะห์จากการที่ y (ตัวแปร) มีการกระจายแบบแจกแจงปกติ (Normal Distribution) ดังนั้น y จะมีการกระจายแบบนี้ได้ต้องให้ ε มีการกระจายแบบปกติด้วย และต้องเป็นการกระจายที่เป็นอิสระ $\varepsilon_{ij} \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$

การตรวจสอบ ε_{ij} มี 3 ขั้นตอน คือ

2.1) การตรวจสอบการกระจายว่าเป็นแบบแจกแจงปกติ (Normal distribution) หรือไม่ โดยใช้

1. การทดสอบแบบไคร้สแควร์ (χ^2 – Goodness of Fit Test)
2. การทดสอบแบบโคโมโกรอฟ – สเมอร်นอฟ (Kolgomorov – Smirov Test)
3. การทดสอบโดยใช้กระดาษตรวจสอบการแจกแจงปกติ (NOPP)

2.2) การตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) โดยใช้แผนภูมิการกระจาย (Scatter Plot) แล้วดูลักษณะการกระจายของจุดที่แทนข้อมูลบนแผนภูมิ ว่าเป็นรูปแบบอิสระหรือไม่

2.3) การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน (Variance Stability) โดยใช้แผนภูมิการกระจาย ซึ่งเป็นแผนภูมิการกระจายค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) ในแต่ละระดับของปัจจัย ถ้ารูปร่างของการกระจายของข้อมูลที่ออกมาไม่เป็นลักษณะของการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของความแปรปรวน (Megaphone) แสดงว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน

3. การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing)

การทดสอบสมมติฐานเชิงสถิติ เป็นถ้อยแถลงที่เกี่ยวกับความน่าจะเป็นของตัวแปรแบบสุ่มที่มีความสัมพันธ์กับค่าพารามิเตอร์ที่มากกว่าหรือเท่ากับหนึ่งค่าพารามิเตอร์ โดยสมมติฐานแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

3.1) สมมติฐานที่กำหนด (Null Hypothesis) เป็นข้อสงสัยหรือข้อสมมติเกี่ยวกับลักษณะต่าง ๆ ในประชากรที่ต้องการจะพิสูจน์ว่าจริงหรือไม่ โดยใช้สัญลักษณ์ H_0

3.2) สมมติฐานแย้ง (Alternative Hypothesis) เป็นข้อความหรือความคิดเกี่ยวกับพารามิเตอร์ที่หวังว่าจะเป็น โดยจะต้องมีความหมายที่แย้งกับสมมติฐานที่กำหนดโดยชัดเจน โดยใช้สัญลักษณ์ H_1

โดยโอกาสหรือความน่าจะเป็นที่จะทำการปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนด (Reject H_0) จะถูกกำหนดโดยระดับนัยสำคัญ ซึ่งเป็นโอกาสหรือความน่าจะเป็นที่น้อยมากที่ค่าพารามิเตอร์จะตกอยู่ในช่วงของการปฏิเสธสมมติฐานเมื่อสมมติฐานเป็นจริง โดยทั่วไปมักจะทำการเปลี่ยนช่วงของการปฏิเสธสมมติฐานหรือระดับความมีนัยสำคัญเป็นค่าวิกฤติ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบหรือใช้ในการตัดสินใจว่าจะยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนด

การตัดสินใจที่จะยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนด อาจเกิดความผิดพลาดได้ 2 กรณีคือ

1. ความผิดพลาดที่เกิดจากการปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนด โดยที่สมมติฐานที่กำหนดมีความถูกต้องหรือมีความเป็นจริง เรียกว่า ความผิดพลาดแบบที่ 1 (Type I error) ซึ่งความผิดพลาดนี้คือ ระดับความมีนัยสำคัญในการตรวจสอบสมมติฐาน

2. ความผิดพลาดที่เกิดจากการยอมรับสมมติฐานที่กำหนดโดยที่สมมติฐานที่กำหนด มีความไม่ถูกต้องหรือไม่มีความจริง เรียกว่า ความผิดพลาดแบบที่ 2 (Type II error) ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การตัดสินใจในการทดสอบสมมติฐาน

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

โอกาสหรือความน่าจะเป็นที่จะเกิดความผิดพลาดแบบที่ 1 และแบบที่ 2 สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\alpha = P(\text{ความผิดพลาดแบบที่ 1})$$

$$= P(\text{การปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนด: สมมติฐานที่กำหนดถูกต้อง})$$

$$\beta = P(\text{ความผิดพลาดแบบที่ 2})$$

$$= P(\text{การยอมรับสมมติฐานที่กำหนด: สมมติฐานที่กำหนดไม่ถูกต้อง})$$

โดย $1 - \beta =$ อำนาจของการทดสอบ

$= P(\text{การปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนด: สมมติฐานที่กำหนดถูกต้อง})$

ในการตั้งสมมติฐาน [4] จะประกอบด้วยแนวทาง 3 ประการด้วยกัน คือ

1. เป็นการกำหนดจากประสบการณ์ในอดีตหรือความรู้เกี่ยวกับกระบวนการหรือจากการทดลองก่อนหน้านี้ โดยการตั้งสมมติฐานเช่นนี้จะมีจุดประสงค์เพื่อทดสอบว่าสถานะที่สนใจมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ ตัวอย่างของการประยุกต์การตัดสินใจแบบนี้จะใช้มากกับกรณีการควบคุมกระบวนการ อาทิ แผนภูมิควบคุม
2. เป็นการกำหนดค่าจากทฤษฎีหรือตัวแบบที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการที่ทำการศึกษา โดยการตั้งสมมติฐานเช่นนี้ จะมีจุดประสงค์เพื่อทดสอบทฤษฎีหรือตัวแบบ นั้น ๆ ตัวอย่างของการประยุกต์การตัดสินใจแบบนี้จะใช้มากกับกรณีงานวิจัยและพัฒนา (R&D)
3. เป็นการกำหนดค่าจากการพิจารณาถึงปัจจัยภายนอกต่าง ๆ อาทิ แบบทางวิศวกรรม ข้อกำหนดทางวิศวกรรม หรือจากสัญญาที่กำหนด โดยการตั้งสมมติฐานเช่นนี้จะมีจุดประสงค์เพื่อทดสอบความถูกต้องตามเกณฑ์กำหนด เช่น การตัดสินใจในการตรวจสอบคุณภาพของฝ่ายควบคุมคุณภาพ หรือ การทดสอบความถูกต้องของเครื่องมือวัดในห้องปฏิบัติการสอบเทียบ เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม ภายใต้แนวทางดังกล่าวนี้ อาจจะสรุปเป็นสมมติฐานเพื่อการประยุกต์ในทางวิศวกรรมได้ 3 ประเภท คือ

1. **การควบคุม** ซึ่งเป็นการตัดสินใจเพื่อยืนยันว่ากระบวนการเปลี่ยนแปลงไปจากมาตรฐานหรือไม่ โดยกำหนดสมมติฐานว่า

H_0 : กระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุมเชิงสถิติ (หรือ $\mu = \mu_0$)

H_1 : กระบวนการมิได้อยู่ภายใต้การควบคุมเชิงสถิติ (หรือ $\mu \neq \mu_0$)

ในทางสถิติ จะถือเป็นการตัดสินใจเกี่ยวกับพารามิเตอร์ของประชากรชุดเดียว ดังบทที่ 5

2. **การวิเคราะห์** ซึ่งเป็นการตัดสินใจเพื่อยืนยันว่าปัจจัยที่พิจารณาเป็นสาเหตุของปัญหาที่พิจารณาหรือไม่ โดยกำหนดสมมติฐานว่า

H_0 : ปัจจัยที่พิจารณามีได้เป็นสาเหตุการเปลี่ยนแปลงตัวแปร y (หรือ $\mu = \mu_0$)

H_1 : ปัจจัยที่พิจารณาเป็นสาเหตุการเปลี่ยนแปลงตัวแปร y (หรือ $\mu \neq \mu_0$)

ในทางสถิติ จะถือเป็นการตัดสินใจเกี่ยวกับพารามิเตอร์ของประชากร 2 ชุด ดังบทที่ 5 หรืออาจจะมากกว่า 2 ชุด ดังบทที่ 6 และระดับของปัจจัยที่พิจารณาในกรณีนี้ จะต้องเป็นระดับเดียวกับมาตรฐานปัจจุบันขององค์กร หรือระดับภายใต้เทคโนโลยีที่ดีที่สุดในปัจจุบัน (State-of-the-art technology)

3. การปรับปรุง ซึ่งเป็นการตัดสินใจเพื่อยืนยันว่าปัจจัยที่พิจารณามีผลต่อการปรับปรุงค่าตัวแปรตอบสนองที่พิจารณาหรือไม่ โดยกำหนดสมมติฐานว่า

H_0 : ปัจจัยที่พิจารณามีได้มีผลต่อการปรับปรุงตัวแปร y (หรือ $\mu_1 = \mu_2$)

H_1 : ปัจจัยที่พิจารณามีผลต่อการปรับปรุงตัวแปร y (หรือ $\mu_1 > \mu_2$)

2.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) [13, 3]

ภายหลังจากที่ได้ออกแบบการทดลอง และทำการทดลองแล้ว งานขั้นต่อไปก็คือ การนำข้อมูลที่รวบรวมได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ เพื่อทดสอบนัยสำคัญทางสถิติหรือหาแนวโน้มต่อไป โดยใช้หลักการของ ANOVA หรือการถดถอย

การวิเคราะห์ความแปรปรวนเป็นวิธีการคำนวณแบบเลขคณิต โดยการแยกผลรวมกำลังที่สอง (Total Sum of Square; SS_T) ออกเป็นส่วนต่าง ๆ ตามแหล่งกำเนิดหรือสาเหตุ โดยจะวิเคราะห์ว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อการทดลองโดยพิจารณาความแตกต่าง โดยการวัดความแตกต่างรวมออกมาในรูปของความแปรปรวนแล้วแตกออกมา เป็นความแตกต่างย่อย ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างย่อยเหล่านั้น หากความแตกต่างใดมีค่ามากกว่า แสดงว่าปัจจัยนั้นทำให้เกิดความแตกต่าง โดยมีผลต่อค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Mean Square; MS) ซึ่งเป็นตัวที่ประมาณค่าความแปรปรวนที่ดีที่สุด ซึ่ง

$$MS = \frac{SS}{df}$$

เมื่อ SS คือ ผลรวมกำลังสอง (Sum of Square)

df คือ ชั้นของความอิสระ (Degree of Freedom)

สามารถอธิบายการวิเคราะห์ความแปรปรวนของแต่ละแบบการทดลองได้ ดังนี้

1. การทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design : CRD)

เราจะแยกความแปรปรวนทั้งหมดออกเป็น 2 ส่วน คือ ความแปรปรวนเนื่องจากการให้ที่รีทเมนต์ต่างกัน และความแปรปรวนเนื่องจากความคาดเคลื่อนของการทดลอง

ตัวอย่าง การสร้างตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบที่มีอิทธิพลเป็นค่าคงที่ (Fixed Effect Model)

$$\text{ตัวแบบ : } Y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad ; \quad \begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, a \\ j = 1, 2, \dots, n \end{array}$$

โดยที่ Y_{ij} คือ ค่าสังเกตที่ j เมื่อได้รับพรีทเมนต์ i

μ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของทุกประชากร

τ_i คือ อิทธิพลอันเกิดจากพรีทเมนต์ i

ε_{ij} คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

ในการวิเคราะห์ จะทำโดยการแบ่งความผันแปรทั้งหมดของค่าสังเกตออกเป็น ส่วน ๆ โดยจะกำหนดความผันแปรทั้งหมดของค่าสังเกตในรูปของผลรวมกำลังสองทั้งหมด (The Total Sum of Squares) SS_T โดยที่

$$SS_T = \left[\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n y_{ij}^2 \right] - (y_{\dots}^2 / N)$$

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

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

ซึ่งรายละเอียดต่าง ๆ ของผลรวมกำลังสองของแต่ละตัวได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.2 โดยที่ ถ้าหากค่า $F_0 \leq F_{\alpha, v_1, v_2}$ แล้ว ถือว่าปัจจัยนั้นไม่มีผล สามารถยอมรับ Null Hypothesis ได้

ตารางที่ 2.2 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. การทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design : RCB)

เราจะแยกความแปรปรวนทั้งหมดออกเป็น 3 ส่วน คือ ความแปรปรวนเนื่องจากการ

ให้ ทรีทเมนต์ต่างกัน ความแปรปรวนเนื่องจากการบล็อก และความแปรปรวน
เนื่องจากการความคาดเคลื่อนของการทดลอง

ตัวอย่าง การสร้างตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบที่มีอิทธิพลเป็นค่าคงที่

(Fixed Effect Model)

$$\text{ตัวแบบ : } y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, a$$

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

โดยที่	y_{ij}	คือ	ค่าสังเกตที่ j เมื่อได้รับทรีทเมนต์ i
	μ	คือ	ค่าเฉลี่ยรวมของทุกประชากร
	τ_i	คือ	อิทธิพลอันเกิดจากทรีทเมนต์ i
	β_j	คือ	อิทธิพลอันเกิดจากบล็อกที่ j
	ε_{ij}	คือ	ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

ในการวิเคราะห์จะทำการแบ่งความผันแปรทั้งหมดของค่าสังเกตออกเป็นส่วน ๆ
โดยจะกำหนดความผันแปรทั้งหมดของค่าสังเกตในรูปของผลรวมกำลังสองทั้งหมด (The Total
Sum of Squares) SS_T โดยที่

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

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

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

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

ซึ่งรายละเอียดต่าง ๆ ของผลรวมกำลังสองของแต่ละตัวได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.3
โดยที่ถ้าหากค่า $F_0 \leq F_{\alpha, v_1, v_2}$ แล้ว ถือว่าปัจจัยนั้นไม่มีผล สามารถยอมรับ Null Hypothesis ได้

ตารางที่ 2.3 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
Blocks	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. การทดลองแบบแฟกตอเรียล (Factorial Experiment)

เราจะแยกความแปรปรวนทั้งหมด ออกเป็นความแปรปรวนเนื่องจากการปัจจัยต่าง ๆ ความแปรปรวนเนื่องจากอิทธิพลร่วมและความแปรปรวน เนื่องจากความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

ตัวอย่าง การสร้างตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนกรณีที่มีตัวแปร 2 ตัวของแบบที่มีอิทธิพลเป็นค่าคงที่ (Fixed Effect Model)

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

$$\text{โดยที่ } i = 1, 2, \dots, a$$

$$j = 1, 2, \dots, b$$

$$k = 1, 2, \dots, n$$

เมื่อ Y_{ij} คือ ค่าสังเกตที่ j เมื่อได้รับทรีทเมนต์ i

μ คือ พารามิเตอร์ คือ ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตทั้งหมด

τ_i คือ อิทธิพลของปัจจัย A ที่เกิดจากทรีทเมนต์ที่ i

β_j คือ อิทธิพลของปัจจัย B ที่เกิดจากทรีทเมนต์ที่ j

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

ε_{ijk} คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk}^2 - \frac{y_{\dots}^2}{abn}$$

$$SS_A = \frac{1}{bn} \sum_{i=1}^a y_{i..}^2 - \frac{y_{\dots}^2}{abn}$$

$$SS_B = \frac{1}{an} \sum_{j=1}^b .j.^2 - \frac{y_{\dots}^2}{abn}$$

$$SS_{\text{subtotal}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y_{ij}^2 - \frac{y_{\dots}^2}{abn}$$

$$SS_{AB} = SS_{\text{subtotal}} - SS_A - SS_B$$

$$SS_E = SS_T - SS_{AB} - SS_A - SS_B$$

ซึ่งรายละเอียดต่าง ๆ ของผลรวมกำลังสองของแต่ละตัวได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.4 โดยที่ถ้าหากค่า $F_0 \leq F_{\alpha, v_1, v_2}$ แล้ว ถือว่าปัจจัยนั้นไม่มีผล สามารถยอมรับ Null Hypothesis ได้

ตารางที่ 2.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน สำหรับ Two – Factor 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	N-1		

2.7 การวิเคราะห์ข้อบกพร่องในกระบวนการผลิต (Failure Mode and Effect Analysis) [5]

FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) เป็นการศึกษาถึงความล้มเหลวที่อาจเกิดขึ้น เพื่อจะระบุผลของมัน จุดประสงค์หลักของ FMEA คือเพื่อกำหนดแง่มุมของการออกแบบผลิตภัณฑ์การผลิต หรือการปฏิบัติงาน ซึ่งมีความวิกฤตต่อการเกิดความล้มเหลวในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อที่จะลดความล้มเหลวนั้น

FMEA หรือ การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ เป็นเทคนิคทางวิศวกรรมตัวหนึ่ง ที่ถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการ ศึกษา วิเคราะห์ ถึงข้อบกพร่องที่อาจจะเกิดขึ้น หรือเกิดขึ้นแล้ว เพื่อ

1. ระบุไปถึงผลกระทบ และความรุนแรงของข้อบกพร่องเหล่านั้น จะนำไปสู่การบ่งชี้และระบุสาเหตุของข้อบกพร่องเหล่านั้น รวมถึงการพิจารณาอัตราการเกิดขึ้นของสาเหตุเหล่านั้น ๆ

2. ตรวจสอบการควบคุมในปัจจุบันว่า มีการควบคุมหรือป้องกันไม่ให้เกิดเหตุที่ถูกระบุมานั้นเกิดขึ้นได้อย่างไร มีประสิทธิภาพในการควบคุม ตรวจสอบ และป้องกันได้ดีเพียงไร

3. จัดลำดับความสำคัญและเร่งด่วนในการแก้ไขปัญหา

4. ทำการแก้ปัญหา (Corrective Action) สำหรับปัญหาและสาเหตุที่วิกฤต

5. รวบรวมแนวทางในการแก้ปัญหา โดยจัดเก็บเป็นลักษณะเอกสารเพื่อให้สามารถนำมาศึกษาถึงแนวทางการปฏิบัติที่ผ่านมา

จุดประสงค์หลักของ FMEA คือ การลดข้อบกพร่องต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้น หรือเกิดขึ้นในการผลิต หรือการปฏิบัติงาน ซึ่งจำเป็นจะต้องใช้ประสบการณ์ ความสามารถและความเชี่ยวชาญจากแผนกต่าง ๆ เพื่อที่จะได้มาประชุมร่วมกันเพื่อระบุถึง

1. ข้อบกพร่อง
2. ผลกระทบ และความรุนแรง
3. สาเหตุ และอัตราการเกิด
4. วิธีการควบคุม และประสิทธิภาพในการควบคุม
5. แนวทางแก้ไข

FMEA มีหลายประเภท ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน เช่น

- System FMEA เป็นการวิเคราะห์แนวคิดของระบบ และระบบย่อย ก่อนขั้นตอนการออกแบบ
 - Design FMEA เป็นการวิเคราะห์ลักษณะความล้มเหลวและผลกระทบที่จะเกิดขึ้นจากความล้มเหลวนั้นในการใช้งานผลิตภัณฑ์ โดยผู้ออกแบบ (Design) จะต้องคำนึงว่า ในการใช้งานจริงนั้น จะเกิดความล้มเหลว (Failure) แบบใดขึ้นบ้าง และจะส่งผลกระทบต่อส่วนอื่น ๆ อย่างไร
 - Process FMEA เป็นการวิเคราะห์ลักษณะความล้มเหลวและผลกระทบที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต หรือกระบวนการประกอบผลิตภัณฑ์
- นอกจากนี้ ยังมีประเภทอื่นอีก เช่น Product FMEA หรือ System FMEA เป็นต้น

ขั้นตอนในการวิเคราะห์ FMEA

1. การกำหนดกลยุทธ์ในการจัดทำ FMEA

เนื่องจากการจัดทำ FMEA มีรายละเอียดค่อนข้างมาก ดังนั้นการวิเคราะห์ FMEA สำหรับทุก ๆ กระบวนการในการผลิตส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์จึงเป็นสิ่งที่เกือบจะเป็นไปไม่ได้เลย เพราะต้องใช้เวลาในการจัดทำค่อนข้างมากจึงมีความจำเป็นต้องเลือกกระบวนการบางกระบวนการขึ้นมาวิเคราะห์ โดย FMEA ควรจะพิจารณาในประเด็นต่าง ๆ ดังนี้

- (1) มีการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีใหม่
- (2) ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตอยู่ได้รับการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมค่อนข้างมาก
- (3) มีปัญหาของกระบวนการที่เกิดขึ้นอย่างเรื้อรัง
- (4) มีการควบคุมการทำงานของพนักงานปฏิบัติงานค่อนข้างมาก
- (5) มีความผันแปรค่อนข้างสูง โดยไม่ทราบว่ามีสาเหตุจากแหล่งใด

2. การทบทวนกระบวนการ

ในขั้นตอนนี้คณะทำงาน FMEA จะต้องทำความเข้าใจกับกระบวนการที่ได้รับเลือกไว้ในขั้นตอนที่ 1 โดยการทำความเข้าใจนี้ควรเริ่มต้นจากการทำกระบวนการให้อยู่ในรูปของแผนภาพหรือแผนภูมิแสดงการไหลของกระบวนการ และจากแผนภูมินี้เองจะทำให้ทราบถึงกระบวนการผลิตในทุกขั้นตอน ตลอดจนความสัมพันธ์ของปัจจัยป้อนเข้า (input) และผลผลิต (output) ตลอดจนจุดวัดที่แต่ละกระบวนการ

ในการทบทวนกระบวนการนี้ สมาชิกในคณะทำงานทุกคนควรจะต้องศึกษาเพื่อสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับหน้าที่ (function) แนวความคิด (concept) ในการทำงานของกระบวนการ ซึ่งการศึกษานี้มาจากการร่วมอภิปรายภายในกลุ่ม และในกรณีที่กระบวนการดังกล่าวเป็นกระบวนการที่มีใช้งานอยู่แล้ว การศึกษาควรอยู่ภายใต้ หลักการ 3 จริง คือ ไปยังสถานที่เกิดเหตุการณ์จริง (Genba) เพื่อสังเกตของจริง (Genbutsu) ภายใต้สภาพแวดล้อมจริง (Genjitsu) เพื่อค้นหาสภาวะผิดปกติ ทั้งนี้มีความจำเป็นที่ผู้สังเกตจะต้องเข้าใจถึงสภาวะที่ควรจะเป็นของกระบวนการโดยอาศัยหลักการทางทฤษฎี (Genri) และกฎเกณฑ์ (Gensoku) ต่าง ๆ โดยอาจเรียกรวม ๆ หลักการนี้ว่า หลักการ 5G

3. การระดมสมองค้นหาแนวโน้มของลักษณะข้อบกพร่อง

ในการระดมสมองนี้ มีความจำเป็นต้องตรวจสอบถึงความเข้าใจก่อนว่าสมาชิกในกลุ่มคณะทำงาน มีความเข้าใจในหน้าที่และแนวความคิดในการทำงานของกระบวนการแล้วหรือยัง เพื่อกำหนดถึงแนวโน้มของลักษณะข้อบกพร่อง (potential failure modes) ซึ่งการดำเนินการนี้ควรให้สมาชิกทุกคนในคณะทำงานมีอิสระในการใช้ความคิดผ่านการวิเคราะห์หน้าที่ของกระบวนการ เพื่อการกำหนดแนวโน้มของลักษณะข้อบกพร่องและในการระดมสมองควรเชิญบุคคลที่มีความรู้และผู้ที่เกี่ยวข้องอย่างมากมาร่วมออกความคิดเห็นด้วย เช่น พนักงานปฏิบัติงาน หน่วยงาน หรือหัวหน้างาน เป็นต้น

ในการระดมสมองนี้ นอกจากการรวบรวมความคิดเห็นด้านลักษณะของข้อบกพร่องที่สมาชิกคณะทำงานได้เสนอแล้ว ควรจะให้สมาชิกแต่ละคนพยายามเสริมต่อความคิด (synergy) จากการอภิปรายกลุ่มร่วมกันด้วย โดยการเสริมต่อความคิดนี้จะเป็นกลไกสำคัญที่ทำให้คณะทำงานสามารถบ่งชี้ปัญหาได้ครอบคลุมมากที่สุด

ในกรณีที่กระบวนการมีความซับซ้อนของระบบการทำงานค่อนข้างมาก จะทำให้จำนวน “ความคิดเกี่ยวกับลักษณะข้อบกพร่อง” ที่ระดมได้จากกลุ่มค่อนข้างมาก จึงควรจะมีการสรุปรวมเป็นลักษณะข้อบกพร่องที่สำคัญ ๆ โดยอาศัยเทคนิคการระดมสมองแบบ KJ (Kawakita Jiro หรือ Affinity) หรือแบบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกัน (IR – Interrelation)

ยังมีข้อสังเกตว่าในการกำหนดลักษณะข้อบกพร่องนี้ คณะทำงานโดยทั่วไปมักจะกำหนดในเทอมทางเทคนิคที่อาจจะไม่สามารถสังเกตได้ เช่น การผสมไม่เข้ากัน ฯลฯ จึงควรแก้ไขให้กำหนดเป็นลักษณะข้อบกพร่องที่สามารถสังเกตได้ เช่น ตกตะกอนหรือมีสีขุ่น (แทนที่จะระบุว่าผสมไม่เข้ากัน) เป็นต้น

4. การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องแต่ละรายการ

ในขั้นตอนนี้ ให้ทำการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องแต่ละรายการ โดยเริ่มจากการพิจารณาถึงลูกค้าที่หมายถึงกระบวนการถัดไปจนกระทั่งถึงผู้ใช้สุดท้าย แล้วพิจารณาว่าข้อบกพร่องดังกล่าวมีผลกระทบต่อลูกค้า โดยลูกค้าที่เป็นกระบวนการถัดไปจะพิจารณาจากผลกระทบต่อความสามารถในการนำผลิตภัณฑ์จากกระบวนการที่พิจารณาไปทำการผลิตต่อ สำหรับลูกค้าที่เป็นผู้ใช้สุดท้ายจะพิจารณาจากผลกระทบต่อประโยชน์ใช้สอยที่ลดลงที่ลูกค้าพึงได้รับจากผลิตภัณฑ์ และความรุนแรง (Severity – S) จากผลกระทบที่พิจารณานี้จะได้รับการเปลี่ยนแปลงก็ต่อเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงลูกค้า หรือเปลี่ยนแปลงการใช้งานเท่านั้น

จากนั้นให้พิจารณาถึงสาเหตุการเกิดลักษณะข้อบกพร่องที่พิจารณา โดยสาเหตุจะต้องมาจากการพิจารณาแนวความคิดในการทำงานของกระบวนการ หรือในกรณีที่เป็นลักษณะข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นแล้วอาจจะต้องพิจารณาจากหลักการ 3 จริง (3G) คือวิเคราะห์จากสถานที่เกิดเหตุการณ์จริงด้วยของจริงภายใต้สภาพแวดล้อมจริง ทั้งนี้จำเป็นต้องวิเคราะห์ภายใต้หลักการ 2G คือ ทฤษฎี (Genri) และระเบียบปฏิบัติ (Gensoku) และเมื่อทราบสาเหตุแล้ว จะพิจารณาความเสี่ยงโดยประเมินถึงโอกาสการเกิด (Occurrence – O) จากความเป็นไปได้ (likelihood) ที่สาเหตุดังกล่าวจะเกิดขึ้น ซึ่งอาจจะผ่านการวิเคราะห์ความผันแปรเชิงสถิติหรือการอาศัยประสบการณ์และความรู้สึก (gut feeling) จากผู้มีประสบการณ์

เมื่อวิเคราะห์ถึงผลกระทบและสาเหตุแล้ว ในลำดับสุดท้ายของขั้นตอนนี้จะพิจารณาถึงระบบการควบคุมกระบวนการที่ใช้ในปัจจุบัน (current control) เพื่อพิจารณาว่ากระบวนการทวนสอบทางวิศวกรรม (engineering verification) หรือระบบควบคุมที่ใช้ในปัจจุบันมีความสามารถในการบ่งชี้ลักษณะข้อบกพร่องก่อนที่จะเกิดขึ้น หรือเมื่อเกิดขึ้นแล้วแต่มีความสามารถในการบ่งชี้ความบกพร่องก่อนส่งผลิตภัณฑ์ให้ลูกค้าได้ดีเพียงไร และจะพิจารณาความเสี่ยงโดยประเมินถึงความสามารถในการตรวจจับ (Detection – D) ของระบบ โดยผลการประเมินนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงก็ต่อเมื่อได้รับการเปลี่ยนแปลงกระบวนการทวนสอบทางวิศวกรรมหรือระบบควบคุมกระบวนการที่ใช้ในปัจจุบันเท่านั้น

5. การประเมินตัวเลขแสดงความเสี่ยง

ภายหลังจากการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องแต่ละรายการแล้ว ให้ทำการประเมินผลค่าความเสี่ยงโดยพิจารณาจากองค์ประกอบทั้งสามประการ คือ ความรุนแรงของลักษณะข้อบกพร่อง (S) โอกาสในการเกิดสาเหตุ (O) และความสามารถในการตรวจจับลักษณะข้อบกพร่อง (D) ดังนี้

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

โดย RPN หมายถึง ตัวเลขแสดงลำดับของความเสี่ยง (Risk Priority Number)

เนื่องจากการให้คะแนน RPN จะเป็นการให้คะแนนจากการประเมินที่กำหนดไว้ล่วงหน้า จึงมีความจำเป็นต้องทำการทวนสอบผลการให้คะแนน RPN ดังกล่าวโดยอาศัยหลักการพาเรโต (Pareto principle) ที่กำหนดให้ลักษณะข้อบกพร่องที่มีความสำคัญจะมีจำนวนเพียงเล็กน้อย (vital few failure modes) และลักษณะข้อบกพร่องที่มีความสำคัญเล็กน้อยจะมีจำนวนมาก (trivial many failure modes) ซึ่งถ้าผลการทวนสอบโดยแผนภาพพาเรโตมิได้เป็นไปตามหลักการดังกล่าวนี้ ก็มีความจำเป็นต้องทำการทบทวนการให้คะแนนประเมินความเสี่ยงใหม่

6. การกำหนดมาตรการตอบโต้เพื่อลดความเสี่ยง

ภายหลังจากการวิเคราะห์ความเสี่ยงแล้ว ให้ทำการเลือกลักษณะข้อบกพร่องที่มีความรุนแรง และ / หรือความเสี่ยงมากขึ้นมาพิจารณา กำหนดมาตรการตอบโต้ โดยการกำหนดมาตรการตอบโต้นี้ควรมาจากพื้นฐานของเทคโนโลยีเฉพาะด้าน (intrinsic technology) และเมื่อกำหนดมาตรการตอบโต้แล้วให้ดำเนินการปฏิบัติการ (action) โดยการดำเนินการให้อยู่ในรูปแบบคณะทำงานที่มีการมอบหมายอย่างเป็นทางการ สำหรับในกรณีที่มีความรุนแรงของลักษณะข้อบกพร่องสูงมาก อาจกำหนดมาตรการเบื้องต้นโดยการลดความรุนแรงลง (mitigation) ก่อนที่จะดำเนินการกับสาเหตุรากเหง้าต่อไปก็ได้

7. การประเมินผลความเสี่ยงภายหลังการปฏิบัติการตอบโต้

หลังจากมีการใช้มาตรการตอบโต้เรียบร้อยแล้ว ผู้วิเคราะห์จะต้องทำการประเมินค่าความเสี่ยงในรูปแบบ RPN โดยอาศัยกฎเกณฑ์เดิมอีกครั้งเพื่อพิจารณาว่าความเสี่ยงของลักษณะข้อบกพร่องที่พิจารณาได้ลดลงหรือไม่และถ้าไม่ตรงตามที่กำหนดแต่แรก ให้พิจารณาว่ามีสาเหตุมาจากประเด็นใดเพื่อดำเนินการแก้ไขต่อไป

8. การติดตามผลและจัดทำมาตรฐาน

ในขั้นตอนสุดท้ายของการดำเนินการ FMEA ในรอบแรกจะได้รับการติดตามผลเพื่อสร้างความมั่นใจว่ามาตรการตอบโต้ที่กำหนดไว้ได้รับการนำไปปฏิบัติใช้อย่างมีประสิทธิภาพหรือไม่ และถ้ามีประสิทธิภาพดีแล้วก็ควรจะดำเนินการจัดทำเป็นมาตรฐานต่อไป

เมื่อมีการนำมาตรการตอบโต้ไปใช้แล้วและควบคุมอย่างได้ผลดีแล้ว ก็ควรจะดำเนินการวิเคราะห์ FMEA อีกเพื่อความพยายามในการลดค่าความเสี่ยงลงอย่างต่อเนื่อง ดังที่ได้กล่าวมาแล้วถึงแนวความคิดการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องไม่สิ้นสุด

2.8 การสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่จัดทำขึ้นนี้ได้สำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

2.8.1 สุขชาติ แซ่แต้ [6]

งานวิจัยนี้ จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์ในการปรับปรุงกระบวนการการผลิตของกระดาษลูกฟูก โดยมุ่งไปที่การปรับปรุงแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูกและลดการสูญเสียแรงเสียดทานให้น้อยที่สุด และได้มีการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองแบบ 2^{k-p} Fractional Factorial Design Resolution IV โดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการทดลองดังนี้ ระยะเวลาของ Print Roll Gap, น้ำยาวานิชประเภท B, ความหนืดของหมึกพิมพ์, ระยะเวลาของ Feed Belt Gap ซึ่งหลังจากการทดลองจะได้ค่าระดับของปัจจัยที่เหมาะสมในการปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยระยะเวลาของ Print Roll Gap อยู่ที่ 7 มม. , น้ำยาวานิชประเภท B, ความหนืดของหมึกพิมพ์อยู่ที่ 12.5 วินาที, ระยะเวลาของ Feed Belt Gap อยู่ที่ 8.5 มม. และหลังจากการปรับปรุงกระบวนการผลิต มีปริมาณของเสียเกิดขึ้นเพียง 11.20 DPPM และความสามารถของกระบวนการ (C_{pk}) มีค่าเท่ากับ 1.34

2.8.2 ศรียา กสิกันท์ [7]

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงและความคงขนาดของแผ่นพาร์ทิเคิล โดยอาศัยหลักการการออกแบบการทดลองแบบ 3^k Factorial Design ซึ่งมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมด 3 ปัจจัยคือ ปริมาณเศษแผ่นพาร์ทิเคิล, ปริมาณกาวผิว, ปริมาณกาวไส้และมีตัวแปรตอบสนองทั้งหมด 9 ตัวแปรคือ ความต้านทานแรงดัด, ความต้านทานแรงดึงตึงฉาก, การพองตัวเมื่อแช่น้ำ, ความยืดหยุ่นของตะปูเกลียว, ความหนาแน่น, การดูดซึมน้ำ, ความชื้น, ความยืดหยุ่นของผิวหน้าและมอดูลัสยืดหยุ่น หลังจากการนำปัจจัยที่เกี่ยวข้องไปออกแบบและทดลองพบว่าค่าความแข็งแรงและความคงขนาดของแผ่นพาร์ทิเคิล จะเหมาะสมที่สุดเมื่อระดับของปัจจัย

ที่เกี่ยวข้องในการผลิตมีค่าดังต่อไปนี้ ปริมาณเศษแผ่นพาร์ทิเคิลอยู่ที่ 5 % ของไม้ทั้งหมดอยู่ที่, ปริมาณกาวผิวอยู่ที่ 16% ของเนื้อไม้แห้งและปริมาณกาวไส้อยู่ที่ 9% ของเนื้อไม้แห้ง และเมื่อนำสภาวะที่เหมาะสมนี้ไปทำการทดลองผลิตจริงพบว่า ได้ผลของค่าความแข็งแรงและความคงขนาดใกล้เคียงกับที่ได้ในการทดลอง

2.8.3 วิชาญ วรรณนา [8]

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเหล็กปลายสั้น และเสนอเงื่อนไขที่เหมาะสม (Suitable Condition) ที่ทำให้เกิดเหล็กปลายสั้นที่มีความยาวน้อยที่สุดภายใต้เงื่อนไขที่เป็นไปได้ โดยอาศัยหลักการการออกแบบการทดลองแบบ 2^k Factorial Design และปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อ การเกิดเหล็กปลายสั้นสำหรับกระบวนการหล่อเหล็กประกอบด้วย อัตราการไหลของน้ำหล่อเหล็กแบ่งช่วงที่ 1, ความเร็วในการหล่อเหล็กแบ่ง และอุณหภูมิน้ำเหล็กในทันดิช เมื่อนำปัจจัยที่เกี่ยวข้องมาทำการออกแบบและทดลอง พบว่าสภาวะที่เหมาะสม(Suitable Condition) ที่ทำให้เกิดเหล็กปลายสั้นที่มีความยาวน้อยที่สุดคือ อัตราการไหลของน้ำหล่อเหล็กแบ่งช่วงที่ 1 อยู่ที่ 200 ลิตรต่ออนาที, ความเร็วในการหล่อเหล็กแบ่งอยู่ที่ 0.9 เมตรต่ออนาที และอุณหภูมิน้ำเหล็กในทันดิช 1,530 องศาเซลเซียส ซึ่งในสภาวะดังกล่าวข้างต้นจะสามารถลดความยาวของเหล็กปลายสั้นลงได้ 158 มิลลิเมตร จากความยาวเดิม 681.17 มิลลิเมตร และยังพบว่าสามารถลดความยาวเมื่อตัดของเหล็กปลายสั้นลงได้ 264 มิลลิเมตร จากความยาวเดิม 349 มิลลิเมตร ดังนั้นสามารถลดความยาวของเหล็กปลายสั้นลงได้ทั้งหมด 422 มิลลิเมตร หรือสามารถลดต้นทุนจากของเสียได้ถึง 629,856 บาทต่อปี

2.8.4 สุรพล สุรบรรเจิดพร [9]

ในงานวิจัยนี้ได้มีการจัดทำขึ้นมาโดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเชื่อมตีบุก-ตะกั่วบนแผ่นลายวงจรมีพีด้วยเครื่องเชื่อมอัตโนมัติ และหาเงื่อนไขที่เหมาะสมจากการทดลอง เพื่อลดจุดบกพร่องของรอยเชื่อม โดยอาศัยหลักการการออกแบบการทดลองแบบ 2^k Factorial Design ซึ่งมีปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเชื่อมตีบุก-ตะกั่วบนแผ่นลายวงจรมีพี ดังนี้ ความเร็วสายพาน, อุณหภูมิในการอบความร้อน, ค่าความถี่ของพัลส์ และการไหลของโลหะผสมซิลิโคน และจากการนำแบบการทดลองไปทำการทดลองเพื่อวิเคราะห์และสรุปผลนั้น พบว่าปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อจำนวนจุดบกพร่องคือ ลักษณะการไหลของโลหะผสมซิลิโคน และความเร็วสายพาน โดยมีตัวแปรตอบสนองคือจุดบกพร่องของรอยเชื่อมประเภท Excessive Solder, Insufficient Solder และ Bridging (or Shorting) จากผลการทดลองพบว่า

ค่าของตัวแปรที่ทำให้เกิดผลทางคุณภาพที่ดี คือ การปรับลักษณะการไหลของโลหะผสมซิลิคอนให้มีการเคลื่อนที่ทั้งสองด้าน และความเร็วของสายพานเท่ากับ 108 เซ็นติเมตรต่อนาที

2.8.5 วิรุทธ์ สิมเสมอ [10]

ในงานวิจัยนี้ได้จัดทำขึ้นเพื่อปรับปรุงกำลังการผลิตของเครื่องรีโฟลว์ โดยมีตัวแปรตอบสนองที่สนใจ 2 ตัว คือ เวลาที่คงอยู่ และอุณหภูมิสูงสุด ซึ่งในการทดลองจะมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมด 5 ปัจจัย ประกอบด้วย อุณหภูมิของฮีตเตอร์ตัวที่ 1 อุณหภูมิของฮีตเตอร์ตัวที่ 2 อุณหภูมิของฮีตเตอร์ตัวที่ 3 อุณหภูมิของฮีตเตอร์ตัวที่ 4 และความเร็วของสายพาน จากนั้นได้นำเทคนิคการออกแบบการทดลองมาประยุกต์ใช้ต่อ โดยอาศัยหลักการการออกแบบการทดลองแบบ 2^k Factorial Design หลังจากวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลองข้างต้นพบว่าปัจจัยที่จะใช้ในการทดลอง จะมีเพียง 3 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิของฮีตเตอร์ตัวที่ 3 อุณหภูมิของฮีตเตอร์ตัวที่ 4 และความเร็วของสายพาน และจากนั้นได้ อาศัยหลักการการออกแบบการทดลองแบบ 3^k มาประยุกต์ใช้ต่อ ผลจากการทดลองสามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อเวลาที่คงอยู่และอุณหภูมิสูงสุดได้ ผลสรุปจากการทดลองสามารถตั้งค่าเครื่องรีโฟลว์ใหม่โดยการกำหนดความเร็วของสายพานที่ระดับสูงสุดคือ 1.0 เมตรต่อนาที อุณหภูมิของฮีตเตอร์ตัวที่ 3 อยู่ที่ 255 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิของฮีตเตอร์ตัวที่ 4 อยู่ที่ 265 องศาเซลเซียส เมื่อได้ประยุกต์ใช้การตั้งค่าของเครื่องรีโฟลว์นี้ สามารถลดเวลานำในการผลิตตัวเก็บประจุชนิดแทนทาลัมแบบ Green series โดยรวมได้ 11.6 % และสามารถเพิ่มกำลังการผลิตรวมได้ 32 ล้านชิ้นต่อเดือน

2.8.6 อธิริยา เก็งวานิจ [11]

ในงานวิจัยฉบับนี้ได้จัดทำขึ้น เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยมุมของแขนจับยึดหัวอ่านเขียน และหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัย โดยใช้ค่า C_{pk} ของค่าเฉลี่ยมุมแขนจับยึดหัวอ่านเขียนซึ่งเดิมมีค่าเท่ากับ 0.83 เป็นตัววัดผลของการทดลอง และมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการทดลองเพียง 4 ปัจจัย ซึ่งประกอบด้วย ความสูง Dimple, ค่าเฉลี่ย Sag, ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจุดเชื่อม และตำแหน่งจุดเชื่อมในแนวแกน Y และจากนั้นได้ประยุกต์ใช้ การออกแบบการทดลองแบบ 2^k Factorial with center point หลังจากการทดลองพบว่าเงื่อนไขที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยเป็นดังนี้ ความสูง Dimple 0.075 มิลลิเมตร ค่าเฉลี่ย Sag 0.032 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจุดเชื่อม 0.25 มิลลิเมตร และตำแหน่งจุดเชื่อมในแนวแกน Y 2.23 มิลลิเมตร พร้อมทั้งเพิ่มค่า C_{pk} ขึ้น 0.27 คืออยู่ที่ 1.1

2.8.7 ศักรินทร์ อินทปัญญา [12]

ในงานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการเคลือบเงินในกระบวนการผลิตกระจกเงา และเสนอเงื่อนไขที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเคลือบเงินภายใต้เงื่อนไขที่เป็นไปได้ โดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดลองนี้ 3 ปัจจัยคือ อุณหภูมิกระจกก่อนเคลือบเงิน ปริมาณของเหลวบนกระจก ความดันน้ำเข้า โดยอาศัยหลักการการออกแบบการทดลองแบบ 2^k Factorial Design และผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า สภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้ประสิทธิภาพการเคลือบเงินมีค่าสูงสุดคือ อุณหภูมิกระจกก่อนเคลือบเงิน 95 องศาฟาเรนไฮต์ ความดันน้ำ DI เข้า Console 40 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ความดันน้ำเข้า Rinse bar Console 5 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และเมื่อนำประสิทธิภาพการเคลือบเงินที่ได้ไปเปรียบเทียบกับเชิงสถิติกับประสิทธิภาพการเคลือบเงินในปัจจุบันพบว่า ค่าประสิทธิภาพการเคลือบเงินโดยเฉลี่ยที่สภาวะใหม่นี้มีค่าสูงกว่าค่าประสิทธิภาพที่เป็นอยู่ในปัจจุบันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2.8.8 Mohd Khairy Othman, Asban Dolah, Nurul Afzan Omar and Mohamed Razman Yahya [14]

ในวารสารนี้ได้จัดทำขึ้นเพื่อหาเวลา lapping ที่ดีที่สุดหรือเวลาที่น้อยที่สุดในการลดความหนาของ GaAs wafer โดยอาศัยหลักการการออกแบบการทดลองแบบ 2^k factorial design ซึ่งการลดความหนาของ GaAs wafer จะประกอบด้วยปัจจัยที่สำคัญ 4 ปัจจัยคือ lapping speed, lapping time, oscillator speed และ weight โดยผลจากการทดลองพบว่าสภาวะที่ให้ค่า lapping ที่ดีที่สุด จะต้องกำหนดดังนี้ lapping speed เท่ากับ 3 r.p.m., oscillator speed เท่ากับ 2 r.p.m., weight(discrete) เท่ากับ 3 ซึ่งจะใช้เวลาทั้งหมด 240 วินาที ด้วยการกำหนดค่าจากพารามิเตอร์ดังกล่าวจะสามารถลดความหนาของเวเฟอร์ ได้ $156 \mu m$ ภายในเวลา 240 วินาที และสามารถนำไปเป็นค่าอ้างอิงในกระบวนการการลดความหนาของ เวเฟอร์ GaAs ได้เป็นอย่างดี

2.8.9 Shad Dowlatshahi [15]

ในวารสารเล่มนี้ได้นำเสนอการใช้การออกแบบการทดลอง(DOE) เพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา ในกระบวนการการฉีดพลาสติก และลดเวลาในกระบวนการการฉีดพลาสติก โดยอาศัยหลักการการออกแบบการทดลองแบบ 2^k Fractional Factorial Design (Resolution 4) และมีการทดลองที่จุดศูนย์กลาง (Center point) เท่ากับ 2 ครั้ง โดยมีปัจจัยที่ส่งผลดังนี้ มีจำนวนปัจจัยในการทดลองที่ส่งผลต่อกระบวนการเพียง 3 ตัว คือ

- (1) Injection pressure.
- (2) Injection velocity.
- (3) Mold temperature

และผลที่ได้จากการทดลองจะมีการยืนยันความถูกต้อง พร้อมกับรับรองความถูกต้อง จากผลของการทดลองนี้ บริษัทสามารถลดเวลาการผลิต และเพิ่มผลผลิต รวมทั้งสามารถลดเวลาในการดำเนินงานได้ตามที่ต้องการ ในขณะที่ยังคงมีมาตรฐานคุณภาพเหมือนเดิม

2.8.10 Jose Maria Lopez Pedrosa and Mark Bradley [16]

ในงานวิจัยฉบับนี้ได้จัดทำขึ้น เพื่อพัฒนาสูตรของน้ำหมึกในการพิมพ์ให้มีความเหมาะสมต่อการใช้งานมากที่สุด โดยอาศัยหลักการการออกแบบการทดลองแบบ 2^k factorial with center point design และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการใช้ชุดของซอร์ฟเวททางสถิติ (MODDE 8) ช่วยในการดำเนินงาน ซึ่งจะวิเคราะห์เกี่ยวกับการถดถอยแบบเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression) และวิธีกำลังสองน้อยสุดแบบบางส่วน (Partial Least Square) ซึ่งมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมด คือ แรงดันไฟฟ้า (Voltage), ระยะเวลาของจังหวะ (Pulse width), ความเข้มข้นของสาร diethyleneglycol และความถี่ (Frequency) และมีตัวแปรตอบสนอง 2 ค่า คือ ความหนืดของน้ำหมึก, การกระจายตัวของน้ำหมึก และจากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า ควรปรับค่าความเข้มข้นของสาร diethyleneglycol ที่ 10%w , แรงดันไฟฟ้า (Voltage) ที่ 94 V, จังหวะ(Pulse)อยู่ที่ 30 ms และความถี่ (Frequency) อยู่ที่ 60 Hz จึงจะส่งผลให้ ความหนืดของน้ำหมึก และการกระจายตัวของน้ำหมึก ที่พิมพ์ออกไปดีที่สุด

2.8.11 S. B. Mahagaonkar & P. K. Brahmanekar & C. Y. Seemikeri [17]

ในงานวิจัยฉบับนี้ได้จัดทำขึ้นเพื่อประเมินค่าความผันแปรของค่าความแข็งในวัสดุ และสร้างสมการระหว่างค่าการตีและค่าความแข็งของพื้นผิว ในวัสดุ AISI 1045 และ 316L โดยอาศัยหลักการการออกแบบการทดลองแบบ Full Factorial Design of Experiment ซึ่งมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมด 4 ปัจจัย ประกอบด้วย Pressure, shot size, nozzle distance distance และ exposure time

จากการทดลองพบว่าปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงผิวของวัสดุคือ pressure (P), shot size (S), exposure time (T), and nozzle distance (D) ซึ่งสามารถแสดงเป็นสมการความสัมพันธ์แบบเอ็กโปเนนเชียล ได้ดังนี้

วัสดุ ANSI 1045:

$$\text{Surface hardness (Hv)} = 118.59(P)^{-0.033}(S)^{0.015}(D)^{0.358}(T)^{-0.13}$$

วัสดุ 316L:

$$\text{Surface hardness (Hv)} = 5154.88(P)^{-0.026}(S)^{0.16}(D)^{-0.47}(T)^{-0.08}$$

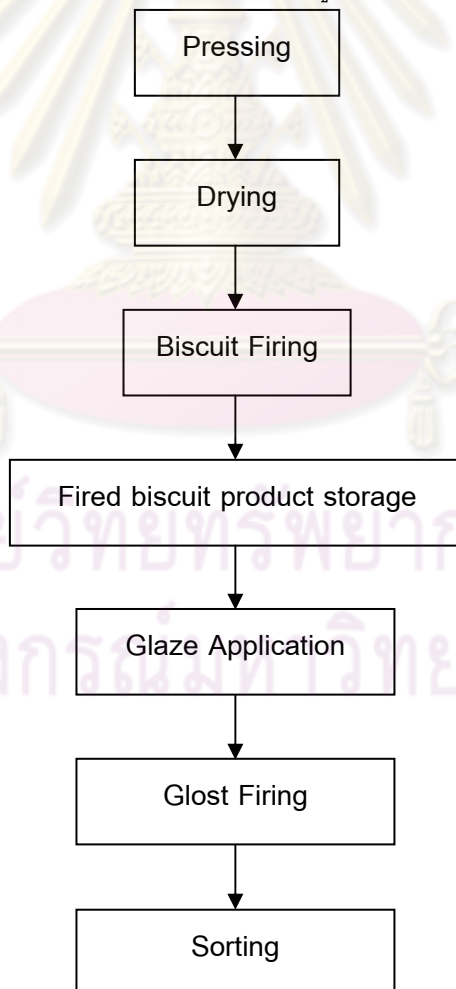


คุนยวิทยทรพยากร
จุพาลงกรณมหาวิทยาลัย

บทที่ 3

ศึกษากระบวนการผลิตกระเบื้องบิสกิต

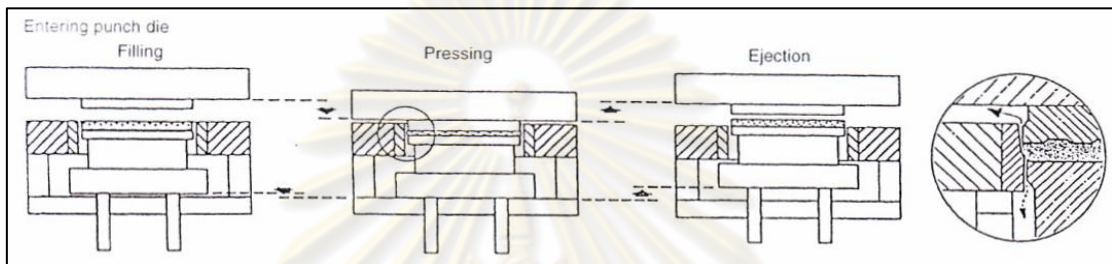
ปัจจุบัน “เซรามิกส์” มีความหมาย 2 ประการ คือ ประการแรก หมายถึง ผลิตภัณฑ์ซึ่งกรรมวิธีการผลิตต้องผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูง ส่วน ความหมายประการที่สอง หมายถึง ผลิตภัณฑ์ซึ่งส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ทั้งหมด หรือส่วนใหญ่ผลิตจากวัตถุดิบที่มีอยู่ตามธรรมชาติบนเปลือกโลก และในบทนี้จะเลือกศึกษาเฉพาะกระบวนการผลิตกระเบื้องบิสกิตเพราะกระบวนการนี้เป็นกระบวนการแรกในการผลิตกระเบื้องปูผนัง และมีความสำคัญอย่างมากเมื่อนำกระเบื้องบิสกิตที่ได้นี้ไปดำเนินการต่อโดยเฉพาะขนาดของกระเบื้อง ซึ่งงานวิจัยนี้ผู้ทำการวิจัยได้เลือกขนาดกระเบื้องบิสกิตจากการปริมาณการผลิตมากที่สุดและมีการผลิตอย่างต่อเนื่องนั่นคือขนาด 8x10 นิ้ว โดยแสดงกระบวนการผลิตกระเบื้องดังรูปที่ 3.1



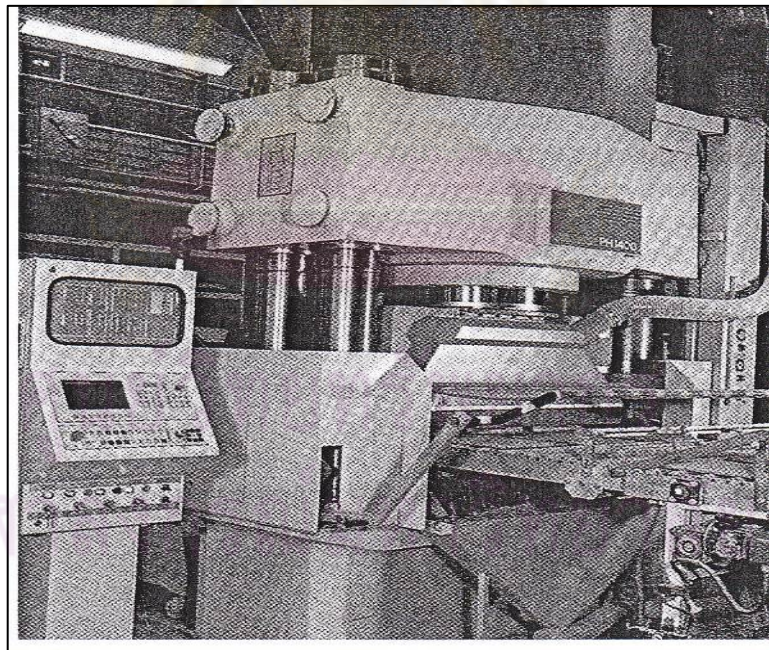
รูปที่ 3.1 แสดง กระบวนการผลิตกระเบื้องปูผนัง

โดยสามารถอธิบายความของกระบวนการผลิตในแต่ละส่วนดังนี้

3.1 กระบวนการอัดขึ้นรูปกระเบื้อง (Pressing Processing) คือ กระบวนการอัดขึ้นรูปกระเบื้อง ซึ่งในกระบวนการนี้เป็นกระบวนการในส่วนแรกของการผลิตกระเบื้อง โดยสิ่งสำคัญที่จะต้องเกี่ยวข้องกับกระบวนการขึ้นรูป คือการโรยผงดินลงในแบบอย่างสม่ำเสมอ และจากนั้นก็ขึ้นรูปด้วยการอัดลงไปแบบ ซึ่งกระบวนการอัดสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.2 และลักษณะของเครื่องจักรสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.3

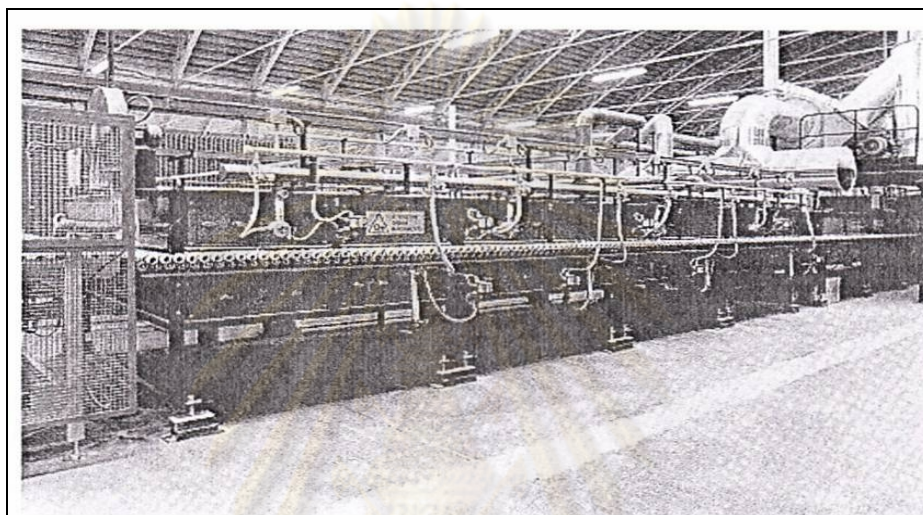


รูปที่ 3.2 แสดงลำดับของการขึ้นรูปกระเบื้อง



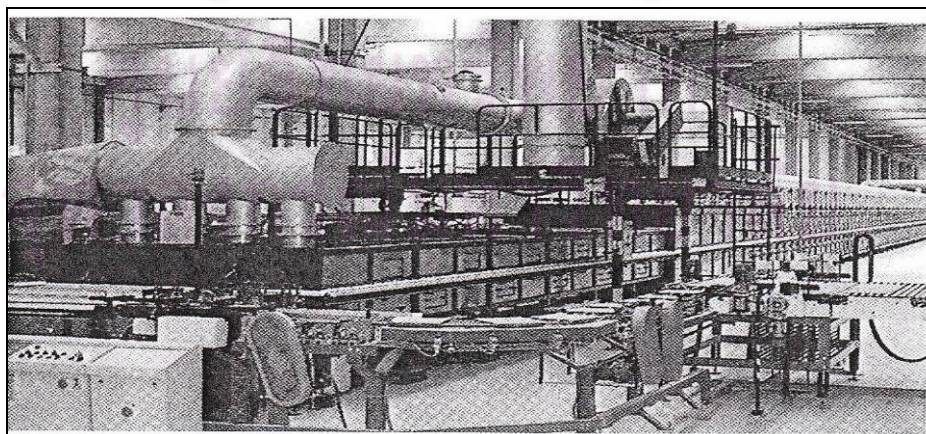
รูปที่ 3.3 แสดงเครื่องจักรที่ใช้ในการขึ้นรูปกระเบื้อง

3.2 กระบวนการอบกระเบื้อง (Drying Processing) คือกระบวนการอบกระเบื้องเพื่อให้กระเบื้องมีความชื้นที่เหมาะสม หลังจากการขึ้นรูปซึ่งยังมีความชื้นหรือมีน้ำ อยู่ในเนื้อดินที่อัดขึ้นรูปมา โดยเครื่องจักรที่ใช้ในการอบกระเบื้องจะมีทั้งการอบในแนวตั้ง (Vertical Drier) และแนวนอน (Horizontal Drier) แต่กระบวนการอบในปัจจุบันที่โรงงานเลือกใช้แบบแนวนอน (Horizontal Drier) ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงเครื่องอบกระเบื้องแบบแนวนอน (Horizontal Drier)

3.3 กระบวนการเผากระเบื้องบิสกิต (Biscuit Firing) คือกระบวนการเผากระเบื้องบิสกิต โดย กระบวนการจะเริ่มจากกระเบื้องที่ผ่านการอบ ไหลผ่านเข้ามาเตาเผา ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.5 และไหลออกจากเตาไปสู่กระบวนการถัดไป

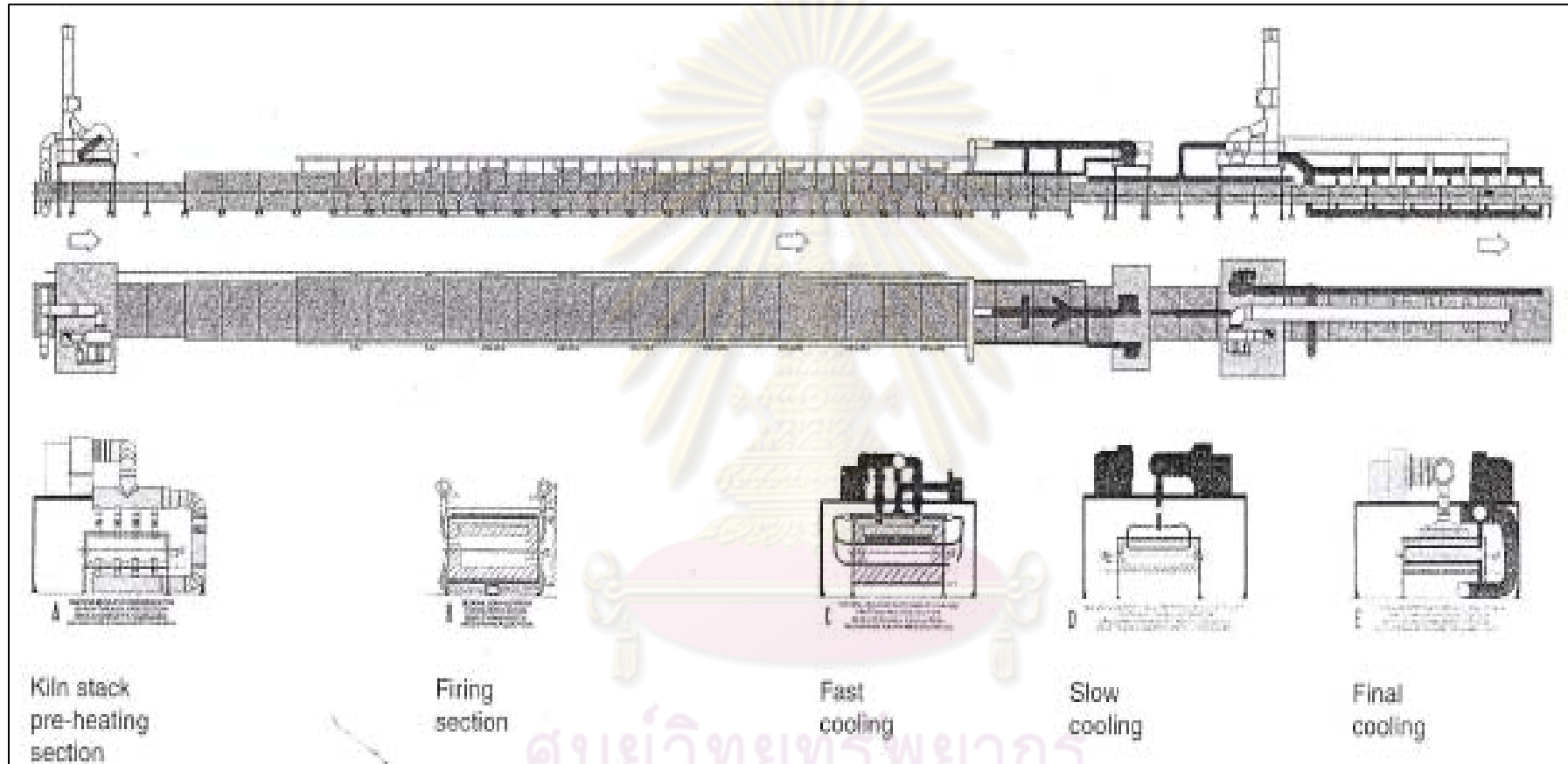


รูปที่ 3.5 แสดงเตาเผากระเบื้องบิสกิต (Biscuit Firing Kiln)

ซึ่งในกระบวนการเผาจะมีลักษณะอุณหภูมิของการเผา(Firing Curves) ที่เหมาะสมเพื่อทำให้ปฏิกิริยาระหว่างส่วนประกอบต่าง ๆ ในตัวกระเบื้องบิสกิตเปลี่ยนคุณสมบัติตามที่ต้องการและลักษณะที่เกี่ยวข้องในการเกิดปฏิกิริยาคือ ตัวกระเบื้องบิสกิตที่ผ่านการอัดขึ้นรูปโดยมีความหนาแน่นที่เหมาะสม และสุดท้ายคืออุณหภูมิที่ใช้ในการเผา ทั้งนี้สามารถแสดงลักษณะในแต่ละส่วนได้ดังรูปที่ 3.6



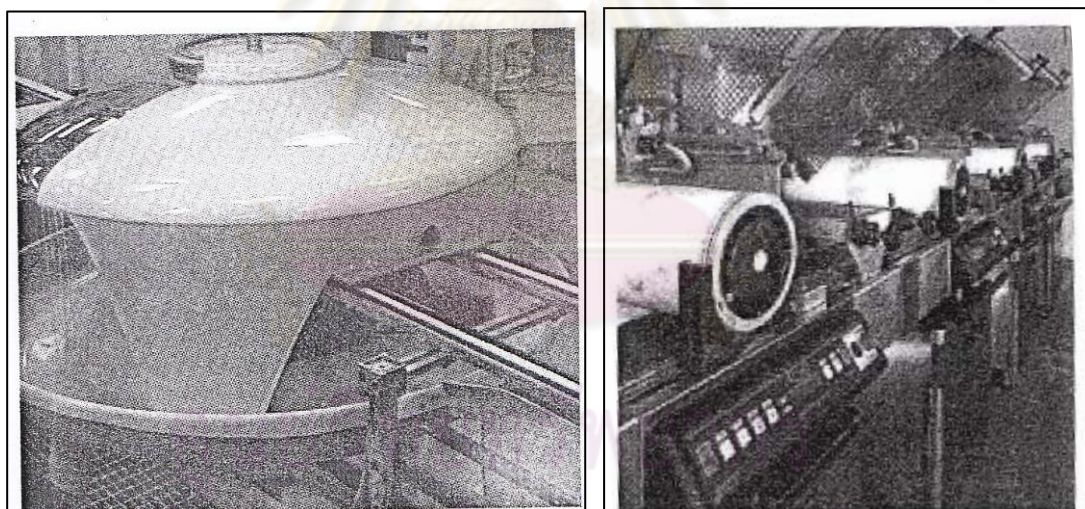
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.6 แสดงภาพด้านข้าง, ด้านบนและลักษณะตัดขวางในแต่ละส่วนของเตาเผากระเบื้องปิสกิต

จากรูปที่ 3.6 กระจกจะไหลเข้าเตาโดยผ่านในส่วนแรก ซึ่งลักษณะสำคัญในส่วนนี้คือจะให้ความร้อนในเบื้องต้น (Pre-heating section) เพื่อไล่แก๊ส (Degassing) ที่อยู่ในตัวกระจกบิสกิตออกมา และไหลผ่านเข้าในส่วนที่สองเพื่อทำการเผา (Firing section) เพื่อให้ได้ลักษณะของกระจกบิสกิตตามที่ต้องการ จากนั้นจะไหลเข้าในส่วนที่สามเพื่อเป่าด้วยลมเย็นอย่างรวดเร็ว (Rapid Cooling) และไหลเข้าในส่วนที่สี่เพื่อเป่าลมเย็นอย่างต่อเนื่องแต่ลดความเร็วลง (Slow Cooling) โดยในส่วนนี้จะมีความสำคัญในการเปลี่ยนแปลงของตัวกระจกบิสกิตด้วยเช่นกัน และในส่วนท้ายสุดจะไหลเข้าช่วงสุดท้ายของการเป่าลมเย็น(Final Cooling) และจากนั้นจะนำกระจกบิสกิตที่เผาเสร็จแล้วนี้ไปเก็บ (Fired biscuit product storage) เพื่อดำเนินการผลิตต่อไป

3.4 กระบวนการตกแต่ง (Glazing Processing) คือกระบวนการตกแต่งบนกระจกบิสกิตโดยการเคลือบสี โดยในปัจจุบันเครื่องจักรที่ใช้ในการตกแต่งกระจกบิสกิตมีหลายประเภทดังแสดงในรูปที่ 3.7

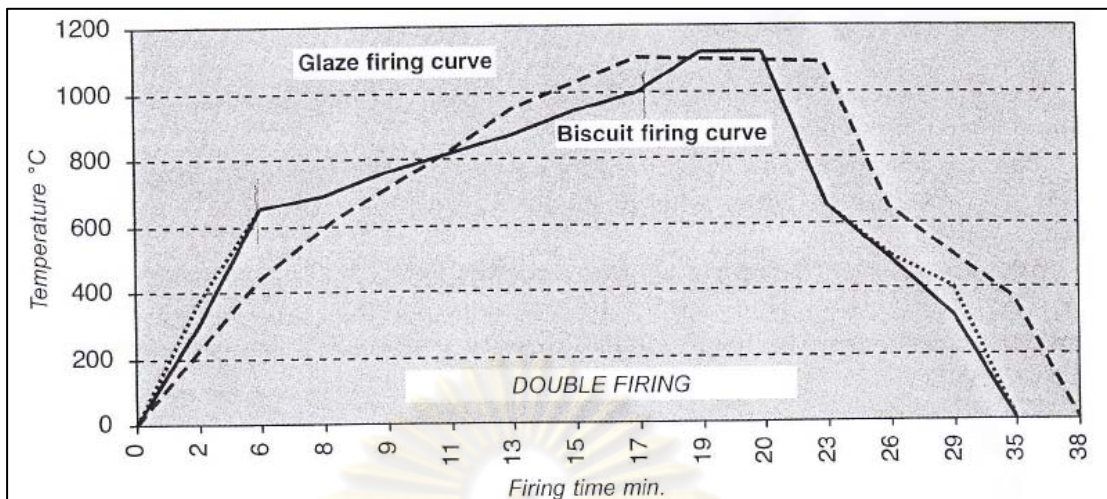


(a)

(b)

รูปที่ 3.7 แสดงการเคลือบสีโดยใช้เครื่อง (a) Waterfall (Bell unit) (b) Roto Color

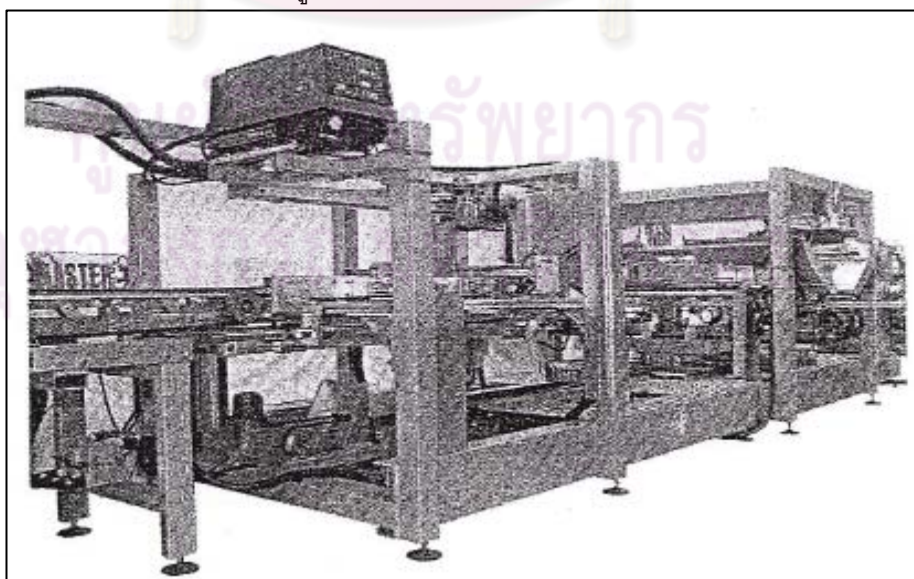
3.5 กระบวนการเผากระจกบิสกิตที่ผ่านการตกแต่งลดลอย (Glost Firing Processing) คือกระบวนการเผากระจกบิสกิตที่ผ่านการตกแต่งลดลอยแล้ว หรือเรียกว่าการเผาครั้งที่สอง (Double Firing) และลักษณะของเครื่องจักรหรือเตาที่ใช้ในการเผาก็มีลักษณะเช่นเดียวกับเตาเผากระจกบิสกิต ดังแสดงในรูปที่ 3.5, 3.6 และอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาระหว่างกระจกบิสกิตและกระจกที่เคลือบแล้วแสดงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แสดงอุณหภูมิในแต่ละช่วงของการเผาของกระเบื้องบิสกิตและกระเบื้องเคลือบสี

3.6 กระบวนการคัดเลือก (Sorting Processing) คือกระบวนการคัดเลือกกระเบื้องบุผนัง ซึ่งกระบวนการนี้เป็นกระบวนการสุดท้ายของกระบวนการผลิตกระเบื้องบุผนัง และในกระบวนการนี้จะมีลักษณะของการคัดแยกอยู่สองประเภทคือ

1. การคัดแยกโดยการใช้พนักงานมองที่ชิ้นงาน (Visual Check) เช่นการคัดแยกตำหนิ (Defect) เป็นต้น
2. ใช้เครื่องจักรในการคัดแยกขนาดและความสมมาตร (Dimensional and geometric controls) เช่น การคัดแยกความราบเรียบ (Planarity) ของกระเบื้อง เป็นต้น และลักษณะของการคัดเลือกจะแสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงเครื่องคัดแยกขนาดและความสมมาตรของกระเบื้องบุผนัง

บทที่ 4

วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 การกำหนดตัวแปรตอบสนอง (Response Variables)

ในงานวิจัยนี้ ได้เลือกกระเบื้องบิสกิตขนาด 8x10 นิ้วมาทำการทดลองเพราะมีปริมาณการผลิตมากที่สุด พร้อมทั้งมีการผลิตอย่างสม่ำเสมอสามารถติดตามผลการทดลองได้อย่างต่อเนื่อง และในกระบวนการผลิตกระเบื้องบิสกิต จะต้องมีการควบคุมตัวแปรตอบสนองที่สำคัญในกระบวนการ ซึ่งประกอบด้วย

1. ขนาดของกระเบื้องด้าน 8 นิ้ว
2. ขนาดของกระเบื้องด้าน 10 นิ้ว

ดังนั้นในการทำวิจัยครั้งนี้จึงกำหนดตัวแปรตอบสนองที่สนใจ คือ

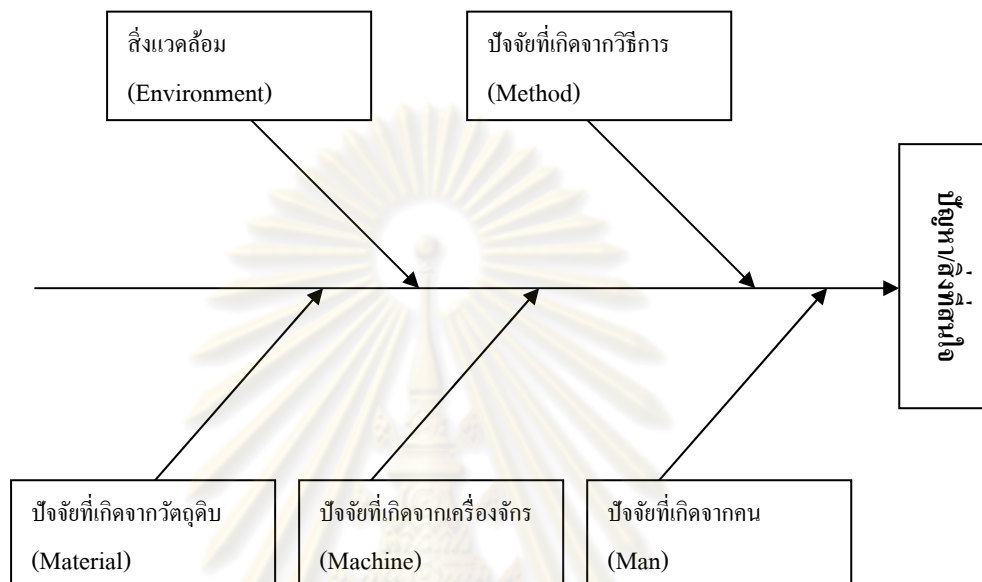
1. Y_8 คือ ขนาดกระเบื้องด้าน 8 นิ้ว
2. Y_{10} คือ ขนาดกระเบื้องด้าน 10 นิ้ว

4.2 การเลือกปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง

ในการทำการทดลองเบื้องต้นเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อขนาดของกระเบื้องด้าน 8 นิ้วและด้าน 10 นิ้ว จะใช้การระดมสมอง (Brainstorming) จากผู้เชี่ยวชาญ ผู้มีประสบการณ์ที่เกี่ยวข้อง โดยอ้างอิงตามหลักการทางวิศวกรรม ข้อมูลจากการทดลองในอดีต รวมทั้งข้อจำกัดในทางปฏิบัติต่าง ๆ มาพิจารณาร่วมกันเพื่อหาปัจจัยที่จะนำมาใช้ในการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง เมื่อพิจารณาปัจจัยในการผลิตกระเบื้องบิสกิต พบว่ามีปัจจัยมากมายเข้ามาเกี่ยวข้องและมีอิทธิพลต่อขนาดของกระเบื้องด้าน 8 นิ้วและด้าน 10 นิ้ว ดังนั้นในขั้นต้น จึงควรพิจารณาถึงปัจจัยโดยสามารถจำแนกปัจจัยออกได้เป็น 5 ปัจจัยหลักการ ตามหลักการ 4M 1E ดังต่อไปนี้

1. ปัจจัยที่เกิดจากคน (Man)
2. ปัจจัยที่เกิดจากเครื่องจักร (Machine)
3. ปัจจัยที่เกิดจากวัตถุดิบ (Material)
4. ปัจจัยที่เกิดจากวิธีการ (Method)
5. สิ่งแวดล้อม (Environmental)

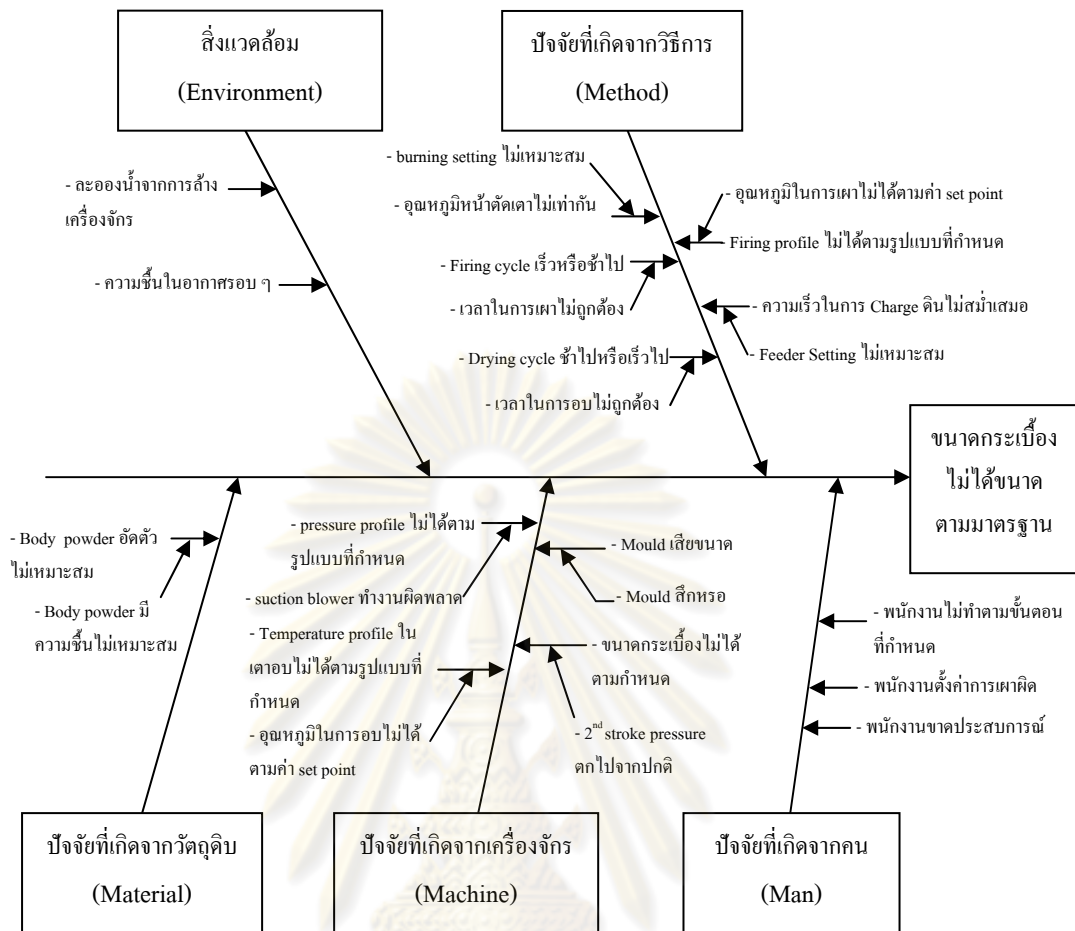
โดยการประยุกต์ใช้แผนผังก้างปลา (Fishbone Diagram) ที่เกิดจากการระดมสมองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างผล กับ ปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อหาสาเหตุที่มาของปัญหา สามารถวิเคราะห์ถึงสาเหตุที่เป็นรากเหง้า (Root Cause) ของปัญหาได้ โดยทั่วไปมักแบ่งหมวดหมู่ของสาเหตุของปัญหาว่าเกิดจาก คน เครื่องจักร วัสดุ วิธีการ และปัจจัยแวดล้อม ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงแผนผังก้างปลา (Fishbone Diagram)

และสามารถแสดงผลการประยุกต์ใช้แผนผังก้างปลา (Fishbone Diagram) ที่เกิดจากการระดมสมองเพื่อหาความสัมพันธ์ ระหว่างขนาดกระเบื้องที่ไม่ได้ขนาดตามมาตรฐานกับปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องดังแสดงในรูปที่ 4.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.2 แสดงแผนผังก้างปลาเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อขนาดกระเบื้องบิสกิต

จากรูปที่ 4.2 สามารถเลือกปัจจัยที่จะใช้ในการวิจัย ซึ่งมีเกณฑ์ที่จะใช้ในการพิจารณาดังนี้

1. ปัจจัยที่ถูกเลือกนั้นต้องสามารถปรับเปลี่ยนค่าได้ โดยไม่เสียค่าใช้จ่ายในการผลิตเพิ่มขึ้นอย่างมากมาย
2. ปัจจัยที่ถูกเลือกนั้นจะต้องไม่มีผลกระทบต่อรอบเวลาในการผลิต (Cycle Time) มากนัก
3. ปัจจัยที่ถูกเลือกจะพิจารณาโดยใช้ข้อมูลการทดลองที่ได้ทำแล้วในอดีต หรือความรู้ในเชิงวิศวกรรมประกอบด้วย
4. ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับคนจะเลือกใช้พนักงานที่มีความชำนาญ ทำงานได้ถูกต้อง เพื่อลดข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นและกำหนดเป็นปัจจัยควบคุม
5. ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องจักร ซึ่งเป็นลักษณะที่เกี่ยวกับความสามารถของเครื่องจักรจะไม่นำมาพิจารณาและกำหนดเป็นปัจจัยควบคุม
6. ปัจจัยที่อยู่นอกเหนือความรับผิดชอบ จากหน่วยงานที่รับผิดชอบจะไม่นำมาพิจารณา

ดังนั้นปัจจัยที่ไม่ถูกเลือกมาประเมินค่าความเสี่ยงชั้นนำ สำหรับการคัดเลือกปัจจัยเพื่อทำการทดลองเบื้องต้น ในการปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิต กระเบื้องปิสกิต(จะกล่าวต่อในบทถัดไป) ได้สรุปเหตุผลไว้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงเหตุผลที่ไม่เลือกปัจจัยต่าง ๆ เบื้องต้น

ปัจจัย	เหตุผลที่ไม่เลือกปัจจัย
1. ปัจจัยด้านวัตถุดิบ	
1.1 Body powder มีความชื้นไม่เหมาะสม	- เป็นปัจจัยที่อยู่นอกเหนือความรับผิดชอบ และไม่สามารถปรับเปลี่ยนค่าได้ในระหว่างการทดลอง แต่มีการประกันคุณภาพก่อนการส่งมอบจากหน่วยงานผลิต Body powder ซึ่งทำให้เฝ้าระวังได้ก่อนนำมาผลิต
2. ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม	
2.1 ละอองน้ำจากการล้างเครื่องจักร	- เป็นปัจจัยที่ไม่สามารถปรับเปลี่ยนและควบคุมค่าได้ในระหว่างการทดลอง
2.2 ความชื้นในอากาศรอบ ๆ	- เนื่องจากพื้นที่เป็นลักษณะเปิดโล่งดังนั้นจึงไม่สามารถควบคุมค่าความชื้นในอากาศรอบ ๆ ได้
3. ปัจจัยด้านคน	
3.1 พนักงานไม่ทำตามขั้นตอนที่กำหนด	- ปัจจัยนี้เกิดจากความเร่งรีบของพนักงานซึ่งสามารถที่จะแก้ไขโดยปลูกจิตสำนึก หรือใช้หลักการของ Poka Yoke ช่วยในการป้องกันความผิดพลาดของพนักงาน
3.2 พนักงานตั้งค่าการเผาผิด	- ปกติจะมีการตรวจสอบค่าการเผาก่อนดำเนินงานซึ่งสามารถที่จะแก้ไขโดยอบรมพนักงานให้ปฏิบัติตามเอกสารกรรมวิธีการผลิต
3.3 พนักงานขาดประสบการณ์	- ปัจจัยนี้เกิดจากพนักงานใหม่หรือพนักงานที่ยังขาดประสบการณ์ในการทำงานซึ่งสามารถจะทำการแก้ไขได้โดยการกำหนดให้พนักงานที่มีประสบการณ์มากเป็นผู้ทำการทดลองเพียงผู้เดียวตลอดการทดลอง

จากรูปที่ 4.2 และตารางที่ 4.1 จะนำปัจจัยต่าง ๆ ที่ถูกเลือกซึ่งมีเกณฑ์การเลือกดังได้กล่าวข้างต้น (เกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณา 1-6) ซึ่งจะแสดงตามแผนผังก้างปลาเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อขนาดกระเบื้องปิสกิตต่อในบทที่ 5 โดยแสดงสาเหตุของปัญหาขนาดกระเบื้องไม่ได้ตามมาตรฐานซึ่งแยกตามกระบวนการผลิต

จากนั้นนำปัจจัยทั้งหมดมาทำการวิเคราะห์สาเหตุของลักษณะข้อบกพร่อง และผลกระทบ (FMEA-Failure Mode and Effects Analysis) เพื่อเปรียบเทียบอิทธิพลของแต่ละปัจจัยโดยพิจารณาจากตัวเลขแสดงลำดับความเสี่ยง (RPN-Risk Priority Number) โดยจะเลือกจากปัจจัยที่มีตัวเลขแสดงลำดับความเสี่ยงสูง ๆ เพื่อทำการทดลองเบื้องต้นต่อไป

4.2.1 การกำหนดปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง

หลังจากที่ทำการศึกษาคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อขนาดของกระเบื้องด้าน 8 นิ้วและด้าน 10 นิ้ว ในหัวข้อที่ 4.2 ขั้นต่อไปจะทำการศึกษาปัจจัยหลักที่มีผลต่อขนาดของกระเบื้องด้าน 8 นิ้วและด้าน 10 นิ้ว โดยการเลือกปัจจัยที่ใช้ในการวิจัยและปัจจัยที่ไม่เลือกใช้ในการวิจัยซึ่งจะถูกควบคุมให้คงที่ แล้วนำปัจจัยที่ถูกเลือกเหล่านี้มาทำการออกแบบการทดลอง เพื่อพิสูจน์ยืนยันถึงสมมติฐานที่ตั้งไว้ว่าปัจจัยเหล่านั้น มีผลต่อขนาดของกระเบื้องด้าน 8 นิ้วและด้าน 10 นิ้ว ซึ่งในการทดลองนี้จะใช้หลักการทางสถิติวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้จากการออกแบบการทดลอง เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลในเชิงสถิติแล้ว จะต้องทำการตีความหมายออกมาเพื่อใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยผลสรุปที่ได้จากการทดลอง จะสามารถบอกได้ว่า ปัจจัยใดบ้างที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองที่สนใจในกระบวนการที่ทำการศึกษ ด้วยระดับความเชื่อมั่นอย่างมีนัยสำคัญตามที่ต้องการในการทำการทดลองเพื่อยืนยันสมมติฐานที่ตั้งไว้นั้น ควรจะมีการออกแบบแผนการทดลองตามลำดับขั้นตอนเพื่อสามารถนำไปปฏิบัติได้อย่างถูกต้อง ตามหลักการของการออกแบบการทดลอง

4.2.2 การคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง

เพื่อพิสูจน์ยืนยันถึงสมมติฐานที่ตั้งไว้ว่าปัจจัยที่ถูกกำหนดเหล่านี้มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง (Y_8, Y_{10}) ที่สนใจ ในการทดลองเบื้องต้น ผู้วิจัยได้ใช้การออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียล เมื่อปัจจัยมี 2 ระดับ (2^{k-p} Fractional Factorial Design) ซึ่งวิธีนี้เหมาะสมที่จะเป็นการทดลองเบื้องต้น (Factor Screening Experiment) เพื่อที่จะตัดปัจจัยที่ไม่มีผลต่อขนาดของกระเบื้องด้าน 8 นิ้วและด้าน 10 นิ้ว ออกไป ข้อดีของการทดลองแบบนี้คือใช้ตัวอย่างน้อยที่สุด ทำให้ประหยัดเวลาในการทดลองและใช้ทรัพยากรต่าง ๆ ไม่มาก ส่วนข้อเสียคือ ให้สารสนเทศไม่มากพอเพราะเป็นการกำหนดปัจจัยไว้เพียง 2 ระดับเท่านั้น โดยจะกำหนดให้ระดับของปัจจัยเป็นค่าสูงสุด (+) และค่าต่ำสุด (-) เพื่อเป็นการคัดเลือกเฉพาะปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองให้

เหลือน้อยที่สุด ซึ่งจะส่งผลให้สามารถลดขนาดและประหยัดเวลาในการทำการออกแบบการทดลองจริง ในการทดลองนี้จะทำการหาว่าปัจจัยใดบ้างที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองที่สนใจ ด้วยระดับความเชื่อมั่นอย่างมีนัยสำคัญตามที่ต้องการ

ในการพิจารณาถึงปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองจะได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ซึ่งในโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ จะคำนวณค่า P Value ออกมาให้ ซึ่งในการพิจารณาค่า P Value นั้น จะทำการเปรียบเทียบกับค่า α แสดงว่าปัจจัยนั้น ๆ มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง แต่ถ้าค่า P Value ที่คำนวณได้ในแต่ละปัจจัย มีค่ามากกว่าค่า α แสดงว่าปัจจัยนั้น ๆ ไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองโดยในการวิจัยนี้ได้กำหนดให้ค่า α มีค่าเท่ากับ 0.05 ทั้งนี้จะมีการพิจารณาทั้ง อิทธิพลหลัก (Main Effect) และ ปฏิกริยาสัมพันธ์ (Interaction Effect) ว่ามีผลต่อตัวแปรตอบสนองนั้นหรือไม่

4.2.3 การกำหนดระดับของปัจจัย

การกำหนดระดับของปัจจัยหลักและปัจจัยที่ควบคุมในการทดลองนี้ จะกำหนดระดับของปัจจัย (Levels) เป็นแบบกำหนดคงที่ (Fixed Level) เนื่องจากเป็นปัจจัยที่กำหนดค่าได้แน่นอน โดยอาศัยความรู้พื้นฐานในกระบวนการการผลิตและประสบการณ์จากพนักงานที่มีความชำนาญทำการกำหนดระดับของปัจจัยที่ควรใช้ในการทดลองเบื้องต้นออกเป็น 2 ระดับ แต่ในงานวิจัยนี้จะกำหนดระดับของปัจจัยจากค่าควบคุมของกระบวนการ ซึ่งใช้ในกระบวนการผลิต กระเบื้องปิสกิตอยู่แล้ว

4.3 การเลือกแผนการออกแบบการทดลอง

4.3.1 แผนการออกแบบการทดลอง

หลังจากสามารถคัดเลือกเฉพาะปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองได้แล้วจะทำการเลือกแผนการออกแบบการทดลอง คือ ใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบผลกระทบบคงที่ เมื่อปัจจัยมี 2 ระดับ (2^k Factorial Design with Fixed Effect Model) โดยจะกำหนดให้ระดับของปัจจัยเป็นค่าสูงสุด (+) และค่าต่ำสุด (-) ซึ่งเทอมที่สำคัญของการทดลองแบบนี้ประกอบด้วย

1. อิทธิพลหลัก (Main Effect) หมายถึง อิทธิพลของปัจจัยที่ศึกษา
2. ปฏิกริยาสัมพันธ์ (Interaction Effect) หมายถึง การแสดงออกของระดับต่าง ๆ ในปัจจัยหนึ่งไม่เท่ากัน เมื่อเปรียบเทียบจากระดับหนึ่งไปอีกระดับหนึ่งของอีกปัจจัย

4.3.2 หลักการที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง

1. การทำแบบสุ่ม (Randomization) เพื่อวัตถุประสงค์หลักในการเกลี่ยออก (Balance Out) อิทธิพลแทรกซ้อน (Noise Effect) ต่าง ๆ ที่มีต่อข้อมูล เป็นการทำให้การเก็บข้อมูลนั้นมีการกระจายอิทธิพลของปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ ซึ่งจะได้ข้อมูลทุกตัวอย่างเท่าเทียมกัน โดยในการทดลองนี้ได้เลือกใช้การสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Complete Randomization)

2. การทดลองซ้ำ (Replication) เพื่อวัตถุประสงค์หลักในการกำจัดออก (Average Out) อิทธิพลแทรกซ้อน (Noise Effect) ต่าง ๆ ที่มีในข้อมูล เป็นการกำหนดจำนวนครั้งในการทดลอง โดยในการทดลองนี้ได้มีการทำซ้ำ 2 ครั้ง ที่ระดับของปัจจัยต่าง ๆ เหมือนกันเพื่อให้ได้ข้อมูลที่จะนำไปวิเคราะห์ได้ถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น

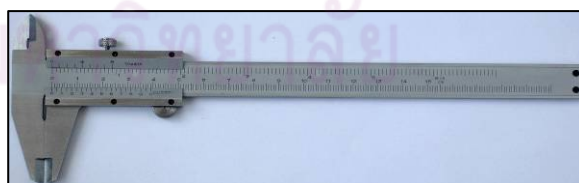
จากการศึกษาปัจจัยหลักที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองนั้นจะนำไปใช้เป็นหลักในการดำเนินการทดลอง โดยมีประเด็นหลัก ๆ ที่จะต้องพิจารณาอย่างเคร่งครัด เช่น การเก็บข้อมูลต้องทำการทดลองแบบสุ่มที่เหมาะสม เพื่อให้กระจายของข้อมูลมีความเป็นอิสระซึ่งกันและกัน การกระจายของข้อมูลเป็นแบบปกติและมีความสม่ำเสมอของการกระจายของข้อมูลการทดลองต้องควบคุมให้เป็นไปตามแผนที่ได้วางไว้ ปัจจัยที่ถูกควบคุมต้องทำการควบคุมตามที่ได้กำหนดไว้ในแผนการทดลอง

4.4 การเตรียมวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นอุปกรณ์การวัดขนาดของกระเบื้องปัดกิต โดยเลือกใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ เป็นอุปกรณ์ในการวัด และโต๊ะระดับสำหรับการวางกระเบื้อง ซึ่งแสดง ดังรูปที่ 4.2



(a)



(b)

รูปที่ 4.3 แสดงอุปกรณ์การวัดขนาดกระเบื้องซึ่งรูป (a) คือโต๊ะระดับ, (b) คือ เวอร์เนียคาลิเปอร์

4.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติจะใช้หลักการทางสถิติ เข้าช่วยในการวิเคราะห์ เพื่อให้การวิเคราะห์มีความน่าเชื่อถือ ซึ่งสามารถดำเนินการได้ตามหลักการต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

4.5.1 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิเคราะห์ข้อมูลนี้ จะใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปชื่อ Minitab ซึ่งเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลจากการออกแบบการทดลอง โดยการวิจัยนี้จะใช้วิเคราะห์ผลทั้งในส่วนของ การทดลองเบื้องต้น การทดลองเพื่อปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิต กระเบื้องบิสกิต และการทดลองเพื่อยืนยันผล

4.5.2 การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล

เป็นการตรวจสอบข้อมูลว่ามีความเป็นอิสระซึ่งกันหรือไม่ ซึ่งทดสอบถึงความสัมพันธ์ของค่าส่วนตกค้าง (Residual) ซึ่งค่าตกค้างแต่ละค่าควรจะเป็นอิสระซึ่งกันและกัน ทั้งนี้ต้องได้จากการทำการทดลองแบบสุ่มที่เหมาะสม โดยจะทำการพล็อตกราฟระหว่างค่าส่วนตกค้างกับลำดับเวลาการเก็บข้อมูล ซึ่งค่าส่วนตกค้างอยู่บนแกนตั้ง และลำดับเวลาของการเก็บข้อมูลอยู่บนแกนนอน ทั้งนี้เพื่อให้มั่นใจได้ว่าข้อมูลมีความน่าเชื่อถือก่อนที่จะนำไปใช้งาน ถ้าหากข้อมูลมีความเป็นอิสระรูปที่พล็อตขึ้นมานี้จะกระจายอยู่ทั่วไปไม่เป็นแนวโน้ม (Trend) นั่นก็หมายความว่าข้อมูลมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน

4.5.3 การตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูลว่าเป็นการแจกแจงแบบปกติ

โดยการสร้าง Normal Probability Plot ของค่าส่วนตกค้าง (Residual) เป็นการพล็อตค่าส่วนตกค้าง ลงบนกราฟที่เรียกว่า Normal Probability Paper ซึ่งพล็อตระหว่างส่วนตกค้างกับค่าความน่าจะเป็นสะสม $P_k = (k-1/2)/n$ โดย $P_k \times 100$ อยู่บนแกนตั้ง ส่วนแกนนอนจะเป็นค่าส่วน ทั้งนี้เพื่อให้มั่นใจได้ว่าข้อมูลมีความน่าเชื่อถือก่อนที่จะนำไปใช้งาน

4.5.4 การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน

เป็นการทดสอบความสม่ำเสมอของการกระจายของข้อมูล ทดสอบโดยทำการพล็อตกราฟระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับค่าที่ถูกฟิต (Fitted Value) ซึ่งค่าส่วนตกค้างอยู่บนแกนตั้ง และค่าที่ถูกฟิตอยู่บนแกนนอนดังแสดง ถ้าหากข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวนหรือมีความสม่ำเสมอของการกระจายข้อมูล รูปที่พล็อตขึ้นมานี้จะกระจายอยู่ทั่วไป ไม่มีรูปแบบและโครงสร้างใด ๆ ทั้งสิ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอื่นใด และทดสอบโดยทำการพล็อตกราฟระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับระดับของปัจจัยแต่ละปัจจัยซึ่งค่าส่วนตกค้างอยู่บนแกนตั้ง และระดับของปัจจัยอยู่บนแกนนอน ถ้าหากข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวนหรือมีความสม่ำเสมอของการกระจายของข้อมูล รูปที่พล็อตขึ้นมานี้จะมีลักษณะเป็น

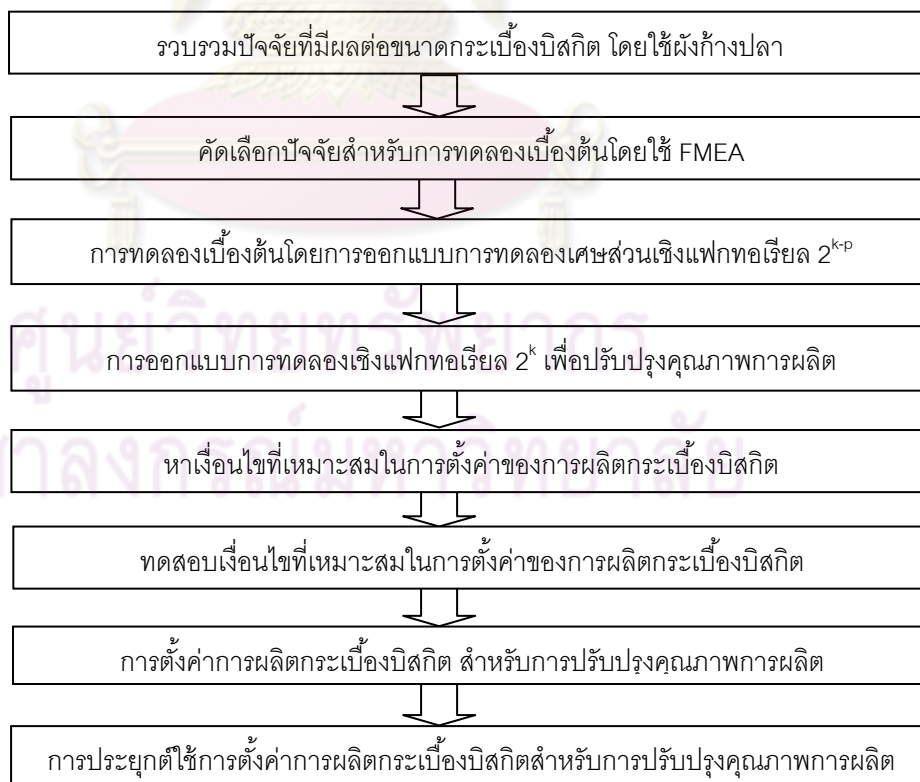
ทรงกระบอกแต่ถ้ารูปที่พล็อตขึ้นมาจะมีลักษณะเป็นการเพิ่มขึ้นหรือลดลงเป็นลำดับ (Megaphone) แสดงว่าข้อมูลนั้นไม่มีความเสถียรของความแปรปรวน หรือไม่มีความสม่ำเสมอของการกระจายข้อมูล ทั้งนี้เพื่อให้มั่นใจได้ว่าข้อมูลมีความน่าเชื่อถือก่อนที่จะนำไปใช้งาน

4.5.5 การวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนของการออกแบบการทดลอง

การวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนของการออกแบบการทดลอง จะใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ในการพิจารณาถึงปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองจะได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ซึ่งในโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ จะคำนวณค่า P Value ออกมาให้ ซึ่งในการพิจารณาค่า P Value นั้น จะทำการเปรียบเทียบกับค่า α ถ้าค่า P Value ที่คำนวณได้ในแต่ละปัจจัย มีค่าน้อยกว่าค่า α แสดงว่าปัจจัยนั้น ๆ มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง แต่ถ้าค่า P Value ที่คำนวณได้ในแต่ละปัจจัย มีค่ามากกว่า α แสดงว่าปัจจัยนั้น ๆ ไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองโดยในการทำการวิจัยนี้ได้กำหนดให้ค่า α มีค่าเท่ากับ 0.05 ทั้งนี้การพิจารณาทั้งอิทธิพลหลัก (Main Effect) และปฏิกริยาสัมพันธ์ (Interaction Effect) ว่ามีผลต่อตัวแปรตอบสนองนั้นหรือไม่

4.6 ขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิต กระเบื้องบิสกิต

ขั้นตอนการทำการทดลองเพื่อปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิต กระเบื้องบิสกิตแสดงไว้ในรูปที่ 4.4



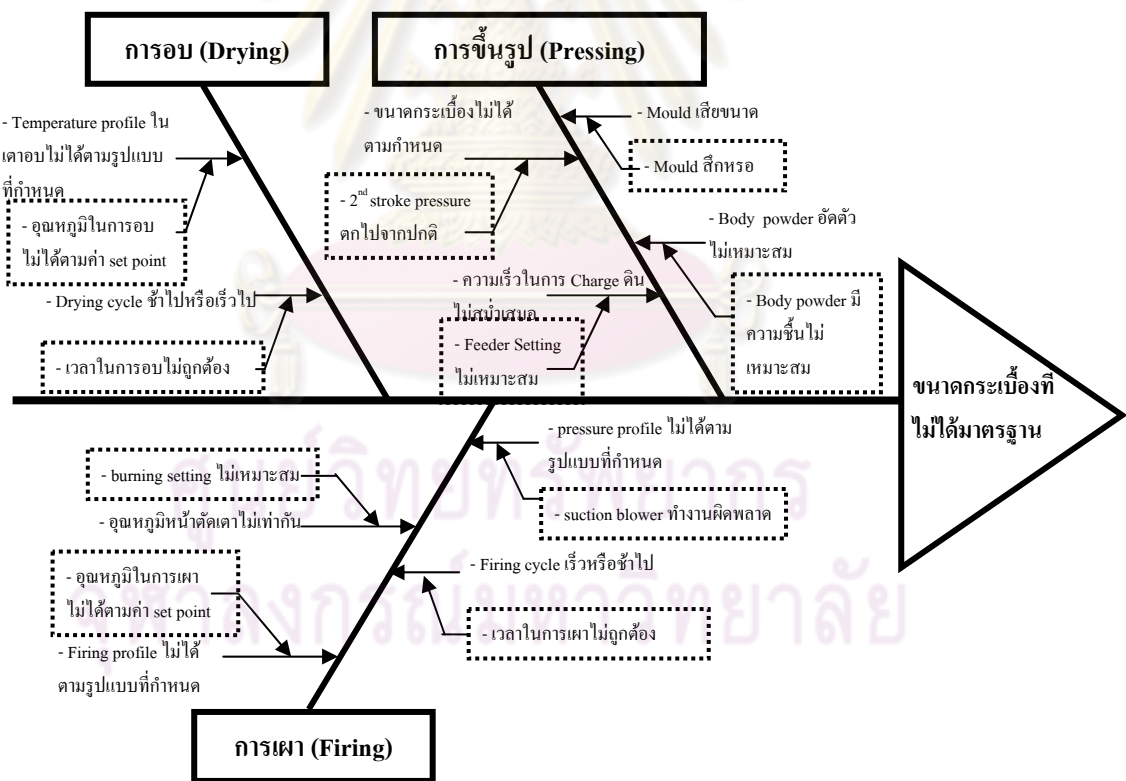
รูปที่ 4.4 ขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพการผลิตกระเบื้องบิสกิต

บทที่ 5

ผลการศึกษาและวิเคราะห์ปัจจัย

5.1 การรวบรวมปัจจัยที่มีผลต่อขนาดกระเบื้องบิสกิต

ในการรวบรวมปัจจัยที่มีผลต่อขนาดกระเบื้องบิสกิต โดยใช้การระดมสมองจากผู้เชี่ยวชาญ ผู้มีประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องโดยอ้างอิงตามหลักการทางวิศวกรรม ข้อมูลจากการทดลองในอดีต รวมทั้งข้อจำกัดในทางปฏิบัติต่าง ๆ มาพิจารณาร่วมกันเพื่อหาปัจจัยที่จะนำมาใช้ในการทดลองเบื้องต้น ผู้เชี่ยวชาญประกอบด้วย วิศวกรฝ่ายผลิต 2 คน วิศวกรฝ่ายเครื่องจักร 1 คน วิศวกรฝ่ายควบคุมคุณภาพ 1 คน หัวหน้าแผนกผลิต 1 คน พนักงานอาวุโสฝ่ายผลิต 3 คน ผลการประยุกต์ใช้แผนผังก้างปลาเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตอบสนอง กับปัจจัยต่าง ๆ ได้ถูกแสดงในรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 แสดงแผนผังก้างปลาเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อขนาดกระเบื้องบิสกิต

จากการประยุกต์ใช้แผนผังก้างปลาพบว่า ปัจจัยทั้งหมดที่มีผลต่อขนาดกระเบื้องบิสกิต มีทั้งหมด 10 ปัจจัย ดังนี้

5.1.1 Mould คือ แม่พิมพ์หรือแบบที่ใช้ในการขึ้นรูปกระเบื้อง โดยเริ่มตั้งแต่การป้อนดินลงในแบบ จากนั้นจะมีการกดลงไปแบบเพื่อให้ได้รูปทรงของกระเบื้องตามต้องการ ซึ่งเมื่อมีการใช้งานแบบนี้มานาน ๆ จะเกิดการสึกหรอขึ้นได้ ทำให้อาจส่งผลต่อการขึ้นรูปของกระเบื้องได้

5.1.2 Body Powder คือ ผงดินซึ่งในเนื้อของผงดินจะมีความชื้นอยู่ส่วนหนึ่ง ซึ่งความชื้นนี้จะช่วยในการขึ้นรูปในลักษณะของการอัดตัวและการจัดเรียงตัวของเม็ดดิน ทำให้อาจส่งผลต่อการขึ้นรูปของกระเบื้องได้

5.1.3 2nd Stroke Pressure คือ การอัดขึ้นรูปกระเบื้องในลำดับที่สองเพื่อให้ได้รูปทรงของกระเบื้องตามต้องการ ซึ่งในลำดับแรกจะเป็นการอัดเพื่อไล่อากาศที่อยู่ในแบบออกให้หมด ดังนั้นถ้าการอัดขึ้นรูปกระเบื้องในลำดับที่สองนี้ไม่มีความเสถียร อาจส่งผลต่อรูปทรงของกระเบื้องได้

5.1.4 Feeder Setting คือ ชุดป้อนผงดินลงในแบบหรือแม่พิมพ์เพื่อทำการขึ้นรูป โดยจะเริ่มโดยการกวาดผงดินไปลงในแบบอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นหากผงดินที่กวาดลงไปแม่พิมพ์ไม่สม่ำเสมอ อาจส่งผลต่อรูปทรงของกระเบื้องได้

5.1.5 อุณหภูมิในการอบ คือ อุณหภูมิที่ต้องใช้ในการอบกระเบื้องซึ่งในช่วงแรกจะมีการเพิ่มอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว และค่อย ๆ ลดลงเรื่อย ๆ ในแต่ละช่วงของกระเบื้องไหลผ่าน ซึ่งหากโครงร่างของอุณหภูมิทั้งหมดภายในเตาอบไม่ได้ตามค่าที่กำหนดไว้ อาจส่งผลต่อรูปทรงของกระเบื้องได้

5.1.6 เวลาในการอบ คือ เวลาที่กำหนดขึ้นเพื่อ ควบคุมการอบกระเบื้องในแต่ละช่วง ซึ่งเวลาที่กำหนดนี้จะควบคุมความเร็วของการไหลด้วย ดังนั้นหากกระเบื้องใช้เวลาในการอบไม่สม่ำเสมอ ตามที่กำหนดไว้ อาจส่งผลต่อรูปทรงของกระเบื้องได้

5.1.7 Suction Blower คือ ตัวอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมบรรยากาศภายในเตาเผา เพื่อให้มีความสมดุลของอุณหภูมิในแต่ละช่วงของการเผาที่เหมาะสมตามรูปแบบที่กำหนด ดังนั้นถ้าไม่สามารถรักษาความสมดุลของอุณหภูมิในแต่ละช่วงของการเผาได้ อาจส่งผลต่อรูปทรงของกระเบื้องได้

5.1.8 Burner Modulation คือ ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมอัตราส่วนของอากาศและแก๊สในการเผาไหม้เพื่อให้ได้อุณหภูมิในแต่ละโซนของเตาเผากระเบื้อง (อุณหภูมิหน้าตัดเตา) ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 3 โซน คือ ด้านซ้าย, กลาง และขวา มีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุด ดังนั้น อาจส่งผลต่อรูปทรงของกระเบื้องได้หากอุณหภูมิในแต่ละโซนของเตาเผากระเบื้อง (อุณหภูมิหน้าตัดเตา) มีค่าไม่เท่ากัน อาจส่งผลต่อรูปทรงของกระเบื้องได้

5.1.9 Firing Temperature คือ อุณหภูมิที่ต้องใช้ในการเผากระเบื้องซึ่งจะมีการควบคุมอุณหภูมิอย่างเหมาะสมในแต่ละช่วงของการเผาดังแสดงในรูปที่ 3.6 หากอุณหภูมิในแต่ละช่วงของการเผากระเบื้องไม่สามารถควบคุมตามค่าที่กำหนดได้ อาจส่งผลต่อรูปทรงของกระเบื้องได้

5.1.10 เวลาในการเผา คือ เวลาที่กำหนดขึ้นเพื่อ ควบคุมการเผากระเบื้องในแต่ละช่วง ซึ่งเวลาที่กำหนดนี้จะควบคุมความเร็วของการไหลด้วย ดังนั้นหากกระเบื้องใช้เวลาในการเผาไม่ตรงตามที่กำหนดไว้ในแต่ละช่วงของการเผา อาจส่งผลต่อรูปทรงของกระเบื้องได้

5.2 การคัดเลือกปัจจัยสำหรับการทดลองเบื้องต้น

จากการรวบรวมปัจจัยทั้งหมดที่มีผลต่อขนาดกระเบื้องบิสกิต ทั้ง 10 ปัจจัย ได้นำปัจจัยทั้งหมดมาทำการวิเคราะห์สาเหตุของลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effects Analysis) โดยผู้เชี่ยวชาญชุดเดิม เพื่อเปรียบเทียบอิทธิพลของแต่ละปัจจัยโดยพิจารณาจากตัวเลขแสดงลำดับความเสี่ยง (RPN – Risk Priority Number) โดยจะเลือกจากปัจจัยที่มีตัวเลขแสดงลำดับความเสี่ยงสูง ๆ เพื่อทำการทดลองเบื้องต้นต่อไป โดยการอ้างอิงเกณฑ์การประเมินความรุนแรง (Severity) ในตารางที่ 5.1 เกณฑ์การประเมินความถี่ในการเกิด (Occurrence) ในตารางที่ 5.2 และเกณฑ์การประเมินความเป็นไปได้ในการตรวจพบ (Detection) ในตารางที่ 5.3 ซึ่งเกณฑ์การประเมินค่าความเสี่ยงซึ่งนำนี้ ได้จากผู้เชี่ยวชาญชุดเดิมกำหนดขึ้น โดยอ้างอิงจากหลักการการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ[5] พร้อมทั้งร่วมลงความเห็นในการประเมินผล เพื่อคัดเลือกปัจจัยสำหรับการทดลองเบื้องต้น และเกณฑ์การประเมินอนุมัติ โดย ผู้จัดการโรงงานผลิตกระเบื้องบุผนัง แสดงดัง ภาคผนวก ค

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.1 เกณฑ์การประเมินความรุนแรง (S) สำหรับ FMEA

ผลกระทบจากขนาดกระเบื้องบิสกิต ที่แตกต่างกัน	ความรุนแรงของผลกระทบที่มีต่อ กระบวนการผลิต	คะแนน
เกิดอันตรายโดยไม่มีการเตือน	มีผลกระทบต่อการเกิดอันตรายต่อพนักงาน (หรือเครื่องจักร) โดยไม่มีการเตือนล่วงหน้า	10
เกิดอันตรายโดยมีการเตือน	มีผลกระทบต่อการเกิดอันตรายต่อพนักงาน (หรือเครื่องจักร) โดยมีการเตือนล่วงหน้า	9
ผลกระทบสูงมาก	ผลิตภัณฑ์ทั้งหมด (100%) อาจต้องถูกทำลายหรือส่งเข้าซ่อมแซมที่หน่วยงานผลิต	8
ผลกระทบสูง	อาจจะมีการตรวจสอบผลิตภัณฑ์แบบคัดเลือก (Sorting) และผลิตภัณฑ์บางส่วน (น้อยกว่า 100%) อาจถูกทำลาย หรือส่งเข้าซ่อมแซมที่หน่วยงานผลิต	7
ผลกระทบปานกลาง	ผลิตภัณฑ์บางส่วน (น้อยกว่า 100%) อาจต้องถูกทำลายและไม่ต้องตรวจสอบแบบคัดเลือก (Sort) หรือส่งเข้าซ่อมแซมที่หน่วยงานผลิต	6
ผลกระทบต่ำ	ผลิตภัณฑ์ทั้งหมด (100%) อาจต้องได้รับการรีเวิร์ค หรือส่งเข้าซ่อมแซมที่หน่วยงานผลิต	5
ผลกระทบต่ำมาก	ผลิตภัณฑ์อาจได้รับการตรวจสอบแบบคัดเลือก (Sorting) โดยไม่มีผลิตภัณฑ์ที่ต้องถูกทำลาย	4
ผลกระทบเล็กน้อย	ผลิตภัณฑ์บางส่วน (ต่ำกว่า 100%) อาจต้องได้รับการรีเวิร์คในสายการผลิต โดยไม่มีผลิตภัณฑ์ที่ต้องถูกทำลาย	3
เกือบไม่มีผลกระทบ	ผลิตภัณฑ์บางส่วน (ต่ำกว่า 100%) อาจไม่ต้องได้รับการรีเวิร์คในสายการผลิต	2
ไม่มีผลกระทบ	ไม่เกิดของเสีย	1

ตารางที่ 5.2 เกณฑ์การประเมินความถี่ในการเกิด (O) สำหรับ FMEA

ความน่าจะเป็นในการเกิดความล้มเหลว	อัตราความล้มเหลวที่น่าจะเกิดขึ้น	Ppk	คะแนน
สูงมาก : เกิดข้อบกพร่องเสมอ	> 100 ต่อ 1000	< 0.55	10
	50 ต่อ 1000	> 0.55	9
สูง : เกิดข้อบกพร่องบ่อย	20 ต่อ 1000	> 0.78	8
	10 ต่อ 1000	> 0.86	7
ปานกลาง : เกิดข้อบกพร่องนาน ๆ ครั้ง	5 ต่อ 1000	> 0.94	6
	2 ต่อ 1000	> 1.00	5
	1 ต่อ 1000	> 1.10	4
ต่ำ : มีข้อบกพร่องเกิดขึ้นเล็กน้อย	0.5 ต่อ 1000	> 1.20	3
	0.1 ต่อ 1000	> 1.30	2
ห่างไกล : ไม่เคยเกิดข้อบกพร่อง	< 0.01 ต่อ 1000	> 1.67	1

ตารางที่ 5.3 เกณฑ์การประเมินความเป็นไปได้ในการตรวจพบ (D) สำหรับ FMEA

การตรวจจับ	เกณฑ์การตัดสิน	ประเภทของการตรวจสอบ			การควบคุมที่ใช้เพื่อให้ตรวจพบ	คะแนน
		A	B	C		
เกือบเป็นไปไม่ได้	ไม่สามารถตรวจจับได้อย่างแน่นอน			O	ไม่สามารถตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องได้	10
ห่างไกลมาก	มีโอกาสน้อยมากที่วิธีการควบคุมจะสามารถตรวจจับ			O	วิธีการควบคุมสามารถตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องโดยทางอ้อมหรือการสุ่มเท่านั้น	9
ห่างไกล	มีโอกาสค่อนข้างน้อยมากที่วิธีการควบคุมจะสามารถตรวจจับลักษณะข้อบกพร่อง			O	วิธีการควบคุมสามารถตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องโดยการตรวจสอบลักษณะภายนอกเท่านั้น	8
น้อยมาก	มีโอกาสค่อนข้างน้อยมากที่วิธีการควบคุมจะสามารถตรวจจับลักษณะข้อบกพร่อง			O	วิธีการควบคุมสามารถตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องโดยการตรวจสอบลักษณะภายนอกซ้ำเท่านั้น	7
น้อย	วิธีการควบคุมอาจจะสามารถตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องได้		O	O	วิธีการควบคุมสามารถตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องโดยแผนภูมิ เช่น การใช้ SPC	6

ตารางที่ 5.3 เกณฑ์การประเมินความเป็นไปได้ในการตรวจพบ (D) สำหรับ FMEA (ต่อ)

การตรวจจับ	เกณฑ์การตัดสิน	ประเภทของการตรวจสอบ			การควบคุมที่ใช้เพื่อให้ตรวจพบ	คะแนน
		A	B	C		
ปานกลาง	วิธีการควบคุมอาจจะสามารถตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องได้		○	○	วิธีการควบคุมสามารถตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องได้โดยขึ้นอยู่กับการผันแปรของเครื่องมือ	5
ค่อนข้างสูง	วิธีการควบคุมมีโอกาสมากที่จะตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องได้	○	○	○	สามารถตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องได้หลักการปฏิบัติงานหรือจากการวัดหลังการติดตั้งและจากการตรวจงานครั้งแรก	4
สูง	วิธีการควบคุมมีโอกาสมากที่จะตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องได้	○	○		สามารถตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องได้หลังการปฏิบัติงานหรือขณะทำงานโดยการคัดเลือกติดตั้งหรือทวนสอบซึ่งไม่สามารถยอมรับข้อบกพร่องได้	3
สูงมาก	วิธีการควบคุมมีโอกาสเกือบแน่นอนมากที่จะตรวจจับลักษณะข้อบกพร่อง	○	○		สามารถตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องได้ในระหว่างการปฏิบัติงานโดยเครื่องมือที่มีหน้าที่เพื่อตรวจจับโดยอัตโนมัติ ข้อบกพร่องไม่สามารถผ่านไปได้	2
สูงมาก	วิธีการควบคุมมีโอกาสแน่นอนมากที่จะตรวจจับลักษณะข้อบกพร่อง	○			ไม่สามารถเกิดข้อบกพร่องได้เนื่องจากถูกป้องกันอย่างสมบูรณ์โดยการออกแบบกระบวนการ	1

หมายเหตุ : A = ตัวป้องกันความผิดพลาด B = ใช้เครื่องมือตรวจสอบ C = การตรวจสอบโดยผู้ปฏิบัติงาน

5.2.1 การประเมินความรุนแรงของผลกระทบจากปัจจัย

ในส่วนนี้จะวิเคราะห์ถึงความรุนแรงของแนวโน้มของผลกระทบจากข้อบกพร่อง โดยใช้วิธีการสอบถามจากผู้เชี่ยวชาญประกอบด้วย วิศวกรฝ่ายผลิต 2 คน วิศวกรฝ่ายเครื่องจักร 1 คน วิศวกรฝ่ายควบคุมคุณภาพ 1 คน หัวหน้าแผนกผลิต 1 คน พนักงานอาวุโสฝ่ายผลิต 3 คน โดยใช้แบบสอบถามดังแสดงใน ภาคผนวก ง และใช้เกณฑ์สำหรับการประเมินดังแสดงในตารางที่ 5.1

หลังจากได้ข้อมูลจากแบบสอบถามแล้ว จะเลือกคะแนนที่มีความถี่สูงสุดมาใส่ในตารางที่ 5.5 โดยคะแนนจากแบบสอบถามถูกรูปและแสดงดัง ภาคผนวก จ

5.2.1.1 Mould เป็นอุปกรณ์ในการขึ้นรูปกระเบื้องเพื่อให้ได้รูปทรงตามต้องการ โดยในการขึ้นรูปแต่ละครั้ง จะมีเศษผงดินที่ถูกอัดด้วยความดันสูงกระเด็นไปกระทบกับส่วนประกอบของแม่พิมพ์ทำให้แบบสึกหรอซึ่งทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับอายุการใช้งาน แต่การสึกหรอของแม่พิมพ์จะเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย เมื่อเทียบกับจำนวนครั้งในการขึ้นรูป และจากคะแนนในแบบสอบถามพบว่าคะแนนที่มีความถี่สูงสุด คือระดับความรุนแรงที่ 2

5.2.1.2 Body Powder เป็นวัตถุดิบประเภทผงดินซึ่งใช้สำหรับการขึ้นรูปกระเบื้อง โดยลักษณะของเม็ดดินจะเป็นทรงกลมและในช่องว่างระหว่างเม็ดดินจะมีน้ำบางส่วนตกค้างอยู่ซึ่งก็คือความชื้น ดังนั้นในการขึ้นรูปกระเบื้องจึงจำเป็นต้องมีความชื้นที่เหมาะสมเพื่อช่วยในการยึดเกาะและประสานเป็นเนื้อเดียวกัน ดังนั้นถ้าผงดินมีความชื้นไม่เหมาะสมจะส่งผลให้กระเบื้องที่ผ่านการขึ้นรูปบางส่วนอาจต้องถูกทำลาย โดยไม่ต้องนำมาตรวจสอบ และจากคะแนนในแบบสอบถามพบว่าคะแนนที่มีความถี่สูงสุด คือระดับความรุนแรงที่ 6

5.2.1.3 2nd Stroke Pressure เป็นแรงอัดที่ใช้ในการการอัดขึ้นรูปกระเบื้องในลำดับที่สองเพื่อให้ได้รูปทรงของกระเบื้องตามต้องการโดยในขั้นตอนนี้เป็นกระบวนการในการอัดขึ้นรูปโดยเฉพาะ ซึ่งถ้าหากแรงอัดในแต่ละครั้งมีค่าไม่คงที่ จะส่งผลให้กระเบื้องที่ผ่านการขึ้นรูปทั้งหมดอาจต้องถูกทำลาย และจากคะแนนในแบบสอบถามพบว่าคะแนนที่มีความถี่สูงสุด คือระดับความรุนแรงที่ 8

5.2.1.4 Feeder Setting เป็นการตั้งค่าของการป้อนผงดินลงในแม่พิมพ์โดยตรง หากมีความผิดพลาดในการตั้งค่าจะมีผลต่อความสามารถในการขึ้นรูปกระเบื้อง และเป็นสาเหตุให้ความเร็วในการป้อนผงดินไม่เป็นไปตามที่กำหนด ที่สำคัญผลิตภัณฑ์บางส่วนที่ได้อาจต้องถูกทำลาย และจากคะแนนในแบบสอบถามพบว่าคะแนนที่มีความถี่สูงสุด คือระดับความรุนแรงที่ 7

5.2.1.5 อุณหภูมิในการอบ เป็นการตั้งค่าของอุณหภูมิในเตาอบเพื่อให้ได้อุณหภูมิโดยรวมเป็นไปตามรูปแบบที่กำหนด หากมีความผิดพลาดในการตั้งค่าจะเป็นสาเหตุให้อุณหภูมิโดยรวมภายในเตาอบไม่เป็นไปตามรูปแบบที่กำหนด และเมื่ออุณหภูมิโดยรวมไม่เป็นไปตาม

รูปแบบที่กำหนดจะมีผลิตภัณฑ์เพียงบางส่วนเท่านั้นที่อาจต้องได้รับการรีเวิร์ค และจากคะแนนในแบบสอบถามพบว่าคะแนนที่มีความถี่สูงสุด คือระดับความรุนแรงที่ 2

5.2.1.6 เวลาในการอบ เป็นการตั้งค่าเวลาในการอบกระเบื้องที่ผ่านการขึ้นรูป โดยเวลาในแต่ละช่วงของการอบจะต้องเป็นไปตามที่กำหนด อาจมีความคลาดเคลื่อนบ้าง แต่หากไม่มีความผิดพลาดในการตั้งค่าจะไม่ส่งผลกระทบต่อความสามารถในการตัดแยก และผลิตภัณฑ์บางส่วนที่ได้อาจต้องถูกทำลาย และจากคะแนนในแบบสอบถามพบว่าคะแนนที่มีความถี่สูงสุด คือระดับความรุนแรงที่ 2

5.2.1.7 Suction Blower เป็นการปรับตั้งค่าการควบคุมบรรยากาศภายในเตาเผา เพื่อให้มีความสมดุลของอุณหภูมิในแต่ละช่วงของการเผาที่เหมาะสม และจะมีการเพิ่มหรือลดความร้อนภายในเตา เพื่อเข้าสู่สถานะคงตัว หากมีการปรับให้มีความเร็วมากเกินไป อุณหภูมิที่ได้จะมีความคลาดเคลื่อนบ้าง แต่ถ้าไม่มีการตั้งค่าเครื่องผิดพลาดจะไม่ส่งผลกระทบต่อความสามารถในการตัดแยกของเสียจากการเผากระเบื้อง และจากคะแนนในแบบสอบถาม พบว่าคะแนนที่มีความถี่สูงสุด คือระดับความรุนแรงที่ 4

5.2.1.8 Burner Modulation เป็นการปรับตั้งอัตราส่วนของอากาศและแก๊สของการเผาไหม้ภายในเตาเผา เพื่อให้ได้ค่าอุณหภูมิในแต่ละช่วงของเตาเผาที่เหมาะสม หากมีการปรับตั้งค่าที่ไม่เหมาะสมจะทำให้อุณหภูมิในแต่ละช่วง (ซ้าย, กลาง, ขวา) ของเตาไม่เท่ากัน ซึ่งส่งผลกระทบต่อความสามารถในการตัดแยกของเสียในการผลิตกระเบื้องบิสกิต รวมทั้งทำให้ผลิตภัณฑ์บางส่วนอาจต้องถูกทำลาย และจากคะแนนในแบบสอบถามพบว่า คะแนนที่มีความถี่สูงสุด คือระดับความรุนแรงที่ 7

5.2.1.9 Firing Temperature เป็นการปรับตั้งค่าอุณหภูมิการเผาภายในเตาเพื่อให้เป็นไปตามรูปแบบที่กำหนด หากมีอุณหภูมิในช่วงใดไม่ได้ตามค่าที่กำหนดอาจทำให้อุณหภูมิโดยรวมภายในเตาไม่เป็นไปตามรูปแบบที่กำหนดซึ่งส่งผลกระทบต่อความสามารถในการตัดแยกของเสียในการผลิตกระเบื้องบิสกิต และทำให้ผลิตภัณฑ์ทั้งหมดอาจต้องถูกทำลาย และจากคะแนนในแบบสอบถามพบว่า คะแนนที่มีความถี่สูงสุด คือระดับความรุนแรงที่ 8

5.2.1.10 เวลาในการเผา เป็นการตั้งค่าเวลาในการเผากระเบื้องบิสกิตที่ผ่านการอบแล้ว โดยเวลาในแต่ละช่วงของการเผาจะต้องเป็นไปตามที่กำหนด อาจมีความคลาดเคลื่อนบ้าง และหากเกิดความผิดพลาดในการตั้งค่าจะส่งผลกระทบต่อความสามารถในการตัดแยก และผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่ได้อาจต้องนำกลับมารีเวิร์ค และจากคะแนนในแบบสอบถามพบว่า คะแนนที่มีความถี่สูงสุด คือระดับความรุนแรงที่ 5

5.2.2 ความถี่ในการเกิดผลกระทบจากปัจจัย

โดยการอ้างอิงผลการตรวจสอบความถี่ของการเกิดปัญหาในกระบวนการผลิตกระเบื้องบิสกิตในรอบ 6 เดือน จากพนักงานฝ่ายผลิตซึ่งทำการตรวจสอบกระบวนการผลิตทุกกะการทำงาน วันละ 1 ครั้ง ซึ่งสรุปข้อมูลดังแสดงใน ภาคผนวก ฉ พบความผิดพลาดหรือความไม่สอดคล้อง ตามข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยต่าง ๆ ตามที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.4 โดยอ้างอิงเกณฑ์การประเมินจากตารางที่ 5.2

จำนวนครั้งที่ตรวจสอบ	1	ครั้ง / กะ
จำนวนกะ	3	กะ / วัน
วันทำงานปกติ	28	วัน / เดือน
จำนวนสายการผลิตกระเบื้องบิสกิต	1	สายการผลิต
ดังนั้นจำนวนครั้งในการตรวจสอบ คือ	$1 \times 3 \times 28 \times 1 = 84$	ครั้ง / เดือน
ดังนั้นจำนวนครั้งในการตรวจสอบใน 6 เดือน คือ	$84 \times 6 = 504$	ครั้ง

ตารางที่ 5.4 การประเมินความถี่ในการเกิดผลกระทบจากปัจจัย

ปัจจัย	จำนวนครั้งที่พบ ความผิดพลาด	อัตราความล้มเหลวที่เกิดขึ้น (%)	ระดับ คะแนน
Mould	0	$(0 / 504) \times 100 = 0.000$	1
Body Powder	0	$(0 / 504) \times 100 = 0.000$	1
2 nd Stroke Pressure	2	$(2 / 504) \times 100 = 0.397$	5
Feeder Setting	3	$(3 / 504) \times 100 = 0.595$	6
อุณหภูมิในการอบ	2	$(2 / 504) \times 100 = 0.397$	5
เวลาในการอบ	0	$(0 / 504) \times 100 = 0.000$	1
Suction Blower	0	$(0 / 504) \times 100 = 0.000$	1
Burner Modulation	7	$(7 / 504) \times 100 = 1.38$	7
Firing Temperature	7	$(7 / 504) \times 100 = 1.38$	7
เวลาในการเผา	0	$(0 / 504) \times 100 = 0.000$	1

5.2.3 การประเมินความเป็นไปได้ในการตรวจพบ

ในส่วนนี้จะวิเคราะห์ถึงความความเป็นไปได้ในการตรวจพบผลกระทบจากข้อบกพร่อง โดยใช้วิธีการสอบถาม จากผู้เชี่ยวชาญชุดเดิมดังกล่าวใน 5.2.1 โดยใช้แบบสอบถามดังแสดงในภาคผนวก ง และใช้เกณฑ์สำหรับการประเมินดังแสดงในตารางที่ 5.3

หลังจากได้ข้อมูลจากแบบสอบถามแล้ว จะเลือกคะแนนที่มีความถี่สูงสุดมาใส่ในตารางที่ 5.5 โดยคะแนนจากแบบสอบถามถูกสรุปและแสดงดัง ภาคผนวก จ

5.2.3.1 Mould ในกระบวนการปกติ ติดตามจากจำนวนครั้งในการใช้งานโดยดูที่เครื่องจักรขึ้นรูปกระเบื้องบิสกิต จะสามารถตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องหรือความผิดพลาดในการสีหรือของแม่พิมพ์ได้ โดยมีการตรวจสอบโดยใช้ชุดควบคุมของเครื่องจักร วิธีการควบคุมนี้มีโอกาสมากที่จะตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องได้ และจากคะแนนในแบบสอบถาม พบว่าคะแนนที่มีความถี่สูงสุด ของความเป็นไปได้ในการตรวจพบอยู่ที่ 9

5.2.3.2 Body Powder ในกระบวนการปกติ ติดตามโดยการใช้ใบตรวจสอบดังแสดงในภาคผนวก ข สามารถตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องหรือความผิดพลาดในการกำหนดค่าความชื้นของผงดินได้ หลังจากทำการตรวจสอบก่อนการเริ่มทำงานในแต่ละกะ เป็นการตรวจสอบโดยผู้ปฏิบัติงาน วิธีการควบคุมนี้มีโอกาสมากที่จะตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องได้ และจากคะแนนในแบบสอบถาม พบว่าคะแนนที่มีความถี่สูงสุด ของความเป็นไปได้ในการตรวจพบอยู่ที่ 4

5.2.3.3 2nd Stroke Pressure ในกระบวนการปกติ ติดตามการทำงานโดยการใช้เครื่องจักรควบคุม สามารถตรวจจับลักษณะข้อบกพร่อง หรือความผิดพลาดในการตั้งค่าแรงอัดในลำดับที่สองของการอัดขึ้นรูป ได้ หลังจากทำการตรวจสอบก่อนการเริ่มทำงานในแต่ละกะ เป็นการตรวจสอบโดยใช้ชุดควบคุมของเครื่องจักร วิธีการควบคุมนี้มีโอกาสมากที่จะตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องได้ และจากคะแนนในแบบสอบถาม พบว่าคะแนนที่มีความถี่สูงสุด ของความเป็นไปได้ในการตรวจพบอยู่ที่ 3

5.2.3.4 Feeder Setting ในกระบวนการปกติ ติดตามโดยการใช้เครื่องจักรควบคุม สามารถตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องหรือความผิดพลาดในการตั้งค่าการป้อนผงดินลงในแม่พิมพ์ได้ หลังจากทำการตรวจสอบก่อนการเริ่มทำงานในแต่ละกะ เป็นการตรวจสอบโดยใช้ชุดควบคุมของเครื่องจักร วิธีการควบคุมนี้มีโอกาสมากที่จะตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องได้ และจากคะแนนในแบบสอบถาม พบว่าคะแนนที่มีความถี่สูงสุด ของความเป็นไปได้ในการตรวจพบอยู่ที่ 3

5.2.3.5 อุณหภูมิในการอบ ในกระบวนการปกติ ติดตามโดยการใช้เครื่องจักรควบคุม สามารถตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องหรือความผิดพลาดในการตั้งค่าอุณหภูมิในการอบได้ หลังจากทำการตรวจสอบก่อนการเริ่มทำงานในแต่ละกะ เป็นการตรวจสอบโดยใช้ชุดควบคุมของ

เครื่องจักรแบบอัตโนมัติ วิธีการควบคุมนี้มีโอกาสมากที่จะตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องได้ และจากคะแนนในแบบสอบถาม พบว่าคะแนนที่มีความถี่สูงสุด ของความเป็นไปได้ในการตรวจพบอยู่ที่ 2

5.2.3.6 เวลาในการอบ ในกระบวนการปกติ ติดตามโดยการใช้เครื่องจักรควบคุม สามารถตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องหรือความผิดพลาดในการตั้งเวลาในการอบได้ หลังจากทำการตรวจสอบก่อนการเริ่มทำงานในแต่ละกะ เป็นการตรวจสอบโดยใช้ชุดควบคุมของเครื่องจักรแบบอัตโนมัติ วิธีการควบคุมนี้มีโอกาสมากที่จะตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องได้ และจากคะแนนในแบบสอบถาม พบว่าคะแนนที่มีความถี่สูงสุด ของความเป็นไปได้ในการตรวจพบอยู่ที่ 2

5.2.3.7 Suction Blower ในกระบวนการปกติ ติดตามโดยการใช้เครื่องจักรควบคุม สามารถตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องหรือความผิดพลาดในการตั้งค่าบรรยากาศภายในเตาเผา เพื่อให้มีความสมดุลของอุณหภูมิในแต่ละช่วงของการเผาได้ หลังจากทำการตรวจสอบก่อนการเริ่มทำงานในแต่ละกะ เป็นการตรวจสอบโดยใช้ชุดควบคุมของเครื่องจักรแบบอัตโนมัติ วิธีการควบคุมนี้มีโอกาสมากที่จะตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องได้ จึงเลือกระดับคะแนนความเป็นไปได้ในการตรวจพบที่ 2

5.2.3.8 Burner Modulation ในกระบวนการปกติ ติดตามโดยการใช้เครื่องจักรควบคุม สามารถตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องหรือความผิดพลาดในการตั้งค่าอัตราส่วนของอากาศและแก๊ส ในการเผาไหม้เพื่อรักษาระดับอุณหภูมิในการเผาได้ หลังจากทำการตรวจสอบก่อนการเริ่มทำงานในแต่ละกะ เป็นการตรวจสอบโดยใช้ชุดควบคุมของเครื่องจักรแบบอัตโนมัติ วิธีการควบคุมนี้มีโอกาสมากที่จะตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องได้ และจากคะแนนในแบบสอบถาม พบว่าคะแนนที่มีความถี่สูงสุด ของความเป็นไปได้ในการตรวจพบอยู่ที่ 2

5.2.3.9 Firing Temperature ในกระบวนการปกติ ติดตามโดยการใช้เครื่องจักรควบคุม สามารถตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องหรือความผิดพลาดในการตั้งค่าอุณหภูมิในแต่ละช่วงได้ หลังจากทำการตรวจสอบก่อนการเริ่มทำงานในแต่ละกะ เป็นการตรวจสอบโดยใช้ชุดควบคุมของเครื่องจักรแบบอัตโนมัติ วิธีการควบคุมนี้มีโอกาสมากที่จะตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องได้ และจากคะแนนในแบบสอบถาม พบว่าคะแนนที่มีความถี่สูงสุด ของความเป็นไปได้ในการตรวจพบอยู่ที่ 2

5.2.3.10 เวลาในการเผา ในกระบวนการปกติ ติดตามโดยการใช้เครื่องจักรควบคุม สามารถตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องหรือความผิดพลาดในการตั้งเวลาในการเผาได้ หลังจากทำการตรวจสอบก่อนการเริ่มทำงานในแต่ละกะ เป็นการตรวจสอบโดยใช้ชุดควบคุมของเครื่องจักร

แบบอัตโนมัติ วิธีการควบคุมนี้มีโอกาสมากที่จะตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องได้ และจากคะแนน
ในแบบสอบถาม พบว่าคะแนนที่มีความถี่สูงสุด ของความเป็นไปได้ในการตรวจพบอยู่ที่ 2

หลังจากทำการประเมินความรุนแรง ความถี่ในการเกิด และการประเมินความเป็นไปได้
ในการตรวจพบของปัจจัยทุกตัว นำระดับคะแนนของแต่ละปัจจัยมาคำนวณตัวเลขแสดงลำดับ
ความเสี่ยง (RPN) โดยการคำนวณจาก $RPN = S \times O \times D$ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.5 และจากรูป
ที่ 5.2 แสดงแผนภูมิพาเรโตของตัวเลขแสดงลำดับความเสี่ยงของแต่ละปัจจัยพบว่า มีเพียง 4
ปัจจัยเท่านั้นที่ถูกเลือกใช้สำหรับการทดลองเบื้องต้นและแสดงไว้ในตารางที่ 5.6 ส่วนปัจจัยที่
เหลือซึ่งไม่ถูกเลือกสำหรับการทดลองเบื้องต้นจะถูกควบคุมให้คงที่เพื่อให้มีผลต่อตัวแปร
ตอบสนองให้น้อยที่สุดตามตารางที่ 5.7



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.5 FMEA สำหรับกระบวนการผลิตกระเบื้องปิสกิต

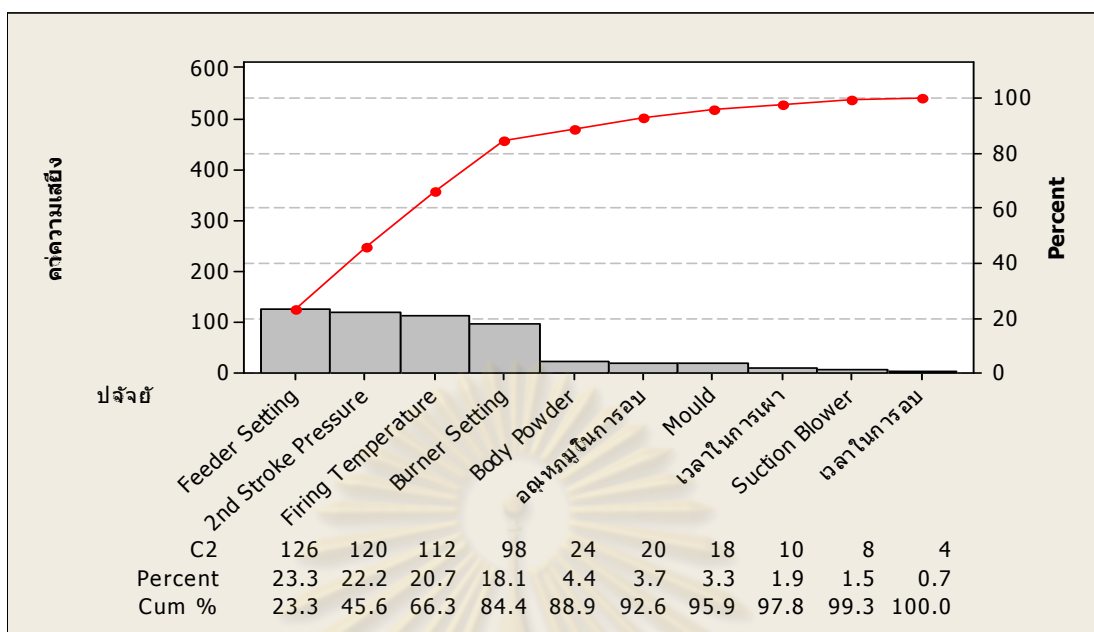
POTENTIAL FMEA Number 1
 FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS Page 1
 (PROCESS FMEA) Prepared By Mr. Teerayut Yoksew
 Product กระเบื้องปิสกิต FMEA Date (Orig.) 15 ก.ค. 2551 Approved By : Mr.Pisit Pongsiri
 Model Year (s) / Vehicle (s) Excellent - Effective date : - Revision: -
 CoreTeam Wall Tile Production Plant: MF4, QC Section, R&D: Wall Tile

Process Function Requirements	Potential Failure Mode	SEV	Potential Cause (S)/ Mechanism(S) of Failure	Occur	Current Process Controls Detection	Detect	R.P.N.	Recommended Action (S)	Action Results				
									Action Taken	Sev	Occ	Det	R.P.N.
การขึ้นรูป (Pressing)	- Body powder อัดตัวไม่เหมาะสม	6	- มีความชื้นไม่เหมาะสม	1	- ใช้เครื่องมือวัดความชื้นผงดิน	4	24	- ระวังการใช้ แฉง หม.	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	- ขนาดกระเบื้องไม่ได้ตามกำหนด	8	- 2 nd stroke pressure น้อยไปหรือมากไปจากปกติ	5	- ตรวจสอบค่า Setting & Actual ที่เครื่อง Press	3	120	- ปรับตั้ง แฉง หม.					
	- Mould เสียขนาด	2	- Mould ลึกหรือ	1	- ติดตามจำนวนครั้งในการขึ้นรูป	9	18	- ปรับตั้ง Punch					
	- ความเร็วในการ charge ดิน ไม่สม่ำเสมอ	7	- Feeder setting ไม่เหมาะสม	6	- ตรวจสอบชุด Feeder ในการ Charge ดิน	3	126	- ปรับตั้งชุดโรยผงดิน					
การอบ (Drying)	- Drying curve	2	- อุณหภูมิในการอบไม่ได้ตามค่า set point	5	- ตรวจสอบจากห้องควบคุม	2	20	- ปรับตั้ง	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	- Temperature profile ในเตาอบไม่ได้ตามรูปแบบที่กำหนด												
	- Drying cycle เร็วหรือช้าไป	2	- เวลาในการอบไม่ถูกต้อง	1	- ตรวจสอบจากห้องควบคุม	2	4	- ปรับตั้ง					

ตารางที่ 5.5 FMEA สำหรับกระบวนการผลิตกระเบื้องปัสกิต (ต่อ)

POTENTIAL FMEA Number 1
 FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS Page 2
 (PROCESS FMEA) Prepared By Mr.Teerayut Yoksew
 Product กระเบื้องปัสกิต FMEA Date (Orig.) 15 ก.ค. 2551 Approved By : Mr.Pisit Pongsiri
 Model Year (s) / Vehicle (s) Excellent - Effective date : - Revision : -
 CoreTeam Wall Tile Production Plant: MF4, QC Section, R&D: Wall Tile

Process Function Requirements	Potential Failure Mode	SEV	Potential Cause (S)/ Mechanism(S) of Failure	Occur	Current Process Controls Detection	Detect	R.P.N.	Recommended Action (S)	Action Results				
									Action Taken	Sev	Occ	Det	R.P.N.
การเผา (Firing)	- อุณหภูมิหน้าตัดเตาไม่เท่ากัน	7	- burner Modulation ไม่เหมาะสม	7	- ตรวจสอบจากห้องควบคุม	2	98	-ตรวจสอบระบบควบคุม	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	- pressure profile ไม่ได้ตามรูปแบบที่กำหนด	4	- suction blower ทำงานผิดปกติ	1	- ตรวจสอบจากห้องควบคุม	2	8	-ตรวจสอบระบบควบคุม					
	- Firing curve	8	- อุณหภูมิในการเผาไม่ได้ตามค่า set point	7	- ตรวจสอบจากห้องควบคุม	2	112	-ตรวจสอบระบบควบคุม					
	- Firing profile ไม่ได้ตามรูปแบบที่กำหนด												
- Firing cycle เร็วหรือช้าไป	5	- เวลาในการเผาไม่ถูกต้อง	1	- ตรวจสอบจากห้องควบคุม	2	10	-ตรวจสอบระบบควบคุม						



รูปที่ 5.2 แสดงแผนภูมิพาเรโตของตัวเลขแสดงลำดับความเสี่ยงของแต่ละปัจจัย

จากหลักการของแผนภูมิพาเรโตซึ่งมีใช้อย่างแพร่หลายนั้นกล่าวกันว่า 80% ของปัญหา มักจะมาจาก 20% ของสาเหตุ ดังนั้นจากรูปที่ 5.2 จะสามารถสรุปปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อขนาด กระเบื้องบิสกิตดังตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 ปัจจัยที่ใช้ในการทดลองเบื้องต้น

ปัจจัย	ค่าปัจจุบัน	หน่วย
Feeder Setting	80	%
Burner Setting	50	mmH ₂ O
2 nd Stroke Pressure	220	bar
Firing Temperature	1135	°C

ตารางที่ 5.7 ปัจจัยที่ถูกควบคุมในการทดลองเบื้องต้น

ปัจจัยที่ถูกควบคุม	เงื่อนไขที่ควบคุม
Body Powder	ตรวจเช็คความชื้นของผงดินแต่ละ SILO ก่อนนำไปใช้งาน (ต้องบ่มให้ครบ 24 ชม.)
อุณหภูมิในการอบ	ตรวจสอบอุณหภูมิในการอบจากห้องควบคุม

ตารางที่ 5.7 ปัจจัยที่ถูกควบคุมในการทดลองเบื้องต้น (ต่อ)

ปัจจัยที่ถูกควบคุม	เงื่อนไขที่ควบคุม
Mould	กำหนดอายุการใช้งานจากจำนวนครั้งในการขึ้นรูป
เวลาในการเผา	ตรวจสอบความเร็วตาม Cycle Time ที่กำหนดในห้องควบคุม
Suction Blower	ตรวจสอบความดันบรรยากาศที่กำหนดในห้องควบคุม
เวลาในการอบ	ตรวจสอบความเร็วตาม Cycle Time ที่กำหนดในห้องควบคุม

5.3 การทดลองเบื้องต้นเพื่อคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง

จากการวิเคราะห์เพื่อคัดเลือกปัจจัยสำหรับการทดลองเบื้องต้นดังได้กล่าวใน 5.2 ได้แสดงผลต่าง ๆ ที่ใช้ในการเลือกปัจจัยที่มีผลต่อขนาดกระเบื้องในกระบวนการผลิตกระเบื้องบิสกิต ตลอดจนพิจารณาถึงการควบคุมปัจจัยอื่น ๆ ดังแสดงในตารางที่ 5.6 และ 5.7 ตามลำดับ

ในการทดลองนี้จะกำหนดระดับของปัจจัย (Levels) เป็นแบบกำหนดตายตัว (Fixed level) เนื่องจากเป็นปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าได้แน่นอน โดยอาศัยความรู้พื้นฐานในกระบวนการผลิตและประสบการณ์จากพนักงานที่มีความชำนาญทำการกำหนดระดับของปัจจัยที่ควรใช้ในการทดลองเบื้องต้นออกเป็น 2 ระดับ เพื่อใช้ในการทดลอง โดยใช้สภาวะการผลิตในปัจจุบันมา กำหนดค่าที่เพิ่มขึ้นและลดลงของแต่ละปัจจัยในระดับที่สูงกว่าและต่ำกว่า เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นกับขนาดกระเบื้องบิสกิต ซึ่งช่วงที่ศึกษาของตัวแปรแต่ละตัวแปร จะเป็นจุดสนใจในการผลิตและเป็นช่วงที่เหมาะสมและไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพกระเบื้องบิสกิต โดยมีการแบ่งระดับปัจจัยดังนี้

ก. Feeder Setting

Feeder Setting คือ ชุดป้อนผงดินลงในแบบหรือแม่พิมพ์เพื่อทำการขึ้นรูป โดยจะเริ่มโดยการกวาดผงดินไปลงในแบบอย่างสม่ำเสมอตามระยะที่กำหนดของเครื่อง ซึ่งสภาวะการผลิตในปัจจุบันกำหนดไว้ที่ 80 % จากระยะทั้งหมด จึงกำหนดระดับในการกวาดดิน เพิ่มขึ้นและลดลง 5% เนื่องจากหากใช้ระยะการกวาดดินที่ต่ำไปหรือมากไปจะทำให้ผงดินที่ลงไปแบบมีความไม่สม่ำเสมอเมื่ออัดขึ้นรูปแล้วจะทำให้กระเบื้องแตกหักได้ง่าย ซึ่งมีผลต่อคุณภาพของกระเบื้อง การปรับค่าระยะการกวาดผงดินลงในแบบสามารถปรับจากแผงควบคุมการป้อนผงดินบนตู้ควบคุมได้ง่าย ดังนั้นจึงแบ่งระยะการกวาดผงดิน ออกเป็น 2 ระดับคือ

ระดับที่ 1 ระยะการกวาดผงดิน 85 %

ระดับที่ 2 ระยะการกวาดผงดิน 75 %

ข. Burner Modulation

Burner Modulation คือ ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมอัตราส่วนของอากาศและแก๊สในการเผาไหม้เพื่อให้ได้อุณหภูมิในแต่ละโซนของเตาเผากระเบื้อง (อุณหภูมิหน้าตัดเตา) ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 3 โซน คือ ด้านซ้าย, กลาง และขวา มีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุด ในที่นี่จะกำหนดเฉพาะลมเท่านั้นเพราะจะส่งผลโดยตรงต่อการเผาไหม้แบบสมบูรณ์ และแก๊สจะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิในการเผา ซึ่งสภาวะการผลิตในปัจจุบันกำหนดไว้ที่ 50 mmH₂O จึงกำหนดระดับของอากาศ เพิ่มขึ้นและลดลง 10 mmH₂O เนื่องจากหากใช้ระดับของอากาศที่ต่ำไปหรือมากเกินไปจะทำให้แก๊สตัดการทำงาน และจะแสดงข้อความ ALARM ว่า "COMBUSTION AIR PRESSURE" ในขณะเดียวกันจะทำให้กระเบื้องที่อยู่ในเตาเสียทั้งหมด ซึ่งมีผลต่อคุณภาพของกระเบื้อง การปรับค่าระดับของอากาศ สามารถปรับจากแผง CONTROL PANEL ของเตาบนตู้ควบคุมได้ง่าย ดังนั้นจึงแบ่งระดับของอากาศ ออกเป็น 2 ระดับคือ

ระดับที่ 1 ระดับของอากาศ 60 mmH₂O

ระดับที่ 2 ระดับของอากาศ 40 mmH₂O

ค. 2nd Stroke Pressure

2nd Stroke Pressure คือ การอัดขึ้นรูปกระเบื้องในลำดับที่สองเพื่อให้ได้รูปทรงของกระเบื้องตามต้องการ ซึ่งในลำดับแรกจะเป็นการอัดเพื่อไล่อากาศที่อยู่ในแบบออกให้หมด ซึ่งสภาวะการผลิตในปัจจุบันกำหนดไว้ที่ 220 bar จึงกำหนดระดับของแรงในการอัดขึ้นรูป เพิ่มขึ้นและลดลง 20 bar เนื่องจากหากใช้ระดับของแรงอัดที่ต่ำไปหรือมากเกินไปจะทำให้การอัดขึ้นรูปกระเบื้องไม่เต็มประสิทธิภาพ ซึ่งมีผลต่อคุณภาพของกระเบื้องทั้งรูปทรง, ความหนา, ความแข็งแรง การปรับค่าระดับของแรงอัด สามารถปรับจากแผง CONTROL PANEL บนตู้ควบคุมได้ง่าย ดังนั้นจึงแบ่งระดับของแรงในการอัดขึ้นรูป ออกเป็น 2 ระดับคือ

ระดับที่ 1 แรงอัด 240 bar

ระดับที่ 2 แรงอัด 200 bar

ง. Firing Temperature

Firing Temperature คือ อุณหภูมิที่ต้องใช้ในการเผากระเบื้องซึ่งจะมีการควบคุมอุณหภูมิอย่างเหมาะสมในแต่ละช่วงของการเผาดังแสดงในรูปที่ 3.6 โดยการดูแลเตาจะเน้นมากในเรื่อง FIRING ZONE เพราะเป็นหลักพื้นฐานว่าในระหว่าง ZONE นี้ การปรับอุณหภูมิที่เหมาะสมเท่านั้น จึงจะไม่เกิดปัญหาเรื่องความโค้ง-แอ่น ความคดงอ การบิดเบี้ยว การหลอมตัว

เป็นเนื้อเดียว ซึ่งสภาวะการผลิตในปัจจุบันกำหนดไว้ที่ $1135\text{ }^{\circ}\text{C}$ จึงกำหนดระดับอุณหภูมิในการเผา เพิ่มขึ้นและลดลง $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ เนื่องจากหากใช้ระดับของอุณหภูมิที่ต่ำไปหรือมากเกินไปจะทำให้การเผากระเบื้องเกิดปัญหาเรื่องความโค้ง-แอ่น ความคดงอ การบิดเบี้ยว การหลอมตัวเป็นเนื้อเดียว ซึ่งมีผลต่อคุณภาพของกระเบื้องโดยตรง การปรับค่าระดับของอุณหภูมิ สามารถปรับจากแผง CONTROL PANEL บนตู้ควบคุมของเตาได้ง่าย ดังนั้นจึงแบ่งระดับของอุณหภูมิในการเผากระเบื้องออกเป็น 2 ระดับคือ

ระดับที่ 1 อุณหภูมิ $1140\text{ }^{\circ}\text{C}$

ระดับที่ 2 อุณหภูมิ $1130\text{ }^{\circ}\text{C}$

เพื่อพิสูจน์ยืนยันถึงสมมติฐานที่ตั้งไว้ว่าปัจจัยที่ถูกเลือกดังกล่าวข้างต้น มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง (Y_8, Y_{10}) ที่สนใจ และเพื่อเป็นการคัดเลือกเฉพาะปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองให้เหลือน้อยที่สุด ในการทดลองเบื้องต้นนี้ จึงได้ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียล (2^{k-p} Fractional Factorial Design) ที่มี 4 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ มีการทำซ้ำ 1 ครั้ง และเป็นการทำแบบสุ่มเพื่อวัตถุประสงค์หลักในการเกลี่ยออกของอิทธิพลแทรกซ้อนต่าง ๆ ที่มีต่อข้อมูล โดยจะกำหนดให้ระดับของปัจจัยซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 5.8 เป็นค่าสูงสุด (+) และค่าต่ำสุด (-)

ตารางที่ 5.8 ระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองเบื้องต้น

ปัจจัย	สัญลักษณ์	ค่าต่ำสุด (-)	ค่าสูงสุด (+)	หน่วย
Feeder Setting	A	75	85	%
Burner Modulation	B	40	60	mmH ₂ O
2 nd Stroke Pressure	C	200	240	bar
Firing Temperature	D	1130	1140	$^{\circ}\text{C}$

5.3.1 การออกแบบการทดลองแบบ 2^{k-p} Fraction Factorial design

ในการออกแบบการทดลองเบื้องต้นนี้ จะใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปชื่อ Minitab เป็นเครื่องมือในการออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียล (2^{k-p} Fractional Factorial Design) ซึ่งกำหนดเป็นแบบสุ่มพร้อมกับการสร้างเมตริกการออกแบบ (Design Matrix) ในที่นี้จะประกอบด้วยปัจจัย 4 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ มีการทำซ้ำ 1 ครั้ง โดยลำดับการทดลองได้จาก Run Order ของตาราง รวมทั้งสิ้น 8 run และเลือกการออกแบบการทดลองแบบ Resolution

IV Design 2^{4-1} Fraction Factorial design (ภาคผนวก ข) โดยมีตัวแปรตอบสนองคือ ขนาดของกระเบื้องด้าน 8 นิ้ว (Y_8) และด้าน 10 นิ้ว (Y_{10}) ตามตารางที่ 5.9

ตารางที่ 5.9 ตารางการเก็บข้อมูลในการทดลองเบื้องต้น

หมายเลขสภาวะ การทดลอง	ลำดับการ ทดลอง	ปัจจัย				ตัวแปรตอบสนอง	
		A	B	C	D	Y_8	Y_{10}
1	1	-1	-1	-1	-1		
4	2	+1	+1	-1	-1		
6	3	+1	-1	+1	-1		
3	4	-1	+1	-1	+1		
5	5	-1	-1	+1	+1		
8	6	+1	+1	+1	+1		
2	7	+1	-1	-1	+1		
7	8	-1	+1	+1	-1		

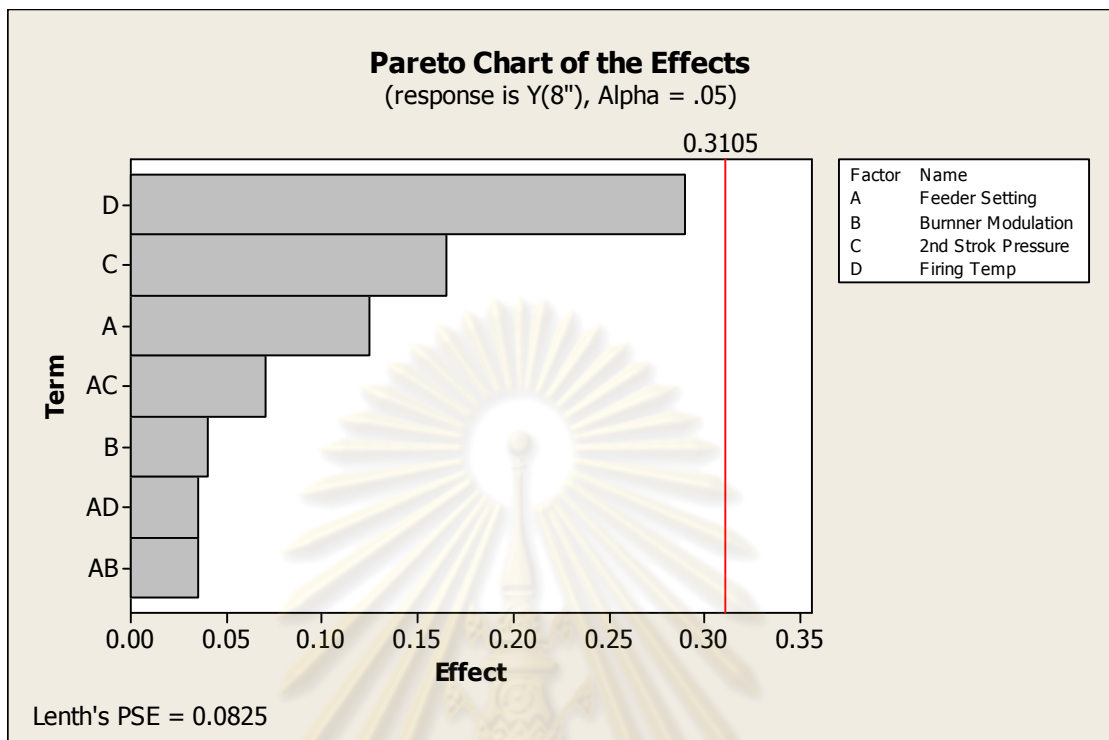
5.3.2 ผลการทดลองและการวิเคราะห์

ในการทดลองแบบ 2^{4-1} Fraction Factorial design ได้ผลการทดลอง(ภาคผนวก ฉ) ซึ่งเรียงตามลำดับของการทดลอง (Run Order) ดังตารางที่ 5.10

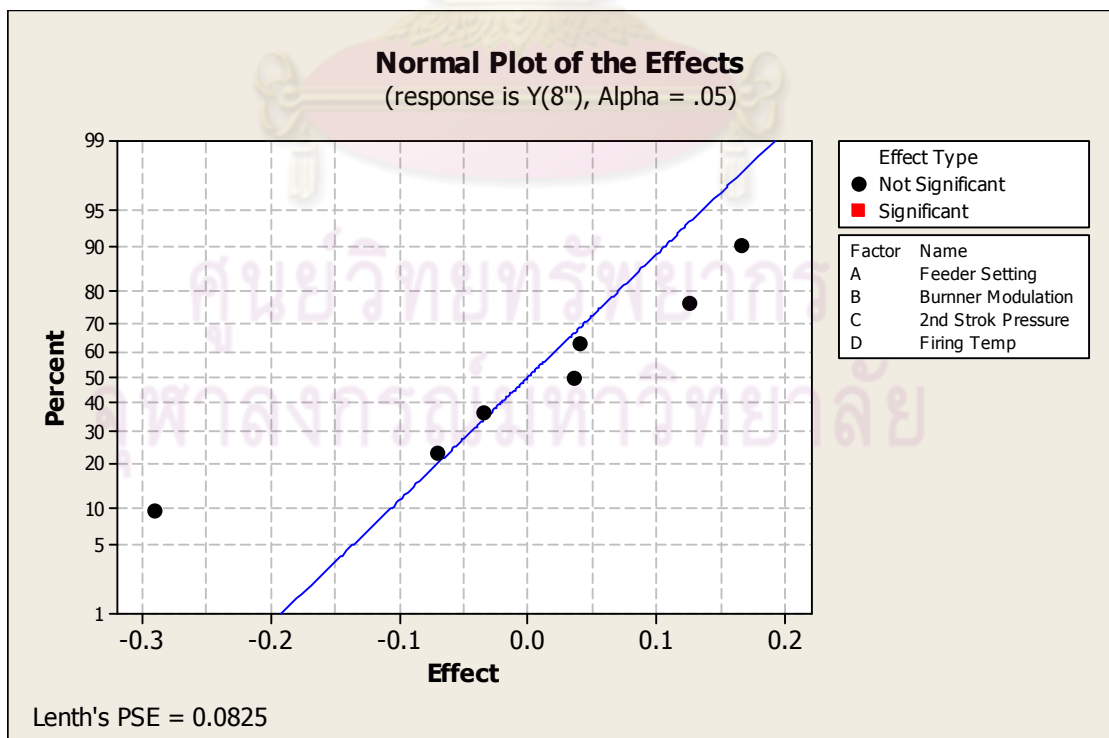
ตารางที่ 5.10 ตารางแสดงผลการทดลองเบื้องต้น

หมายเลขสภาวะ การทดลอง	ลำดับการ ทดลอง	ปัจจัย				ตัวแปรตอบสนอง	
		A	B	C	D	Y_8	Y_{10}
1	1	-1	-1	-1	-1	198.87	248.65
4	2	+1	+1	-1	-1	199.07	248.78
6	3	+1	-1	+1	-1	199.16	248.92
3	4	-1	+1	-1	+1	198.62	248.26
5	5	-1	-1	+1	+1	198.78	248.41
8	6	+1	+1	+1	+1	198.91	248.49
2	7	+1	-1	-1	+1	198.81	248.35
7	8	-1	+1	+1	-1	199.18	248.85

5.3.2.1 ขนาดกระเบื้องด้าน 8 นิ้ว



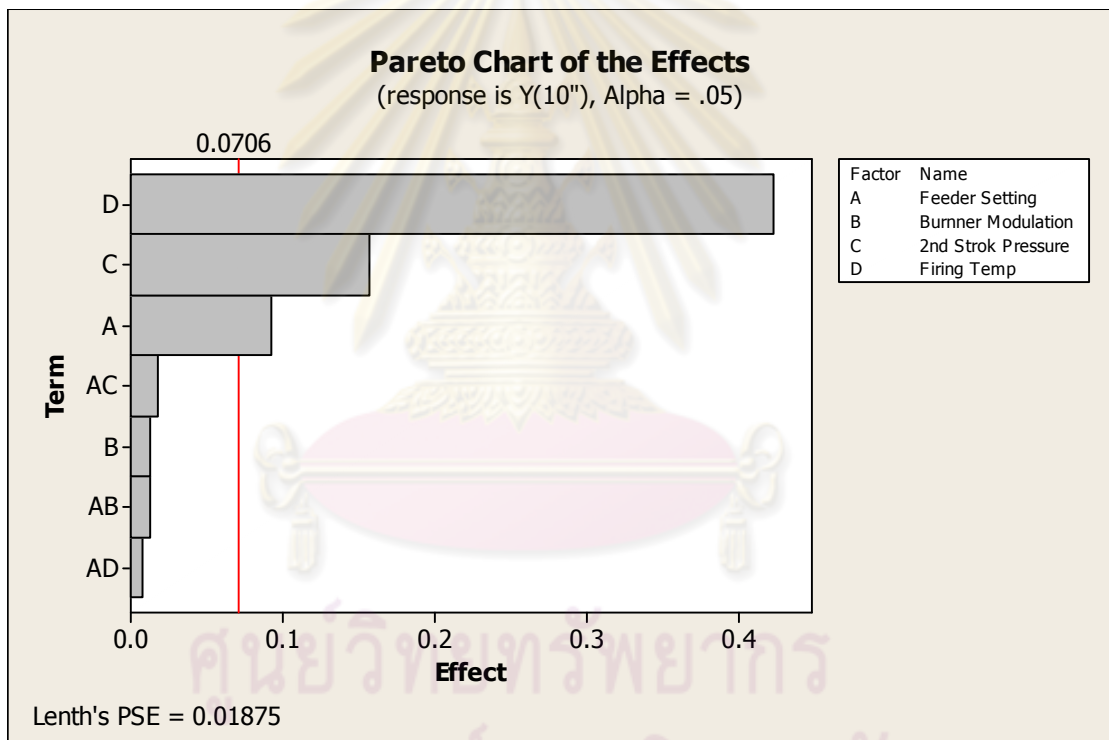
รูปที่ 5.3 Pareto Chart แสดงผลของปัจจัยที่มีต่อขนาดกระเบื้องด้าน 8 นิ้ว ในการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียล (2^{k-p} Fractional Factorial Design)



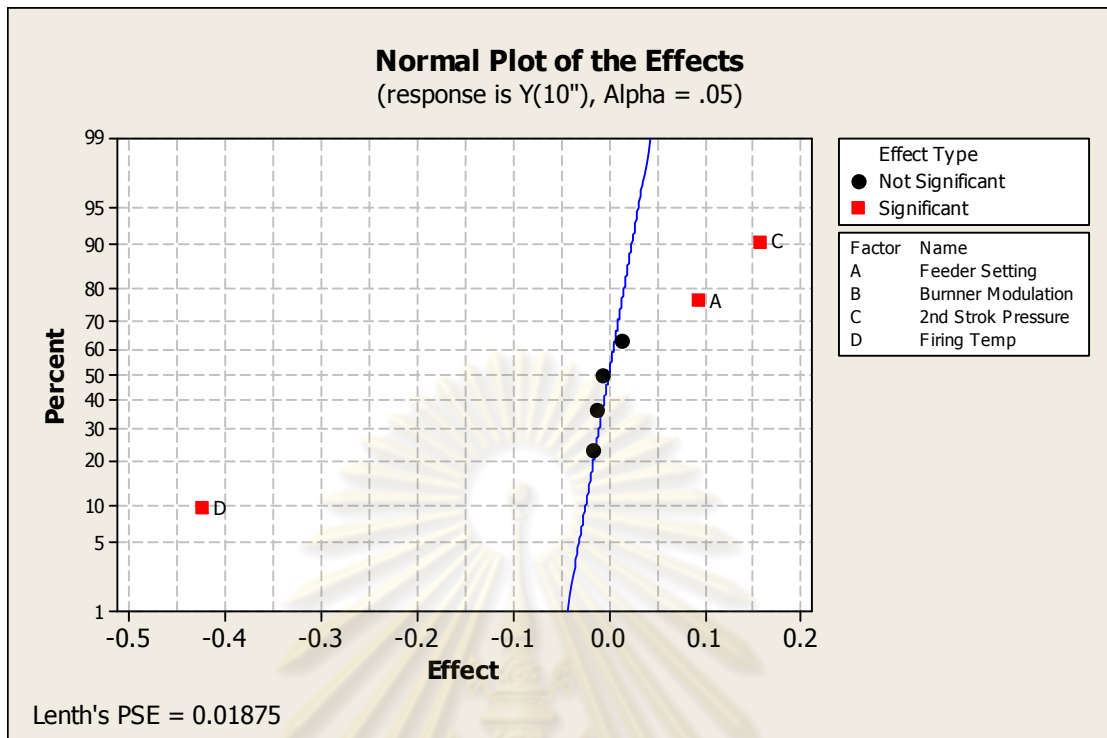
รูปที่ 5.4 Normal Probability Plot แสดงผลของปัจจัยที่มีต่อขนาดกระเบื้องด้าน 8 นิ้ว ในการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียล (2^{k-p} Fractional Factorial Design) จากรูปที่ 5.3 และรูปที่ 5.4 พบว่าไม่มีปัจจัยใดเลยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อขนาดกระเบื้องด้าน 8 นิ้ว (เหนือเส้นประ)

ดังนั้นจึงทำการยุบเทอมที่ไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญ(ใต้เส้นประ)นี้ ไปรวมกับ Error เพื่อเพิ่มค่าองศาอิสระ (Degree of Freedom – df) แล้วจึงวิเคราะห์ผลอีกครั้งด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนซึ่งให้ผล ดังตารางที่ 5.11 และ 5.12 ตามลำดับ

5.3.2.2 ขนาดกระเบื้องด้าน 10 นิ้ว



รูปที่ 5.5 Pareto Chart แสดงผลของปัจจัยที่มีต่อขนาดกระเบื้องด้าน 10 นิ้ว ในการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียล (2^{k-p} Fractional Factorial Design)



รูปที่ 5.6 Normal Probability Plot แสดงผลของปัจจัยที่มีต่อขนาดกระเบื้องด้าน 10 นิ้ว ในการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียล (2^{k-p} Fractional Factorial Design)

จากรูปที่ 5.5 และรูปที่ 5.6 พบว่าปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อขนาดกระเบื้องด้าน 10 นิ้ว (เหนือเส้นประ) มีดังนี้

- A หมายถึง Main Effect ของ Feeder Setting
- C หมายถึง Main Effect ของ 2nd Stroke Pressure
- D หมายถึง Main Effect ของ Firing Temperature

จากนั้นจึงทำการยุบเทอมอื่น ๆ ที่ไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญ (ใต้เส้นประ) ไปรวมกับ Error เพื่อเพิ่มค่าองศาอิสระ (Degree of Freedom – df) แล้วจึงวิเคราะห์ผลอีกครั้งด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนซึ่งให้ผล ดังตารางที่ 5.13 และ 5.14 ตามลำดับ

5.3.3 ทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model adequacy checking)

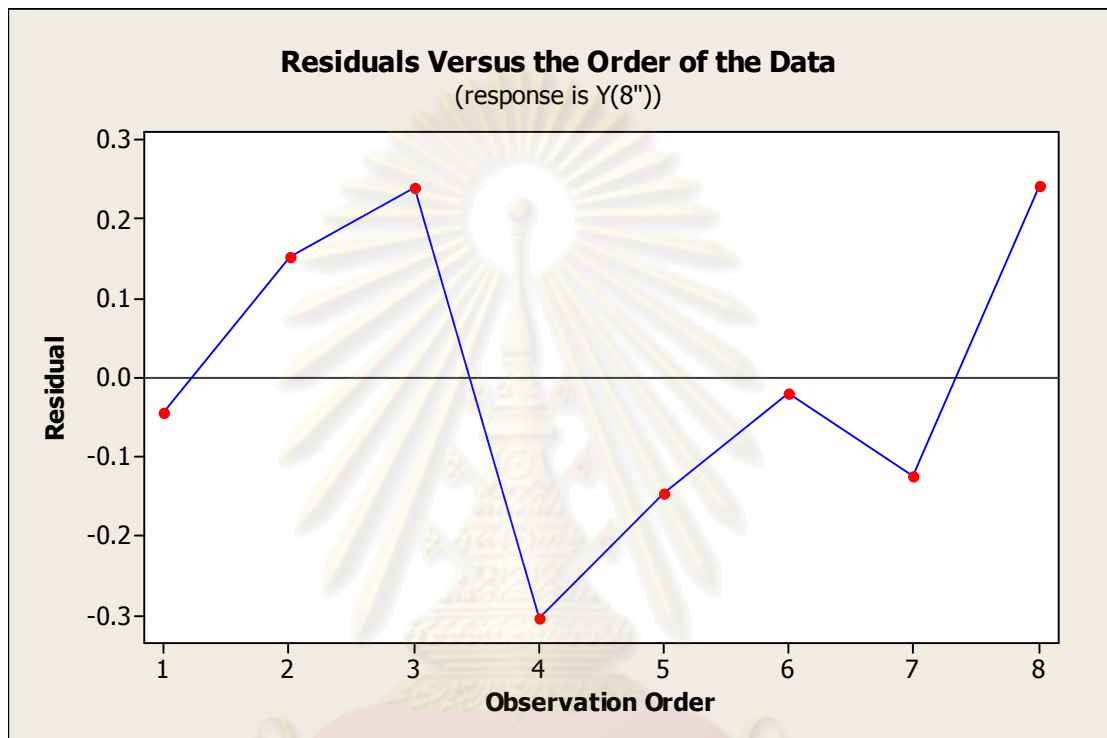
ใช้หลักการของการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual analysis) ซึ่งสามารถแสดงผลได้ดังนี้

5.3.3.1 ขนาดกระเบื้องด้าน 8 นิ้ว

ก. ทดสอบความสุ่มของข้อมูล มีสมมติฐานในการทดสอบ คือ

H_0 : ลำดับของข้อมูลอยู่ภายใต้ความสุ่ม

H_1 : ลำดับของข้อมูลมิได้อยู่ภายใต้ความสุ่ม



รูปที่ 5.7 กราฟแสดงผลการทดสอบความสุ่ม Residuals Versus the Order of the Data ของขนาดกระเบื้องด้าน 8 นิ้ว

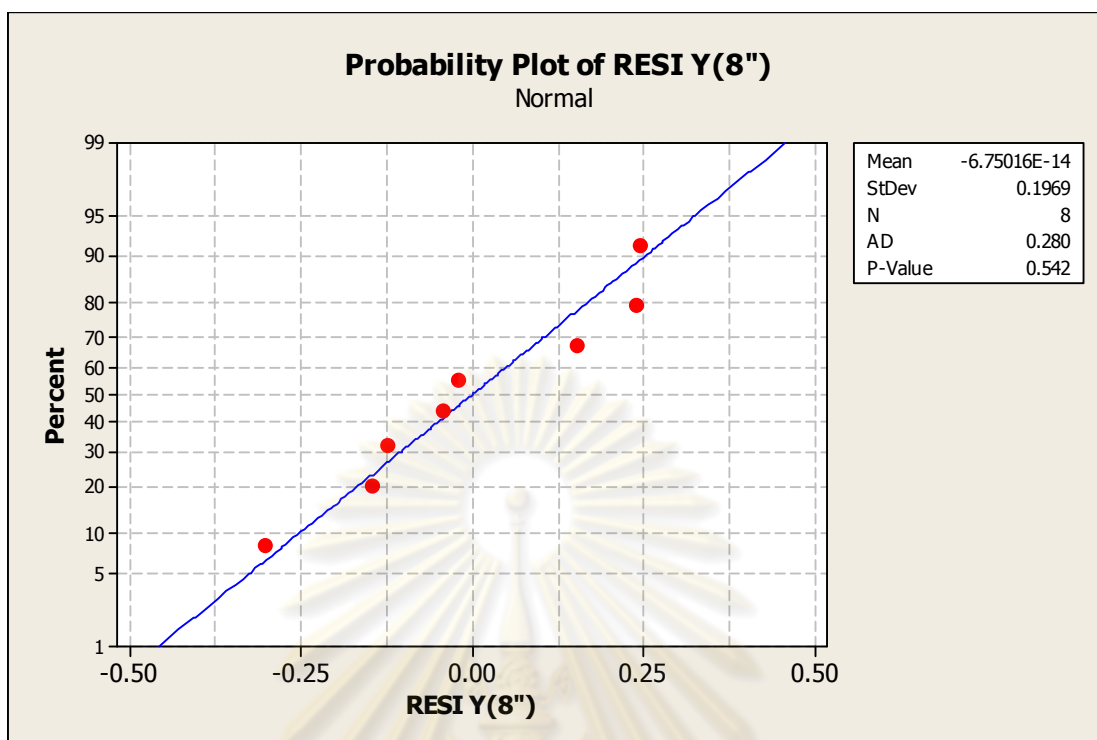
เมื่อพิจารณาจาก Residuals Versus the Order of the Data ในรูปที่ 5.7 พบว่าไม่มีความผิดปกติของข้อมูลซึ่งแสดงว่าขาดคุณสมบัติของความสุ่ม เนื่องจากส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบ ฉะนั้น จึงไม่มีเหตุผลมากพอที่ปฏิเสธ H_0 (Fail to reject H_0) สรุปได้ว่าลำดับของข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองอยู่ภายใต้ความสุ่ม ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ข. ทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล มีสมมติฐานในการทดสอบ คือ

H_0 : ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ

H_1 : ข้อมูลมิได้มีการแจกแจงแบบปกติ

ดำเนินการทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล (Normality test) ได้แสดงดังรูปที่ 5.8



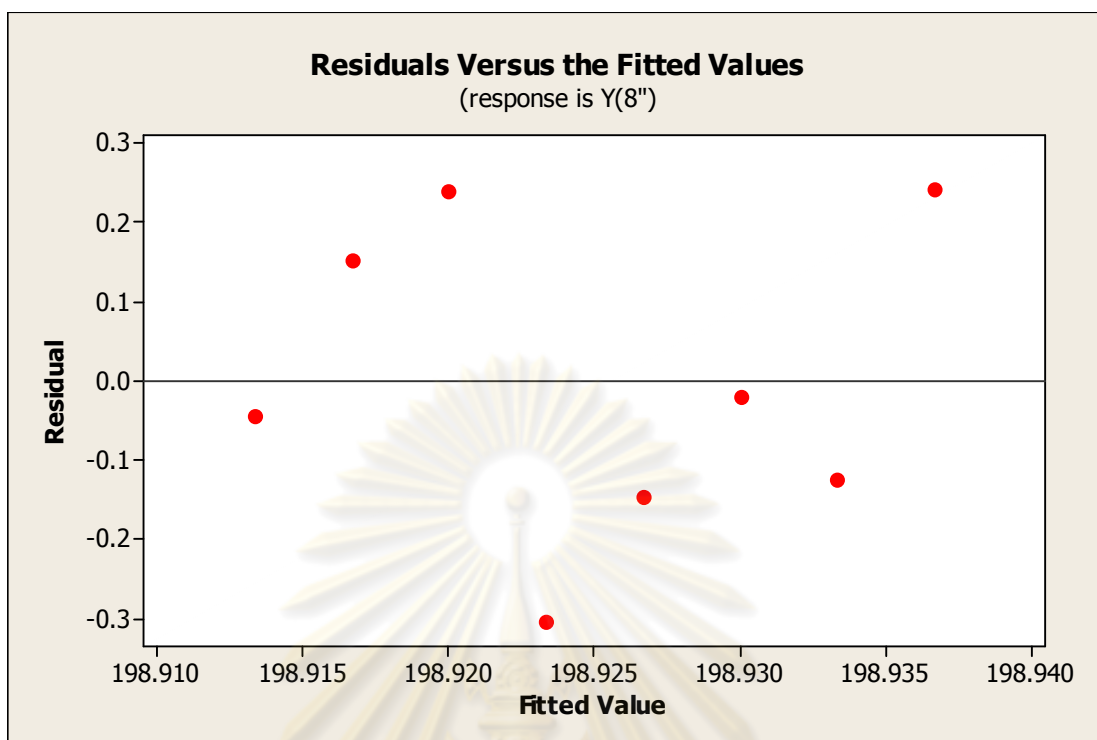
รูปที่ 5.8 กราฟแสดงผลการทดสอบความเป็นปกติของผลการทดลอง ของขนาดกระเบื้องด้าน 8 นิ้ว

เมื่อพิจารณาจาก Normal Plot of Residuals ในรูปที่ 5.8 พบว่าข้อมูลมีการเรียงตัวในลักษณะใกล้เคียงเส้นตรง และจากผลการทดสอบความเป็นปกติในรูปที่ 5.8 พบว่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.542 ซึ่งมากกว่า 0.05 แสดงว่าตัวสถิติทดสอบ A-Squared ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.280 ดังกล่าว จึงถือว่ามีค่าน้อย เมื่อเทียบกับค่าวิกฤติ หมายความว่าจุดต่าง ๆ ที่แสดงถึงข้อมูลอยู่ห่างจากเส้นตรงที่แสดงความเป็นปกติน้อยด้วยเช่นกัน จะเห็นได้ว่าไม่พบความผิดปกติของข้อมูลซึ่งแสดงว่าขาดคุณสมบัติของความเป็นปกติ ฉะนั้น จึงไม่มีเหตุผลมากพอที่ปฏิเสธ H_0 (Fail to reject H_0) สรุปได้ว่า ข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ค. ทดสอบความเสถียรของความแปรปรวน มีสมมติฐานในการทดสอบ คือ

H_0 : ความแปรปรวนของข้อมูลมีความเสถียร

H_1 : ความแปรปรวนของข้อมูลไม่มีความเสถียร



รูปที่ 5.9 กราฟแสดงผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าฟิต ของขนาด
กระเบื้องด้าน 8 นิ้ว

ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) สามารถตรวจสอบได้โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากตัวแบบถดถอย แสดงในรูปที่ 5.9 ซึ่งแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม ควรจะมีการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน

จากรูปที่ 5.9 ส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบ สรุปได้ว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

สรุปผลจากการทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model adequacy checking) ของตัวแปรตอบสนอง (ขนาดกระเบื้องด้าน 8 นิ้ว (Y_8)) ที่นำมาทดลองนี้พบว่าข้อมูลมีสมมติฐานตรงตามข้อกำหนดทั้ง 3 ข้อ คือ ความสุ่ม การแจกแจงแบบปกติและค่าความแปรปรวนมีความเสถียรซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขของการออกแบบการทดลอง NID ($0, \sigma^2$)

ตารางที่ 5.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียล (2^{k-p} Fractional Factorial Design) ของขนาดกระเบื้องด้าน 8 นิ้ว

Analysis of Variance for Y (8") (coded units)						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	1	0.1682	0.1682	0.16820	9.74	0.021
Residual Error	6	0.1036	0.1036	0.01727		
Pure Error	6	0.1036	0.1036	0.01727		
Total	7	0.2718				

ตารางที่ 5.12 Effects และ Coefficients สำหรับค่าขนาดกระเบื้องด้าน 8 นิ้ว
แบบ Coded Unit

Factorial Fit: Y (8") versus Firing Temp

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-	198.925	0.04646	4281.84	0.000
D: Firing Temp	-0.290	-0.145	0.04646	-3.12	0.021

พิจารณาค่า P-Value (ภาคผนวก ญ) ในตารางที่ 5.11 พบว่ามีเพียง Main Effects เท่านั้น ที่ส่งผลต่อค่าขนาดกระเบื้องอย่างมีนัยสำคัญ ส่วน 2-Way Interactions ไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญจากการเปรียบเทียบดังกล่าวใน 5.3.2.1 โดยค่า P-Value ของ Main Effects มีค่าเท่ากับ 0.021 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าค่าสถิติทดสอบ F มีค่ามากกว่าค่าวิกฤติ ซึ่งหมายความว่าในการทดลองนี้มี Main Effects 1 ตัว ที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อขนาดกระเบื้องด้าน 8 นิ้ว และเมื่อพิจารณาค่า P-Value ของ Main Effects ในตารางที่ 5.12 สรุปผล Main Effects ได้ดังนี้

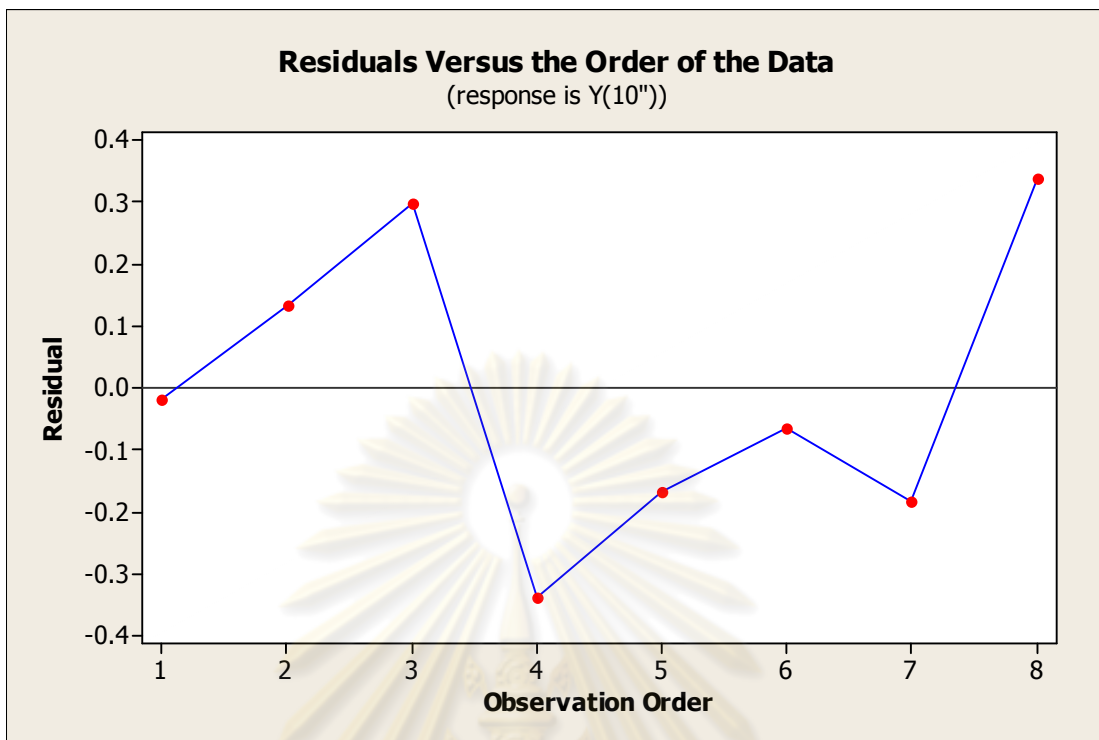
1. พบว่า Main Effect D มีค่า P-Value 0.021 ต่ำกว่า 0.05 ฉะนั้น จึงสรุปได้ว่า Firing Temp มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อขนาดกระเบื้องด้าน 8 นิ้ว

5.3.3.1 ขนาดกระเบื้องด้าน 10 นิ้ว

ก. ทดสอบความสุ่มของข้อมูล มีสมมติฐานในการทดสอบ คือ

H_0 : ลำดับของข้อมูลอยู่ภายใต้ความสุ่ม

H_1 : ลำดับของข้อมูลมิได้อยู่ภายใต้ความสุ่ม



รูปที่ 5.10 กราฟแสดงผลการทดสอบความสุ่ม Residuals Versus the Order of the Data ของขนาดกระเบื้องด้าน 10 นิ้ว

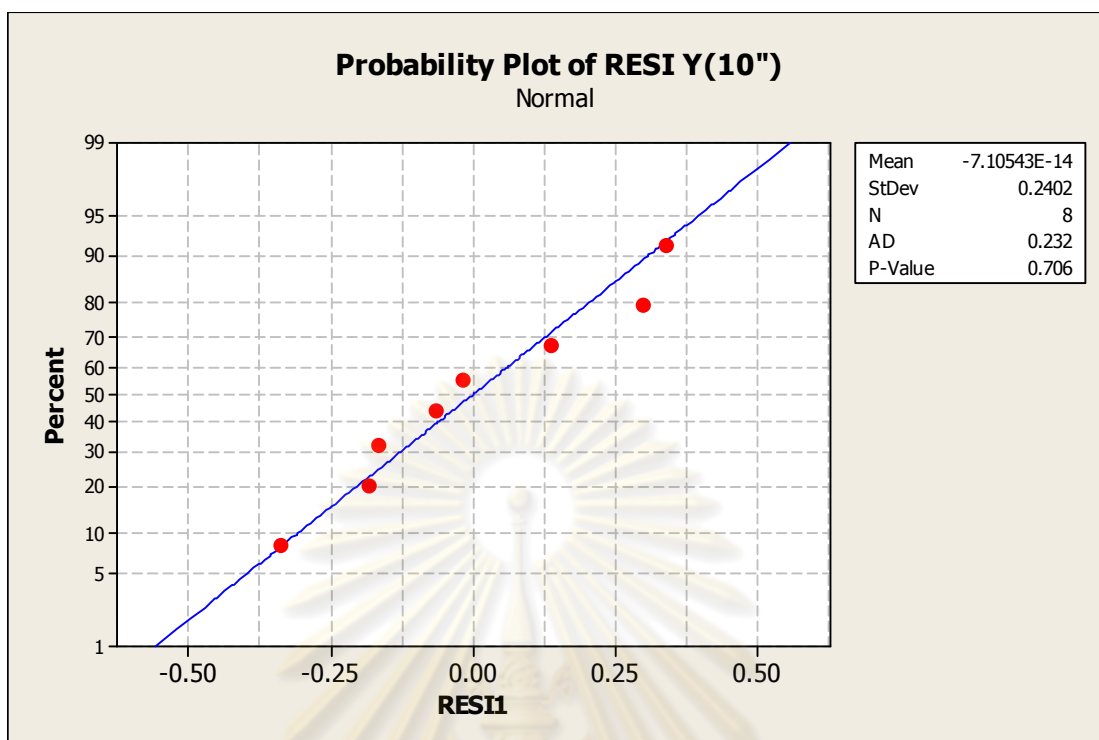
เมื่อพิจารณาจาก Residuals Versus the Order of the Data ในรูปที่ 5.10 พบว่าไม่มีความผิดปกติของข้อมูลซึ่งแสดงว่าขาดคุณสมบัติของความสุ่ม เนื่องจากส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบ ฉะนั้น จึงไม่มีเหตุผลมากพอที่ปฏิเสธ H_0 (Fail to reject H_0) สรุปได้ว่าลำดับของข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองอยู่ภายใต้ความสุ่ม ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ข. ทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล มีสมมติฐานในการทดสอบ คือ

H_0 : ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ

H_1 : ข้อมูลมิได้มีการแจกแจงแบบปกติ

ดำเนินการทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล (Normality test) ได้แสดงดังรูปที่ 5.11



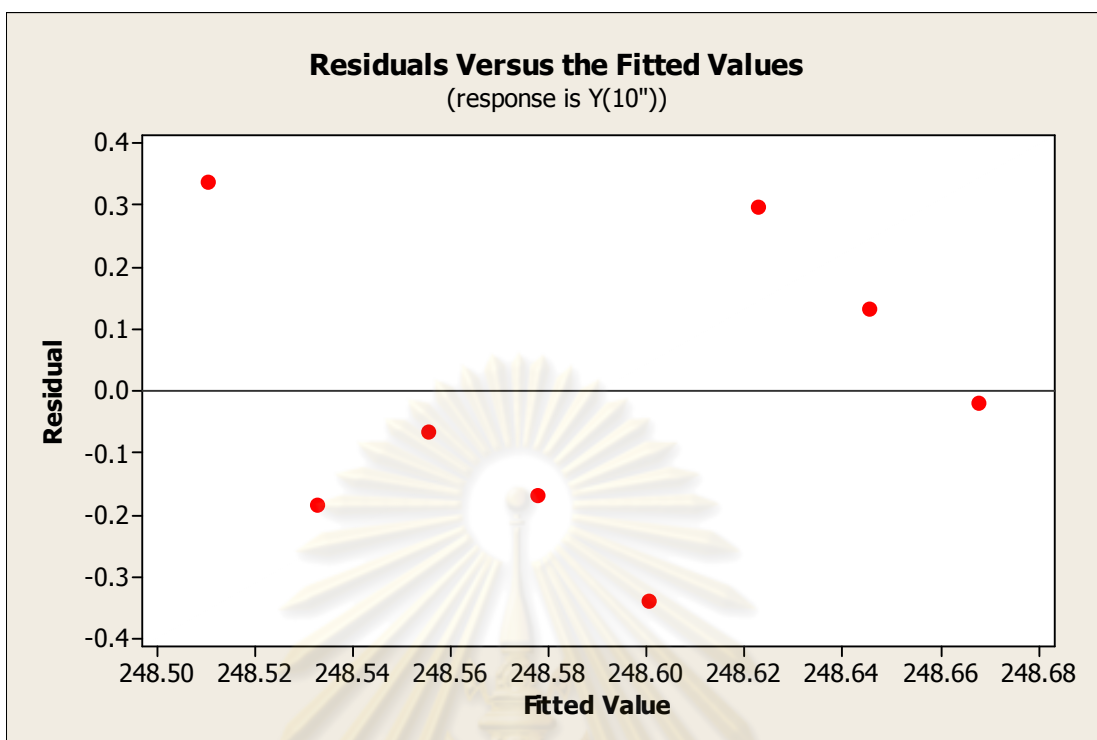
รูปที่ 5.11 กราฟแสดงผลการทดสอบความเป็นปกติของผลการทดลอง ของขนาดกระเบื้องด้าน
10 นิ้ว

เมื่อพิจารณาจาก Normal Plot of Residuals ในรูปที่ 5.11 พบว่าข้อมูลมีการเรียงตัวในลักษณะใกล้เคียงเส้นตรง และจากผลการทดสอบความเป็นปกติในรูปที่ 5.11 พบว่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.706 ซึ่งมากกว่า 0.05 แสดงว่าตัวสถิติทดสอบ A-Squared ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.232 ดังกล่าว จึงถือว่ามีค่าน้อย เมื่อเทียบกับค่าวิกฤติ หมายความว่าจุดต่าง ๆ ที่แสดงถึงข้อมูลอยู่ห่างจากเส้นตรงที่แสดงความเป็นปกติน้อยด้วยเช่นกัน จะเห็นได้ว่าไม่พบความผิดปกติของข้อมูลซึ่งแสดงว่าขาดคุณสมบัติของความเป็นปกติ ฉะนั้น จึงไม่มีเหตุผลมากพอที่ปฏิเสธ H_0 (Fail to reject H_0) สรุปได้ว่า ข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ค. ทดสอบความเสถียรของความแปรปรวน มีสมมติฐานในการทดสอบ คือ

H_0 : ความแปรปรวนของข้อมูลมีความเสถียร

H_1 : ความแปรปรวนของข้อมูลไม่มีความเสถียร



รูปที่ 5.12 กราฟแสดงผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าฟิต ของขนาด
กระเบื้องด้าน 10 นิ้ว

ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) สามารถตรวจสอบได้โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากตัวแบบถดถอย แสดงในรูปที่ 5.12 ซึ่งแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม ควรจะมีการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน

จากรูปที่ 5.12 ส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบ สรุปได้ว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

สรุปผลจากการทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model adequacy checking) ของตัวแปรตอบสนอง (ขนาดกระเบื้องด้าน 10 นิ้ว (Y_{10})) ที่นำมาทดลองนี้พบว่าข้อมูลมีสมมติฐานตรงตามข้อกำหนดทั้ง 3 ข้อ คือ ความสุ่ม การแจกแจงแบบปกติและค่าความแปรปรวนมีความเสถียรซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขของการออกแบบการทดลอง NID ($0, \sigma^2$)

ตารางที่ 5.13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียล
(2^{k-p} Fractional Factorial Design) ของขนาดกระเบื้องด้าน 10 นิ้ว

Analysis of Variance for Y (10") (coded units)						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	0.423737	0.423737	0.141246	418.51	0.000
Residual Error	4	0.425087	0.001350	0.000337		
Total	7	0.425087				

ตารางที่ 5.14 Effects และ Coefficients สำหรับค่าขนาดกระเบื้องด้าน 10 นิ้ว
แบบ Coded Unit

Factorial Fit: Y (10") versus Feeder Setting, 2nd Stroke Pressu, Firing Temp

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-	248.589	0.006495	38272.74	0.000
A: Feeder Setting	0.093	0.046	0.006495	7.12	0.002
C: 2 nd Stroke Pressure	0.157	0.079	0.006495	12.12	0.000
D: Firing Temp	-0.422	-0.211	0.006495	-32.52	0.000

พิจารณาค่า P-Value (ภาคผนวก ญ) ในตารางที่ 5.13 พบว่ามีเพียง Main Effects เท่านั้น ที่ส่งผลต่อค่าขนาดกระเบื้องอย่างมีนัยสำคัญ ส่วน 2-Way Interactions ไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญจากการระบุเทอมดังกล่าวใน 5.3.2.1 โดยค่า P-Value ของ Main Effects มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าค่าสถิติทดสอบ F มีค่ามากกว่าค่าวิกฤติ ซึ่งหมายความว่าในการทดลองนี้มี Main Effects อย่างน้อย 1 ตัว ที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อขนาดกระเบื้องด้าน 10 นิ้ว และเมื่อพิจารณาค่า P-Value ของ Main Effects ในตารางที่ 5.14 สรุปผล Main Effects ได้ดังนี้

1. พบว่า Main Effect D มีค่า P-Value 0.000 ต่ำกว่า 0.05 ฉะนั้น จึงสรุปได้ว่า Firing Temp มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อขนาดกระเบื้องด้าน 10 นิ้ว

2. พบว่า Main Effect C มีค่า P-Value 0.000 ต่ำกว่า 0.05 ฉะนั้น จึงสรุปได้ว่า 2nd Stroke Pressure มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อขนาดกระเบื้องด้าน 10 นิ้ว

3. พบว่า Main Effect A มีค่า P-Value 0.002 ต่ำกว่า 0.05 ฉะนั้น จึงสรุปได้ว่า Feeder Setting มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อขนาดกระเบื้องด้าน 10 นิ้ว

5.4 ผลการคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองในการทดลองเบื้องต้น

จากการทดลองและเก็บข้อมูลของตัวแปรตอบสนอง ในการทดลองเบื้องต้นเพื่อคัดเลือกปัจจัยหลักที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองพบว่า Feeder Setting, Burner Modulation และ 2nd Stroke Pressure ไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองขนาดกระเบื้องด้าน 8 นิ้ว อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% อีกทั้งไม่มีอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยใด ๆ ที่ประกอบด้วย Feeder Setting, Burner Modulation, 2nd Stroke Pressure และ Firing Temperature ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองเลย

และพบว่า Burner Setting ไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองขนาดกระเบื้องด้าน 10 นิ้ว อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% อีกทั้งไม่มีอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยใด ๆ ที่ประกอบด้วย Feeder Setting, Burner Modulation, 2nd Stroke Pressure และ Firing Temperature ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองเลย ดังนั้นจึงสามารถตัด Burner Modulation ออกจากไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนองทั้งสอง (Y_8, Y_{10}) และสามารถสรุปปัจจัยหลักที่เลือกใช้สำหรับการออกแบบการทดลอง เพื่อปรับปรุงค่าขนาดของกระเบื้องบิสกิตและเพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีผลต่อขนาดกระเบื้องบิสกิตด้าน 8 นิ้ว และด้าน 10 นิ้ว ดังตารางที่ 5.15 และปัจจัยที่ถูกควบคุมในการออกแบบการทดลองแสดงในตารางที่ 5.16 ซึ่งถูกควบคุมเพิ่มจากการทดลองเบื้องต้นในตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.15 ปัจจัยหลักในการออกแบบการทดลอง

ปัจจัย	สัญลักษณ์	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	หน่วย
Feeder Setting	A	75	85	%
2 nd Stroke Pressure	C	200	240	bar
Firing Temperature	D	1130	1140	°C

ตารางที่ 5.16 ปัจจัยที่ถูกควบคุมเพิ่มเติมในการออกแบบทดลอง

ปัจจัยที่ถูกควบคุม	สภาวะที่ควบคุม	หน่วย
Burner Modulation	50	mmH ₂ O

บทที่ 6

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

6.1 การออกแบบการทดลองเพื่อปรับปรุงค่าขนาดของกระเบื้องบิสกิต

ในการออกแบบการทดลองเบื้องต้นนี้ จะใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปชื่อ Minitab เป็นเครื่องมือในการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design) ซึ่งกำหนดเป็นแบบสุ่มพร้อมกับการสร้างเมตริกการออกแบบ (Design Matrix) ในที่นี้จะประกอบด้วยปัจจัย 3 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ โดยจะกำหนดให้ระดับของปัจจัยซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 5.15 เป็นค่าสูงสุด (+) และค่าต่ำสุด (-) โดยลำดับการทดลองได้จาก Run Order ของตาราง รวมทั้งสิ้น 8 run และเลือกการออกแบบการทดลองแบบ 2^k แบบ 1 เรพลิเคต (เนื่องจากมีความจำกัดของเงินทุนและทรัพยากร) โดยมีตัวแปรตอบสนองคือ ขนาดของกระเบื้องด้าน 8 นิ้ว (Y_8) และด้าน 10 นิ้ว (Y_{10}) ตามตารางที่ 5.9

ตารางที่ 6.1 ตารางการเก็บข้อมูลในการออกแบบการทดลอง

หมายเลข สภาวะ การ ทดลอง	ลำดับการ ทดลอง	ปัจจัย			ตัวแปรตอบสนอง	
		A	C	D	Y_8	Y_{10}
1	1	+1	+1	-1		
4	2	+1	-1	-1		
6	3	-1	-1	+1		
3	4	-1	+1	+1		
5	5	+1	+1	+1		
8	6	+1	-1	+1		
2	7	-1	+1	-1		
7	8	-1	-1	-1		

6.2 ผลการทดลองเพื่อปรับปรุงค่าขนาดของกระเบื้องบิสกิต

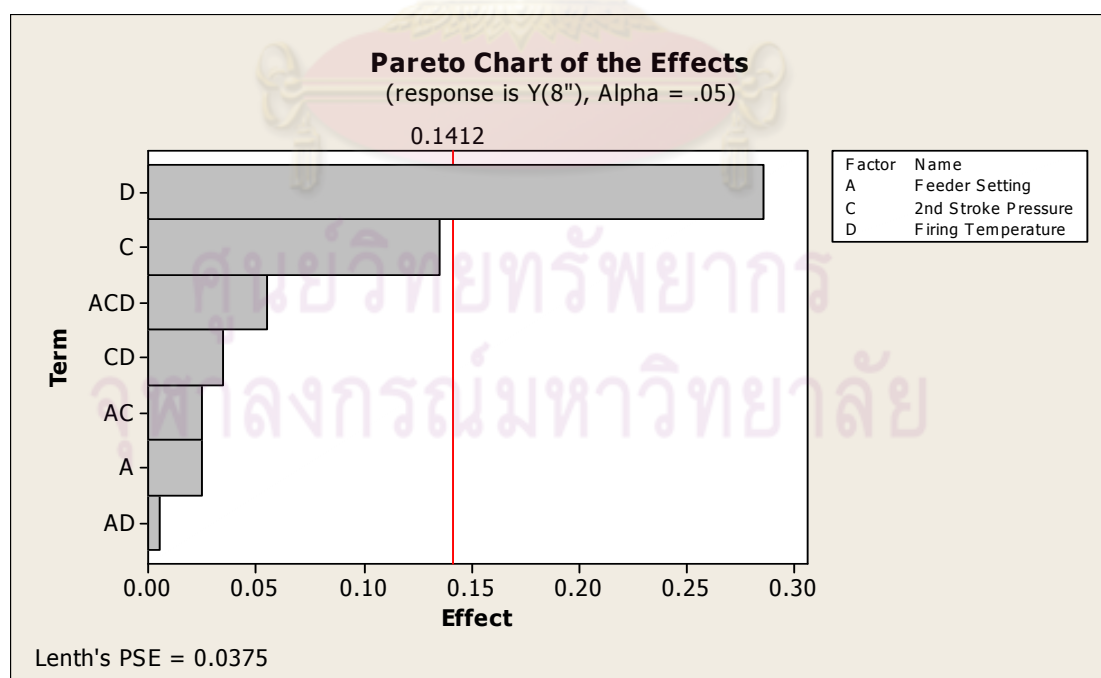
หลังจากทำการทดลองและเก็บข้อมูลของตัวแปรตอบสนอง เพื่อปรับปรุงค่าขนาดของกระเบื้องบิสกิต (ภาคผนวก ก) ได้ผลการทดลองดังที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 ตารางผลการเก็บข้อมูลในการออกแบบการทดลอง

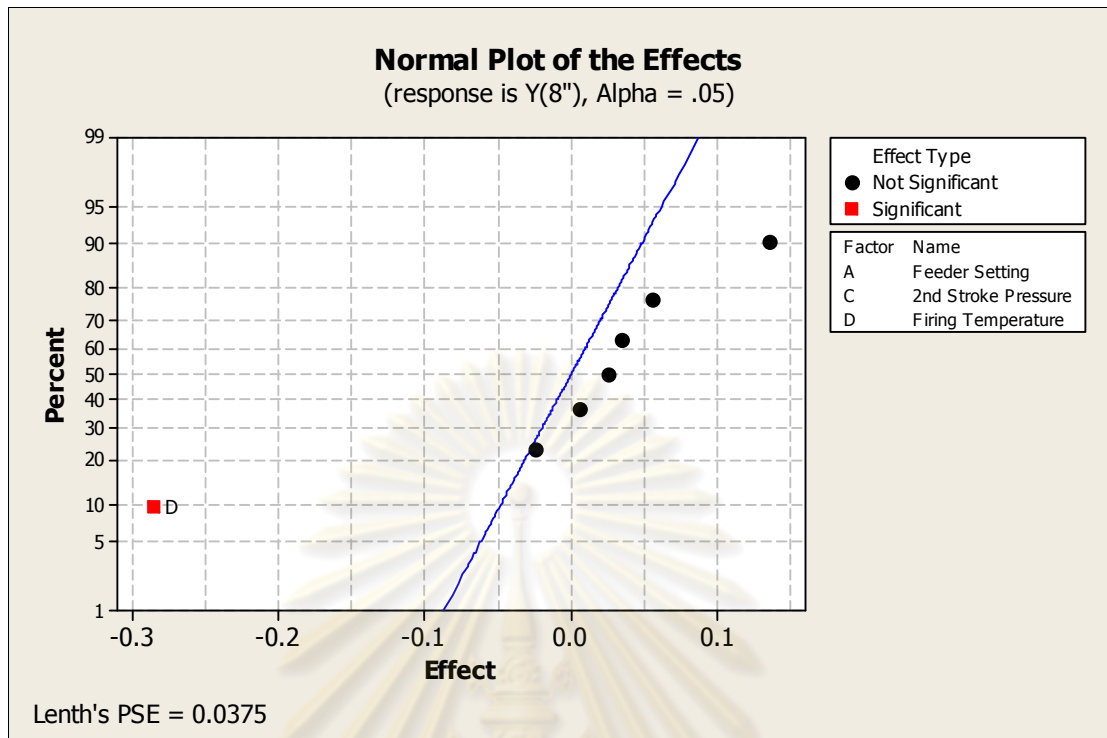
หมายเลข สภาวะ การ ทดลอง	ลำดับการ ทดลอง	ปัจจัย			ตัวแปรตอบสนอง	
		A	C	D	Y_8	Y_{10}
7	1	+1	+1	-1	198.97	248.72
5	2	+1	-1	-1	198.95	248.56
2	3	-1	-1	+1	198.58	248.21
4	4	-1	+1	+1	198.72	248.35
8	5	+1	+1	+1	198.78	248.40
6	6	+1	-1	+1	198.58	248.18
3	7	-1	+1	-1	199.03	248.76
1	8	-1	-1	-1	198.85	248.60

6.2.1 ผลการทดลองและการวิเคราะห์

6.2.1.1 ขนาดกระเบื้องด้าน 8 นิ้ว



รูปที่ 6.1 Pareto Chart แสดงผลของปัจจัยที่มีต่อขนาดกระเบื้องด้าน 8 นิ้ว ในการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design)



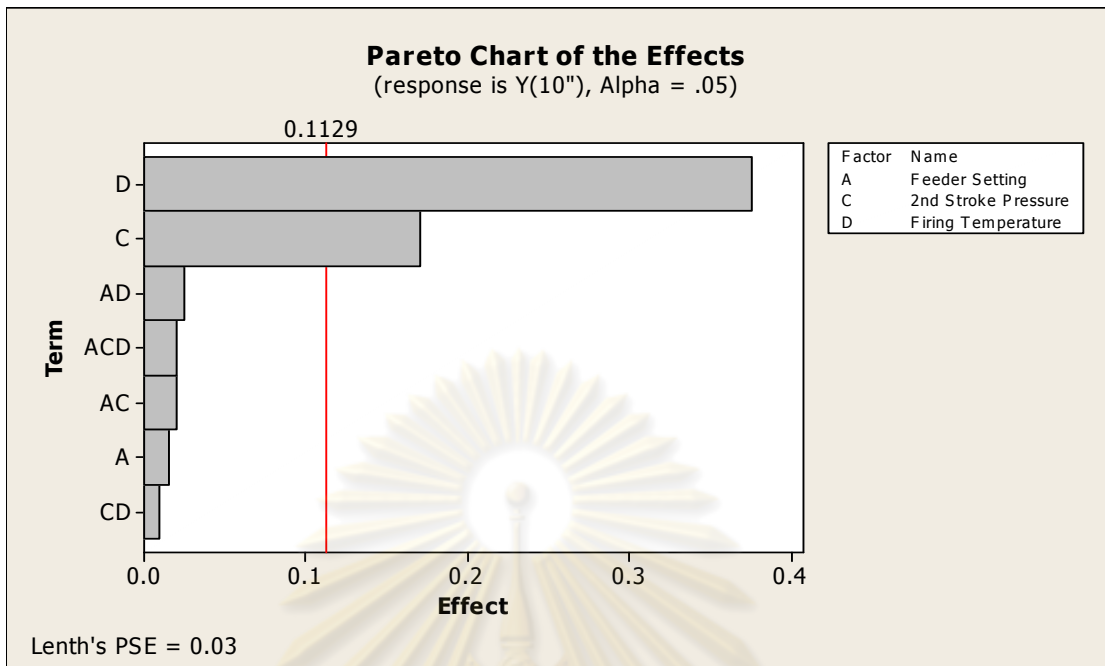
รูปที่ 6.2 Normal Probability Plot แสดงผลของปัจจัยที่มีต่อขนาดกระเบื้องด้าน 8 นิ้ว ในการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design)

จากรูปที่ 6.1 และรูปที่ 6.2 พบว่าปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อขนาดกระเบื้องด้าน 8 นิ้ว (เหนือเส้นประ) มีดังนี้

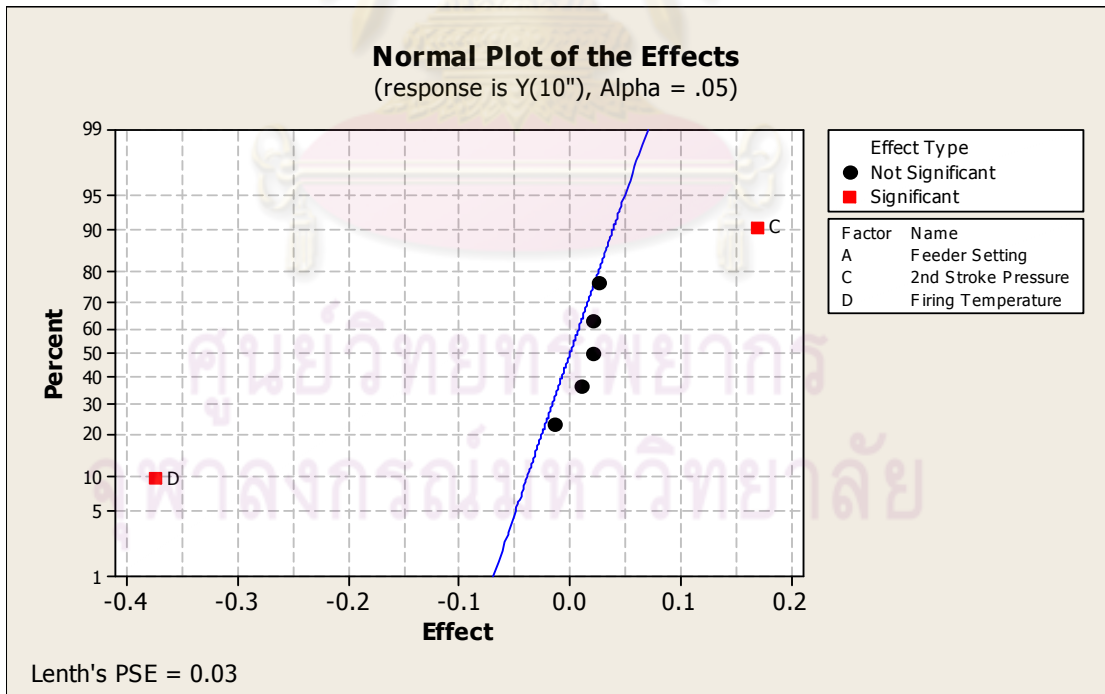
- D หมายถึง Main Effect ของ Firing Temperature

จากนั้นจึงทำการยุบเทอมอื่น ๆ ที่ไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญ (ใต้เส้นประ) ไปรวมกับ Error เพื่อเพิ่มค่าองศาอิสระ (Degree of Freedom – df) แล้วจึงวิเคราะห์ผลอีกครั้งด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนซึ่งให้ผล ดังตารางที่ 6.3 และ 6.4 ตามลำดับ

6.2.1.2 ขนาดกระเบื้องด้าน 10 นิ้ว



รูปที่ 6.3 Pareto Chart แสดงผลของปัจจัยที่มีต่อขนาดกระเบื้องด้าน 10 นิ้ว ในการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design)



รูปที่ 6.4 Normal Probability Plot แสดงผลของปัจจัยที่มีต่อขนาดกระเบื้องด้าน 10 นิ้ว ในการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design)

จากรูปที่ 6.3 และรูปที่ 6.4 พบว่าปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อขนาดกระเบื้องด้าน 10 นิ้ว (เหนือเส้นประ) มีดังนี้

- C หมายถึง Main Effect ของ 2nd Stroke Pressure
- D หมายถึง Main Effect ของ Firing Temperature

จากนั้นจึงทำการยุบเทอมอื่น ๆ ที่ไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญ (ใต้เส้นประ) ไปรวมกับ Error เพื่อเพิ่มค่าองศาอิสระ (Degree of Freedom – df) แล้วจึงวิเคราะห์ผลอีกครั้งด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนซึ่งให้ผล ดังตารางที่ 6.5 และ 6.6 ตามลำดับ

6.2.2 ทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model adequacy checking)

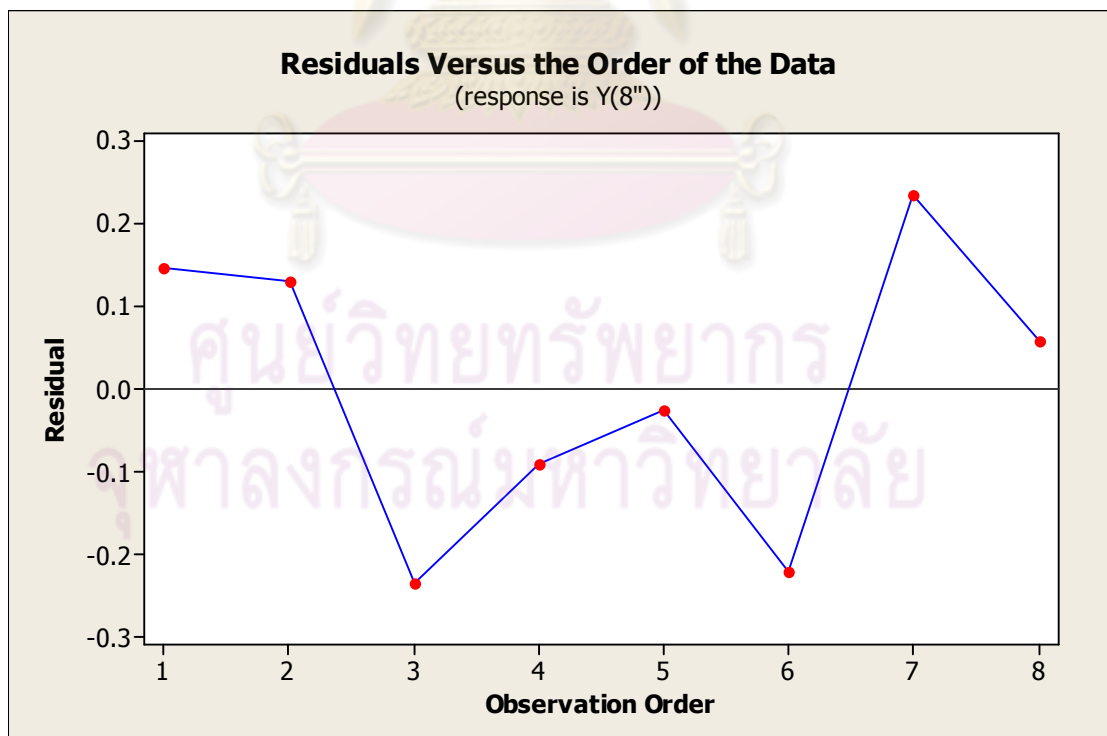
ใช้หลักการของการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual analysis) ซึ่งสามารถแสดงผลได้ ดังนี้

6.2.2.1 ขนาดกระเบื้องด้าน 8 นิ้ว

ก. ทดสอบความสุ่มของข้อมูล มีสมมติฐานในการทดสอบ คือ

H_0 : ลำดับของข้อมูลอยู่ภายใต้ความสุ่ม

H_1 : ลำดับของข้อมูลไม่ได้อยู่ภายใต้ความสุ่ม



รูปที่ 6.5 กราฟแสดงผลการทดสอบความสุ่ม Residuals Versus the Order of the Data ของขนาดกระเบื้องด้าน 8 นิ้ว

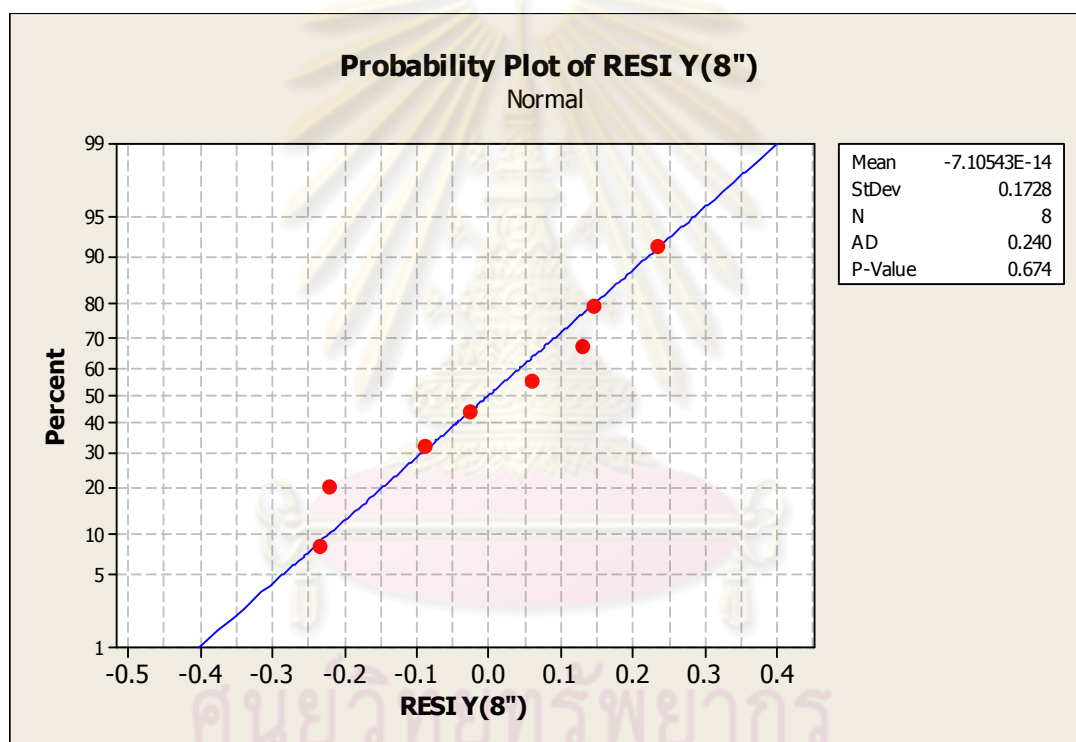
เมื่อพิจารณาจาก Residuals Versus the Order of the Data ในรูปที่ 6.5 พบว่าไม่มีความผิดปกติของข้อมูลซึ่งแสดงว่าขาดคุณสมบัติของความสุ่ม เนื่องจากส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบ ฉะนั้น จึงไม่มีเหตุผลมากพอที่ปฏิเสธ H_0 (Fail to reject H_0) สรุปได้ว่าลำดับของข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองอยู่ภายใต้ความสุ่ม ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ข. ทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล มีสมมติฐานในการทดสอบ คือ

H_0 : ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ

H_1 : ข้อมูลไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ

ดำเนินการทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล (Normality test) ได้แสดงดังรูปที่ 6.6



รูปที่ 6.6 กราฟแสดงผลการทดสอบความเป็นปกติของผลการทดลอง ของขนาดกระเบื้องด้าน 8 นิ้ว

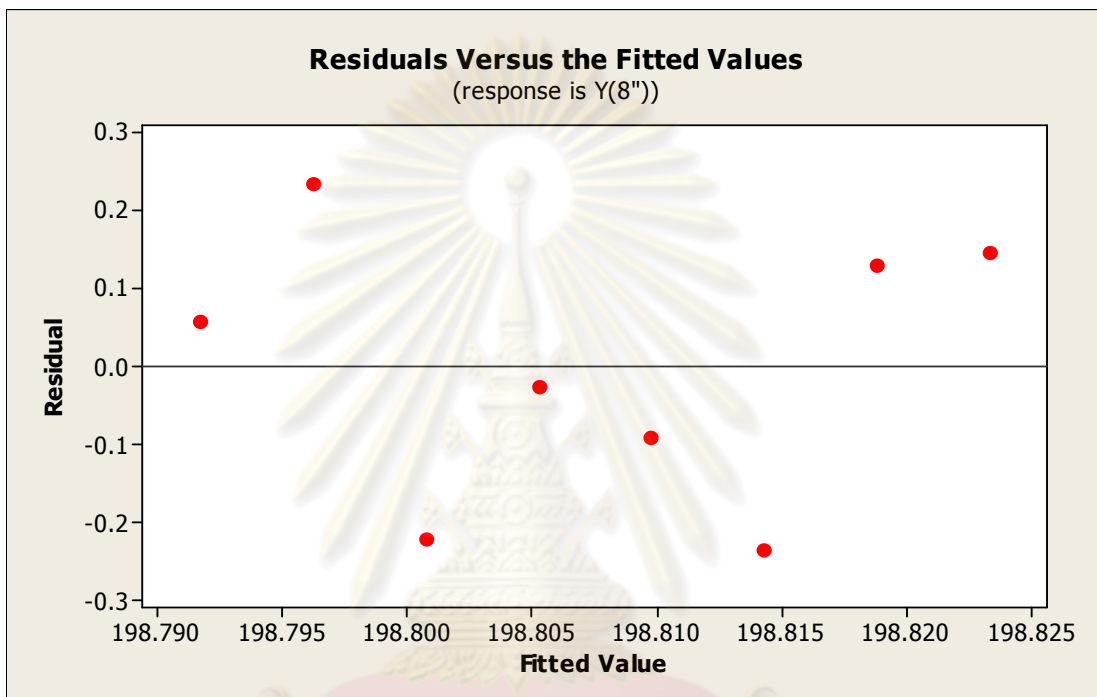
เมื่อพิจารณาจาก Normal Plot of Residuals ในรูปที่ 6.6 พบว่าข้อมูลมีการเรียงตัวในลักษณะใกล้เคียงเส้นตรง และจากผลการทดสอบความเป็นปกติในรูปที่ 6.6 พบว่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.674 ซึ่งมากกว่า 0.05 แสดงว่าตัวสถิติทดสอบ A-Squared ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.240 ดังกล่าว จึงถือว่ามีค่าน้อย เมื่อเทียบกับค่าวิกฤติ หมายความว่าจุดต่าง ๆ ที่แสดงถึงข้อมูลอยู่ห่างจากเส้นตรงที่แสดงความเป็นปกติน้อยด้วยเช่นกัน จะเห็นได้ว่าไม่พบความผิดปกติของข้อมูลซึ่ง

แสดงว่าขาดคุณสมบัติของความเป็นปกติ ฉะนั้น จึงไม่มีเหตุผลมากพอที่ปฏิเสธ H_0 (Fail to reject H_0) สรุปได้ว่า ข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ค. ทดสอบความเสถียรของความแปรปรวน มีสมมติฐานในการทดสอบ คือ

H_0 : ความแปรปรวนของข้อมูลมีความเสถียร

H_1 : ความแปรปรวนของข้อมูลไม่มีความเสถียร



รูปที่ 6.7 กราฟแสดงผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าฟิต ของขนาดกระเบื้องด้าน 8 นิ้ว

ความเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) สามารถตรวจสอบได้ โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากตัวแบบถดถอย แสดงในรูปที่ 6.7 ซึ่งแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม ควรจะมีการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน

จากรูปที่ 6.7 ส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบ สรุปได้ว่า ข้อมูลมีความเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

สรุปผลจากการทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model adequacy checking) ของตัวแปรตอบสนอง (ขนาดกระเบื้องด้าน 8 นิ้ว (Y_8)) ที่นำมาทดลองนี้ พบว่าข้อมูลมีสมมติฐานตรงตามข้อกำหนดทั้ง 3 ข้อ คือ ความสุ่ม การแจกแจงแบบปกติและค่าความแปรปรวนมีความเสถียรซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขของการออกแบบการทดลอง NID ($0, \sigma^2$)

ตารางที่ 6.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design) ของขนาดกระเบื้องด้าน 8 นิ้ว

Analysis of Variance for Y (8") (coded units)						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	2	0.198900	0.198900	0.099450	45.00	0.001
Residual Error	5	0.011050	0.011050	0.002210		
Lac of Fit	1	0.002450	0.002450	0.002450	1.14	0.346
Pure Error	4	0.008600	0.008600	0.002150		
Total	7	0.209950				

ตารางที่ 6.4 Effects และ Coefficients สำหรับค่าขนาดกระเบื้องด้าน 8 นิ้ว แบบ Coded Unit
Factorial Fit: Y (8") versus 2nd Stroke Pressure, Firing Temp

Estimated Effects and Coefficients for Y (8") (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-	198.808	0.01662	11961.39	0.000
C: 2 nd Stroke Pressure	0.135	0.067	0.01662	4.06	0.010
D: Firing Temp	-0.285	-0.142	0.01662	-8.57	0.000

พิจารณาค่า P-Value(ภาคผนวก ก) ในตารางที่ 6.3 พบว่ามีเพียง Main Effects เท่านั้นที่ส่งผลต่อค่าขนาดกระเบื้องอย่างมีนัยสำคัญ ส่วน 2-Way Interactions ไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญจากการยุบเทอมดังกล่าวใน 6.2.1.1 โดยค่า P-Value ของ Main Effects มีค่าเท่ากับ 0.001 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าค่าสถิติทดสอบ F มีค่ามากกว่าค่าวิกฤติ ซึ่งหมายความว่าในการทดลองนี้มี Main Effects อย่างน้อย 1 ตัว ที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อขนาดกระเบื้องด้าน 8 นิ้ว และเมื่อพิจารณาค่า P-Value ของ Main Effects ในตารางที่ 6.4 สรุปผล Main Effects ได้ดังนี้

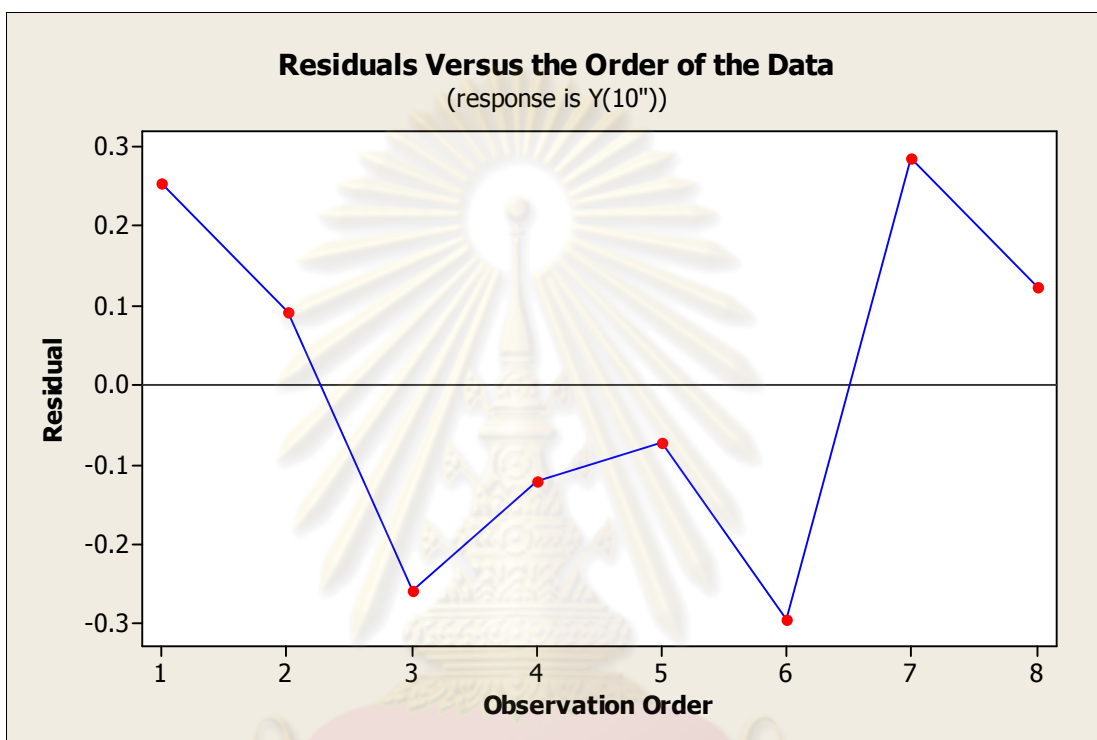
1. พบว่า Main Effect C มีค่า P-Value 0.010 ต่ำกว่า 0.05 ฉะนั้น จึงสรุปได้ว่า 2nd Stroke Pressure มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อขนาดกระเบื้องด้าน 8 นิ้ว
2. พบว่า Main Effect D มีค่า P-Value 0.000 ต่ำกว่า 0.05 ฉะนั้น จึงสรุปได้ว่า Firing Temp มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อขนาดกระเบื้องด้าน 8 นิ้ว

6.2.2.2 ขนาดกระเบื้องด้าน 10 นิ้ว

ก. ทดสอบความสุ่มของข้อมูล มีสมมติฐานในการทดสอบ คือ

H_0 : ลำดับของข้อมูลอยู่ภายใต้ความสุ่ม

H_1 : ลำดับของข้อมูลมิได้อยู่ภายใต้ความสุ่ม



รูปที่ 6.8 กราฟแสดงผลการทดสอบความสุ่ม Residuals Versus the Order of the Data ของขนาดกระเบื้องด้าน 10 นิ้ว

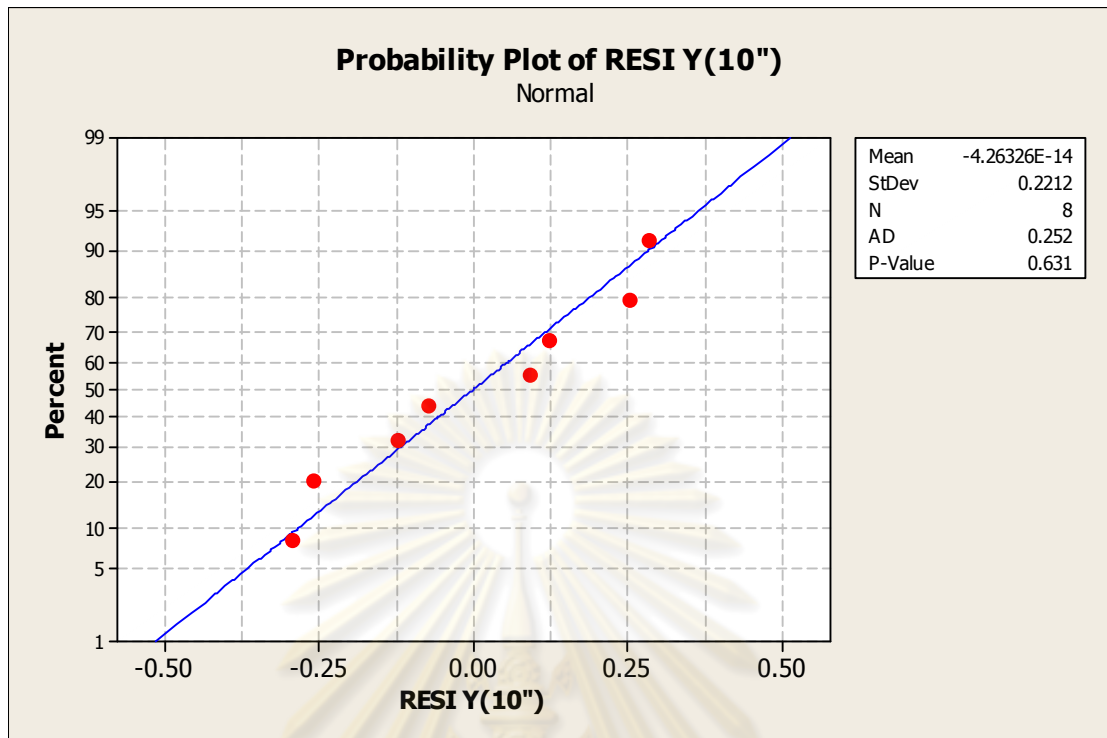
เมื่อพิจารณาจาก Residuals Versus the Order of the Data ในรูปที่ 6.8 พบว่าไม่มี ความผิดปกติของข้อมูลซึ่งแสดงว่าขาดคุณสมบัติของความสุ่ม เนื่องจากส่วนตกค้างมีลักษณะ การกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบ ฉะนั้น จึงไม่มีเหตุผลมากพอที่ปฏิเสธ H_0 (Fail to reject H_0) สรุปได้ ว่าลำดับของข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองอยู่ภายใต้ความสุ่ม ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ข. ทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล มีสมมติฐานในการทดสอบ คือ

H_0 : ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ

H_1 : ข้อมูลมิได้มีการแจกแจงแบบปกติ

ดำเนินการทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล (Normality test) ได้แสดงดังรูปที่ 6.9



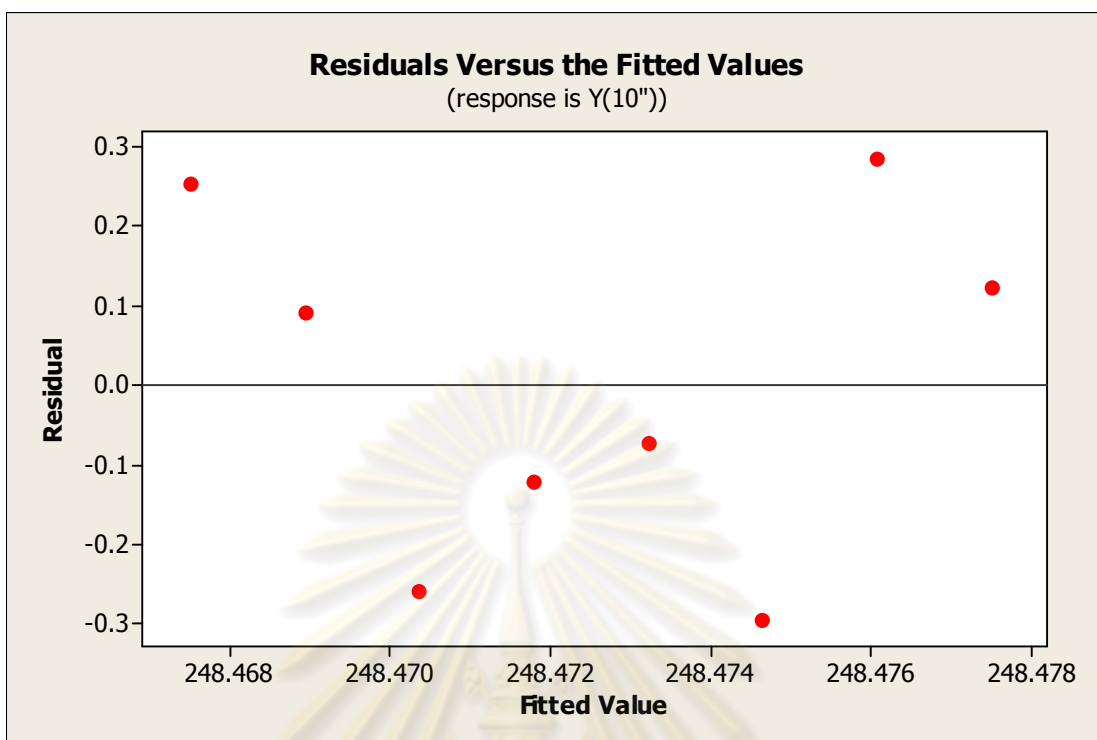
รูปที่ 6.9 กราฟแสดงผลการทดสอบความเป็นปกติของผลการทดลอง ของขนาดกระเบื้องด้าน 10 นิ้ว

เมื่อพิจารณาจาก Normal Plot of Residuals ในรูปที่ 6.9 พบว่าข้อมูลมีการเรียงตัวในลักษณะใกล้เคียงเส้นตรง และจากผลการทดสอบความเป็นปกติในรูปที่ 6.9 พบว่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.631 ซึ่งมากกว่า 0.05 แสดงว่าตัวสถิติทดสอบ A-Squared ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.252 ดังกล่าว จึงถือว่ามีค่าน้อย เมื่อเทียบกับค่าวิกฤติ หมายความว่าจุดต่าง ๆ ที่แสดงถึงข้อมูลอยู่ห่างจากเส้นตรงที่แสดงความเป็นปกติน้อยด้วยเช่นกัน จะเห็นได้ว่าไม่พบความผิดปกติของข้อมูลซึ่งแสดงว่าขาดคุณสมบัติของความเป็นปกติ ฉะนั้น จึงไม่มีเหตุผลมากพอที่ปฏิเสธ H_0 (Fail to reject H_0) สรุปได้ว่า ข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ค. ทดสอบความเสถียรของความแปรปรวน มีสมมติฐานในการทดสอบ คือ

H_0 : ความแปรปรวนของข้อมูลมีความเสถียร

H_1 : ความแปรปรวนของข้อมูลไม่มีความเสถียร



รูปที่ 6.10 กราฟแสดงผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าฟิต ของขนาด
กระเบื้องด้าน 10 นิ้ว

ความเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) สามารถตรวจสอบได้ โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากตัวแบบถดถอย แสดงในรูปที่ 6.10 ซึ่งแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม ควรจะมีการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน

จากรูปที่ 6.10 ส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบ สรุปได้ว่า ข้อมูลมีความเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

สรุปผลจากการทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model adequacy checking) ของตัวแปรตอบสนอง (ขนาดกระเบื้องด้าน 10 นิ้ว (Y_{10})) ที่นำมาทดลองนี้ พบว่า ข้อมูลมีสมมติฐานตรงตามข้อกำหนดทั้ง 3 ข้อ คือ ความสุ่ม การแจกแจงแบบปกติและค่าความแปรปรวนมีความเสถียรซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขของการออกแบบการทดลอง NID ($0, \sigma^2$)

ตารางที่ 6.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design) ของขนาดกระเบื้องด้าน 10 นิ้ว

Analysis of Variance for Y (10") (coded units)						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	2	0.339050	0.339050	0.169525	242.18	0.000
Residual Error	5	0.003500	0.003500	0.000700		
Lack of Fit	1	0.000200	0.000200	0.000200	0.24	0.648
Pure Error	4	0.003300	0.003300	0.000825		
Total	7	0.342550				

ตารางที่ 6.6 Effects และ Coefficients สำหรับค่าขนาดกระเบื้องด้าน 10 นิ้ว แบบ Coded Unit
Factorial Fit: Y (10") versus 2nd Stroke Pressu, Firing Temp

Estimated Effects and Coefficients for Y(10") (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-	248.473	0.009354	26562.83	0.000
C: 2 nd Stroke Pressure	0.170	0.085	0.009354	9.09	0.000
D: Firing Temp	-0.375	-0.187	0.009354	-20.04	0.000

พิจารณาค่า P-Value(ภาคผนวก ก) ในตารางที่ 6.5 พบว่ามีเพียง Main Effects เท่านั้น ที่ส่งผลต่อค่าขนาดกระเบื้องอย่างมีนัยสำคัญ ส่วน 2-Way Interactions ไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญจากการยุบเทอมดังกล่าวใน 6.2.1.2 โดยค่า P-Value ของ Main Effects มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าค่าสถิติทดสอบ F มีค่ามากกว่าค่าวิกฤติ ซึ่งหมายความว่าในการทดลองนี้มี Main Effects อย่างน้อย 1 ตัว ที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อขนาดกระเบื้องด้าน 10 นิ้ว และเมื่อพิจารณาค่า P-Value ของ Main Effects ในตารางที่ 6.6 สรุปผล Main Effects ได้ดังนี้

1. พบว่า Main Effect C มีค่า P-Value 0.000 ต่ำกว่า 0.05 ฉะนั้น จึงสรุปได้ว่า 2nd Stroke Pressure มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อขนาดกระเบื้องด้าน 10 นิ้ว
2. พบว่า Main Effect D มีค่า P-Value 0.000 ต่ำกว่า 0.05 ฉะนั้น จึงสรุปได้ว่า Firing Temp มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อขนาดกระเบื้องด้าน 10 นิ้ว

6.2.3 การกำหนดค่าปรับตั้งที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย

จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวใน 6.2.2 พบว่าปัจจัย A: Feeder Setting ไม่ส่งผลต่อค่าขนาดกระเบื้องอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (จากการยุบเทอมที่ไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญ) ทั้งด้าน 10 นิ้ว และ 8 นิ้ว ดังนั้นจึงกำหนดให้เป็นปัจจัยที่ถูกควบคุมในการผลิตจริงโดยกำหนดที่ 80 %

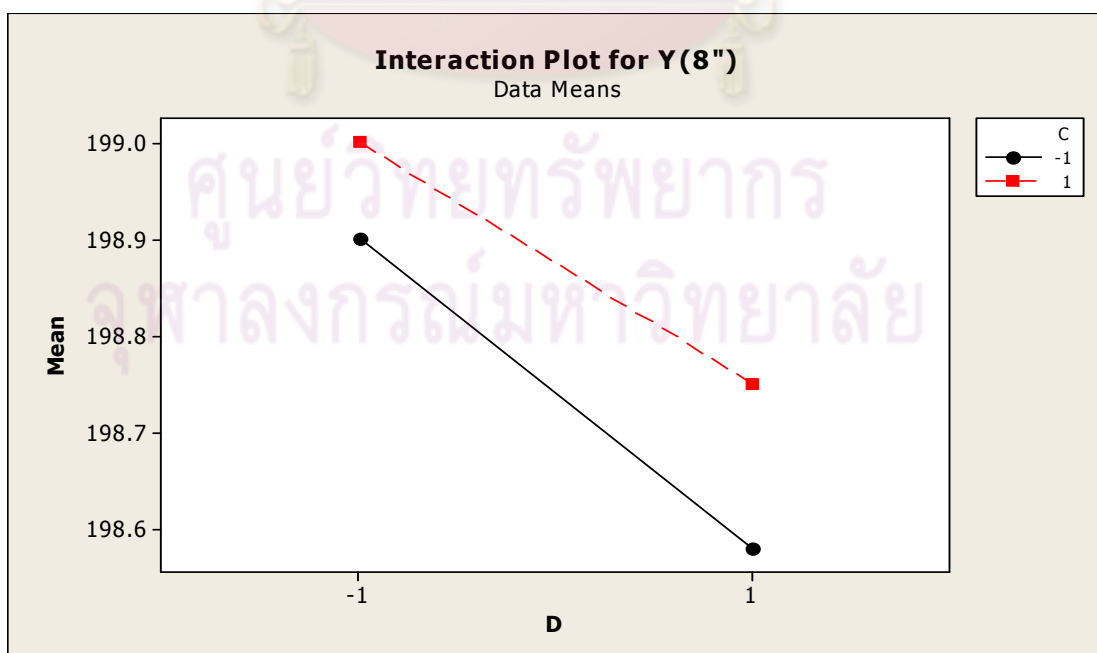
และสามารถนำมาแสดงในรูปของสมการแบบ Coded Unit ซึ่งต้องแทนค่าด้วย -1 สำหรับการปรับค่าไปที่ระดับล่าง (Low Level) และแทนค่าด้วย +1 สำหรับการปรับค่าไปที่ระดับบน (High Level) ของแต่ละปัจจัย

$$Y_8 = 198.808 + 0.067*(2^{\text{nd}} \text{ Stroke Pressure}) - 0.142*(\text{Firing Temperature})$$

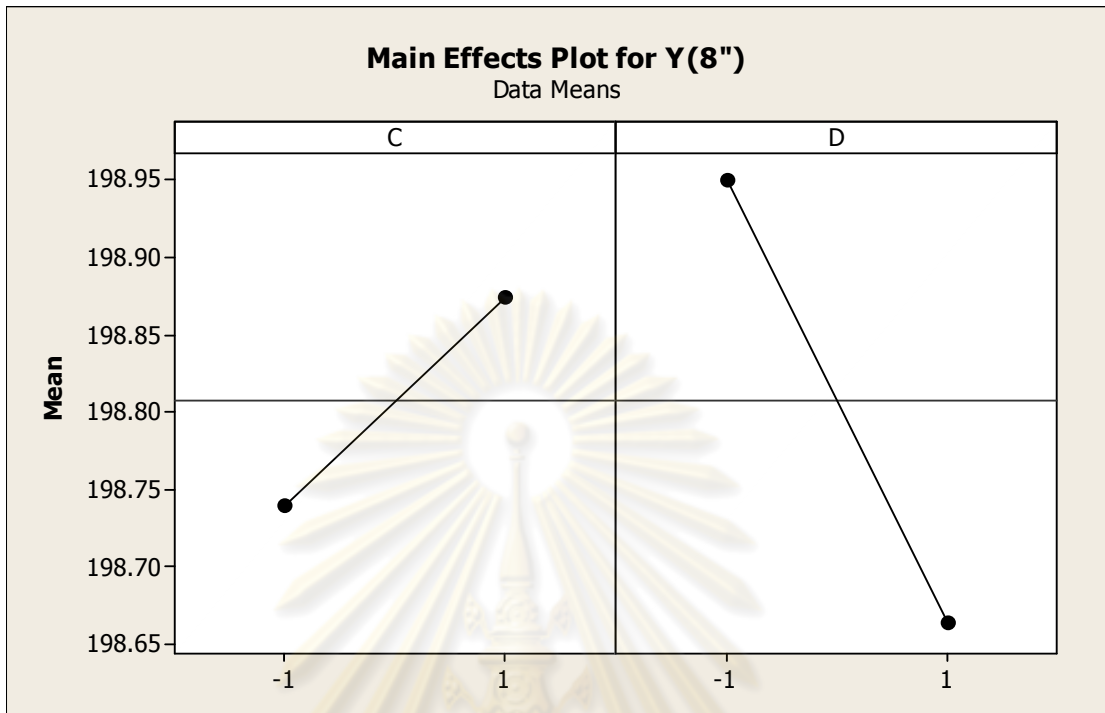
$$Y_{10} = 248.473 + 0.085*(2^{\text{nd}} \text{ Stroke Pressure}) - 0.187*(\text{Firing Temperature})$$

ผู้วิจัยเลือกที่จะใช้วิธีการทางกราฟในการกำหนดค่าปรับตั้งของแต่ละปัจจัย เพื่อให้ได้ค่าขนาดกระเบื้องด้าน 8 นิ้ว (Y_8) มีค่าเท่ากับ 8 นิ้ว หรือ 199 มิลลิเมตร ดังแสดงในตารางที่ 6.7 และ 6.8 และค่าขนาดกระเบื้องด้าน 10 นิ้ว (Y_{10}) มีค่าเท่ากับ 10 นิ้ว หรือ 249 มิลลิเมตร ดังแสดงในตารางที่ 6.9 และ 6.10

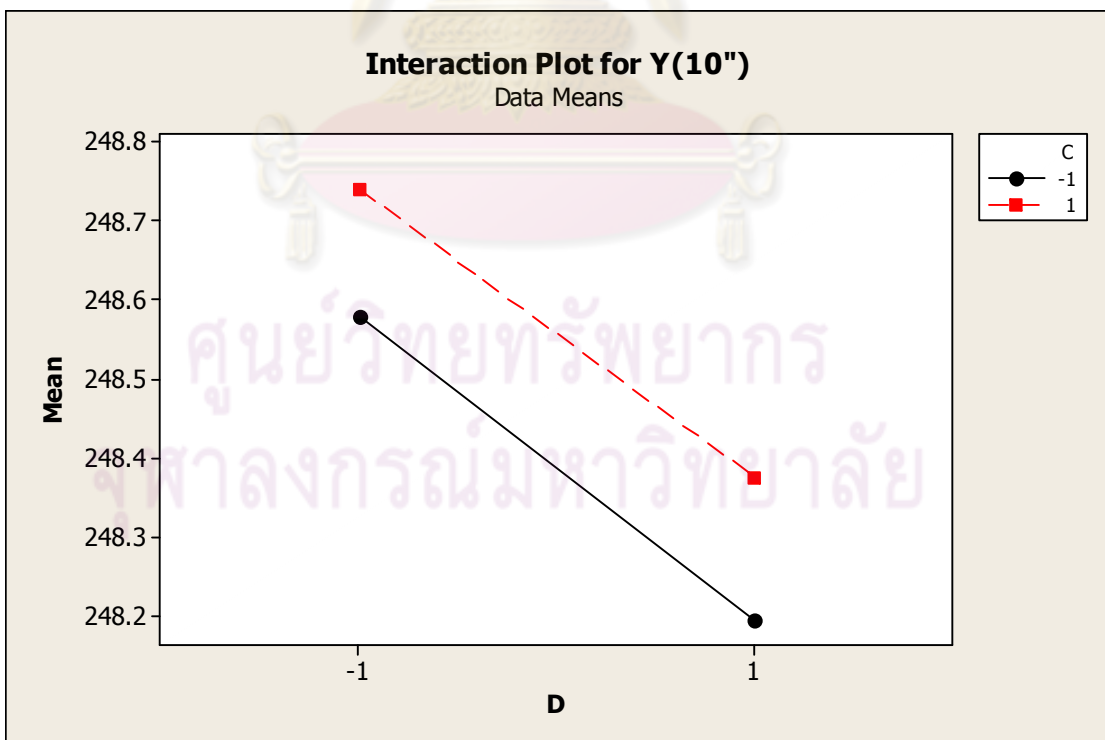
ตารางที่ 6.7 Interaction Plot ของปัจจัยที่มีผลต่อค่าขนาดของกระเบื้องบิสกิตด้าน 8 นิ้ว



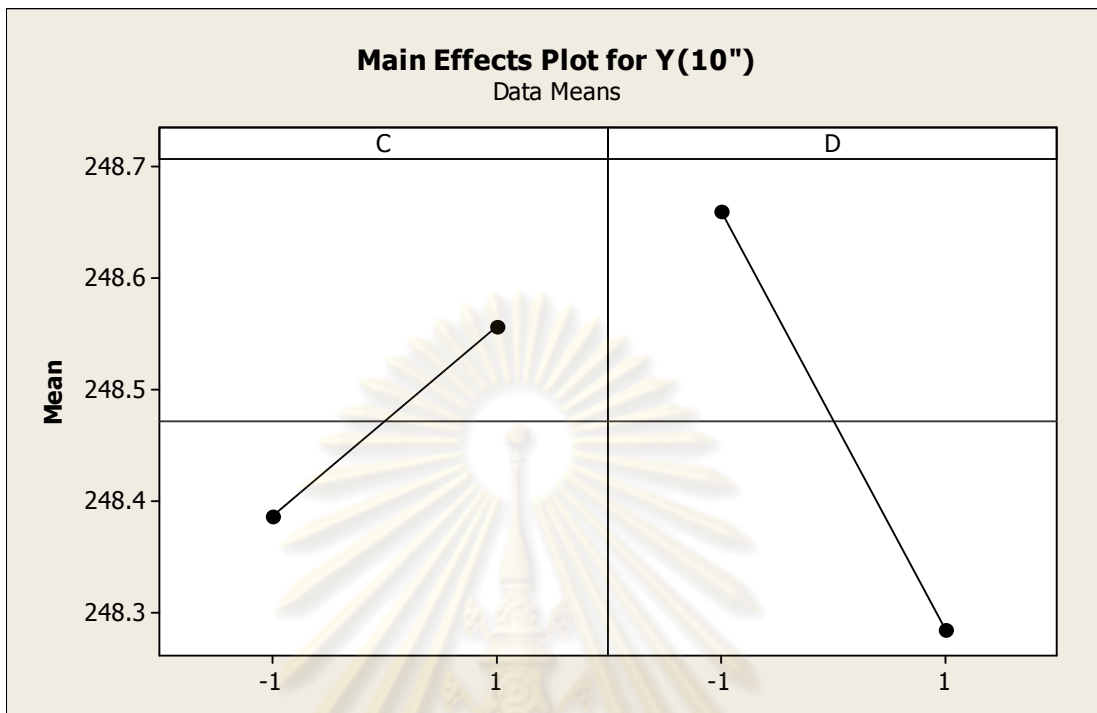
ตารางที่ 6.8 Main Effects Plot ของปัจจัยที่มีผลต่อค่าขนาดของกระเบื้องปิสกิตด้าน 8 นิ้ว



ตารางที่ 6.9 Interaction Plot ของปัจจัยที่มีผลต่อค่าขนาดของกระเบื้องปิสกิตด้าน 10 นิ้ว

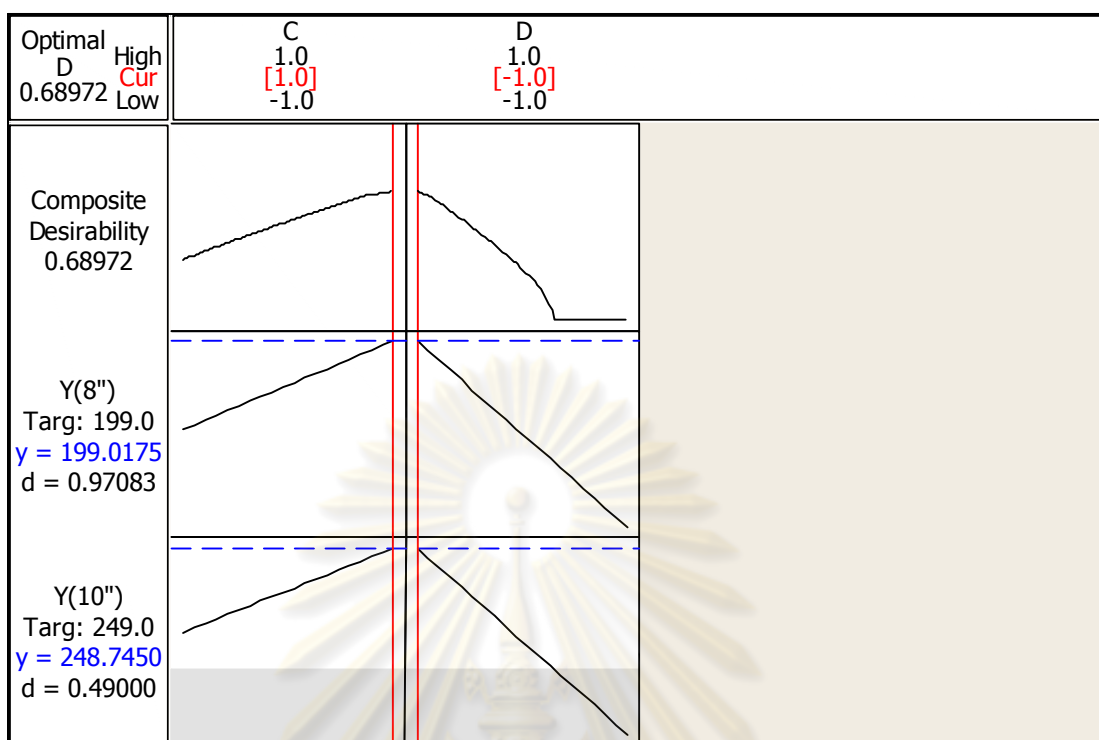


ตารางที่ 6.10 Main Effects Plot ของปัจจัยที่มีผลต่อค่าขนาดของกระเบื้องบิสกิตด้าน 10 นิ้ว



จากตารางที่ 6.7, 6.8, 6.9 และ 6.10 ซึ่งแสดง Interaction Plot และ Main Effects Plot ของปัจจัยที่มีผลต่อค่าขนาดของกระเบื้องบิสกิตด้าน 8 นิ้ว และด้าน 10 นิ้ว สามารถระบุระดับปัจจัยที่เหมาะสมต่อค่าขนาดของกระเบื้องบิสกิตด้าน 8 นิ้ว (199 มิลลิเมตร) และด้าน 10 นิ้ว (249 มิลลิเมตร) ได้แค่เป็นช่วงดังนั้นการกำหนดค่าปัจจัยที่ชัดเจน จึงต้องอาศัยการวิเคราะห์ด้วย Respond Optimizer ในโปรแกรม Minitab เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับค่าขนาดของกระเบื้องบิสกิตด้าน 8 นิ้ว (199 มิลลิเมตร) ซึ่งจะต้องมีค่าเท่ากับ 8 นิ้ว หรือ 199 มิลลิเมตร และด้าน 10 นิ้ว (249 มิลลิเมตร) มีค่าเท่ากับ 10 นิ้ว หรือ 249 มิลลิเมตร โดยสามารถแสดงผลได้ดังรูปที่ 6.11

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.11 กราฟแสดงผลการปรับตั้งระดับปัจจัยที่เหมาะสม ของขนาดกระเบื้องด้าน 8 นิ้วและ 10 นิ้ว

จากรูปที่ 6.11 ในการทดลองใช้ Response Optimizer เพื่อวิเคราะห์ข้อมูล พบว่า ถ้าต้องการให้กระเบื้องปิสกิตมีค่าขนาดกระเบื้องที่เหมาะสมตรงตามมาตรฐานในการผลิตคือ 8 นิ้ว หรือ 199 มิลลิเมตร และอีกด้านเท่ากับ 10 นิ้ว หรือ 249 มิลลิเมตรจะต้องเลือกค่าแรงในการอัดขึ้นรูปกระเบื้อง (C: 2nd Stroke Pressure) ที่ 240 bar และอุณหภูมิในการเผา (D: Firing Temperature) ที่ 1130 °C และจากการพิจารณาตารางที่ 6.8, 6.10 และ รูปที่ 6.11 พบว่าค่าปรับตั้งที่เหมาะสมที่สุดในช่วงที่ใช้งานอยู่เดิม (Existing Condition) ของแต่ละปัจจัย ควรเป็นดังตารางที่ 6.11

ตารางที่ 6.11 ระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยเพื่อให้ได้ค่าขนาดกระเบื้องปิสกิตมีค่าตรงตามมาตรฐานการผลิตมากที่สุด

ปัจจัย	ระดับ	ค่าปรับตั้ง
C: 2 nd Stroke Pressure	High(+1)	240 bar
D: Firing Temperature	Low(-1)	1130 °C

เมื่อนำค่าระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยไปแทนค่าในสมการ Coded Unit จะได้ค่าประมาณการของขนาดกระเบื้องบิสกิตที่ดีที่สุด ในช่วงการใช้งานปัจจุบัน ซึ่งมีค่าดังนี้

$$Y_8 = 198.808 + 0.067*(+1) - 0.142*(-1)$$

$$= 199.017 \text{ มิลลิเมตร}$$

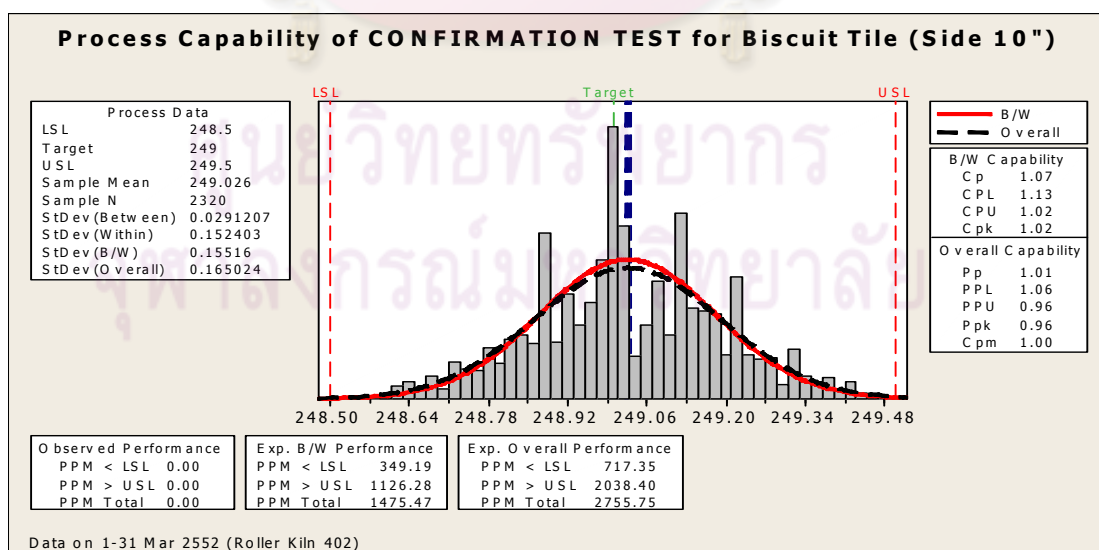
$$Y_{10} = 248.473 + 0.085*(+1) - 0.187*(-1)$$

$$= 248.745 \text{ มิลลิเมตร}$$

กล่าวคือ หากในกระบวนการผลิตจริงมีการปรับตั้งค่าของปัจจัยทั้ง 2 ตัวตามที่กำหนดในตารางที่ 6.11 และควบคุมปัจจัยที่ควบคุมได้ในด้านอื่น ๆ ให้เป็นไปตามมาตรฐาน จะทำให้ค่าขนาดกระเบื้องบิสกิตมีค่าตรงตามมาตรฐานมากที่สุดที่ระดับความน่าเชื่อถือคือ 68.97 % โดยค่าขนาดของกระเบื้องบิสกิตด้าน 8 นิ้วจะมีค่าเท่ากับ 199.017 มิลลิเมตร และด้าน 10 นิ้ว จะต้องมีค่าเท่ากับ 248.745 มิลลิเมตร

6.3 การทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลอง

ผู้วิจัยร่วมกับคณะทำงานในการผลิตกระเบื้องบิสกิต ในลักษณะของการสั่งผลิตตามปกติ โดยทำการปรับตั้งเครื่องตามแนวทาง ดังตารางที่ 6.11 เพื่อเป็นการยืนยันผลการทดลอง (ภาคผนวก ร) ได้ผลดังรูปที่ 6.12 และ 6.13 ตามลำดับ



รูปที่ 6.12 การทดสอบเพื่อยืนยันความสามารถของกระบวนการสำหรับค่า ขนาดกระเบื้องด้าน

จากรูปที่ 6.12 สามารถสรุปผลการทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองได้ ดังนี้

- ข้อกำหนดของกระบวนการการผลิตค่าขนาดกระเบื้องบิสกิต ต้องเท่ากับ 10 นิ้ว หรือ 249 มิลลิเมตร

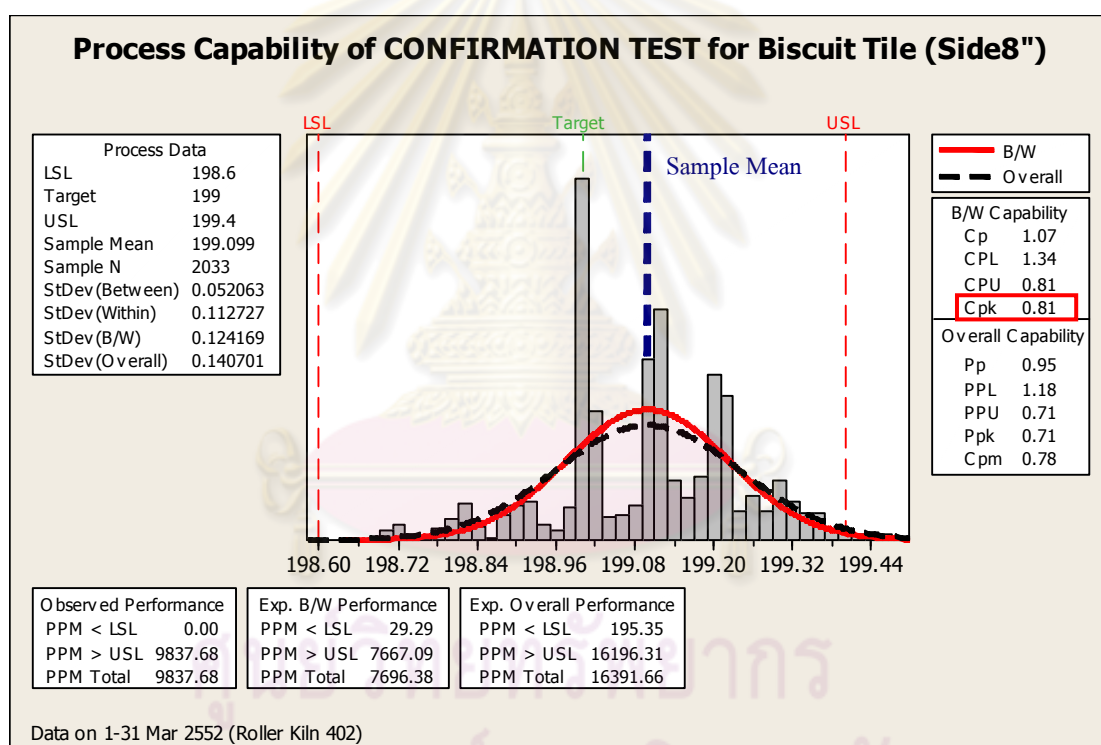
- ค่าเบี่ยงเบนโดยเฉลี่ยของ ขนาดกระเบื้องบิสกิต (Mean) เท่ากับ 249.026 มิลลิเมตร

- ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ (Standard Deviation) เท่ากับ 0.1524

มิลลิเมตร

- ความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ (C_{pk}) เท่ากับ 1.02

- มีปริมาณของเสียของเสียเกิดขึ้นคือ DPPM (Defect Part Per Million)/2 (ค่าขนาดกระเบื้องด้าน 10 นิ้ว มี 2 ด้านใน 1 แผ่น) เท่ากับ $2755.75/2$ หรือเท่ากับ 1,378 DPPM



รูปที่ 6.13 การทดสอบเพื่อยืนยันความสามารถของกระบวนการสำหรับค่า ขนาดกระเบื้องด้าน

8 นิ้ว

จากรูปที่ 6.13 สามารถสรุปผลการทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองได้ ดังนี้

- ข้อกำหนดของกระบวนการการผลิตค่าขนาดกระเบื้องบิสกิต ต้องเท่ากับ 8 นิ้ว หรือ 199 มิลลิเมตร

- ค่าเบี่ยงเบนโดยเฉลี่ยของ ขนาดกระเบื้องบิสกิต (Mean) เท่ากับ 199.099 มิลลิเมตร

- ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ (Standard Deviation) เท่ากับ 0.1127

มิลลิเมตร

- ความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ (C_{pk}) เท่ากับ 0.81

- มีปริมาณของเสียของเสียเกิดขึ้นคือ DPPM (Defect Part Per Million)/2 (ค่าขนาดกระเบื้องด้าน 8 นิ้ว มี 2 ด้านใน 1 แผ่น) เท่ากับ $16391/2$ หรือเท่ากับ 8,196 DPPM

จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการปรับค่าของปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อปัญหาขนาดกระเบื้องตามแนวทางในตารางที่ 6.11 จะสามารถปรับปรุงค่าขนาดกระเบื้องบิสกิตได้จริงทั้งด้าน 8 นิ้ว และด้าน 10 นิ้ว ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการคำนวณตามสมการ ซึ่งคาดว่าจะมีขนาดกระเบื้องบิสกิตด้าน 8 นิ้ว โดยเฉลี่ยประมาณ 199.099 มิลลิเมตร และขนาดกระเบื้องบิสกิตด้าน 10 นิ้ว โดยเฉลี่ยประมาณ 249.026 มิลลิเมตร

แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาผลหลังการปรับปรุงของค่าความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ (C_{pk}) ดังแสดงในรูปที่ 6.12 และ 6.13 ยังมีค่าที่น้อยเมื่อเทียบกับระดับมาตรฐานสากลคือ 1.33 ทั้งนี้เนื่องมาจากในกระบวนการผลิตกระเบื้องบิสกิต ยังมีปัจจัยอย่างอื่นที่น่าจะรบกวนและส่งผลต่อค่าขนาดที่เปลี่ยนไปของกระเบื้อง เช่น ความหนาของ Roller ที่ใช้ ล้ำเตียงกระเบื้องในเตาเผา, ความชื้นในผงดินในกระบวนการอัดขึ้นรูป, คุณภาพและชนิดของเทอร์โมคัปเปิล เป็นต้น อีกทั้งค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ (Standard Deviation) ก็ยังมีค่ามาก ดังนั้นแนวทางในการปรับปรุงต่อไปคือ การลดความผันแปรอันเนื่องมาจากปัจจัยดังกล่าวข้างต้น หรืออาจจะมีปัจจัยรบกวนมากกว่านี้ซึ่งจำเป็นต้องกันปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้ ออกจากกระบวนการผลิตให้ได้ รวมถึงความผันแปรที่เกิดจากระบบการวัดด้วย

บทที่ 7

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

7.1 บทนำ

จากงานวิจัยซึ่งได้เสนอแนะแนวทางในการประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีการออกแบบการทดลอง โดยขั้นตอนนั้นเริ่มตั้งแต่การนิยามปัญหาด้วยผังก้างปลา (Cause and Effect Diagram) การวิเคราะห์การเลือกปัจจัยตั้งแต่ การวิเคราะห์ปัญหาจากการหาความสัมพันธ์สาเหตุและผล (Cause & Effect Diagram) การวิเคราะห์อาการข้อขัดข้องและผลกระทบ FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) การออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียล (2^{k-p} Fractional Factorial Design) และการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design) การทำการทดลอง การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ การทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลอง เพื่อใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตกระเบื้องบิสกิต โดยลดการสูญเสียกระเบื้องบิสกิตที่มีขนาดไม่ได้มาตรฐาน ซึ่งส่งผลกระทบต่อข้อกำหนดและการนำไปใช้งานของกระบวนการต่อไป ซึ่งค่าขนาดกระเบื้องบิสกิต เป็นพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญมากในการนำไปผลิตต่อของกระบวนการผลิตกระเบื้องบุผนัง

ก่อนการปรับปรุงมีปริมาณของเสียเกิดขึ้น อันเนื่องมาจากขนาดกระเบื้องบิสกิตไม่ได้มาตรฐาน ทำให้กระบวนการถัดไปในการผลิตกระเบื้องบุผนังไม่สามารถผลิตต่อได้ โดยมีปริมาณของเสียเกิดขึ้นจากกระเบื้องที่ไม่ผ่านมาตรฐานด้าน 8 นิ้วเท่ากับ 19,117 DPPM (Defect Part Per Million) และมีความสามารถของกระบวนการการผลิต C_{pk} เป็น 0.69 และด้าน 10 นิ้วเท่ากับ 10,625 DPPM (Defect Part Per Million) และมีความสามารถของกระบวนการการผลิต C_{pk} เป็น 0.83 ผลหลังจากการปรับปรุงกระบวนการผลิต สามารถลดการสูญเสียกระเบื้องบิสกิตที่มีขนาดไม่ได้มาตรฐานได้ โดยสามารถลดของเสียที่เกิดขึ้นจากขนาดกระเบื้องบิสกิตด้าน 8 นิ้ว และ 10 นิ้ว ที่ไม่ได้ตามข้อกำหนดด้านผลิตภัณฑ์เหลือ 8,196 DPPM และ 1,378 DPPM ตามลำดับ และมีความสามารถของกระบวนการการผลิต C_{pk} เพิ่มขึ้นเป็น 0.81 และ 1.02 ตามลำดับ

7.2 สรุปผลจากการค้นหาสาเหตุของปัญหาด้วยแผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

ผู้วิจัยได้จัดให้มีการประชุมเพื่อระดมสมอง (Brainstorming) ระหว่างผู้ที่มีความรู้ทางการผลิตเฉพาะด้าน (Intrinsic Technology) และมีประสบการณ์ในการเดินเครื่องจักร ซึ่งได้แก่

หัวหน้าแผนกประกันคุณภาพ หัวหน้าแผนกผลิตกระเบื้องบิสกิต หัวหน้ากะผลิตกระเบื้องบิสกิต ช่างซ่อมบำรุง และพนักงานเดินเครื่องจักร ซึ่งผู้วิจัยทำหน้าที่เป็นผู้ประสานงานและสรุปผล โดยได้จัดทำเป็นแผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) ประเภทการกำหนดรายการสาเหตุ (Cause Enumeration) ซึ่งสามารถหาสาเหตุของปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อขนาดกระเบื้องบิสกิตได้ทั้งหมด 15 ปัจจัย และจากนั้นได้นำปัจจัยทั้งหมด 15 ปัจจัยมาทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างผลของกระบวนการและปัจจัยนำเข้าด้วย ซึ่งมีเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาดังกล่าวใน 4.2 และแสดงเหตุผลที่ไม่เลือกปัจจัยต่าง ๆ เบื้องต้นไว้ในตารางที่ 4.1 ดังนั้นจึงเหลือปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองเพียง 10 ปัจจัย จากนั้นนำปัจจัยดังกล่าวไปทำการวิเคราะห์อาการขาดข้องและผลกระทบ (FMEA) ต่อไป

7.3 สรุปผลการวิเคราะห์อาการขาดข้องและผลกระทบ (FMEA)

จากการจัดลำดับความสำคัญด้วยผังพาเรโต ในขั้นตอนการวิเคราะห์อาการขาดข้องและผลกระทบ (FMEA) พบว่าปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลกระทบต่อความแปรปรวนของค่าขนาดกระเบื้องบิสกิต มีทั้งสิ้น 10 ปัจจัย ซึ่งได้แก่ การกำหนด Feeder Setting ในการป้อนผงดินลงในแบบหรือแม่พิมพ์ การตั้งค่า 2nd Stroke Pressure ในการอัดขึ้นรูปกระเบื้อง การกำหนด Firing Temperature ในการเผากระเบื้อง การปรับตั้ง Burner Modulation ของห้องเผาไหม้ภายในเตาเผา ความชื้นของ Body Powder การกำหนดอุณหภูมิในการอบ แม่พิมพ์หรือแบบ(Mold)ที่ใช้ในการขึ้นรูปกระเบื้อง การกำหนดระยะเวลาในการเผา การปรับตั้งค่า Suction Blower ในการควบคุมบรรยากาศภายในเตาเผา และการกำหนดระยะเวลาในการเผา และได้ทำการเลือกปัจจัยโดยการใช้แผนภาพพาเรโตซึ่งเลือกจาก 80% ของปัญหาจาก 20% ของสาเหตุ ดังนั้นจะมีเพียง 4 ปัจจัย ที่จะนำไปทำการทดลองเบื้องต้น ด้วยการออกแบบการทดลองแบบ 2^{k-p} Fraction Factorial design

7.4 สรุปผลการทดลองเบื้องต้นโดยการออกแบบการทดลองแบบ 2^{k-p} Fraction Factorial design

เป็นการนำปัจจัยจากการวิเคราะห์อาการขาดข้องและผลกระทบ (FMEA) ซึ่งเหลือปัจจัยเพียง 4 ปัจจัย เป็นแนวทางในการทดลองเบื้องต้น แล้วทำการทดลองแบบ Resolution IV Design 2⁴⁻¹ Fraction Factorial design ซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังตารางที่ 5.15 และปัจจัยที่ถูกควบคุมในการออกแบบการทดลองแสดงในตารางที่ 5.16 ซึ่งถูกควบคุมเพิ่มจากการทดลองเบื้องต้นในตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.15 ปัจจัยหลักในการออกแบบการทดลอง

ปัจจัย	สัญลักษณ์	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	หน่วย
Feeder Setting	A	75	85	%
2 nd Stroke Pressure	C	200	240	bar
Firing Temperature	D	1130	1140	°C

ตารางที่ 5.16 ปัจจัยที่ถูกควบคุมเพิ่มเติมในการออกแบบการทดลอง

ปัจจัยที่ถูกควบคุม	สภาวะที่ควบคุม	หน่วย
Burner Modulation	50	mmH ₂ O

7.5 สรุปผลการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design)

เป็นการนำปัจจัยจากทดลองเบื้องต้นโดยการทดลองแบบ 2^{k-p} Fraction Factorial design ซึ่งมีเพียง 3 ปัจจัย มาเป็นแนวทางในการทดลอง แล้วทำการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design) ซึ่งพบว่าปัจจัย A: Feeder Setting ไม่ส่งผลต่อค่าขนาดกระเบื้องอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (จากการยุบเทอมที่ไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญ) ดังกล่าวใน 6.2.2 จึงกำหนดให้เป็นปัจจัยที่ต้องควบคุมเพิ่ม ส่วนปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าขนาดกระเบื้องอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 6.11

ตารางที่ 6.11 ระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยเพื่อให้ได้ค่าขนาดกระเบื้องบิสกิตที่มีค่าตรงตามมาตรฐานการผลิตมากที่สุด

ปัจจัย	ระดับ	ค่าปรับตั้ง
C: 2 nd Stroke Pressure	High(+1)	240 bar
D: Firing Temperature	Low(-1)	1130 °C

หลังจากได้ปัจจัยและระดับที่สำคัญ ผู้วิจัยร่วมกับคณะทำงานในการผลิตกระเบื้องบิสกิต ในลักษณะผลิตจริงเพื่อเป็นการยืนยันผลการทดลอง สามารถสรุปผลการทดสอบเพื่อยืนยันผลได้ดังนี้

7.5.1 การทดสอบเพื่อยืนยันความสามารถของกระบวนการสำหรับค่า ขนาดกระเบื้อง ด้าน 10 นิ้ว

- ข้อกำหนดของกระบวนการการผลิตค่าขนาดกระเบื้องบิสกิต ต้องเท่ากับ 10 นิ้ว หรือ 249 มิลลิเมตร

- ค่าเบี่ยงเบนโดยเฉลี่ยของ ขนาดกระเบื้องบิสกิต (Mean) เท่ากับ 249.026 มิลลิเมตร

- ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ (Standard Deviation) เท่ากับ 0.1524 มิลลิเมตร

- ความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ (C_{pk}) เท่ากับ 1.02

- มีปริมาณของเสียของเสียเกิดขึ้นคือ DPPM (Defect Part Per Million)/2 (ค่าขนาดกระเบื้องด้าน 10 นิ้ว มี 2 ด้านใน 1 แผ่น) เท่ากับ 2755.75/2 หรือเท่ากับ 1,378 DPPM

7.5.2 การทดสอบเพื่อยืนยันความสามารถของกระบวนการสำหรับค่า ขนาดกระเบื้อง ด้าน 8 นิ้ว

- ข้อกำหนดของกระบวนการการผลิตค่าขนาดกระเบื้องบิสกิต ต้องเท่ากับ 8 นิ้ว หรือ 199 มิลลิเมตร

- ค่าเบี่ยงเบนโดยเฉลี่ยของ ขนาดกระเบื้องบิสกิต (Mean) เท่ากับ 199.099 มิลลิเมตร

- ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ (Standard Deviation) เท่ากับ 0.1127 มิลลิเมตร

- ความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ (C_{pk}) เท่ากับ 0.81

- มีปริมาณของเสียของเสียเกิดขึ้นคือ DPPM (Defect Part Per Million)/2 (ค่าขนาดกระเบื้องด้าน 8 นิ้ว มี 2 ด้านใน 1 แผ่น) เท่ากับ 16391/2 หรือเท่ากับ 8,196 DPPM

7.6 ปัญหาและอุปสรรคในการวิจัย

7.6.1 การเก็บข้อมูล เพื่อนำมาทำการทดลองมีข้อจำกัดในการทำการเก็บกระเบื้องบิสกิต หลังเผาเสร็จ เพราะกระบวนการผลิตมีความเร็วสูงมาก ต้องทำการคัดเลือกเฉพาะกระเบื้องที่ทำการทดลองซึ่งปนมากับกระเบื้องที่ผลิตแบบปกติ ซึ่งต้องใช้เวลาในการคัดแยกนานและใช้พื้นที่ในการกองเก็บมากทำให้ส่งผลกระทบต่อการผลิตงานประจำที่ทำการผลิตอยู่

7.6.2 การปรับตั้งค่าของปัจจัยในการทดลอง ในกระบวนการเผาพบว่าอุณหภูมิที่ปรับเพื่อการทดลองในแต่ละครั้งจะต้องใช้เวลานาน และกระทบกับการผลิตกระเบื้องบิสกิตแบบปกติ เป็นอย่างมากเนื่องจากจะต้องมีกระเบื้องป้อนเข้าเตาตลอดเวลาเพื่อรักษาบรรยากาศภายในเตาให้อยู่ในระดับที่คงที่เสมอ

7.6.3 เนื่องจากหลังการอัดขึ้นรูป กระจกมีความอ่อนนุ่มมาก ดังนั้นในการเก็บกระจกเบี่ยงไปใส่ในเตาเผา จะต้องระวังเป็นอย่างมาก เพราะจะทำให้กระจกแตกเสียหายได้

7.7 ข้อจำกัดของงานวิจัยนี้

7.7.1 ปีจจัยที่เลือกมาทำการทดลองเบื้องต้นทั้ง 4 ปีจจัย ไม่สามารถทำการทดลองมากกว่า 1 ชั่วโมงเนื่องจากมีข้อจำกัดทางด้านต้นทุน และข้อจำกัดของทางโรงงาน รวมถึงเครื่องจักรไม่มีเวลาเพียงพอในการทดลองและไม่สามารถใช้จำนวนตัวอย่างได้มาก

7.7.2 ทางคณะวิจัยนี้คิดว่ายังมีปีจจัยที่เกี่ยวข้องกับขนาดกระจกเบี่ยงอีก แต่ไม่สามารถนำมาทำการทดลองได้ เช่น ความหนาของ Roller ซึ่งใช้ลำเลียงกระจกเบี่ยงในเตาเผา เนื่องมาจากยังขาดอุปกรณ์ในการวัด

7.7.2 งานวิจัยนี้ทำการออกแบบการทดลองที่กระบวนการอัดขึ้นรูปและการเผาเท่านั้น

7.7.3 วัสดุดิบซึ่งเป็นผงดินละเอียดมาจากแหล่งผลิตที่เดียวเท่านั้น

7.8 ข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินงานวิจัยผู้วิจัยมีความเห็นว่า ทางโรงงานควรมีการดำเนินการเพิ่มเติมในบางประเด็น ดังนี้

7.8.1 การทดลองนี้มุ่งเน้นเฉพาะการปรับปรุงค่าขนาดกระจกเบี่ยงบิสกิต ด้าน 8 นิ้ว และด้าน 10 นิ้ว เท่านั้น เพื่อให้กระบวนการถัดไปคือกระบวนการตกแต่งและการเผาครั้งที่สอง นำกระจกเบี่ยงบิสกิตไปใช้งานได้อย่างมั่นใจและทันเวลาด้วยความต้องการ แต่จากผลการปรับปรุงดังแสดงใน 6.12 และ 6.13 ยังพบว่าค่าความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ (C_{pk}) ยังมีค่าต่ำอยู่เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานสากลคือ 1.33 โดยยังมีปีจจัยที่มีการรบกวนต่อกระบวนการผลิตอยู่ เช่น ความชื้นในผงดิน เป็นต้น ดังนั้นในการวิจัยขั้นต่อไปควรจะมีการทำการวิเคราะห์ห้ในกระบวนการผลิตผงดิน ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่สำคัญ เพื่อเป็นการลดความผันแปรในกระบวนการ และทำให้ได้ขนาดกระจกเบี่ยงตรงตามมาตรฐานมากที่สุด

7.8.2 จากผลการทดลอง จะเห็นได้ว่าค่าขนาดกระจกเบี่ยงบิสกิต มีผลต่อการใช้งานของกระบวนการถัดไปเป็นอย่างมาก ดังนั้น ตั้งแต่การออกแบบผลิตภัณฑ์ควรจะมีการพิจารณาถึงค่าขนาดของกระจกเบี่ยงบิสกิตด้วย

7.8.3 ผลของการปรับปรุงกระบวนการผลิตในการวิจัยนี้สามารถจะนำผลไปประยุกต์ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน แต่ควรจะมีการทดสอบเพื่อศึกษาผลกระทบต่อผลตอบตัวอื่นด้วยว่ามีผลกระทบหรือไม่ ก่อนนำไปใช้งานจริงในกระบวนการผลิต

7.8.4 ผลของการทดลองเชิงแฟคตอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design) ในการวิจัยนี้ สามารถจะนำไปประยุกต์ใช้ในการทดลองเพื่อค้นหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดโดยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology) ของตัวแปรได้ จากการออกแบบการทดลองเชิงแฟคตอเรียลแบบสามระดับ

7.8.5 ในระหว่างการวิจัยพบว่า คุณภาพและชนิดของเทอร์โมคัปเปิล ที่ใช้วัดอุณหภูมิของเตาเผากระเบื้องปิสกิต มีผลอย่างยิ่งต่อความแปรปรวนของข้อมูล ดังนั้นควรได้รับการควบคุมและกำหนดเป็นมาตรฐานต่อไป

7.8.6 ในกระบวนการของการทดลอง ก่อนที่จะทดลองในสิ่งที่เราสนใจต่าง ๆ ต้องมีการตรวจประเมินระบบการวัด โดยการตรวจสอบ GR&R ของเครื่องมือวัดก่อนทุกครั้งไม่ว่าจะเป็นคนหรือเครื่องจักร

7.8.7 เนื่องจากในการวิจัยนี้มีการออกแบบการทดลองเพียง 1 Replicate ดังนั้นจึงอาจส่งผลต่อค่าความแม่นยำของการทดลอง (Power of the test) แนวทางในการปรับปรุงคือ ในขั้นตอนการออกแบบการทดลอง เรื่องจำนวนการทำซ้ำ ควรหาจำนวนตัวอย่างที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบการทดลองทั้ง 2^k Fractional และ 2^k Factorial Design ซึ่งต้องมีค่าอำนาจแห่งการทดสอบ (Power of the test) อย่างน้อย 0.8

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- [1] ปารเมศ ชูติมา. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
- [2] เปรมใจ ตริสรานุกวัฒนา และสมบุญ สุธพงษ์. หลักสถิติ 2. กรุงเทพฯ: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2536.
- [3] อเนก พชรินทร์ศักดิ์. แผนการทดลองและการวิเคราะห์. พิมพ์ครั้งที่ 1. ขอนแก่น: โรงพิมพ์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2523.
- [4] กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. สถิติสำหรับงานวิศวกรรม(ประมวลผลด้วย MINITAB). เล่ม 2. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2550.
- [5] กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2551.
- [6] สุชาติ แซ่แต้. การปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรม อุตสาหกรรม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.
- [7] สรียา กสิกันธุ์. การนำเศษแผ่นพาร์ทิเคิลจากการตัดริบมาเป็นส่วนผสมในการผลิตแผ่นพาร์ทิเคิล. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
- [8] วิชาญ วรรณนา. ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเหล็กปลายสั้นสำหรับกระบวนการหล่อเหล็กแห่งแบบต่อเนื่องโดยวิธีการออกแบบการทดลอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
- [9] สุรพล สุรบวรเจตพร. การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเชื่อมตีบูก-ตะกั่วบนแผ่นวงจรมพิมพ์ด้วยเครื่องเชื่อมอัตโนมัติโดยวิธีการออกแบบการทดลอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
- [10] วิรุทธิ์ สิมเสมอ. การปรับปรุงกำลังการผลิตของเครื่องรีไฟล์ว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.

ภาษาไทย(ต่อ)

- [11] อัจฉริยา เก่งวานิจ. การประยุกต์การออกแบบการทดลองเพื่อการปรับปรุงดัชนีคุณภาพการผลิตของมุมที่กระทำระหว่างตัวงานกับฮาร์ดดิสก์ในอุตสาหกรรมแขนจับยึดหัวอ่านเขียน. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.
- [12] ศักรินทร์ อินทปัญญา. การวิเคราะห์พารามิเตอร์ในการเพิ่มประสิทธิภาพการเคลือบเงินของกระจกเงาโดยประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

ภาษาอังกฤษ

- [13] Montgomery, DC. Design and Analysis of Experiment. 6th ed. New York: Wiley, 2005.
- [14] Othman, M. K.; Dolah, A.; Omar, N. A. and Yahya, M. R. Design of Experiment (DOE) For Thickness Reduction Of GaAs Wafer Using Lapping Process. ICSE2006 Proc (2006): 583-585
- [15] Dowlatshahi, S. An application of design of experiments for optimization of plastic injection molding processes. Journal of Manufacturing Technology Management 6 (2004): 445-454
- [16] Maria, J.; Pedrosa, L. and Bradley, M. A high-throughput and design of experiment\ mediated optimization of pigment-based ink formulations. Pigment & Resin Technology 37/3 (2008): 131-139
- [17] Mahagaonkar, S. B.; Brahmankar, P. K. and Seemikeri, C. Y. Effect of shot peening parameters on microhardness of AISI 1045 and 316L material: an analysis using design of experiment. Int J Adv Manuf Technol 38 (2007): 563-574



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ข้อมูลแสดงของเสียกระบืองบิสกิต

ตัวอย่างที่ 1 รายงานควบคุมกระบืองออกท้ายเตา BISCUIT โรงงานบุผนัง WT-F506 24/03/46

RK NO. 102 เป้าหมาย YIELD = 99.50 % วันที่ 14, 2, 51

SHIFT 1				SHIFT 2				SHIFT 3							
Size	CAR NO.	M ²	เวลาออก	Size	CAR NO.	M ²	เวลาออก	Size	CAR NO.	M ²	เวลาออก				
	52	532	02.20		54	314	44.50		19	54	22.22				
	36	532	09.20		2	532	16.45		23	532	24.10				
	35	532	11.10		233	532	18.40		13	532	01.55				
	6	532	13.05		30	532	20.30		36	532	03.15				
	54	156	14.00		19	44%	22.00		7	532	05.50				
									49	312	06.00				
$\frac{1}{2} \times 2.9 = 2.9 \text{ m}^2$				$\frac{1}{2} \times 1.5 = 1.5 \text{ m}^2$				$\frac{1}{2} \times 2.4 = 2.4 \text{ m}^2$							
COUNTER GAS CUM.				COUNTER GAS CUM.				COUNTER GAS CUM.							
IN RK. <u>227.3</u> SQM.				IN RK. <u>246.5</u> SQM.				IN RK. <u>2212.4</u> SQM.							
OUT RK. <u>1266</u> SQM.				OUT RK. <u>2468</u> SQM.				OUT RK. <u>2210</u> SQM.							
YIELD <u>99.86</u> %				YIELD <u>99.93</u> %				YIELD <u>99.89</u> %							
สถานะ YIELD ต่ำกว่า STD.				สถานะ YIELD ต่ำกว่า STD.				สถานะ YIELD ต่ำกว่า STD.							
TOTAL GAS <u>1257</u> cum.				TOTAL INPUT <u>6951.2</u> sqm.				TOTAL OUTPUT <u>6944.0</u> sqm.				REJECT <u>7.2</u> sqm. YIELD <u>99.90</u>			
OPERATOR <u>น.ก. น.ก. น.ก.</u>				OPERATOR <u>น.ก. น.ก. น.ก.</u>				OPERATOR <u>น.ก. น.ก. น.ก.</u>							
COUNTER GAS START <u>351618</u>				COUNTER GAS STOP <u>355875</u>											

ตัวอย่างที่ 2 รายงานควบคุมกระบืองออกท้ายเตา BISCUIT โรงงานบุผนัง WT-F506 24/03/46

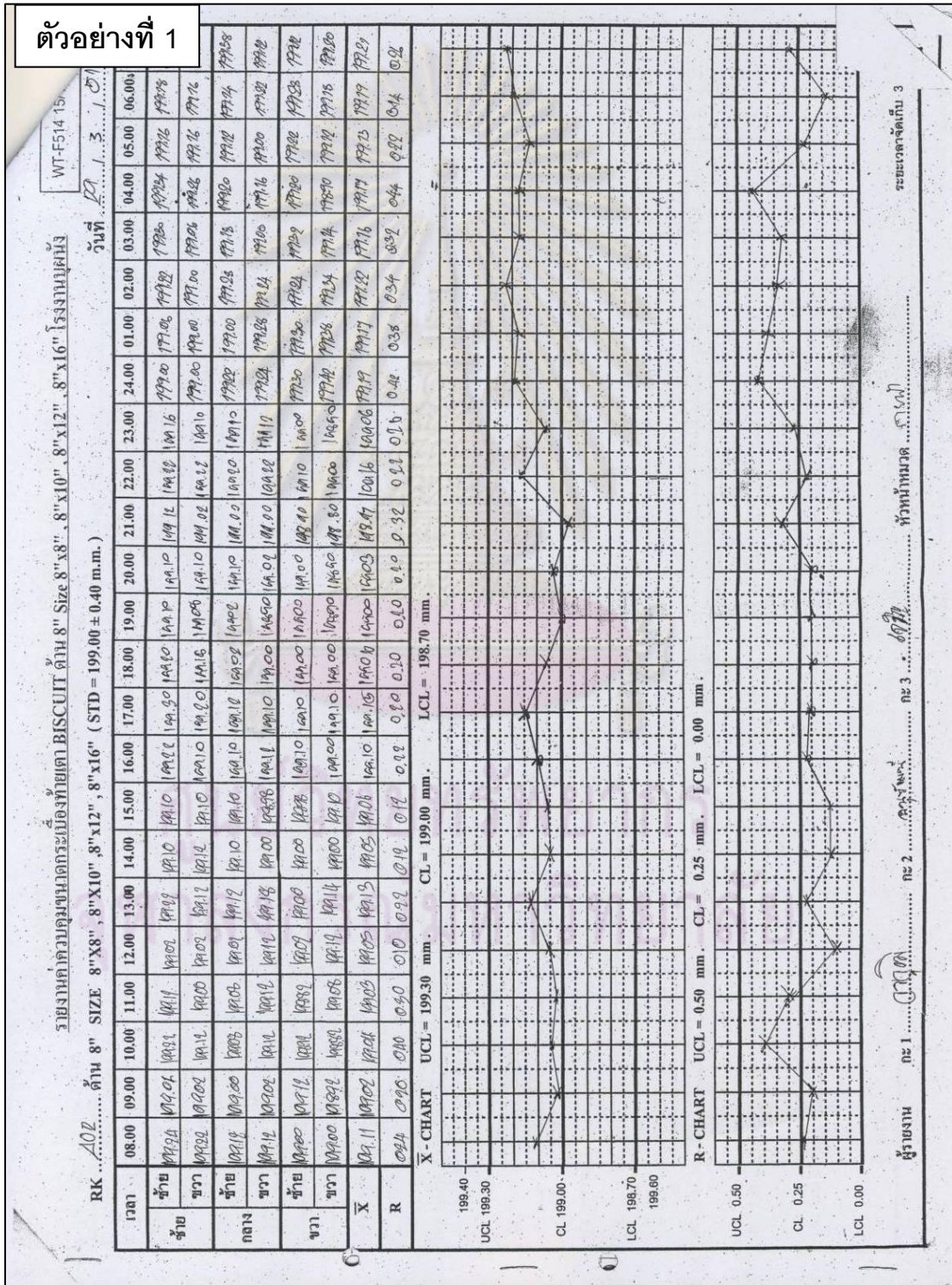
RK NO. 101 เป้าหมาย YIELD = 99.50 % วันที่ 9, 3, 51

SHIFT 1				SHIFT 2				SHIFT 3							
Size	CAR NO.	M ²	เวลาออก	Size	CAR NO.	M ²	เวลาออก	Size	CAR NO.	M ²	เวลาออก				
8x10	28	200	02.00	8x10	10	251	15.15	8x10	29	123	03.55				
7	83	520	09.40	7	3	524	16:50	7	59	528	01.40				
7	13	524	11.30	7	31	598	18:40	7	18	528	03.50				
7	18	524	13.20	7	44	524	20:20	7	19	528	05.10				
7	40	281	14.00	7	56	512	21:50	7	19	204	06.00				
					39	105	22:00								
$\frac{1}{2} \times 1.5 = 1.5 \text{ m}^2$				$\frac{1}{2} \times 3.5 = 3.5 \text{ m}^2$				$\frac{1}{2} \times 1.1 = 1.1 \text{ m}^2$							
COUNTER GAS CUM.				COUNTER GAS CUM.				COUNTER GAS CUM.							
IN RK. <u>2150.5</u> SQM.				IN RK. <u>2447.5</u> SQM.				IN RK. <u>2215.1</u> SQM.							
OUT RK. <u>2149</u> SQM.				OUT RK. <u>2444</u> SQM.				OUT RK. <u>2211</u> SQM.							
YIELD <u>99.93</u> %				YIELD <u>99.85</u> %				YIELD <u>99.80</u> %							
สถานะ YIELD ต่ำกว่า STD.				สถานะ YIELD ต่ำกว่า STD.				สถานะ YIELD ต่ำกว่า STD.							
TOTAL GAS <u>1278</u> cum.				TOTAL INPUT <u>6813.1</u> sqm.				TOTAL OUTPUT <u>6801</u> sqm.				REJECT <u>9.4</u> sqm. YIELD <u>99.86</u>			
OPERATOR <u>น.ก. น.ก. น.ก.</u>				OPERATOR <u>น.ก. น.ก. น.ก.</u>				OPERATOR <u>น.ก. น.ก. น.ก.</u>							
COUNTER GAS START <u>027408</u>				COUNTER GAS STOP <u>027786</u>											

ภาคผนวก ข

ข้อมูลแสดงรายงานค่าขนาดกระเบื้องบิสกิต ก่อนปรับปรุง

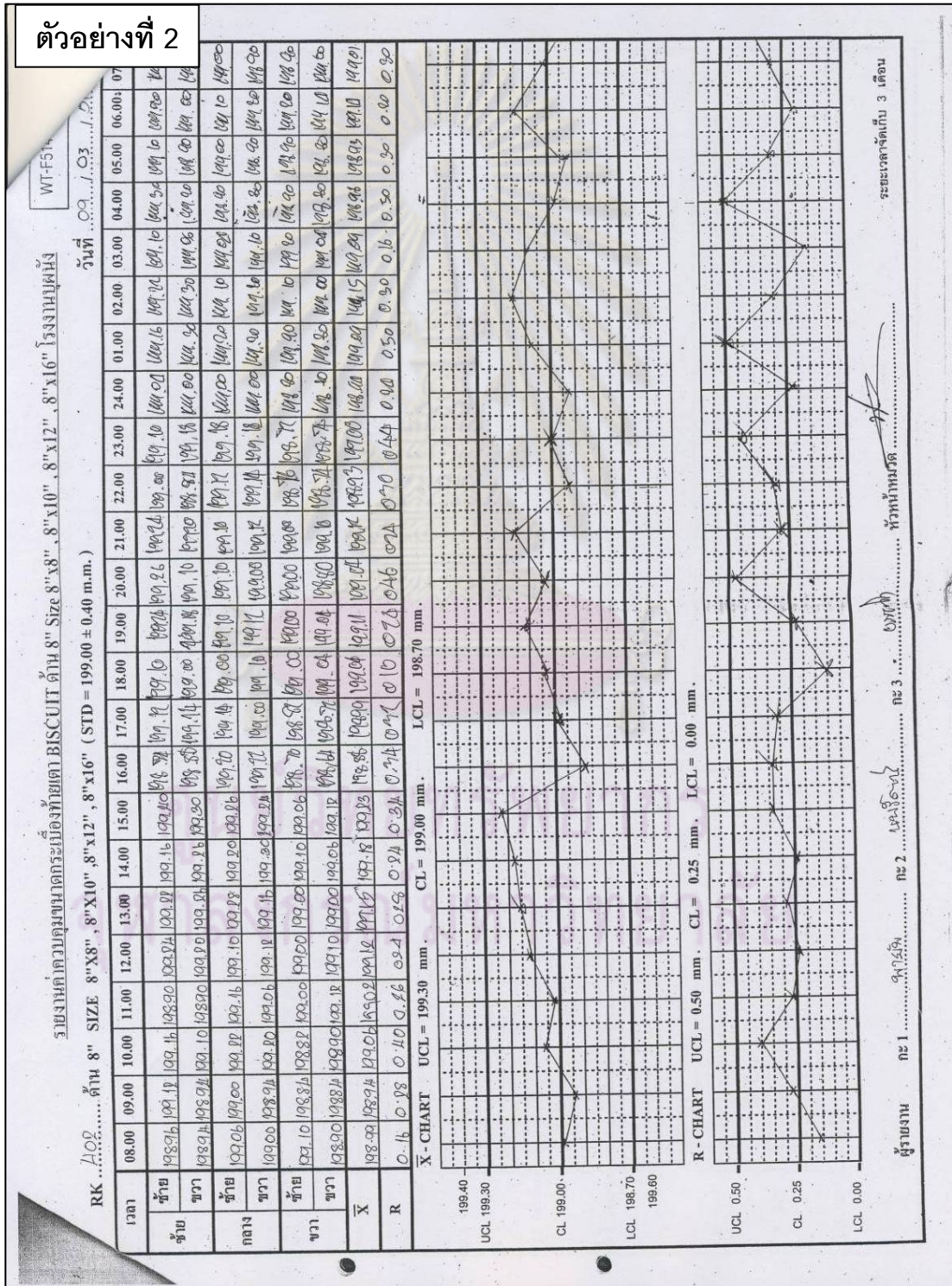
ด้าน 8 นิ้ว



ภาคผนวก ข (ต่อ)

ข้อมูลแสดงรายงานค่าขนาดกระเบื้องบิสกิต ก่อนปรับปรุง

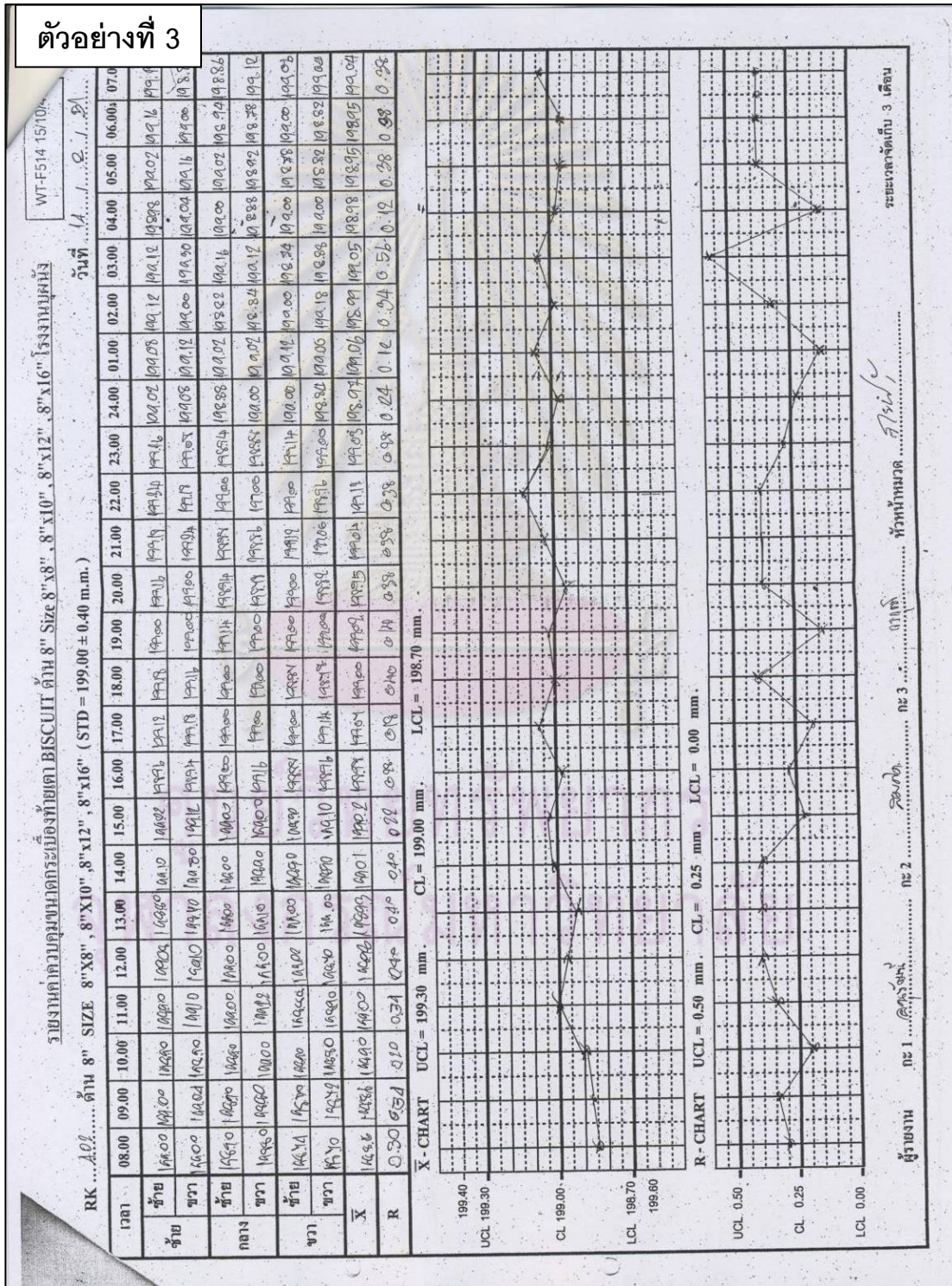
ด้าน 8 นิ้ว



ภาคผนวก ข (ต่อ)

ข้อมูลแสดงรายงานค่าขนาดกระเบื้องบิสกิต ก่อนปรับปรุง

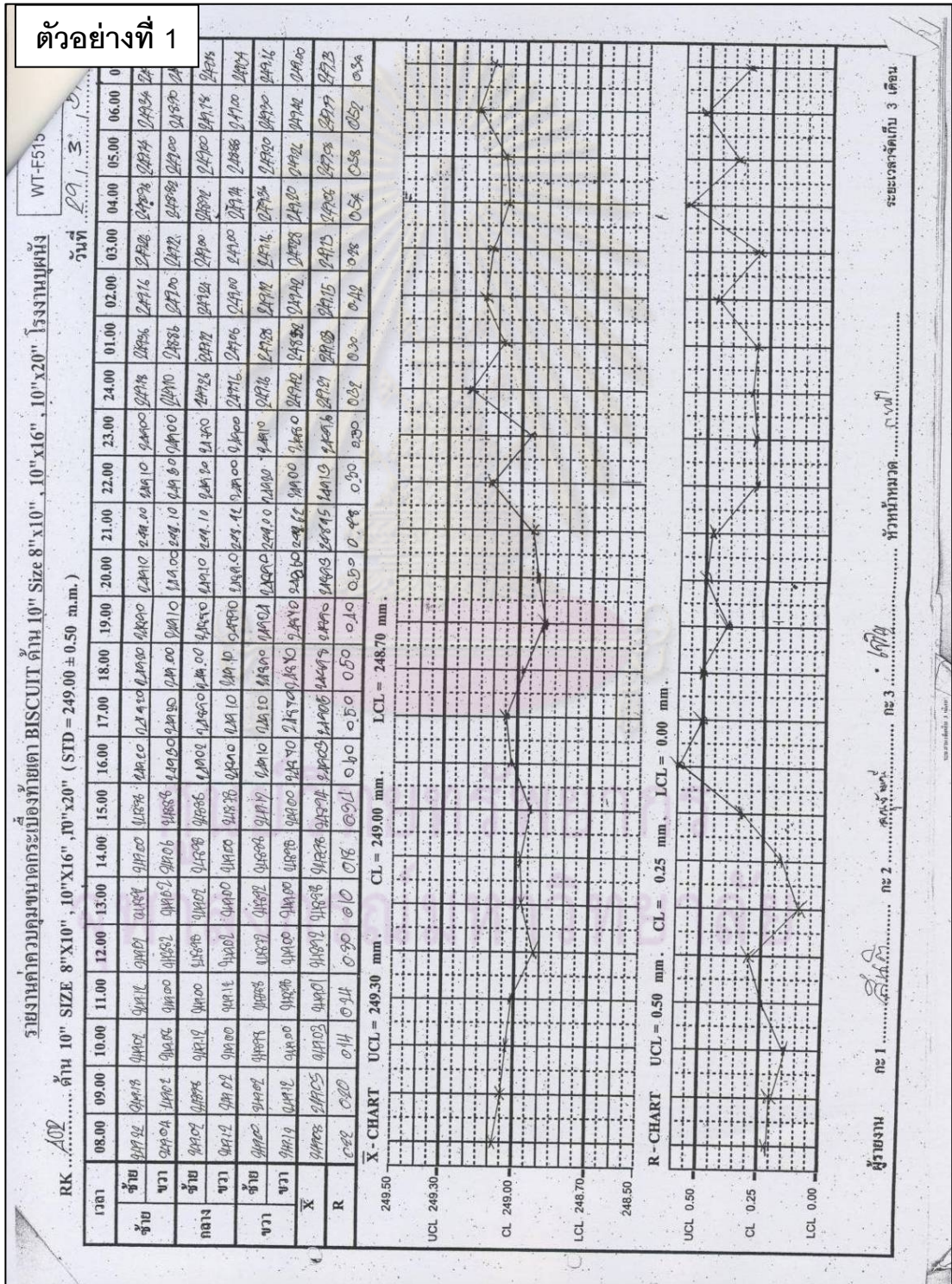
ด้าน 8 นิ้ว



ภาคผนวก ข (ต่อ)

ข้อมูลแสดงรายงานค่าขนาดกระเบื้องบิสกิต ก่อนปรับปรุง

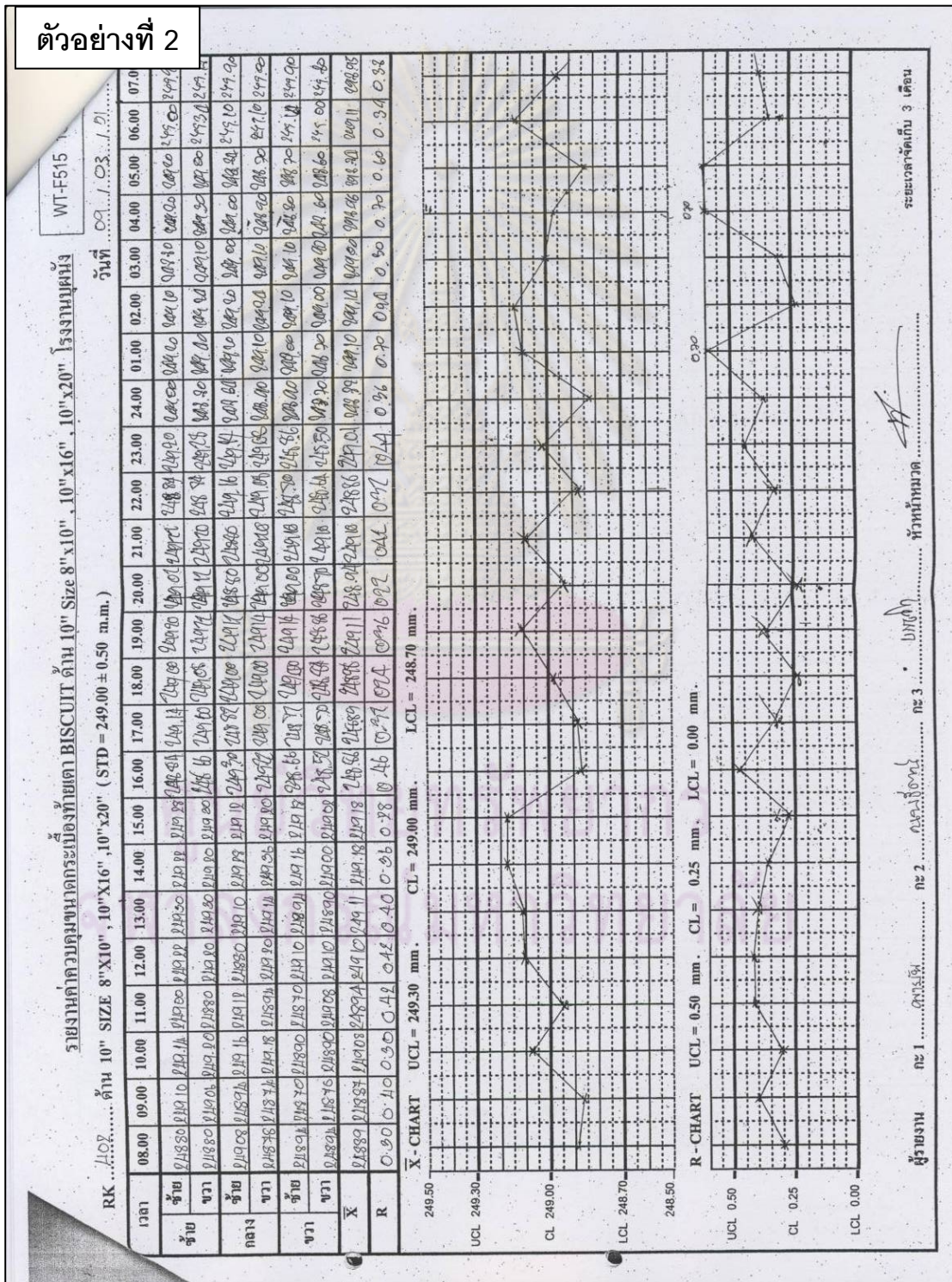
ด้าน 10 นิ้ว



ภาคผนวก ข (ต่อ)

ข้อมูลแสดงรายงานค่าขนาดกระเบื้องบิสกิต ก่อนปรับปรุง

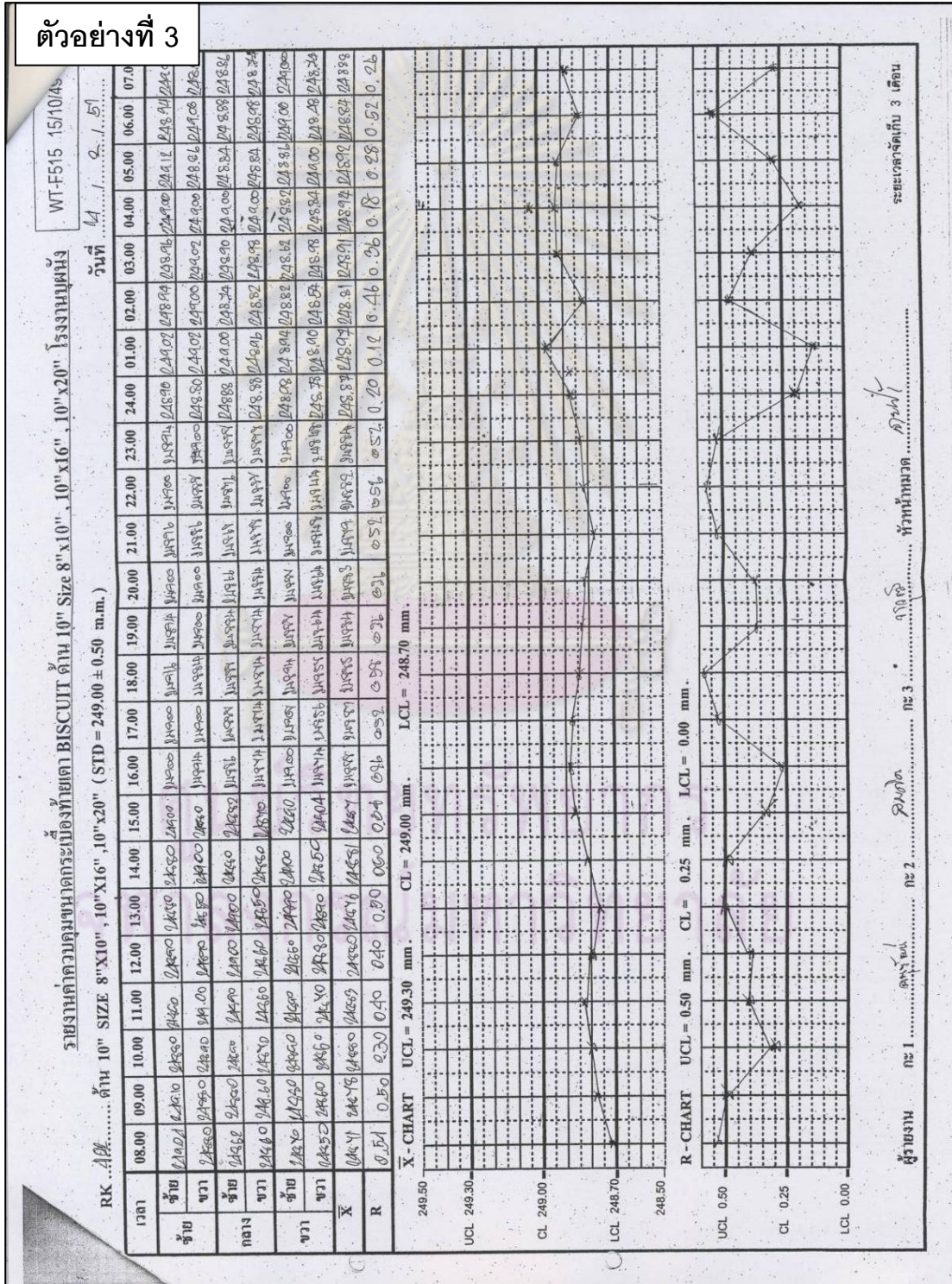
ด้าน 10 นิ้ว



ภาคผนวก ข (ต่อ)

ข้อมูลแสดงรายงานค่าขนาดกระเบื้องบิสกิต ก่อนปรับปรุง

ด้าน 10 นิ้ว



ภาคผนวก ค

การอนุมัติเกณฑ์การประเมินค่าความเสี่ยงชั้นนำ

บันทึก

วันที่ / Date : 24 กุมภาพันธ์ 2552

หน่วยงานผู้ส่ง / From : ระบบบริหารงานคุณภาพ

เรียน / To : ผู้จัดการโรงงานกระเบื้องบุผนังและตกแต่ง

สำเนา / CC : _____

เรื่อง / Subject : การอนุมัติเกณฑ์การประเมินค่าความเสี่ยงชั้นนำ สำหรับการคัดเลือกปัจจัยเพื่อ
ทำการทดลองเบื้องต้น ในการปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิต กระเบื้อง
บิสกิต

เนื่องด้วยในการจัดทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง การปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิต
กระเบื้องบิสกิต โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลอง ซึ่งวิจัยโดย นายธีรยุทธ ยกชิว นิสิตปริญญาโท
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คงอยู่ในระหว่าง
ขั้นตอนการคัดเลือกปัจจัยเบื้องต้นที่ส่งผลต่อขนาดกระเบื้องบิสกิต ซึ่งในขั้นตอนนี้จำเป็นต้องมี
การประเมินค่าความเสี่ยงชั้นนำของการปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิตจากเกณฑ์การ
ประเมิน ได้แก่ เกณฑ์การประเมินความรุนแรง เกณฑ์การประเมินโอกาสการเกิดข้อบกพร่อง และ
เกณฑ์การประเมินผลการตรวจจับ โดยมีช่วงคะแนนตั้งแต่ 1 ถึง 10 ซึ่งทั้ง 3 เกณฑ์นี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของเทคนิคการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบต่อคุณภาพ

วัตถุประสงค์ของการระบุค่าความเสี่ยงชั้นนำ

เพื่อพิสูจน์เบื้องต้น ว่าปัจจัยใดบ้างที่มีอิทธิพลต่อค่าขนาดของกระเบื้องบิสกิต และเลือก
ปัจจัยที่มีอิทธิพลเหล่านั้นมาออกแบบการทดลอง เพื่อศึกษาต่อไป

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทางโรงงานกระเบื้องบุผนังและตกแต่ง คาดว่าจะได้รับประโยชน์จากการทำวิทยานิพนธ์
ฉบับนี้ ดังต่อไปนี้

1. สามารถนำผลจากการศึกษาไปอ้างอิงในการปฏิบัติงาน และเป็นแนวทางในการพัฒนา
และวิจัยต่อไป
2. สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการตั้งค่าที่เหมาะสมในการผลิตให้ได้ขนาดของกระเบื้อง
ตรงกับมาตรฐานมากที่สุด

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาอนุมัติ เกณฑ์การประเมินความรุนแรง เกณฑ์การประเมิน
โอกาสการเกิดข้อบกพร่อง และเกณฑ์การประเมินผลการตรวจจับ ที่จะนำมาใช้อ้างอิง สำหรับการ
ปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิตกระเบื้องบิสกิต โดยสามารถดูเกณฑ์การประเมิน ได้จาก
เอกสารแนบของจดหมายฉบับนี้

ภาคผนวก ค (ต่อ)

การอนุมัติเกณฑ์การประเมินค่าความเสี่ยงชั้นนำ



ภาคผนวก ค (ต่อ)

การอนุมัติเกณฑ์การประเมินค่าความเสี่ยงขึ้นนำ

1. เกณฑ์การประเมินความรุนแรง (S) สำหรับ FMEA

ผลกระทบจากขนาดกระเบื้อง บิสกิตแตกต่างกัน	ความรุนแรงของผลกระทบที่มีต่อกระบวนการผลิต	คะแนน
เกิดอันตรายโดยไม่มีการเตือน	มีผลกระทบต่อการเกิดอันตรายต่อพนักงาน (หรือเครื่องจักร) โดยไม่มีการเตือนล่วงหน้า	10
เกิดอันตรายโดยมีการเตือน	มีผลกระทบต่อการเกิดอันตรายต่อพนักงาน (หรือเครื่องจักร) โดยมีการเตือนล่วงหน้า	9
ผลกระทบสูงมาก	ผลิตภัณฑ์ทั้งหมด (100%) อาจต้องถูกทำลาย หรือส่งเข้าซ่อมแซมที่หน่วยงานผลิต	8
ผลกระทบสูง	อาจจะมีการตรวจสอบผลิตภัณฑ์แบบคัดเลือก (Sorting) และผลิตภัณฑ์บางส่วน (น้อยกว่า 100%) อาจถูกทำลาย หรือส่งเข้าซ่อมแซมที่หน่วยงานผลิต	7
ผลกระทบปานกลาง	ผลิตภัณฑ์บางส่วน (น้อยกว่า 100%) อาจต้องถูกทำลาย และไม่ต้องตรวจสอบแบบคัดเลือก (Sort) หรือส่งเข้าซ่อมแซมที่หน่วยงานผลิต	6
ผลกระทบต่ำ	ผลิตภัณฑ์ทั้งหมด (100%) อาจต้องได้รับการรีเวิร์ค หรือส่งเข้าซ่อมแซมที่หน่วยงานผลิต	5
ผลกระทบต่ำมาก	ผลิตภัณฑ์อาจได้รับการตรวจสอบแบบคัดเลือก (Sorting) โดยไม่มีผลิตภัณฑ์ที่ต้องถูกทำลาย	4
ผลกระทบเล็กน้อย	ผลิตภัณฑ์บางส่วน (ต่ำกว่า 100%) อาจต้องได้รับการรีเวิร์คในสายการผลิต โดยไม่มีผลิตภัณฑ์ที่ต้องถูกทำลาย	3
เกือบไม่มีผลกระทบ	ผลิตภัณฑ์บางส่วน (ต่ำกว่า 100%) อาจไม่ต้องได้รับการรีเวิร์คในสายการผลิต	2
ไม่มีผลกระทบ	ไม่เกิดของเสีย	1

ภาคผนวก ค (ต่อ)

การอนุมัติเกณฑ์การประเมินค่าความเสี่ยงขึ้นน้ำ

2. เกณฑ์การประเมินความถี่ในการเกิด (O) สำหรับ FMEA

ความน่าจะเป็นในการเกิดความล้มเหลว	อัตราความล้มเหลวที่น่าจะเกิดขึ้น	Ppk	คะแนน
สูงมาก : เกิดข้อบกพร่องเสมอ	> 100 ต่อ 1000	< 0.55	10
	50 ต่อ 1000	> 0.55	9
สูง : เกิดข้อบกพร่องบ่อย	20 ต่อ 1000	> 0.78	8
	10 ต่อ 1000	> 0.86	7
ปานกลาง : เกิดข้อบกพร่องนาน ๆ ครั้ง	5 ต่อ 1000	> 0.94	6
	2 ต่อ 1000	> 1.00	5
	1 ต่อ 1000	> 1.10	4
ต่ำ : มีข้อบกพร่องเกิดขึ้นเล็กน้อย	0.5 ต่อ 1000	> 1.20	3
	0.1 ต่อ 1000	> 1.30	2
ห่างไกล : ไม่เคยเกิดข้อบกพร่อง	< 0.01 ต่อ 1000	> 1.67	1

ภาคผนวก ค (ต่อ)

การอนุมัติเกณฑ์การประเมินค่าความเสี่ยงชั้นนำ

3. เกณฑ์การประเมินความเป็นไปได้ในการตรวจพบ (D) สำหรับ FMEA

การตรวจจับ	เกณฑ์การตัดสิน	ประเภทของการตรวจสอบ			การควบคุมที่ใช้เพื่อให้ตรวจพบ	คะแนน
		A	B	C		
เกือบเป็นไปไม่ได้	ไม่สามารถตรวจจับได้อย่างแน่นอน			O	ไม่สามารถตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องได้	10
ห่างไกลมาก	มีโอกาสน้อยมากที่วิธีการควบคุมจะสามารถตรวจจับ			O	วิธีการควบคุมสามารถตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องโดยทางอ้อมหรือการสุ่มเท่านั้น	9
ห่างไกล	มีโอกาสด้อยกว่าเล็กน้อยที่วิธีการควบคุมจะสามารถตรวจจับลักษณะข้อบกพร่อง			O	วิธีการควบคุมสามารถตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องโดยการตรวจสอบลักษณะภายนอกเท่านั้น	8
น้อยมาก	มีโอกาสด้อยกว่าเล็กน้อยที่วิธีการควบคุมจะสามารถตรวจจับลักษณะข้อบกพร่อง			O	วิธีการควบคุมสามารถตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องโดยการตรวจสอบลักษณะภายนอกซ้ำเท่านั้น	7
น้อย	วิธีการควบคุมอาจจะสามารถตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องได้		O	O	วิธีการควบคุมสามารถตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องโดยแผนภูมิ เช่น การใช้ SPC	6
ปานกลาง	วิธีการควบคุมอาจจะสามารถตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องได้		O	O	วิธีการควบคุมสามารถตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องได้โดยขึ้นอยู่กับการผันแปรของเครื่องมือ	5
ค่อนข้างสูง	วิธีการควบคุมมีโอกาสมากที่จะตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องได้	O	O	O	สามารถตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องได้หลักการปฏิบัติงานหรือจากการวัดหลังการติดตั้งและจากการตรวจงานครั้งแรก	4

ภาคผนวก ค (ต่อ)

การอนุมัติเกณฑ์การประเมินค่าความเสี่ยงชั้นนำ

3. เกณฑ์การประเมินความเป็นไปได้ในการตรวจพบ (D) สำหรับ FMEA (ต่อ)

การตรวจจับ	เกณฑ์การตัดสิน	ประเภทของการตรวจสอบ			การควบคุมที่ใช้เพื่อให้ตรวจพบ	คะแนน
		A	B	C		
สูง	วิธีการควบคุมมีโอกาสมากที่จะตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องได้	○	○		สามารถตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องได้หลังการปฏิบัติงานหรือขณะทำงานโดยการคัดเลือกติดตั้งหรือทวนสอบซึ่งไม่สามารถยอมรับข้อบกพร่องได้	3
สูงมาก	วิธีการควบคุมมีโอกาสเกือบแน่นอนมากที่จะตรวจจับลักษณะข้อบกพร่อง	○	○		สามารถตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องได้ในระหว่างการปฏิบัติงานโดยเครื่องมือที่มีหน้าที่เพื่อตรวจจับโดยอัตโนมัติ ข้อบกพร่องไม่สามารถผ่านไป	2
สูงมาก	วิธีการควบคุมมีโอกาสแน่นอนมากที่จะตรวจจับลักษณะข้อบกพร่อง	○			ไม่สามารถเกิดข้อบกพร่องได้เนื่องจากถูกป้องกันอย่างสมบูรณ์โดยการออกแบบกระบวนการ	1

หมายเหตุ : A = ตัวป้องกันความผิดพลาด B = ใช้เครื่องมือตรวจสอบ C = การตรวจสอบโดยผู้ปฏิบัติงาน

ภาคผนวก ง

แบบสอบถามที่ใช้ในการวิจัย

แบบสอบถามที่ใช้ในการวิจัย

คำถามที่ใช้ในการสัมภาษณ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์ เรื่อง “การปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิต กระเบื้องบิสกิต โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลอง”

ซึ่งดำเนินการวิจัยโดย นายธีรยุทธ์ ยกชีวะ นิสิตปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ข้อมูลที่ได้จากนี้ จะถูกนำไปใช้เพื่อการวิจัยเท่านั้น โดยในแบบสอบถามนี้จะมีการประเมินเพียง 2 เรื่อง ดังนี้

1. การประเมินความรุนแรง (S)
2. การประเมินความเป็นไปได้ในการตรวจพบ (D)

ซึ่งวัตถุประสงค์ของการสัมภาษณ์นี้ เพื่อนำไปทำการวิเคราะห์สาเหตุของลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effects Analysis) ที่อาจส่งผลกระทบต่อขนาดกระเบื้อง ในกระบวนการผลิตกระเบื้องบิสกิต ในเรื่องความรุนแรง (S) และความเป็นไปได้ในการตรวจพบ (D) โดยผลที่ได้จะนำไป พิจารณาร่วมกับความถี่ในการเกิด (O) จากนั้นจะเปรียบเทียบอิทธิพลของแต่ละปัจจัยโดยพิจารณาจากตัวเลขแสดงลำดับความเสี่ยง (RPN – Risk Priority Number) โดยจะเลือกจากปัจจัยที่มีตัวเลขแสดงลำดับความเสี่ยงสูง ๆ เพื่อทำการทดลองเบื้องต้นต่อไป โดยเกณฑ์ในการประเมินของความรุนแรง (S) และความเป็นไปได้ในการตรวจพบ (D) จะแสดงดังด้านล่าง

1. เกณฑ์การประเมินความรุนแรง (S)

ผลกระทบจากขนาดกระเบื้องบิสกิตแตกต่างกัน	ความรุนแรงของผลกระทบที่มีต่อกระบวนการผลิต	คะแนน
เกิดอันตรายโดยไม่มีการเตือน	มีผลกระทบต่อ การเกิดอันตรายต่อพนักงาน (หรือเครื่องจักร) โดยไม่มีการเตือนล่วงหน้า	10
เกิดอันตรายโดยมีการเตือน	มีผลกระทบต่อ การเกิดอันตรายต่อพนักงาน (หรือเครื่องจักร) โดยมีการเตือนล่วงหน้า	9
ผลกระทบสูงมาก	ผลิตภัณฑ์ทั้งหมด (100%) อาจต้องถูกทำลาย หรือส่งเข้าซ่อมแซมที่หน่วยงานผลิต	8

ภาคผนวก ง (ต่อ)
แบบสอบถามที่ใช้ในการวิจัย

1. เกณฑ์การประเมินความรุนแรง (S) (ต่อ)

ผลกระทบจากขนาด กระเบื้องบิสกิตแตกต่างกัน	ความรุนแรงของผลกระทบที่มีต่อกระบวนการผลิต	คะแนน
ผลกระทบสูง	อาจจะมีการตรวจสอบผลิตภัณฑ์แบบคัดเลือก (Sorting) และผลิตภัณฑ์บางส่วน (น้อยกว่า 100%) อาจถูกทำลายหรือส่งเข้าซ่อมแซมที่หน่วยงานผลิต	7
ผลกระทบปานกลาง	ผลิตภัณฑ์บางส่วน (น้อยกว่า 100%) อาจต้องถูกทำลายและไม่ต้องตรวจสอบแบบคัดเลือก (Sort) หรือส่งเข้าซ่อมแซมที่หน่วยงานผลิต	6
ผลกระทบต่ำ	ผลิตภัณฑ์ทั้งหมด (100%) อาจต้องได้รับการรีเวิร์คหรือส่งเข้าซ่อมแซมที่หน่วยงานผลิต	5
ผลกระทบต่ำมาก	ผลิตภัณฑ์อาจได้รับการตรวจสอบแบบคัดเลือก (Sorting) โดยไม่มีผลิตภัณฑ์ที่ต้องถูกทำลาย	4
ผลกระทบเล็กน้อย	ผลิตภัณฑ์บางส่วน (ต่ำกว่า 100%) อาจต้องได้รับการรีเวิร์คในสายการผลิต โดยไม่มีผลิตภัณฑ์ที่ต้องถูกทำลาย	3
เกือบไม่มีผลกระทบ	ผลิตภัณฑ์บางส่วน (ต่ำกว่า 100%) อาจไม่ต้องได้รับการรีเวิร์คในสายการผลิต	2
ไม่มีผลกระทบ	ไม่เกิดของเสีย	1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง (ต่อ)
แบบสอบถามที่ใช้ในการวิจัย

2. เกณฑ์การประเมินความเป็นไปได้ในการตรวจพบ (D)

การตรวจจับ	เกณฑ์การตัดสิน	ประเภทของการตรวจสอบ			การควบคุมที่ใช้เพื่อให้ตรวจพบ	คะแนน
		A	B	C		
เกือบเป็นไปไม่ได้	ไม่สามารถตรวจจับได้อย่างแน่นอน			○	ไม่สามารถตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องได้	10
ห่างไกลมาก	มีโอกาสน้อยมากที่วิธีการควบคุมจะสามารถตรวจจับ			○	วิธีการควบคุมสามารถตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องโดยทางอ้อมหรือการสุ่มเท่านั้น	9
ห่างไกล	มีโอกาสด้อยกว่าเล็กน้อยมากที่วิธีการควบคุมจะสามารถตรวจจับลักษณะข้อบกพร่อง			○	วิธีการควบคุมสามารถตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องโดยการตรวจสอบลักษณะภายนอกเท่านั้น	8
น้อยมาก	มีโอกาสด้อยกว่าเล็กน้อยมากที่วิธีการควบคุมจะสามารถตรวจจับลักษณะข้อบกพร่อง			○	วิธีการควบคุมสามารถตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องโดยการตรวจสอบลักษณะภายนอกซ้ำเท่านั้น	7
น้อย	วิธีการควบคุมอาจจะสามารถตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องได้		○	○	วิธีการควบคุมสามารถตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องโดยแผนภูมิ เช่น การใช้ SPC	6
ปานกลาง	วิธีการควบคุมอาจจะสามารถตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องได้		○	○	วิธีการควบคุมสามารถตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องได้โดยขึ้นอยู่กับการผันแปรของเครื่องมือ	5
ค่อนข้างสูง	วิธีการควบคุมมีโอกาสมากที่จะตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องได้	○	○	○	สามารถตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องได้หลักการปฏิบัติงานหรือจากการวัดหลังการติดตั้งและจากการตรวจงานครั้งแรก	4

ภาคผนวก ง (ต่อ)
แบบสอบถามที่ใช้ในการวิจัย

2. เกณฑ์การประเมินความเป็นไปได้ในการตรวจพบ (D) (ต่อ)

การตรวจจับ	เกณฑ์การตัดสิน	ประเภทของการตรวจสอบ			การควบคุมที่ใช้เพื่อให้ตรวจพบ	คะแนน
		A	B	C		
สูง	วิธีการควบคุมมีโอกาสมากที่จะตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องได้	○	○		สามารถตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องได้หลังการปฏิบัติงานหรือขณะทำงานโดยการคัดเลือกติดตั้งหรือทวนสอบซึ่งไม่สามารถยอมรับข้อบกพร่องได้	3
สูงมาก	วิธีการควบคุมมีโอกาสเกือบแน่นอนมากที่จะตรวจจับลักษณะข้อบกพร่อง	○	○		สามารถตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องได้ในระหว่างการปฏิบัติงานโดยเครื่องมือที่มีหน้าที่เพื่อตรวจจับโดยอัตโนมัติ ข้อบกพร่องไม่สามารถผ่านไป	2
สูงมาก	วิธีการควบคุมมีโอกาสแน่นอนมากที่จะตรวจจับลักษณะข้อบกพร่อง	○			ไม่สามารถเกิดข้อบกพร่องได้เนื่องจากถูกป้องกันอย่างสมบูรณ์โดยการออกแบบกระบวนการ	1

หมายเหตุ : A = ตัวป้องกันความผิดพลาด B = ใช้เครื่องมือตรวจสอบ C = การตรวจสอบโดยผู้ปฏิบัติงาน

ภาคผนวก ง (ต่อ)
แบบสอบถามที่ใช้ในการวิจัย

ข้อมูลส่วนตัวของผู้ตอบแบบสอบถาม

ตำแหน่ง.....เพศ.....อายุการทำงาน.....ปี

1. กรุณากรอกคะแนนลงในช่องความเป็นไปได้ในการตรวจพบและความรุนแรง/ผลกระทบ โดยอ้างอิงจากเกณฑ์คะแนน ของตารางเกณฑ์การประเมินความเป็นไปได้ในการตรวจพบ (D) และเกณฑ์การประเมินความรุนแรง (S)

ปัจจัยที่น่าจะมีผลต่อขนาด กระเบื้องปิสกิต	คะแนนความเป็นไปได้ใน การตรวจพบ(D)	คะแนนความรุนแรง/ ผลกระทบ(S)
1. Mould	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
2. Body Powder	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
3. 2 nd Stroke Pressure	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
4. Feeder Setting	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
5. คุณหมุมี่ในการอบ	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
6. เวลาในการอบ	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
7. Suction Blower	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
8. Burner Modulation	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
9. Firing Temperature	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
10. เวลาในการเผา	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

🕒 ขอขอบคุณที่สละเวลาในการให้ข้อมูลในครั้งนี้ 🕒

ภาคผนวก จ

สรุปผลแบบสอบถามที่ใช้ในการวิจัย

จากการใช้แบบสอบถามดังแสดงในภาคผนวก ง ในการสัมภาษณ์ ผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งประกอบด้วย วิศวกรฝ่ายผลิต 2 คน วิศวกรฝ่ายเครื่องจักร 1 คน วิศวกรฝ่ายควบคุมคุณภาพ 1 คน หัวหน้าแผนกผลิต 1 คน พนักงานอาวุโสฝ่ายผลิต 3 คน สามารถสรุปผลได้ดังตาราง

ปัจจัยที่น่าจะมีผลกระทบต่อขนาดกระเบื้องบิสกิต	คะแนนความเป็นไปได้ในการตรวจพบ(D)	คะแนนความรุนแรง/ผลกระทบ(S)
1. Mould	9	2
2. Body Powder	4	6
3. 2 nd Stroke Pressure	3	8
4. Feeder Setting	3	7
5. อุณหภูมิในการอบ	2	2
6. เวลาในการอบ	2	2
7. Suction Blower	2	4
8. Burner Modulation	2	7
9. Firing Temperature	2	8
10. เวลาในการเผา	2	5

และที่มาของข้อมูลในตารางด้านบนสามารถแสดงได้ดังนี้

➤ ผู้เชี่ยวชาญคนที่ 1

ภาคผนวก จ (ต่อ)
สรุปผลแบบสอบถามที่ใช้ในการวิจัย

ข้อมูลส่วนตัวของผู้ตอบแบบสอบถาม

ตำแหน่ง วิศวกร ชั้น โท หน่วยงาน โรงงานปิโตรเคมี เขต ฉะเชิงเทรา อายุการทำงาน 6 ปี

1. กรุณาเลือกคะแนนโดยวงกลมในช่องความเป็นไปได้ในการตรวจพบและความรุนแรง/ผลกระทบ จากความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกระเบื้องปิสทิตและปัจจัยต่าง ๆ โดยอ้างอิงจากเกณฑ์คะแนน ของตารางเกณฑ์การประเมินความเป็นไปได้ในการตรวจพบ (D) และเกณฑ์การประเมินความรุนแรง (S)

ปัจจัยที่น่าจะมีผลต่อขนาดกระเบื้องปิสทิต	คะแนนความเป็นไปได้ในการตรวจพบ(D)	คะแนนความรุนแรง/ผลกระทบ(S)
1. Mould	1 2 3 4 5 (6) 7 8 9 10	1 (2) 3 4 5 6 7 8 9 10
2. Body Powder	1 2 (3) 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 5 (6) 7 8 9 10
3. 2 nd Stroke Pressure	1 2 3 4 5 (6) 7 8 9 10	1 2 3 4 5 6 7 (8) 9 10
4. Feeder Setting	1 (2) 3 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 5 (6) 7 8 9 10
5. อุณหภูมิในการอบ	1 (2) 3 4 5 6 7 8 9 10	1 (2) 3 4 5 6 7 8 9 10
6. เวลาในการอบ	1 2 (3) 4 5 6 7 8 9 10	1 (2) 3 4 5 6 7 8 9 10
7. Suction Blower	1 (2) 3 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 (4) 5 6 7 8 9 10
8. Burner Modulation	1 2 (3) 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 5 6 (7) 8 9 10
9. Firing Temperature	1 (2) 3 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 5 6 7 (8) 9 10
10. เวลาในการเผา	1 (2) 3 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 (5) 6 7 8 9 10

☺ ขอขอบคุณที่สละเวลาในการให้ข้อมูลในครั้งนี้ ☺

ศูนย์วิทยพักร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ (ต่อ)
สรุปผลแบบสอบถามที่ใช้ในการวิจัย

➤ ผู้เชี่ยวชาญคนที่ 2

ข้อมูลส่วนตัวของผู้ตอบแบบสอบถาม

ตำแหน่ง.....*วิศวกร (ช่างซ่อมเครื่องจักร)*.....อายุการทำงาน.....*5*.....ปี

1. กรุณาเลือกคะแนนโดยวงกลมในช่องความเป็นไปได้ในการตรวจพบและความรุนแรง/ผลกระทบ จากความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกระเบื้องบิสกิตและปัจจัยต่าง ๆ โดยอ้างอิงจากเกณฑ์คะแนน ของตารางเกณฑ์การประเมินความเป็นไปได้ในการตรวจพบ (D) และเกณฑ์การประเมินความรุนแรง (S)

ปัจจัยที่น่าจะมีผลต่อขนาดกระเบื้องบิสกิต	คะแนนความเป็นไปได้ในการตรวจพบ(D)	คะแนนความรุนแรง/ผลกระทบ(S)
1. Mould	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
2. Body Powder	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
3. 2 nd Stroke Pressure	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
4. Feeder Setting	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
5. อุณหภูมิในการอบ	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
6. เวลาในการอบ	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
7. Suction Blower	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
8. Burner Modulation	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
9. Firing Temperature	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
10. เวลาในการเผา	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

☺ ขอขอบคุณที่สละเวลาในการให้ข้อมูลในครั้งนี้ ☺

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ (ต่อ)
สรุปผลแบบสอบถามที่ใช้ในการวิจัย

➤ ผู้เชี่ยวชาญคนที่ 3

ข้อมูลส่วนตัวของผู้ตอบแบบสอบถาม

ตำแหน่ง..... วิศวก นาม..... นายนันทวัฒน์ เพศ..... ท. อายุการทำงาน..... 5 ปี

1. กรุณาเลือกคะแนนโดยวงกลมในช่องความเป็นไปได้ในการตรวจพบและความรุนแรง/
 ผลกระทบ จากความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกระเบื้องบิสกิตและปัจจัยต่าง ๆ โดยอ้างอิงจากเกณฑ์
 คะแนน ของตารางเกณฑ์การประเมินความเป็นไปได้ในการตรวจพบ (D) และเกณฑ์การประเมิน
 ความรุนแรง (S)

ปัจจัยที่น่าจะมีผลต่อขนาด กระเบื้องบิสกิต	คะแนนความเป็นไปได้ใน การตรวจพบ(D)	คะแนนความรุนแรง/ ผลกระทบ(S)
1. Mould	1 2 3 4 5 6 7 8 <u>9</u> 10	1 2 3 <u>4</u> 5 6 7 8 9 10
2. Body Powder	1 2 3 <u>4</u> 5 6 7 8 9 10	1 2 3 <u>4</u> 5 6 7 8 9 10
3. 2 nd Stroke Pressure	1 2 <u>3</u> 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 5 <u>6</u> 7 8 9 10
4. Feeder Setting	1 2 3 <u>4</u> 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 5 6 <u>7</u> 8 9 10
5. อุณหภูมิในการอบ	1 2 <u>3</u> 4 5 6 7 8 9 10	1 <u>2</u> 3 4 5 6 7 8 9 10
6. เวลาในการอบ	1 2 3 <u>4</u> 5 6 7 8 9 10	1 2 <u>3</u> 4 5 6 7 8 9 10
7. Suction Blower	1 2 <u>3</u> 4 5 6 7 8 9 10	1 2 <u>3</u> 4 5 6 7 8 9 10
8. Burner Modulation	1 2 3 <u>4</u> 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 5 6 <u>7</u> 8 9 10
9. Firing Temperature	1 2 3 <u>4</u> 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 5 6 <u>7</u> 8 9 10
10. เวลาในการเผา	1 2 <u>3</u> 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 <u>5</u> 6 7 8 9 10

⊙ ขอขอบคุณที่สละเวลาในการให้ข้อมูลในครั้งนี้ ⊙

ศูนย์วิทยุโทรพยากรณ์
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ (ต่อ)
สรุปผลแบบสอบถามที่ใช้ในการวิจัย

➤ ผู้เชี่ยวชาญคนที่ 4

ข้อมูลส่วนตัวของผู้ตอบแบบสอบถาม

ตำแหน่ง วิศวกร สง. ภาคพืช เพศ ชาย อายุการทำงาน 5 ปี

1. กรุณาเลือกคะแนนโดยวงกลมในช่องความเป็นไปได้ในการตรวจพบและความรุนแรง/ผลกระทบ จากความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกระเบื้องบิสกิตและปัจจัยต่าง ๆ โดยอ้างอิงจากเกณฑ์คะแนน ของตารางเกณฑ์การประเมินความเป็นไปได้ในการตรวจพบ (D) และเกณฑ์การประเมินความรุนแรง (S)

ปัจจัยที่น่าจะมีผลต่อขนาดกระเบื้องบิสกิต	คะแนนความเป็นไปได้ในการตรวจพบ(D)	คะแนนความรุนแรง/ผลกระทบ(S)
1. Mould	1 2 3 4 5 6 (7) 8 9 10	1 (2) 3 4 5 6 7 8 9 10
2. Body Powder	1 2 3 (4) 5 6 7 8 9 10	1 2 3 (4) 5 6 7 8 9 10
3. 2 nd Stroke Pressure	1 2 3 (4) 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 (5) 6 7 8 9 10
4. Feeder Setting	1 2 (3) 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 (5) 6 7 8 9 10
5. คุณหมุมิในการอบ	1 2 3 (4) 5 6 7 8 9 10	1 (2) 3 4 5 6 7 8 9 10
6. เวลาในการอบ	1 (2) 3 4 5 6 7 8 9 10	1 2 (3) 4 5 6 7 8 9 10
7. Suction Blower	1 (2) 3 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 (4) 5 6 7 8 9 10
8. Burner Modulation	1 (2) 3 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 5 (6) 7 8 9 10
9. Firing Temperature	1 2 (3) 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 5 6 7 (8) 9 10
10. เวลาในการเผา	1 (2) 3 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 5 (6) 7 8 9 10

🕒 ขอขอบคุณที่สละเวลาในการให้ข้อมูลในครั้งนี้ 🕒

ศูนย์วิทยุโทรพยากรณ์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ (ต่อ)
สรุปผลแบบสอบถามที่ใช้ในการวิจัย

➤ ผู้เชี่ยวชาญคนที่ 5

ข้อมูลส่วนตัวของผู้ตอบแบบสอบถาม

ตำแหน่ง นักเทคนิคการแพทย์ เพศ ด.ช. อายุการทำงาน 26 ปี

1. กรุณาเลือกคะแนนโดยวงกลมในช่องความเป็นไปได้ในการตรวจพบและความรุนแรง/ ผลกระทบ จากความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกระเบื้องบิสกิตและปัจจัยต่าง ๆ โดยอ้างอิงจากเกณฑ์คะแนน ของตารางเกณฑ์การประเมินความเป็นไปได้ในการตรวจพบ (D) และเกณฑ์การประเมินความรุนแรง (S)

ปัจจัยที่น่าจะมีผลต่อขนาดกระเบื้องบิสกิต	คะแนนความเป็นไปได้ในการตรวจพบ(D)	คะแนนความรุนแรง/ผลกระทบ(S)
1. Mould	1 2 3 4 5 6 7 8 <u>9</u> 10	1 <u>2</u> 3 4 5 6 7 8 9 10
2. Body Powder	1 2 <u>3</u> 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 5 <u>6</u> 7 8 9 10
3. 2 nd Stroke Pressure	1 2 3 4 <u>5</u> 6 7 8 9 10	1 2 3 4 5 6 <u>7</u> 8 9 10
4. Feeder Setting	1 2 <u>3</u> 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 5 6 <u>7</u> 8 9 10
5. อุณหภูมิในการอบ	1 2 <u>3</u> 4 5 6 7 8 9 10	1 <u>2</u> 3 4 5 6 7 8 9 10
6. เวลาในการอบ	1 2 <u>3</u> 4 5 6 7 8 9 10	1 <u>2</u> 3 4 5 6 7 8 9 10
7. Suction Blower	1 2 <u>3</u> 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 <u>5</u> 6 7 8 9 10
8. Burner Modulation	1 <u>2</u> 3 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 5 6 <u>7</u> 8 9 10
9. Firing Temperature	1 2 <u>3</u> 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 5 6 7 <u>8</u> 9 10
10. เวลาในการเผา	1 <u>2</u> 3 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 5 6 <u>7</u> 8 9 10

☺ ขอขอบคุณที่สละเวลาในการให้ข้อมูลในครั้งนี้ ☺

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ (ต่อ)
สรุปผลแบบสอบถามที่ใช้ในการวิจัย

➤ ผู้เชี่ยวชาญคนที่ 6

ข้อมูลส่วนตัวของผู้ตอบแบบสอบถาม

ตำแหน่ง... หัวหน้าแผนกผลิต 2 เพศ... ชาย อายุการทำงาน... 26 ปี

1. กรุณาเลือกคะแนนโดยวงกลมในช่องความเป็นไปได้ในการตรวจพบและความรุนแรง/ผลกระทบ จากความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกระเบื้องบิสกิตและปัจจัยต่าง ๆ โดยอ้างอิงจากเกณฑ์คะแนน ของตารางเกณฑ์การประเมินความเป็นไปได้ในการตรวจพบ (D) และเกณฑ์การประเมินความรุนแรง (S)

ปัจจัยที่น่าจะมีผลต่อขนาดกระเบื้องบิสกิต	คะแนนความเป็นไปได้ในการตรวจพบ(D)	คะแนนความรุนแรง/ผลกระทบ(S)
1. Mould	1 2 3 4 5 <u>(6)</u> 7 8 9 10	1 2 <u>(3)</u> 4 5 6 7 8 9 10
2. Body Powder	1 2 3 <u>(4)</u> 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 <u>(5)</u> 6 7 8 9 10
3. 2 nd Stroke Pressure	1 2 <u>(3)</u> 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 5 <u>(6)</u> 7 8 9 10
4. Feeder Setting	1 2 <u>(3)</u> 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 <u>(5)</u> 6 7 8 9 10
5. อุณหภูมิในการอบ	1 <u>(2)</u> 3 4 5 6 7 8 9 10	1 2 <u>(3)</u> 4 5 6 7 8 9 10
6. เวลาในการอบ	1 <u>(2)</u> 3 4 5 6 7 8 9 10	1 <u>(2)</u> 3 4 5 6 7 8 9 10
7. Suction Blower	1 <u>(2)</u> 3 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 <u>(4)</u> 5 6 7 8 9 10
8. Burner Modulation	1 <u>(2)</u> 3 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 <u>(5)</u> 6 7 8 9 10
9. Firing Temperature	1 <u>(2)</u> 3 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 5 6 <u>(7)</u> 8 9 10
10. เวลาในการเผา	1 2 <u>(3)</u> 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 <u>(5)</u> 6 7 8 9 10

☺ ขอขอบคุณที่สละเวลาในการให้ข้อมูลในครั้งนี้ ☺

ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ (ต่อ)
สรุปผลแบบสอบถามที่ใช้ในการวิจัย

➤ ผู้เชี่ยวชาญคนที่ 7

ข้อมูลส่วนตัวของผู้ตอบแบบสอบถาม

ตำแหน่ง... สว. แผนก ผลิต ... เพศ... ชาย ... อายุการทำงาน... 25 ปี

1. กรุณาเลือกคะแนนโดยวงกลมในช่องความเป็นไปได้ในการตรวจพบและความรุนแรง/ ผลกระทบ จากความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกระเบื้องบิสกิตและปัจจัยต่าง ๆ โดยอ้างอิงจากเกณฑ์ คะแนน ของตารางเกณฑ์การประเมินความเป็นไปได้ในการตรวจพบ (D) และเกณฑ์การประเมิน ความรุนแรง (S)

ปัจจัยที่น่าจะมีผลต่อขนาด กระเบื้องบิสกิต	คะแนนความเป็นไปได้ใน การตรวจพบ(D)	คะแนนความรุนแรง/ ผลกระทบ(S)
1. Mould	1 2 3 4 5 6 7 (8) 9 10	1 2 (3) 4 5 6 7 8 9 10
2. Body Powder	1 2 3 4 (5) 6 7 8 9 10	1 2 3 4 5 (6) 7 8 9 10
3. 2 nd Stroke Pressure	1 (2) 3 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 5 6 7 (8) 9 10
4. Feeder Setting	1 2 3 (4) 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 5 6 (7) 8 9 10
5. อุณหภูมิในการอบ	1 (2) 3 4 5 6 7 8 9 10	1 2 (3) 4 5 6 7 8 9 10
6. เวลาในการอบ	1 (2) 3 4 5 6 7 8 9 10	1 (2) 3 4 5 6 7 8 9 10
7. Suction Blower	1 2 3 (4) 5 6 7 8 9 10	1 2 3 (4) 5 6 7 8 9 10
8. Burner Modulation	1 (2) 3 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 5 6 (7) 8 9 10
9. Firing Temperature	1 (2) 3 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 5 (6) 7 8 9 10
10. เวลาในการเผา	1 2 (3) 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 (5) 6 7 8 9 10

⌚ ขอขอบคุณที่สละเวลาในการให้ข้อมูลในครั้งนี้ ⌚

ศูนย์วิทยุโทรพยากรณ์
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ (ต่อ)
สรุปผลแบบสอบถามที่ใช้ในการวิจัย

➤ ผู้เชี่ยวชาญคนที่ 8

ข้อมูลส่วนตัวของผู้ตอบแบบสอบถาม

ตำแหน่ง หัวหน้าแผนกผลิต 4 เพศ ชาย อายุการทำงาน 29 ปี

1. กรุณาเลือกคะแนนโดยวงกลมในช่องความเป็นไปได้ในการตรวจพบและความรุนแรง/ผลกระทบ จากความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกระเบื้องปิสกิตและปัจจัยต่าง ๆ โดยอ้างอิงจากเกณฑ์คะแนน ของตารางเกณฑ์การประเมินความเป็นไปได้ในการตรวจพบ (D) และเกณฑ์การประเมินความรุนแรง (S)

ปัจจัยที่น่าจะมีผลต่อขนาดกระเบื้องปิสกิต	คะแนนความเป็นไปได้ในการตรวจพบ(D)	คะแนนความรุนแรง/ผลกระทบ(S)
1. Mould	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
2. Body Powder	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
3. 2 nd Stroke Pressure	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
4. Feeder Setting	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
5. อุณหภูมิในการอบ	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
6. เวลาในการอบ	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
7. Suction Blower	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
8. Burner Modulation	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
9. Firing Temperature	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
10. เวลาในการเผา	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

☺ ขอขอบคุณที่สละเวลาในการให้ข้อมูลในครั้งนี้ ☺

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ

รายงานสรุปผลความถี่ในการเกิดผลกระทบจากปัจจัย

รายงานสรุปเวลาทั้งหมด
TIME ANALYSIS REPORT

LINE การผลิต : MF.4 APPROVED ศักดิ์จำ นวนนท์
(PRODUCTION LINE)

กรองข้อมูลของ : PH402, RK402 REPORTED คังเฟี จักร.
(FILTER)

ระหว่างวันที่ : 1/10/2551 – 31/3/2552
(PERIOD)

ลำดับ (Item)	ประเภทปัญหา (Loss Time)	รายละเอียด (Detail)	เวลาสูญเสีย (นาที) Loss Time (Min)	จำนวนครั้งที่พบ (Frequency)
1	อุณหภูมิช่วง Firing ตก	-	1,894	7
2	Pressure Air ที่ Burner ตก	-	1,530	7
3	แก้ปัญหาเรื่องการป้อนดินลงในโมลด์	-	628	3
4	อุณหภูมิในการอบตก	-	375	2
5	แก้ปัญหาเรื่อง Pressure	-	355	2
6	Speed ในการเผาตก	-	0	0
7	ปรับเวลาอบกระเบื้อง	-	0	0
8	เปลี่ยน Mould	-	0	0
9	Blower ที่เตาเสีย	-	0	0
10	ปรับความชื้นผงดิน	-	0	0

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ (ต่อ)

รายงานสรุปผลความถี่ในการเกิดผลกระทบจากปัจจัย

และที่มาของข้อมูลรายงานสรุปผลความถี่ในการเกิดผลกระทบจากปัจจัยสามารถแสดงได้

ดังนี้

ตัวอย่างที่ 1

รายงานปัญหาเครื่องจักรประจำวัน โรงงาน ...

งาน PH: 101 งาน GL: งาน RK: งาน SL:

กะ	เวลา		Lot No	Operator		Size	Input (ตารางเมตร)	Output (ตารางเมตร)	Waste		ปริมาณ Gas	ลงชื่อผู้ตรวจสอบ
	เริ่ม	เสร็จ		ชื่อ / เลขประจำตัว	ชื่อ				m ²	%		
1	05.25	08.15		1314	8x10	1000.2	1089	1.2	0.4%			
2	08.25	08.35		8534	8x10	1144.9	1144	0.9	0.02			
3	01.25	05.25		4091	8x10	1202.6	1201.2	1.2				

เวลาเริ่มหยุด	เวลาเริ่มเดิน	เวลาที่ใช้	ประเภท Down Time		สาเหตุ Down Time ให้ระบุ เครื่องจักรที่เสีย/สถานที่เสีย	การแก้ไข	ลงชื่อ พ. ช่อม
			ในแผน	นอกแผน			
11.00	11.20	20		10%	ท่อส่งลมเป่า Lot 20 ต้น - 10 ต้น 1/10		
-	-	-			ทง: เป่า 8/23 ต้น 16 Lot 2/10 50 ต้น		
-	-	-			lot 1/10 แลต ก่อน 90 ต้น มอสมท.		

หมายเหตุ ในช่องประเภท Down Time ให้ระบุหมายเลขรหัส และลงรายละเอียด

ภาคผนวก จ (ต่อ)

รายงานสรุปผลความถี่ในการเกิดผลกระทบจากปัจจัย

ตัวอย่างที่ 2

รายงานปัญหาเครื่องจักรประจำวัน โรงงาน

งาน PH.....งาน GL.....งาน RK.....งาน SL.....

กะ	เวลา		Lot No	Operator		Size	Input (ตารางเมตร)	Output (ตารางเมตร)	Waste		ปริมาณ Gas	ลงชื่อผู้ตรวจสอบ
	เริ่ม	เสร็จ		ชื่อ	เลขประจำตัว				m ²	%		
	05.25	13.25		อ.พ.	1314	8x10	1053.6	1052.4	1.2	99.88		สุวิมล
	13.25	21.25		อ.พ.	9594	8x10	955.5	954.6	0.9	99.90		สุวิมล
	21.25	05.25		อ.พ.	8x10	1107.7	1102.6	5.1	99.77		สุวิมล

กะ	เวลาเริ่มหยุด	เวลาเริ่มเดิน	เวลาที่ใช่	ประเภท Down Time		สาเหตุ Down Time ในระบบเครื่องจักรที่เสีย/สถานที่เสีย	การแก้ไข	ลงชื่อ พ. ช่อม
				ในแผน	นอกแผน			
2	01.30	01.25	55		310	พบข้อผิดพลาดทางเทคนิคไม่พิน (ตัวเดินรบกวน)	พ.ช.ช.	พ.ช.ช.
	01.25	02.00	35		310	ปริมาณความหนาแน่นไม่เหมาะสม	พ.ช.ช.	พ.ช.ช.
	04.10	04.20	10		064	ปัญหาทางเทคนิค	พ.ช.ช.	พ.ช.ช.

หมายเหตุ ในช่องประเภท Down Time ให้ระบุหมายเลขรหัส และลงรายละเอียด

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ (ต่อ)

รายงานสรุปผลความถี่ในการเกิดผลกระทบจากปัจจัย

ตัวอย่างที่ 3

กข	เวลา		Lot No	Operator ชื่อ / เลขประจำตัว	Size	Input (ตารางเมตร)	Output (ตารางเมตร)	Waste		ปริมาณ Gas	ลงชื่อผู้ ตรวจสอบ
	เริ่ม	เสร็จ						m ²	%		
1	08-28	13-28		สมิทธิ์ 1314	8x10	987.3	986.5	0.8	49.91		สมิทธิ์ สมิทธิ์
2	13-28	21-28		สมิทธิ์ 3199	8x10	1461.6	1460.7	0.9	99.93		
3	01.05.	06.05.		สมิทธิ์ 4091.	8x10.	1456.8	1454.4	1.8	99.87		

กข	เวลาเริ่ม หยุด	เวลาเริ่ม เดิน	เวลาที่ใช้	ประเภท Down Time		สาเหตุ Down Time ในระบุเครื่องจักรที่เสีย/สถานที่เสีย	การแก้ไข	ลงชื่อ พ. ชอบ
				ในแผน	นอกแผน			
1	08-09	10-10	190		157	แก๊สออกที่เครื่องจักร	จนไม่ทำงาน	สมิทธิ์
2	06-16	06-06	10		6%	ALP (39.2) หรือ จาน พวง. ดิน อีก 1 ไม่ใส่ดิน 39.2.	จนไม่ทำงาน. จนไม่ทำงาน. และปรับแก๊ส ตามวิธี ทด. o.k.	

หมายเหตุ ในช่องประเภท Down Time ให้ระบุสาเหตุที่เสีย และลงรายละเอียด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข
ใบตรวจสอบความชื้นในผงดิน

Lot-9/11
รายงานการใช้ผงดิน แผนกผลิ: 4

ตัวอย่างที่ 1

เวลา	8.00		12.00		16.00		20.00		24.00		4.00
SILO ผงดินที่ใช้	406.1406		406.1406		406.1406		406.1406		406.1406		406.1406
จำนวน GREEN TILE / STROKE (กรัม)	3560	3570	3576	3590	3564	3574	3567	3567	3581	3576	3576
% ความชื้น หลัง PRESS	PH.401	PH.402	PH.401	PH.402	PH.401	PH.402	PH.401	PH.402	PH.401	PH.402	PH.401
	5.80	5.72	5.90	5.96	6.04	5.94	6.00	6.09	5.94	5.96	5.92
\bar{X}	5.76		5.93		6.00		6.04		5.90		6.08
R	0.08		0.06		0.04		0.05		0.12		0.11

UCL 6.10

X CL 5.80

LCL 5.50

UCL 0.20

R-CHART CL 0.10

LCL 0.00

std. ความชื้นผงดิน

สูตรการคำนวณปริมาณการใช้ผงดิน = (จำนวน STROKE จำนวน X นน. GREEN TILE เฉลี่ยต่อ STROKE) X % ความชื้นเฉลี่ย X 1.04

(หน่วยเป็นตัน)

COUNTER RK 401

№ 1 START	STOP	STOP	STOP	m ²
0	1975	1161		
№ 2 START	STOP	STOP	STOP	m ²
0	216	1260.6		
№ 3 START	STOP	STOP	STOP	m ²
0	2050	12654		

COUNTER INPUT RK 401

№ 1 START	STOP	STOP	STOP	m ²
0	2164	2383.4		
№ 2 START	STOP	STOP	STOP	m ²
0	2054	2444.4		
№ 3 START	STOP	STOP	STOP	m ²
0	2196	2415.6		

COUNTER RK 402

№ 1 START	STOP	STOP	m ²
№ 2 START	STOP	STOP	m ²
№ 3 START	STOP	STOP	m ²

COUNTER INPUT RK 402

№ 1 START	STOP	STOP	m ²
№ 2 START	STOP	STOP	m ²
№ 3 START	STOP	STOP	m ²

ผู้รายงาน

№1

№2

№3

หัวหน้าหมวด

ระยะเวลาจัดเก็บ 3 เดือน

ภาคผนวก ข (ต่อ)
ใบตรวจสอบความชื้นในผงดิน

404+405 Lot 3/11, 401 Lot 5/11, รายการใช้ผงดิน แผนกผลิต 4

ตัวอย่างที่ 2

เวลา	8.00		12.00		16.00		20.00		24.00		4.00	
SILO ผงดินที่ใช้	404+405		401		404+405		404+405		404+405		404+405	
จำนวน GREEN TILE / STROKE (กรัม)	3570	3550	3563	3579	3481	3599	3584	3505	3620	3544	3590	3582
% ความชื้น หลัง PRESS	PH. 404	PH. 405	PH. 404	PH. 405	PH. 404	PH. 405	PH. 404	PH. 405	PH. 404	PH. 405	PH. 404	PH. 405
	5.88	5.80	6.00	6.04	5.60	5.69	5.90	6.81	5.87	5.95	5.69	5.97
\bar{X}	5.84		6.02		5.65		5.86		5.91		5.90	
R	0.08		0.04		0.09		0.09		0.12		0.25	

UCL: 6.10

CL: 5.80

LCL: 5.50

UCL: 0.20

CL: 0.10

LCL: 0.00

std. ความชื้นผงดิน =

หน่วยเป็นตัน

สูตรการคำนวณปริมาณการใช้ผงดิน = (จำนวน STROKE รวม X หน. GREEN TILE เฉลี่ยต่อ STROKE) X % ความชื้นเฉลี่ย X 1.04

100 / 1000 / 1000

COUNTER RK 401

นอ 1 START	0	STOP 485	STOP 291	m ²
นอ 2 START	0	STOP 842	STOP 608.2	m ²
นอ 3 START	0	STOP 1244	STOP 1197.4	m ²

COUNTER INPUT RK 401

นอ 1 START	0	STOP 668	STOP 729.3	m ²
นอ 2 START	0	STOP 1159	STOP 1244.9	m ²
นอ 3 START	0	STOP 2086	STOP 2293.9	m ²

ผู้รายงาน นอ 1 นอ 2

COUNTER RK 402

นอ 1 START	0	STOP 1460	STOP 816	m ²
นอ 2 START	0	STOP 1106	STOP 668.6	m ²
นอ 3 START	0	STOP	STOP	m ²

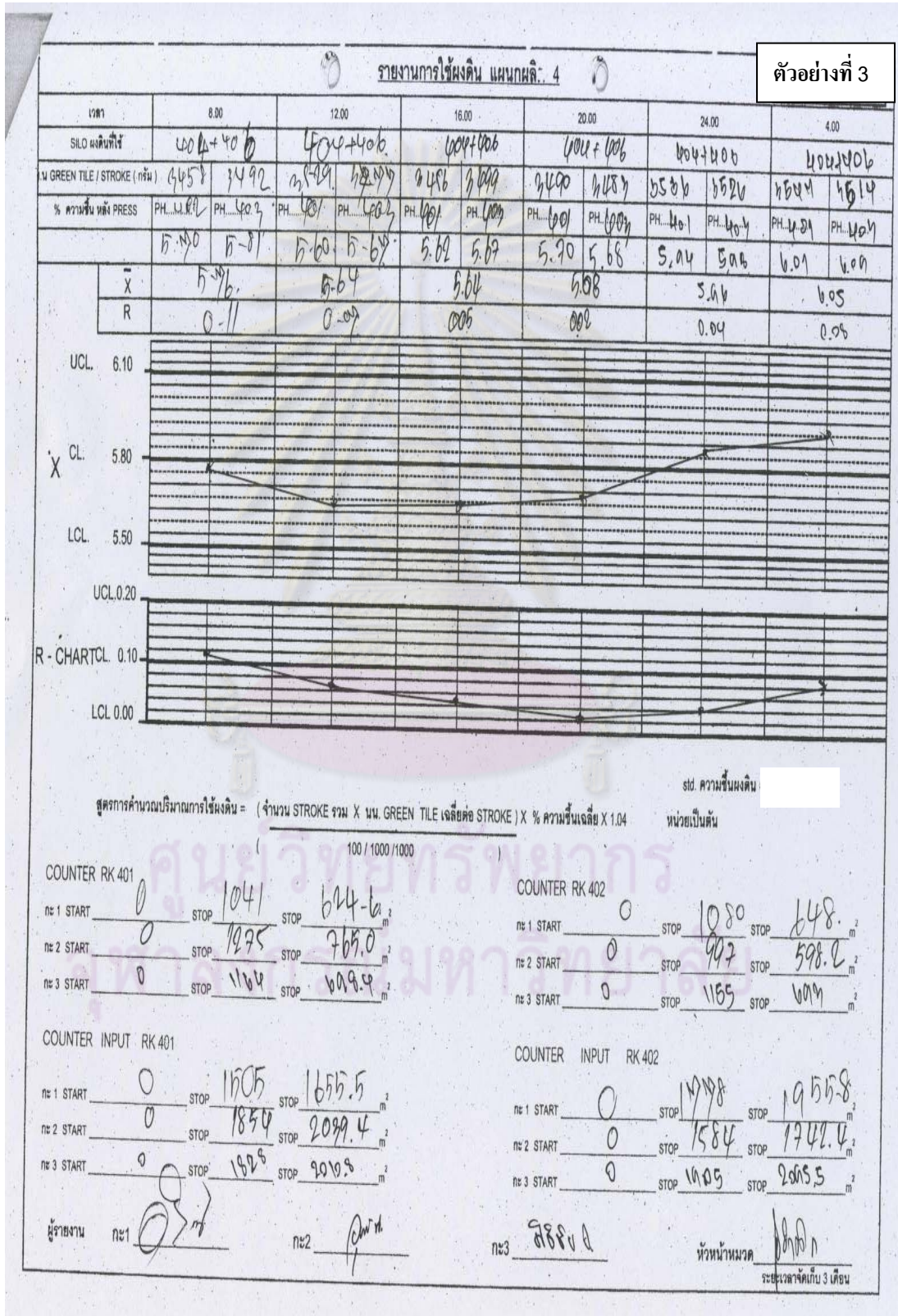
COUNTER INPUT RK 402

นอ 1 START	0	STOP 1976	STOP 2129.6	m ²
นอ 2 START	0	STOP 1474	STOP 1576.3	m ²
นอ 3 START	0	STOP	STOP	m ²

นอ 3 หัวหน้าหมวด

ระยะเวลาจัดเก็บ 3 เดือน

ภาคผนวก ข (ต่อ)
 ใ้บตรว้จสอบคว้ามช้ันในผงดิน



ภาคผนวก ช

การออกแบบการทดลองแบบ 2^{k-p} Fraction Factorial Design

Fractional Factorial Design

Factors: 4 Base Design: 4, 8 Resolution: IV

Runs: 8 Replicates: 1 Fraction: 1/2

Blocks: 1 Center pts (total): 0

Design Generators: D = ABC

Alias Structure

I + ABCD

A + BCD

B + ACD

C + ABD

D + ABC

AB + CD

AC + BD

AD + BC

Design Table (randomized)

Run	A	B	C	D
1	-	-	-	-
2	+	+	-	-
3	+	-	+	-
4	-	+	-	+
5	-	-	+	+
6	+	+	+	+
7	+	-	-	+
8	-	+	+	-

ภาคผนวก ฅ

ตารางผลการทดลองแบบ 2^{k-p} Fraction Factorial Design

ตารางเก็บข้อมูลการทดลอง (P2-402)

23/08/2008

ทดลองครั้งที่	ปัจจัยและค่าที่เกี่ยวข้อง				ผลการวัด Size(1:4เท่ากับด้าน 10, 2:3เท่ากับด้าน 8)		
	Feeder Setting (%)	Burnner Modulation (mmH2O)	2nd Strok Pressure (Bar)	Firing Temp (C)	สัญลักษณ์	ด้าน	ค่าวัด(mm)
1	75	40	200	1130		1	248.56
						2	198.72
						3	199.02
						4	248.74
2	85	60	200	1130		1	248.76
						2	198.92
						3	199.22
						4	248.80
3	85	40	240	1130		1	248.88
						2	199.02
						3	199.30
						4	248.96
4	75	60	200	1140		1	248.12
						2	198.46
						3	198.78
						4	248.40
5	75	40	240	1140		1	248.20
						2	198.64
						3	198.92
						4	248.62
6	85	60	240	1140		1	248.34
						2	198.72
						3	199.10
						4	248.64
7	85	40	200	1140		1	248.12
						2	198.60
						3	199.02
						4	248.58
8	75	60	240	1130		1	248.70
						2	199.02
						3	199.34
						4	249.00

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ญ

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนของการทดลองเบื้องต้นสำหรับขนาดกระเบื้อง

ด้าน 8 นิ้ว

Factorial Fit: Y(8") versus A, B, C, D

Estimated Effects and Coefficients for Y(8") (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		198.925	0.01750	11367.14	0.000
A	0.125	0.062	0.01750	3.57	0.174
B	0.040	0.020	0.01750	1.14	0.458
C	0.165	0.082	0.01750	4.71	0.133
D	-0.290	-0.145	0.01750	-8.29	0.076
A*C	-0.070	-0.035	0.01750	-2.00	0.295
B*C	0.035	0.018	0.01750	1.00	0.500

S = 0.0494975 PRESS = 0.1568
 R-Sq = 99.10% R-Sq(pred) = 42.31% R-Sq(adj) = 93.69%

Analysis of Variance for Y(8")(coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	4	0.257100	0.257100	0.064275	26.23	0.145
2-Way Interactions	2	0.012250	0.012250	0.006125	2.50	0.408
Residual Error	1	0.002450	0.002450	0.002450		
Total	7	0.271800				

ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ญ (ต่อ)

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนของการทดลองเบื้องต้นสำหรับขนาดกระเบื้อง

ด้าน 10 นิ้ว

Factorial Fit: Y(10") versus A, B, C, D

Estimated Effects and Coefficients for Y(10") (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		248.589	0.003750	66290.33	0.000
A	0.093	0.046	0.003750	12.33	0.052
B	0.013	0.006	0.003750	1.67	0.344
C	0.157	0.079	0.003750	21.00	0.030
D	-0.422	-0.211	0.003750	-56.33	0.011
A*B	-0.013	-0.006	0.003750	-1.67	0.344
A*C	-0.017	-0.009	0.003750	-2.33	0.258

S = 0.0106066 PRESS = 0.00720000
 R-Sq = 99.97% R-Sq(pred) = 98.31% R-Sq(adj) = 99.81%

Analysis of Variance for Y(10") (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	4	0.424050	0.424050	0.106012	942.33	0.024
2-Way Interactions	2	0.000925	0.000925	0.000462	4.11	0.329
Residual Error	1	0.000113	0.000113	0.000113		
Total	7	0.425087				

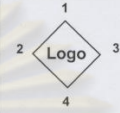
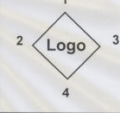
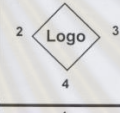
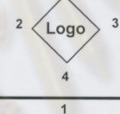
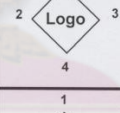
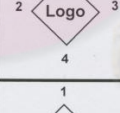
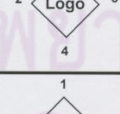
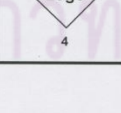
ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ตารางผลการทดลองแบบ 2^k Factorial Design

ตารางเก็บข้อมูลการทดลอง (PL-402)

๒๘/๑๑/๒๐๐๘

ทดลองครั้งที่	ปัจจัยและค่าที่เกี่ยวข้อง			ผลการวัด Size(1:4เท่ากับด้าน 10, 2:3เท่ากับด้าน 8)		
	Feeder Setting (%)	2nd Strok Pressure (Bar)	Firing Temp (C)	สัญลักษณ์	ด้าน	ค่าวัด(mm)
1	85	1130	240		1	248.72
					2	198.78
					3	199.16
					4	248.72
2	85	1130	200		1	248.50
					2	198.80
					3	199.10
					4	248.62
3	75	1140	200		1	248.26
					2	198.42
					3	198.94
					4	248.16
4	75	1140	240		1	248.38
					2	198.60
					3	198.84
					4	248.32
5	85	1140	240		1	248.38
					2	198.54
					3	199.02
					4	248.42
6	85	1140	200		1	248.22
					2	198.32
					3	198.84
					4	248.14
7	75	1130	240		1	248.74
					2	198.90
					3	199.16
					4	248.78
8	75	1130	200		1	248.64
					2	198.80
					3	198.90
					4	248.56

ภาคผนวก ก

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนของการทดลองสำหรับขนาดกระเบื้องบิสกิต

ด้าน 8 นิ้ว

Factorial Fit: Y(8") versus A, C, D

Estimated Effects and Coefficients for Y(8") (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		198.808	0.002500	79523.00	0.000
A	0.025	0.013	0.002500	5.00	0.126
C	0.135	0.067	0.002500	27.00	0.024
D	-0.285	-0.142	0.002500	-57.00	0.011
A*C	-0.025	-0.013	0.002500	-5.00	0.126
C*D	0.035	0.017	0.002500	7.00	0.090
A*C*D	0.055	0.028	0.002500	11.00	0.058

S = 0.00707107 PRESS = 0.00320000
R-Sq = 99.98% R-Sq(pred) = 98.48% R-Sq(adj) = 99.83%

Analysis of Variance for Y(8") (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	0.200150	0.200150	0.0667167	1334.33	0.020
2-Way Interactions	2	0.003700	0.003700	0.0018500	37.00	0.115
3-Way Interactions	1	0.006050	0.006050	0.0060500	121.00	0.058
Residual Error	1	0.000050	0.000050	0.0000500		
Total	7	0.209950				

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก (ต่อ)

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนของการทดลองสำหรับขนาดกระเบื้องบิสกิต

ด้าน 10 นิ้ว

Factorial Fit: Y(10") versus A, C, D

Estimated Effects and Coefficients for Y(10") (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		248.473	0.005000	49694.50	0.000
A	-0.015	-0.008	0.005000	-1.50	0.374
C	0.170	0.085	0.005000	17.00	0.037
D	-0.375	-0.187	0.005000	-37.50	0.017
A*C	0.020	0.010	0.005000	2.00	0.295
A*D	0.025	0.013	0.005000	2.50	0.242
A*C*D	0.020	0.010	0.005000	2.00	0.295

S = 0.0141421 PRESS = 0.0128000
 R-Sq = 99.94% R-Sq(pred) = 96.26% R-Sq(adj) = 99.59%

Analysis of Variance for Y(10") (coded units)

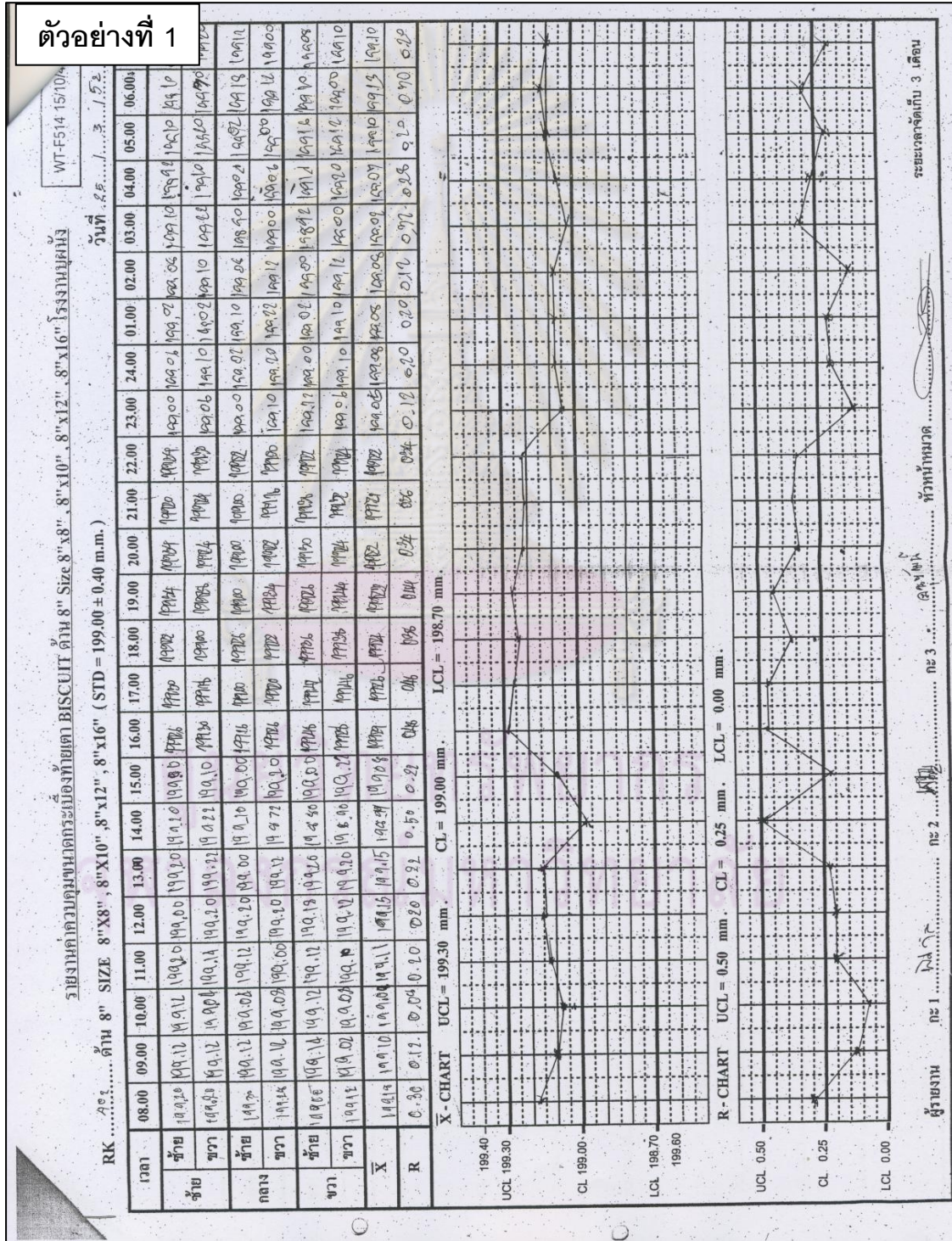
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	0.339500	0.339500	0.113167	565.83	0.031
2-Way Interactions	2	0.002050	0.002050	0.001025	5.13	0.298
3-Way Interactions	1	0.000800	0.000800	0.000800	4.00	0.295
Residual Error	1	0.000200	0.000200	0.000200		
Total	7	0.342550				

ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ^{รูป} ๘

ข้อมูลแสดงรายงานค่าขนาดกระเบื้องบิสกิต หลังปรับปรุง

ด้าน 8 นิ้ว

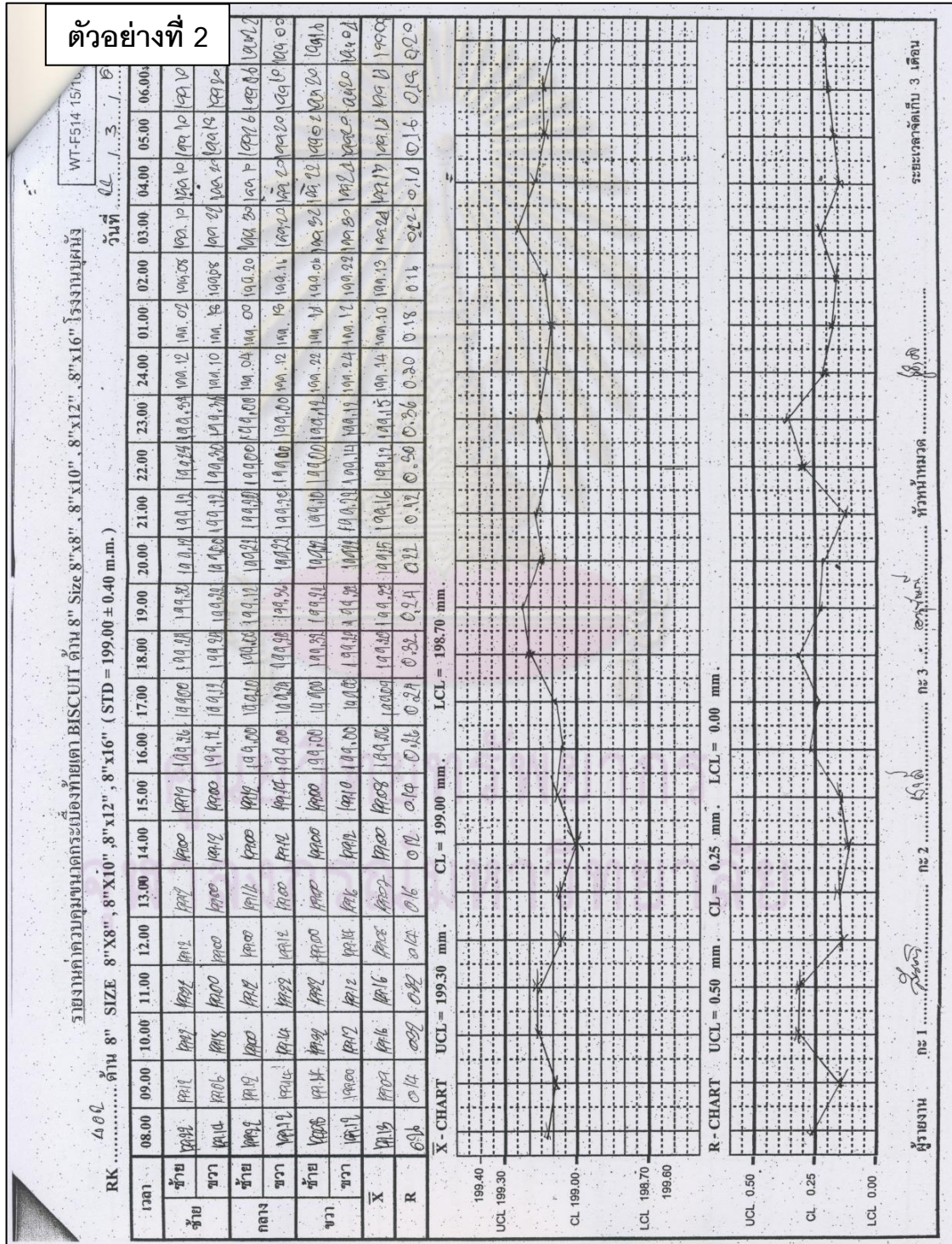


ภาคผนวก ฐ (ต่อ)

ข้อมูลแสดงรายงานค่าขนาดกระเบื้องบิสกิต หลังปรับปรุง

ด้าน 8 นิ้ว

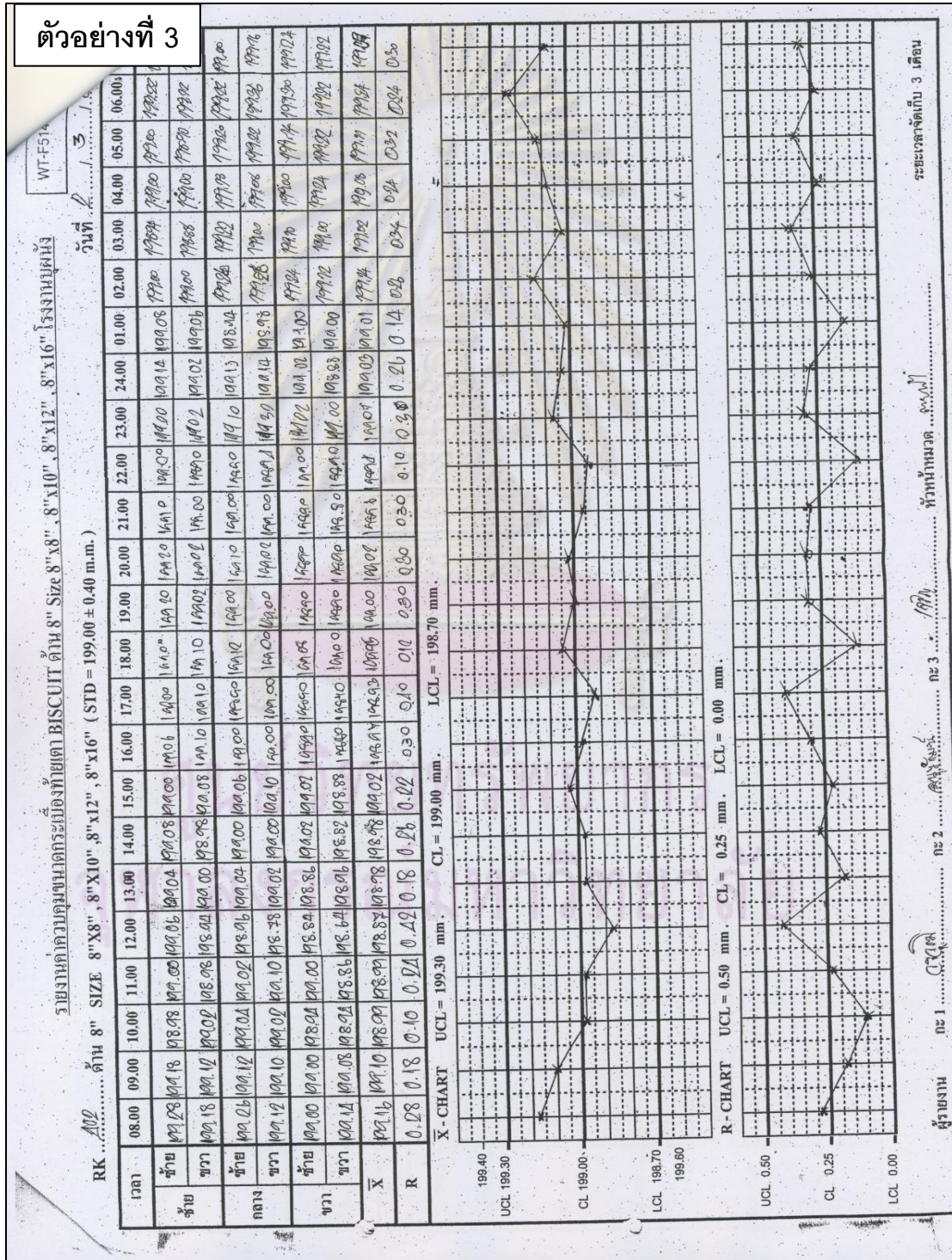
ตัวอย่างที่ 2



ภาคผนวก ฐ (ต่อ)

ข้อมูลแสดงรายงานค่าขนาดกระเบื้องบิสกิต หลังปรับปรุง

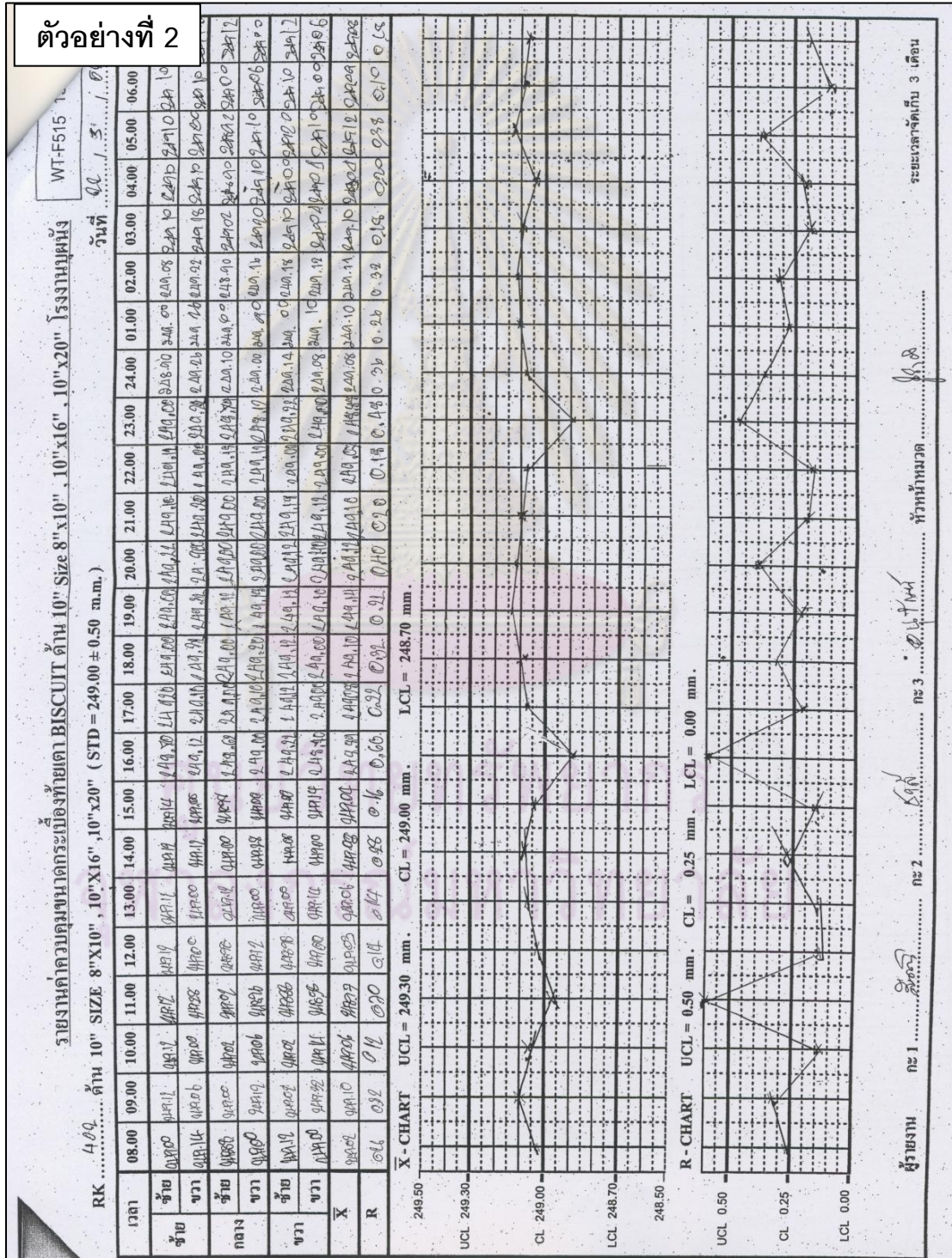
ด้าน 8 นิ้ว



ภาคผนวก ฐ (ต่อ)

ข้อมูลแสดงรายงานค่าขนาดกระเบื้องบิสกิต หลังปรับปรุง

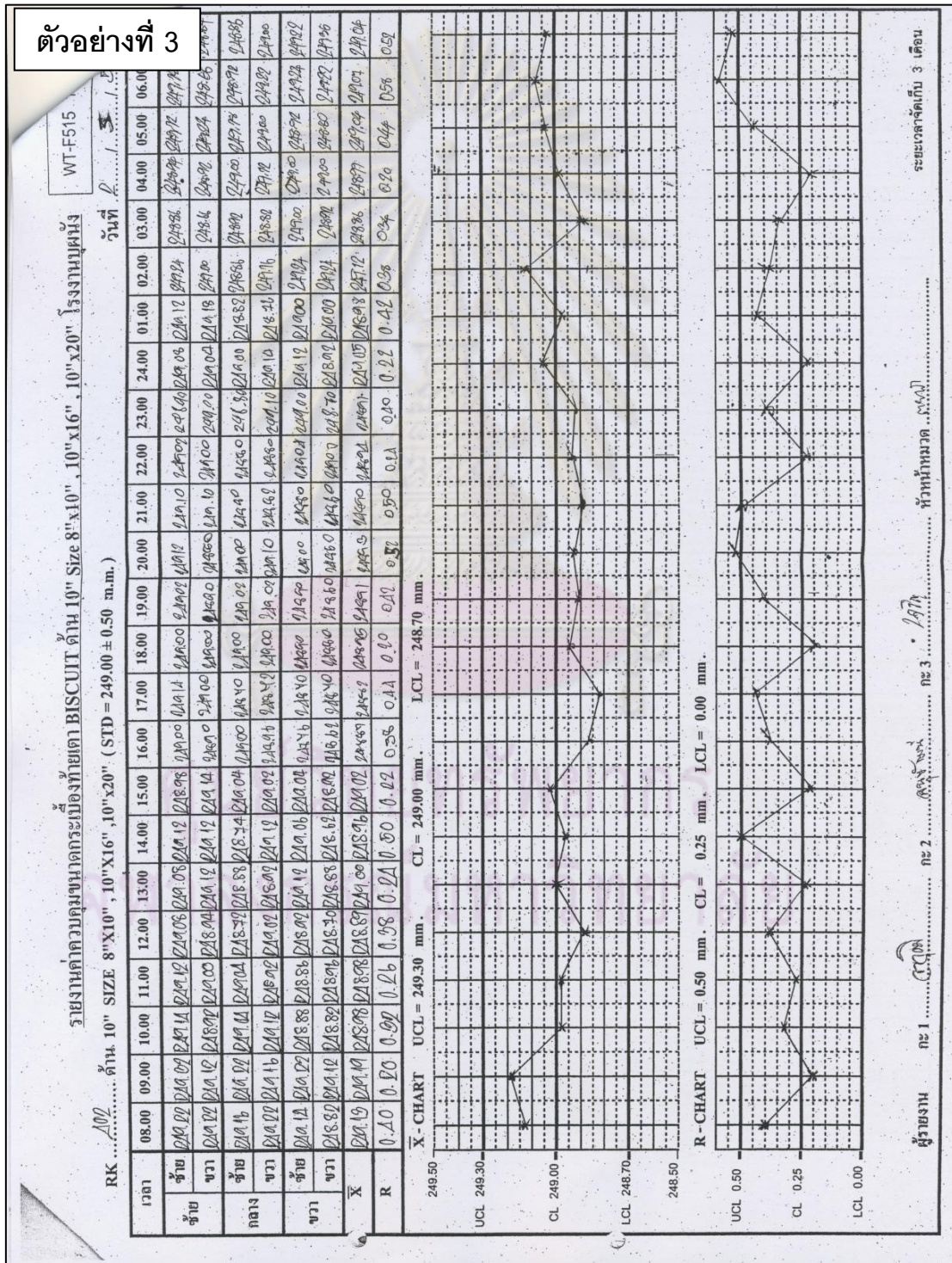
ด้าน 10 นิ้ว



ภาคผนวก ฐ (ต่อ)

ข้อมูลแสดงรายงานค่าขนาดกระเบื้องบิสกิต หลังปรับปรุง

ด้าน 10 นิ้ว



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายธีรยุทธ์ ยกชีว เกิดเมื่อวันที่ 21 สิงหาคม พ.ศ. 2526 ที่จังหวัดตรัง สำเร็จการศึกษา ระดับปริญญาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีการศึกษา 2548 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2550 ปัจจุบันทำงานตำแหน่งวิศวกรระบบบริหารงานคุณภาพและTQM โรงงานผลิตกระเบื้องเซรามิกส์



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย