



การลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติของเตาอบเหล็กที่ร้อนระหว่างช่วงการอุ่นเตาเพื่อหยุด
บำรุงรักษาเชิงป้องกันโดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง



โดย
นายชิษณุ ธาราอุดมทรัพย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 2 ปริญญามหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและการจัดการ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2562

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติของเตาอบเหล็กรีดร้อนระหว่างช่วงการอุ่น
เตาเพื่อหยุดบำรุงรักษาเชิงป้องกันโดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 2 ปริญญามหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและการจัดการ
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

THE REDUCTION OF USING NATURAL GAS OF REHEATING STEEL FURNACE
DURING THE PREHEATING STAGE IN ORDER TO PREVENTIVE MAINTENANCE
BY APPLYING DESIGN OF EXPERIMENT



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for Master of Engineering (ENGINEERING MANAGEMENT)
Department of INDUSTRIAL ENGINEERING AND MANAGEMENT
Graduate School, Silpakorn University
Academic Year 2019
Copyright of Graduate School, Silpakorn University

หัวข้อ การลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติของเตาอบเหล็กรีดร้อนระหว่างช่วงการอุ่นเตาเพื่อหยุดบำรุงรักษาเชิงป้องกันโดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง

โดย ชิชฌู ธาราอุดมทรัพย์

สาขาวิชา การจัดการงานวิศวกรรม แผนก ก แบบ ก 2 ปริญญามหาบัณฑิต

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. คณศ พันธุ์สวาสดี

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

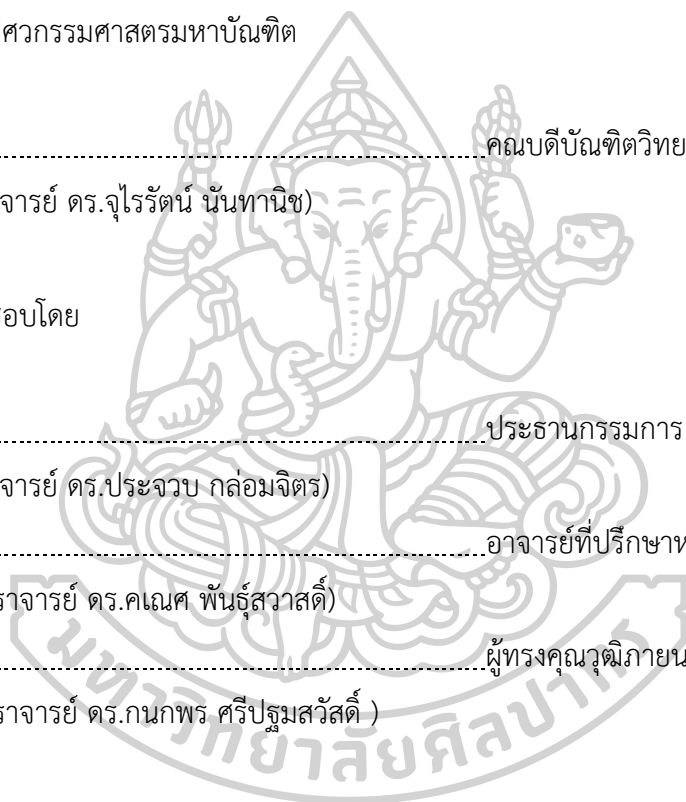
..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.จุไรรัตน์ นันทานิช)

พิจารณาเห็นชอบโดย

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประจวบ กล่อมจิตร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คณศ พันธุ์สวาสดี)

..... ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กนกพร ศรีปฐมสวัสดิ์)



59405302 : การจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 2 ปริญญามหาบัณฑิต

คำสำคัญ : เตอบเหล็ก, การอุ่นเตา, ก๊าซธรรมชาติ, การออกแบบการทดลอง

นาย ชัชฎ ธาราอุดมทรัพย์: การลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติของเตอบเหล็กรีดร้อนระหว่างช่วงการอุ่นเตาเพื่อหยุดบำรุงรักษาเชิงป้องกันโดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. คณศ พันธุ์สวัสดิ์

ปัจจุบันบริษัทต้องเสียค่าใช้จ่ายในการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติของเตอบเหล็กรีดร้อนระหว่างช่วงการอุ่นเตาเพื่อหยุดบำรุงรักษาเชิงป้องกันซึ่งมีค่าใช้จ่ายจำนวนมากในแต่ละเดือน ผู้วิจัยจึงได้ดำเนินงานวิจัยเพื่อศึกษาการลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติของเตอบเหล็กรีดร้อนโดยนำโดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง เชิงแฟคทอเรียล 3^k ในการออกแบบการทดลองซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการควบคุมการทำงานของเตอบเหล็กประกอบด้วย 4 ปัจจัยหลักได้แก่ อุณหภูมิ, อัตราส่วนอากาศ (air):ก๊าซธรรมชาติ (NG) และความดันภายในเตอบเหล็ก โดยทำการสุ่มการทดลองโดยไซโปรแกรม Minitab และทำการทดลองซ้ำแบบละ 2 ครั้ง จำนวนผลการทดลองรวมทั้งสิ้น 54 การทดลอง ผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงสถิติ ผลการวิจัยพบว่าในช่วงที่มีการหยุดบำรุงรักษาเชิงป้องกัน การปรับเปลี่ยนวิธีการทำงานจากดับเตาเปลี่ยนเป็นอุ่นเตา สามารถลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติลงได้ โดยผลที่ได้จากการทดลองพบว่าระดับปัจจัยในการปรับตั้งค่าการทำงานของเตอบเหล็กที่เหมาะสม ระหว่างช่วงที่มีการอุ่นเตาเพื่อหยุดบำรุงรักษาเชิงป้องกัน คือ อุณหภูมิ 600°C , อัตราส่วนอากาศ (Nm^3):ก๊าซธรรมชาติ (Nm^3) 1.05 และความดันภายในเตอบเหล็ก 2.7 บาร์ ซึ่งสามารถที่จะช่วยลดปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติลงได้มากที่สุดที่ $1,506 \text{ Nm}^3/\text{ครั้ง}$ และคิดเป็นค่าใช้จ่ายที่สามารถลดต้นทุนลงได้เท่ากับ 18,072 บาท/ครั้ง

59405302 : Major (ENGINEERING MANAGEMENT)

Keyword : Reheating Furnace, Preheating, Natural Gas, Design of Experiment

MR. CHITSANU TARAUDOMSAB : THE REDUCTION OF USING NATURAL GAS OF REHEATING STEEL FURNACE DURING THE PREHEATING STAGE IN ORDER TO PREVENTIVE MAINTENANCE BY APPLYING DESIGN OF EXPERIMENT THESIS ADVISOR : ASSISTANT PROFESSOR KANATE PANSAWAT, Ph.D.

At present, the company has to pay the cost of using natural gas of reheating steel furnace during the preheating stage in order to operate the preventive maintenance, which has a large amount of expenses each month. Therefore, this research aimed to study the reduction of using amount of natural gas fuel consumption of reheating steel furnace by using the principle of 3^k factorial in experimental design. The analysis result has found four main factors, which affected the controlling of steel furnace consist of temperature, ratio of air: natural gas and pressure in the steel furnace. This experiment has been randomized by using program Minitab and repeated experiment in two times. Therefore, the total number of the experiments was 54 experiments. In addition, the researcher has been collected the data and analyzed experimental results as statistical. The research has found that during the preventive maintenance period by changing the working method from turning off the steel furnace into preheating steel furnace could be reduced the natural gas fuel consumption. The result of the experiment showed that the proper level of setting factors during the preheating stage in order to operate the preventive maintenance was set at 600°C, ratio of air: natural gas at 1.05 and pressure in the steel furnace at 2.7 bar. From the result of this experiment, it could be reduced amount of natural gas fuel consumption up to 1,506 Nm³/time and reduced cost up to 18,072 baht/time.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์นั้น ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คณิศ พันธุ์สวัสดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้สละเวลาอันมีค่าเพื่อเป็นที่ปรึกษาในการจัดทำงานวิจัยช่วยให้คำแนะนำ แก้ไข ปรับปรุง และให้ความคิดเห็นที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ตลอดเวลาตั้งแต่ต้นจนงานวิจัยฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ ขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ประจวบ กล่อมจิตร ประธานกรรมการสอบ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กนกพร ศรีปฐมสวัสดิ์ กรรมการสอบ ที่ได้ให้ความกรุณาในการให้ข้อเสนอแนะ และแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ของงานวิจัย รวมทั้งสละเวลาในการเป็นกรรมการสอบในครั้งนี้

ขอขอบคุณผู้ให้ข้อมูลทุกท่านที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์ในการให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการผลิตการรีดเหล็กร้อนซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญในการจัดทำงานวิจัยฉบับนี้ ขอขอบพระคุณแบบมอบความดีทั้งหมดให้แก่บิดา มารดา ครู อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน ตลอดจนขอบแต่ผู้ที่ให้ความรัก ให้กำลังใจ ให้ความหวังใย และให้การสนับสนุนเป็นอย่างดีมาโดยตลอดจนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอให้งานวิจัยนี้ได้เป็นประโยชน์ในการเป็นข้อมูลและเป็นแนวทางสำหรับผู้ปฏิบัติงานเกี่ยวกับกระบวนการผลิตการรีดเหล็กร้อนในการปรับปรุงกระบวนการผลิต และลดค่าใช้จ่ายในการผลิตอย่างมีประสิทธิภาพตลอดจนจะเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจจะศึกษาค้นคว้าต่อไป หากงานวิจัยในครั้งนี้ขาดตกบกพร่องหรือไม่สมบูรณ์ประการใด ผู้วิจัยขออภัยมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ชัชฎา ธาราดุชมทรัพย์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	3
1.3 สมมติฐานการวิจัย.....	3
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ.....	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.7 แผนการดำเนินงาน.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 คุณภาพ.....	5
2.1.1 ความสำคัญของคุณภาพ.....	5
2.1.2 การพัฒนาคุณภาพ.....	6
2.2 ขั้นตอนในการควบคุมคุณภาพ.....	7
2.2.1 ขั้นตอนการกำหนดนโยบาย.....	7
2.2.2 ขั้นตอนการออกแบบผลิตภัณฑ์.....	7

2.2.3	ขั้นตอนการควบคุมคุณภาพของการผลิต	7
2.2.4	ขั้นการจำหน่าย	7
2.3	เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด.....	7
2.3.1	แผ่นตรวจสอบ (Check Sheet)	8
2.3.2	แผนผังพาเรโต (Pareto Diagram).....	11
2.3.3	กราฟ (Graph).....	11
2.3.4	แผนผังแสดงเหตุและผล (Cause & Effect Diagram)	12
2.3.5	แผนผังการกระจาย (Scatter Diagram)	13
2.3.6	แผนภูมิควบคุม (Control Chart).....	15
2.3.7	ฮิสโตแกรม (Histogram).....	16
2.4	ทฤษฎีกระบวนการผลิต	17
2.4.1	ความหมายของกระบวนการผลิต.....	17
2.4.2	องค์ประกอบของกระบวนการผลิต	18
2.5	การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance; PM).....	18
2.5.1	ประโยชน์หรือผลสำเร็จของการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน.....	18
2.5.2	การแบ่งลักษณะของการบำรุงรักษา	19
2.5.3	องค์ประกอบของการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน.....	19
2.6	เตาเผาอุตสาหกรรม	19
2.6.1	ประเภทเตาเผาอุตสาหกรรม.....	19
2.6.2	เตาอบเหล็กชนิด Reheating Furnace.....	23
2.6.3	การใช้พลังงานสำหรับเตาอุตสาหกรรม.....	24
2.6.4	ส่วนควบคุมการทำงานเตาเผา	24
2.7	การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment; DOE).....	25
2.7.1	ความหมายของการออกแบบการทดลอง	25

2.7.2	วัตถุประสงค์ของการออกแบบการทดลอง	26
2.7.3	หลักการพื้นฐานในการวางแผนแบบการทดลอง	27
2.7.4	การออกแบบการทดลองเชิงแพคทอเรียล	30
2.7.5	แนวทางในการใช้เครื่องมือการออกแบบการทดลอง	38
2.8	การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing)	40
2.8.1	การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing)	40
2.8.2	สมมติฐานทางสถิติ (Statistical Hypothesis)	41
2.8.3	ค่าระดับนัยสำคัญ (Level of Significance)	43
2.8.4	P-Value	44
2.9	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	46
2.9.1	งานวิจัยในประเทศ	46
2.9.2	งานวิจัยต่างประเทศ	50
บทที่ 3	วิธีการดำเนินงาน	51
3.1	ศึกษาปัญหาและหาแนวทางการแก้ไข	53
3.1.1	ศึกษาขั้นตอนการทำงานของเตาอบเหล็กช่วงหยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (12 ชั่วโมง) ในอดีตและปัจจุบัน	53
3.1.2	เก็บรวบรวมข้อมูลและเปรียบเทียบปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติในกระบวนการอบเหล็กช่วงที่หยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (12 ชั่วโมง) ระหว่างวิธีการดับเตาและอุ่นเตา	55
3.1.3	วิเคราะห์ข้อมูลหาปัจจัยที่เกี่ยวข้องที่ส่งผลต่อการควบคุมการทำงานของเตาอบเหล็กช่วงที่หยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (12 ชั่วโมง) ในอดีตและปัจจุบัน	57
3.2	การกำหนดปัจจัย	59
3.3	การออกแบบวิธีการทดลอง	60
3.3.1	อุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลอง	64
3.3.2	ข้อกำหนดในการทดลอง	64

3.4 ทดลองและเก็บผลการทดลอง.....	66
3.5 การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง.....	68
3.5.1 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบทดลอง.....	68
3.5.2 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ.....	69
3.5.3 การวิเคราะห์อิทธิพลหลัก (Main Effects) ที่มีผลต่อการใช้ก๊าซธรรมชาติในการอุ่นเตา	69
3.5.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงแพคทอเรียลแบบ 3 ระดับ.....	69
3.5.5 การวิเคราะห์อิทธิพลร่วม 2 ปัจจัย (Interaction Effect).....	69
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการวิเคราะห์.....	70
4.1 ข้อมูลผลการทดลอง.....	70
4.2.1 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบทดลอง.....	72
4.2.2 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ.....	74
4.2.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA).....	75
4.3 ผลการวิจัยและอภิปรายผล.....	76
4.4 ผลการติดตามการวิจัย.....	78
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	79
5.1 สรุปและอภิปรายผลการทดลอง.....	79
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	80
รายการอ้างอิง.....	81
ประวัติผู้เขียน.....	85

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติในกระบวนการอบเหล็กของบริษัทรีดเหล็กก้อน แห่งหนึ่งในจังหวัดระยองย้อนหลัง 5 ปี (ปี 2556-2560).....	1
ตารางที่ 1.2 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติในกระบวนการอบเหล็กช่วงหยุดบำรุงรักษา เสิ้ง ป้องกัน 12 ชั่วโมง ด้วยวิธีการดับเตา	2
ตารางที่ 2.1 ประเภทของแผ่นตรวจสอบ.....	9
ตารางที่ 2.2 อุณหภูมิในเตาอุตสาหกรรม.....	24
ตารางที่ 2.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับการวางแผนแบบ 2^k แฟคทอเรียล.....	34
ตารางที่ 2.4 รูปแบบของการออกแบบการทดลองที่นิยมใช้.....	37
ตารางที่ 2.5 ความคลาดเคลื่อนในการตัดสินใจ.....	43
ตารางที่ 3.1 การปรับตั้งค่าปัจจัยในการควบคุมการทำงานของเตาอบเหล็กช่วงหยุดซ่อมบำรุงรักษา เชิงป้องกัน (12 ชั่วโมง) ด้วยวิธีดับเตา.....	53
ตารางที่ 3.2 การปรับตั้งค่าปัจจัยในการควบคุมการทำงานของเตาอบเหล็กช่วงหยุดซ่อมบำรุงรักษา เชิงป้องกัน (12 ชั่วโมง) ด้วยวิธีอุ่นเตา.....	54
ตารางที่ 3.3 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติในกระบวนการอบเหล็กโดยเปรียบเทียบระหว่าง วิธีการดับเตาและวิธีการอุ่นเตา.....	55
ตารางที่ 3.4 การพิจารณาความเป็นไปได้ของการกำหนดปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง.....	59
ตารางที่ 3.5 การปรับตั้งค่าควบคุมการทำงานของเตาอบเหล็กช่วงหยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (12 ชั่วโมง) เดิม.....	60
ตารางที่ 3.6 รูปแบบของการออกแบบการทดลองที่นิยมใช้.....	60
ตารางที่ 3.7 การออกแบบการทดลอง 3-Level Full Factorial Design ด้วยวิธีการอุ่นเตาช่วงหยุด ซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน 12 ชั่วโมง	61
ตารางที่ 3.8 การกำหนดแบบทดลองโดยใช้ 3-Level Full Factorial Design.....	62
ตารางที่ 3.9 การสุ่มลำดับก่อนหลังการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab Release 16.....	65

ตารางที่ 4.1 ผลบันทึกปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติในกระบวนการอบเหล็กโดยวิธีการอุ่นเตาช่วงหยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน	71
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการวิเคราะห์หาระดับปัจจัย	77
ตารางที่ 4.3 ผลบันทึกปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติในกระบวนการอบเหล็กโดยวิธีการอุ่นเตาช่วงหยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน	78



สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1.1 ปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติในกระบวนการรีดเหล็กร้อนของบริษัทแห่งหนึ่ง ในจังหวัด ระยอง	1
ภาพที่ 1.2 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติและต้นทุนค่าใช้จ่ายในกระบวนการอบเหล็ก ช่วง หยุดบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (ระยะเวลา 1 ปี)	3
ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของแผนผังสาเหตุและผล	12
ภาพที่ 2.2 การกำหนดปัจจัยบนก้างปลา	13
ภาพที่ 2.3 แผนผังการกระจาย (Scatter Diagram)	15
ภาพที่ 2.4 Variable Control Chart	15
ภาพที่ 2.5 ฮิสโตแกรม (Histogram)	16
ภาพที่ 2.6 เตาเหนียวแบบไม่มีแกน	20
ภาพที่ 2.7 เตาเหนียวแบบช่อง	20
ภาพที่ 2.8 เตาอาร์คไฟฟ้าทางตรง	21
ภาพที่ 2.9 เตาเข้า	21
ภาพที่ 2.10 เตาควิปอลา	22
ภาพที่ 2.11 เตาสะท้อนความร้อน	23
ภาพที่ 2.12 เตาอบเหล็ก (Reheating Furnace)	23
ภาพที่ 2.13 ระบบควบคุมการทำงานในเตาเผา	25
ภาพที่ 2.14 หลักการออกแบบ DOE	26
ภาพที่ 2.15 ปฏิสัมพันธ์ของ AB ไม่มีเกิดขึ้น	31
ภาพที่ 2.16 ปฏิสัมพันธ์ของ AB มีเกิดขึ้นซึ่งเกิดจากขนาดของการตอบสนองต่างกันเมื่อเปลี่ยนระดับ ของอีกปัจจัยหนึ่ง	31
ภาพที่ 2.17 ปฏิสัมพันธ์ของ AB มีเกิดขึ้นซึ่งเกิดจากความแตกต่างในทิศทางของการตอบสนอง	32

ภาพที่ 2.18 การจัดกลุ่มของทรีทเมนต์ในการวางแผนแบบ 3^2 แฟคทอเรียล.....	36
ภาพที่ 2.19 การจัดกลุ่มของทรีทเมนต์ในการวางแผนแบบ 3^3 แฟคทอเรียล.....	37
ภาพที่ 2.20 แผนภูมิพาเรโต.....	38
ภาพที่ 2.21 Availble Factorial Designs	39
ภาพที่ 2.22 การทำซ้ำการทดลอง (Replicate).....	40
ภาพที่ 2.23 การทดสอบสมมติฐานแบบทางเดียว (One - tailed Test).....	42
ภาพที่ 2.24 การทดสอบสมมติฐานแบบสองทาง (Two - tailed Test).....	42
ภาพที่ 2.25 ค่า P-value กรณีการทดสอบมากกว่า (Upper-tailed Test).....	44
ภาพที่ 2.26 ค่า P-value กรณีการทดสอบน้อยกว่า (Lower-tailed Test).....	45
ภาพที่ 2.27 ค่า P-value กรณีการทดสอบไม่เท่ากับ (Two-tailed Test).....	45
ภาพที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน	52
ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนการทำงานของเตาอบเหล็กช่วงหยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (12 ชั่วโมง) แบบวิธีดับเตา.....	53
ภาพที่ 3.3 ขั้นตอนการทำงานของเตาอบเหล็กช่วงหยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (12 ชั่วโมง) แบบวิธีอุ่นเตา.....	54
ภาพที่ 3.4 กราฟเปรียบเทียบปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติในกระบวนการอบเหล็ก ช่วงหยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน 12 ชั่วโมง ระหว่างวิธีการดับเตาและอุ่นเตา.....	56
ภาพที่ 3.5 การวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้เทคนิค วิธีการวิเคราะห์แผนภูมิแกงปลา	57
ภาพที่ 3.6 แผนผังการทดลองอุ่นเตาอบเหล็กช่วงหยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (12 ชั่วโมง).....	64
ภาพที่ 3.7 แผนผังการทดลองการควบคุมปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติในการให้ความร้อนช่วงที่มี การหยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (12 ชั่วโมง) โดยวิธีการอุ่นเตา.....	67
ภาพที่ 3.8 กระบวนการเปิดหัว Burner สภาวะทำการทดลอง	68
ภาพที่ 3.9 กระบวนการเปิดหัว Burner สภาวะผลิตปกติ	68
ภาพที่ 4.1 การตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลของการทดลองแบบแฟคทอเรียล.....	73
ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงข้อมูลเป็น Normal distribution โดยโปรแกรม Minitab Release 16.....	74

ภาพที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงแฟคทอเรียลแบบ 3 ระดับ 74

ภาพที่ 4.4 การวิเคราะห์ Main Effects Plot ที่มีผลต่อปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติในการอุ่นเตา . 75

ภาพที่ 4.5 การวิเคราะห์ Interaction Plot อิทธิพลร่วม 2 ปัจจัย 76

ภาพที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบปริมาณใช้ก๊าซธรรมชาติก่อนและหลังการทดลอง..... 77



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันเชื้อเพลิงประเภทก๊าซธรรมชาติมีความสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจ การคมนาคมขนส่ง และภาคอุตสาหกรรมต่างๆ โดยภาคอุตสาหกรรมถือได้ว่าเป็นสาขาเศรษฐกิจหนึ่งที่มีความต้องการในการนำประโยชน์จากก๊าซธรรมชาติมาใช้ในกระบวนการผลิตเป็นอย่างมาก ทั้งนี้เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศกำลังพัฒนาที่อยู่ในช่วงการขยายเศรษฐกิจอย่างต่อเนื่อง จึงส่งผลให้การใช้พลังงานดังกล่าวในภาคอุตสาหกรรมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เช่นเดียวกับบริษัทอุตสาหกรรมรีดเหล็กร้อนแห่งหนึ่งที่มีต้นทุนค่าใช้จ่ายที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในแต่ละปี ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการนำก๊าซธรรมชาติมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการให้ความร้อนกับกระบวนการอบเหล็กแอสแตงดังตารางที่ 1.1 และภาพที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติในกระบวนการอบเหล็กของบริษัทรีดเหล็กร้อนแห่งหนึ่งในจังหวัดระยองย้อนหลัง 5 ปี (ปี 2556-2560)

ข้อมูล	ช่วงปี	ช่วงปี				
		ปี 2556	ปี 2557	ปี 2558	ปี 2559	ปี 2560
ปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติ (Nm ³)		25,456,672	25,534,576	26,237,096	26,499,467	26,675,309
เทียบเป็นตัน	(Tons)	17,285.08	17,337.97	17,814.98	17,993.13	18,112.53
ต้นทุนค่าใช้จ่าย (บาท)		216,063,504	216,724,714	222,687,352	224,914,226	226,406,685

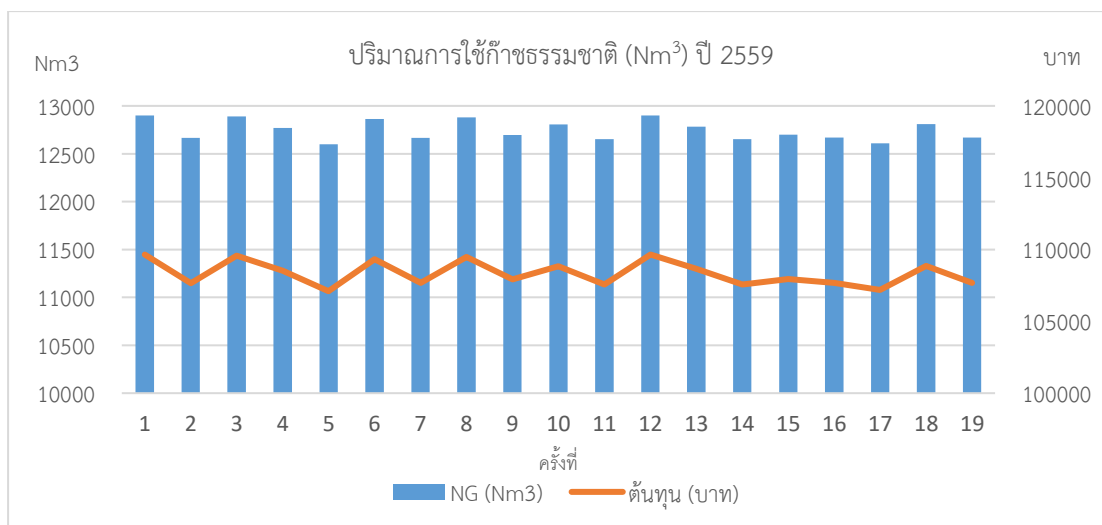


ภาพที่ 1.1 ปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติในกระบวนการรีดเหล็กร้อนของบริษัทแห่งหนึ่งในจังหวัดระยอง

เนื่องด้วยบริษัทต้องเสียค่าใช้จ่ายก๊าซธรรมชาติในช่วงที่หยุดบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (PM) 12 ชั่วโมง เฉลี่ยเดือนละ 1-2 ครั้ง โดยทุกครั้งของการหยุดบำรุงรักษาเชิงป้องกันจำเป็นต้องมีการดับเตาและทำการให้ความร้อนอุณหภูมิขึ้นมาเพื่อให้ได้อุณหภูมิเตาอบเป็นไปตามอุณหภูมิที่ต้องการ 1,250°C เพื่อให้สามารถอบเหล็กได้ตามประสิทธิภาพที่กำหนดไว้ซึ่งทำให้มีค่าใช้จ่ายจากการใช้ก๊าซธรรมชาติ (NG) ในการให้ความร้อนอุณหภูมิตัดปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติเฉลี่ยต่อครั้งประมาณ 12,746 Nm³ หรือคิดเป็นต้นทุนเฉลี่ยครั้งละประมาณ 108,344 บาท และคิดเป็นเงินปีละ 2,058,539 บาท โดยมีรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 1.2 และภาพที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติในกระบวนการอบเหล็กช่วงหยุดบำรุงรักษาเชิงป้องกัน 12 ชั่วโมง ด้วยวิธีการดับเตา

ช่วงเวลาที่เก็บข้อมูล	ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติในกระบวนการอบเหล็กช่วงหยุดบำรุงรักษาเชิงป้องกัน 12 ชั่วโมง (Nm ³)
17-ม.ค.-59	14,189
29-ก.พ.-59	14,421
15-มี.ค.-59	14,067
29-มี.ค.-59	13,856
12-เม.ย.-59	14,260
8-พ.ค.-59	14,080
19-พ.ค.-59	14,303
11-มิ.ย.-59	13,754
27-มิ.ย.-59	14,400
17-ก.ค.-59	14,420
26-ก.ค.-59	14,276
18-ส.ค.-59	14,066
30-ก.ย.-59	14,305
11-ต.ค.-59	14,154
20-ต.ค.-59	14,287
14-พ.ย.-59	14,390
6-ธ.ค.-59	14,498
19-ธ.ค.-59	14,170
ค่าเฉลี่ย	14,216



ภาพที่ 1.2 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติและต้นทุนค่าใช้จ่ายในกระบวนการอบเหล็ก
ช่วงหยุดบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (ระยะเวลา 1 ปี)

ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยต้องการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดต้นทุนการผลิตให้ลดต่ำลง โดยการเปลี่ยนแปลงวิธีการควบคุมเตาอบเหล็กเพื่อลดการใช้ก๊าซธรรมชาติในช่วงที่หยุดบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ทั้งนี้เพื่อให้เกิดการใช้อย่างประหยัดและมีประสิทธิภาพโดยไม่ทำให้กระบวนการผลิตลดลงและไม่ทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลง

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาการลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติของเตาอบเหล็กที่ร้อนระหว่างช่วงการอุ่นเตาเพื่อหยุดบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

1.3 สมมติฐานการวิจัย

ใช้หลักการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 3^k ในการออกแบบการทดลองซึ่งจากการวิเคราะห์ สามารถลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติของเตาอบเหล็กที่ร้อนระหว่างช่วงการอุ่นเตาเพื่อหยุดบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1.4.1 ทำการศึกษาบริษัทรีดเหล็กร้อนแห่งหนึ่งในจังหวัดระยอง ฝ่ายผลิต ส่วนผลิตเหล็กรีด

1.4.2 ทำการศึกษาเฉพาะในส่วนของกระบวนการให้ความร้อนแก่เตาอบเหล็กในช่วงเวลาที่มีการหยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

1.4.3 ศึกษาการลดต้นทุนของกระบวนการให้ความร้อนแก่เตาอบเหล็กในช่วงเวลาที่มีการหยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ตั้งแต่เดือนเมษายน พ.ศ.2560 ถึงเดือนเมษายน พ.ศ.2561

1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ

การวิจัยครั้งนี้ มีนิยามศัพท์เฉพาะดังนี้

1.5.1 การหยุดบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance: PM)

1.5.2 เตาอบเหล็ก (Reheating Furnace)

1.5.3 ก๊าซธรรมชาติ (Natural Gas: NG)

1.5.4 Normal Cube (Nm³)

1.5.5 Design of Experiment (DOE)

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

การวิจัยครั้งนี้ มีประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับดังนี้

1.6.1 สามารถลดต้นทุนการใช้ก๊าซธรรมชาติแก่เตาอบเหล็กช่วงที่มีการหยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน 12 ชั่วโมง

1.6.2 เป็นแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยไม่ทำให้กระบวนการผลิตลดลงและไม่ทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลง

1.6.3 สามารถนำเสนอต่อผู้บริหารเพื่อประกอบการตัดสินใจในการพิจารณาปรับปรุงขั้นตอนการทำงานใหม่

1.7 แผนการดำเนินงาน

กรณีการศึกษาการลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติของเตาอบเหล็กที่ร้อนระหว่างช่วงการอุ่นเตาเพื่อหยุดบำรุงรักษาเชิงป้องกันโดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง จะใช้ระยะเวลาในการศึกษาวิจัยตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2560 จนถึงเดือน ธันวาคม 2561 รวมทั้งสิ้น 17 เดือน

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การใช้กิจกรรมกลุ่มควบคุมคุณภาพเพื่อลดปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติในการให้ความร้อนช่วงหยุดการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน กรณีศึกษาบริษัทรีดเหล็กร้อนแห่งหนึ่งในจังหวัดระยอง ในครั้งนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าข้อมูลโดยอาศัยแนวคิดทฤษฎี ผลงานวิจัย และเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย เพื่อใช้ประกอบในการทำงานวิจัยครั้งนี้โดยนำเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้

- 2.1 คุณภาพ
- 2.2 ขั้นตอนในการควบคุมคุณภาพ
- 2.3 เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด
- 2.4 ทฤษฎีกระบวนการผลิต
- 2.5 ความหมายของการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance; PM)
- 2.6 เตาเผาอุตสาหกรรม
- 2.7 การออกแบบการทดลองแบบ (Design of Experiment; DOE)
- 2.8 การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงอนุมาน
- 2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 คุณภาพ

2.1.1 ความสำคัญของคุณภาพ

(สุธี ขวัญเงิน, 2548) กล่าวถึงในปัจจุบันมีความสำคัญมากขึ้นด้วยปัจจัยหลัก 4 ประการดังต่อไปนี้

2.1.1.1 ลูกค้า (Customer) เป็นแหล่งสร้างรายได้ให้กับบริษัท ลูกค้าจะไม่ซื้อผลิตภัณฑ์ถ้ามีคุณภาพที่ไม่สามารถตอบสนองความต้องการ หรือไม่สามารถสร้างความพึงพอใจได้ มีผลทำให้บริษัทสูญเสียรายได้และจะยืนหยัดอยู่ไม่ได้ ดังนั้นคุณภาพผลิตภัณฑ์จึงเป็นสิ่งที่ต้องปรับปรุงอยู่เสมอบริษัทที่ยึดมั่นในคุณภาพจะถือว่าลูกค้าคือผู้ตรวจสอบคุณภาพที่มีอำนาจสูงสุดของบริษัท

2.1.1.2 การแข่งขัน (Competition) การผลิตสินค้าหรือบริการให้ตรงตามความต้องการหรือความอยากได้ของผู้บริโภคนั้นยังไม่เพียงพอ เพราะเมื่อเปรียบเทียบคุณภาพกับคู่แข่ง คู่แข่งนี้อาจทำได้ดีกว่า

2.1.1.3 ต้นทุน (Cost) การผลิตสินค้าที่มีคุณภาพสูง โดยมีต้นทุนต่ำถือเป็นกลยุทธ์สำคัญในเชิงการแข่งขันที่ส่งผลกระทบต่อกำไรของธุรกิจ ทุกบริษัทควรทำอย่างต่อเนื่องในการใช้

ทรัพยากรการผลิตให้น้อยที่สุด ผลผลิตที่มีคุณภาพสูงสุด ลดความสูญเปล่าในระบบการผลิตให้น้อยที่สุด

2.1.1.4 วิกฤตการณ์สิ่งแวดล้อมของธุรกิจที่อยู่ภายใต้สถานการณ์วิกฤต คือคุณภาพ การปรับปรุงคุณภาพให้สอดคล้องกับสถานการณ์วิกฤตนั้นเป็นสิ่งจำเป็นที่ผู้ประกอบการต้องพัฒนา ผลผลิตที่อยู่เสมอ มิฉะนั้นอาจทำให้ผลิตภัณฑ์ด้วยคุณภาพลงไปได้

2.1.2 การพัฒนาคุณภาพ

(เรื่องวิทย์ เกษสุวรรณ, 2545) ได้กล่าวว่าผู้ที่ดำเนินธุรกิจและผู้บริโภคต่างมีความคาดหวังต่อกันสูงมากขึ้น รัฐบาลของประเทศต่างๆ และองค์การระหว่างประเทศให้ความสนใจการปรับปรุงมาตรฐานของสินค้ามากขึ้นจึงต้องเร่งพัฒนาคุณภาพในด้านต่างๆ ดังนี้

2.1.2.1 การศึกษา (Education) มีการสอนเรื่องคุณภาพขั้นพื้นฐานในระดับโรงเรียน และมีหลักสูตรและจัดตั้งคณะที่เกี่ยวกับคุณภาพในระดับมหาวิทยาลัย

2.1.2.2 การให้ประกาศนียบัตร (Certification) มีการให้ประกาศนียบัตรเพื่อเป็นการรับรองถึงความรู้ความสามารถที่เกี่ยวกับเรื่องของคุณภาพ

2.1.2.3 เครื่องมือทางปัญญา (Intelligence Tools) เป็นเครื่องมือที่นำธุรกิจสู่ความสำเร็จการวิเคราะห์ทางการเงินจะถูกนำมาใช้ประเมินคุณภาพ ปัจจัยด้านคุณภาพจะเป็นปัจจัยที่สำคัญในการตัดสินใจคุณค่าของธุรกิจและจะเป็นส่วนหนึ่งของการวางแผนกลยุทธ์ของธุรกิจ

2.1.2.4 ความต้องการของลูกค้า (Demanding Customers) ธุรกิจกำลังเปลี่ยนจุดเน้นจากการต่อความพึงพอใจของลูกค้าไปเป็นการให้เกินกว่าที่ลูกค้าคาดหวัง มีการนำเครื่องอำนวยความสะดวกต่างๆ มาใช้ในการให้บริการมากขึ้น ผลิตสินค้าจำนวนมากเพื่อให้ลูกค้าเลือกได้

2.1.2.5 จุดสูงสุด (The Ultimate) ของคุณภาพเมื่อเทียบกับของเสียที่เกิดขึ้น เคยมองกันว่าคุณภาพในระดับ 6 Sigma เป็นระดับอุดมคติแต่ปัจจุบันได้มีการพัฒนาไปไกลถึง 8 Sigma ที่มีระดับของเสียที่ 0.5 ต่อหนึ่งล้านหน่วย

2.1.2.6 บทบาทผู้บริหารอาวุโส (Senior Management Role) ผู้บริหารระดับสูงมีความสำคัญในการกำหนดเป้าหมาย การจัดการทรัพยากร กระบวนการกระจายคุณภาพ การกำหนดวิธีวัดแผนปฏิบัติการและประเมินผลงาน เป็นความรับผิดชอบเฉพาะที่ไม่สามารถมอบให้คนอื่นทำแทน

2.2 ขั้นตอนในการควบคุมคุณภาพ

(ปรียาภรณ์ คำนวน, 2551) ได้กล่าวถึงขั้นตอนในการควบคุมคุณภาพ แบ่งเป็น 4 ขั้นตอน คือ

2.2.1 ขั้นการกำหนดนโยบาย

ในขั้นนี้จะเป็นการกำหนดวัตถุประสงค์กว้างๆ เช่น ระดับ สินค้า ขนาดของตลาด วิธีการจำหน่าย ตลอดจนการรับประกัน ข้อกำหนดเหล่านี้จะเป็นเครื่องชี้ว่ากิจการจะต้องทำอะไรบ้าง เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ที่ได้วางเอาไว้

2.2.2 ขั้นการออกแบบผลิตภัณฑ์

การออกแบบผลิตภัณฑ์ในที่นี้หมายถึง การกำหนดคุณลักษณะ (Specification) ของผลิตภัณฑ์ เช่น วิทยุที่จะทำการผลิตขึ้นนี้มีขนาดกี่วัตต์ สามารถรับได้กี่ช่วงความถี่ใด และมีระบบตัดคลื่นรบกวนหรือไม่ เป็นต้น ข้อควรคำนึงถึงสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์นี้ก็คือ จะต้องรู้ว่าฝ่ายผลิตมีขีดความสามารถมากน้อยเพียงใด เพราะการออกแบบผลิตภัณฑ์เกินความสามารถของฝ่ายผลิตนั้นๆ เป็นไปไม่ได้

2.2.3 ขั้นตอนการควบคุมคุณภาพของการผลิต

การควบคุมคุณภาพการผลิตแบ่งออกเป็นขั้นตอนย่อย 3 ขั้น คือ การตรวจสอบคุณภาพของชิ้นส่วน การควบคุมกระบวนการผลิต และการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตสำเร็จรูป โดยในการตรวจสอบทั้ง 3 ขั้นนี้ส่วนใหญ่จะใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างเพราะของที่ผลิตได้นั้นมีจำนวนมากจนไม่อาจจะทำการตรวจสอบได้อย่างทั่วถึงภายในเวลาจำกัด เช่น การผลิตชิ้นส่วนทางอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งผลิตคราวละหลายล้านตัว หรือการตรวจสอบนั้นต้องทำลายของตัวอย่าง เช่น การทดสอบความทนทานของกระเบื้องในอุตสาหกรรมเซรามิก

2.2.4 ขั้นการจำหน่าย

การควบคุมคุณภาพในขั้นการจำหน่ายจะมีลักษณะเป็นการให้บริการหลังการขาย ซึ่งในระบบการตลาดสมัยใหม่ถือว่าเป็นเรื่องสำคัญมากเพราะสินค้าบางชนิดโดยเฉพาะอย่างยิ่งสินค้าประเภทเครื่องมือ เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งมีวิธีการใช้และการดูแลรักษาที่ค่อนข้างจะยุ่งยาก ผู้ผลิตหรือผู้ขายก็จะต้องคอยดูแลเพื่อให้บริการหลังการขายแก่ผู้ซื้ออยู่เสมอเพื่อความก้าวหน้าทางธุรกิจในอนาคต

2.3 เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด

เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด นับได้ว่าเป็นสิ่งที่จะช่วยพัฒนาและแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เครื่องมือเหล่านี้เป็นการรวบรวมและประยุกต์ใช้วิธีการทางสถิติ การใช้หลักการทางด้านเหตุผล และศาสตร์ความรู้ในด้านต่าง ๆ มารวบรวม และเลือกใช้ในการจัดการกับปัญหาแต่

ละชนิด เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิดนี้ มีที่มาจากองค์กรหนึ่งในประเทศญี่ปุ่น ชื่อว่า Union of Japanese Scientists and Engineers และกลุ่ม Quality Control Research Group ซึ่งได้ถูกจัดตั้งขึ้น ในปี ค.ศ. 1946 เพื่อค้นคว้าและทำการศึกษา ตลอดจนเผยแพร่ความรู้ความเข้าใจในเรื่องระบบการควบคุมคุณภาพให้กับอุตสาหกรรมภายในประเทศของญี่ปุ่น โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาคุณภาพสินค้าของญี่ปุ่นให้สามารถเข้าสู่การแข่งขันในตลาดโลกได้อย่างทัดเทียมประเทศผู้นำทางเศรษฐกิจในสมัยนั้นอย่างอเมริกา และกลุ่มประเทศยุโรปตะวันตก

จากนั้นได้มีการกำหนดมาตรฐานอุตสาหกรรมของประเทศญี่ปุ่น (Japanese Industrial Standards) หรือ JIS marking system ได้นำมาบังคับใช้เป็นกฎหมายในปี ค.ศ. 1950 และยังได้มีการเปิดสัมมนาทางวิชาการด้านการควบคุมคุณภาพให้แก่ผู้บริหารระดับต่าง ๆ และวิศวกรในประเทศ โดยมีผู้เชี่ยวชาญระดับโลกอย่าง Dr. W. E. Deming เป็นผู้นำในโครงการ นับเป็นจุดเริ่มต้นของการพัฒนาคุณภาพ ซึ่งต่อมาก็ได้มีการตั้งรางวัล Deming Prize อันมีชื่อเสียงทั่วโลกเพื่อมอบให้กับองค์กรอุตสาหกรรมหรือโรงงานที่มีการพัฒนาด้านคุณภาพดีเด่นของญี่ปุ่นต่อมาในปี ค.ศ. 1954 ทางญี่ปุ่นได้เชิญ Dr. J. M. สจิวจิน มาทำการฝึกอบรมเกี่ยวกับหลักการควบคุมคุณภาพ เพื่อสร้างรากฐานความรู้ความเข้าใจแก่ผู้บริหารระดับสูงขององค์กรในการนำเทคนิคเหล่านี้มาใช้งาน โดยได้รับความร่วมมือจากพนักงานทุกฝ่าย นับเป็นจุดเริ่มต้นของการพัฒนาและรวบรวมเครื่องมือที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพ ทั้ง 7 ชนิด ที่เรียกกันว่า 7 QC Tools มาใช้อย่างแพร่หลายจนทุกวันนี้ เครื่องมือคุณภาพทั้ง 7 ชนิดที่ได้รับการยอมรับและนิยมใช้ทั่วโลกนั้น มีดังต่อไปนี้

2.3.1 แผ่นตรวจสอบ (Check Sheet)

แผ่นตรวจสอบ (Check Sheet) คือ การนำเสนอข้อมูลในรูปแบบที่มีประสิทธิภาพ เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลพื้นฐานที่มีจะกลายเป็นการเก็บข้อมูลที่ไม่มีโครงสร้างกระจัดกระจาย ยุ่งยาก ให้เป็นรูปแบบที่ง่ายขึ้น ช่วยจัดระเบียบข้อมูลตามหมวดหมู่

2.3.1.1 วัตถุประสงค์ของการออกแบบฟอร์มในการเก็บข้อมูล

วัตถุประสงค์ของการออกแบบฟอร์มในการเก็บข้อมูลเพื่อควบคุมและติดตาม (Monitoring) ผลการดำเนินการผลิต รวมถึงการตรวจสอบและวิเคราะห์หาสาเหตุของความไม่สอดคล้อง

2.3.1.2 ประเภทของแผ่นตรวจสอบ

ประเภทของแผ่นตรวจสอบ มีรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ประเภทของแผ่นตรวจสอบ

ลักษณะของแผ่นตรวจสอบ	วัตถุประสงค์	การนำไปใช้
กระดาษเปล่า	ข้อมูลทั่วไป	ใช้บันทึกเท่านั้น ไม่นำไปวิเคราะห์ต่อ
ตารางแสดงความถี่	นับจำนวนตำหนิ	ใช้จำนวนข้อมูลเพื่อนำไปทำแผนผัง/กราฟ
ตารางกรอกตัวเลข	นับจำนวนของเสีย/จำนวนคน ข้อมูลจากการวัด/การทดสอบ	ใช้เขียนแผนผังควบคุม ผังการกระจาย ฮิสโตแกรม หรือแผนภูมิกราฟ
ตารางการทำเครื่องหมาย	ทำเครื่องหมายแทนการเขียน	ใช้จำนวนข้อมูล ทำผังพาเรโตหรือกราฟ
ตารางแบบสอบถาม	สอบถามข้อคิดเห็น	หาความถี่ ทำผังพาเรโต
ตารางแบบอื่นๆ	การตรวจสอบเฉพาะเรื่อง	ใช้ตามวัตถุประสงค์เฉพาะเรื่อง เช่น แบบสอบถามสำหรับเลือกเมนูอาหาร

2.3.1.3 ขั้นตอนการออกแบบแผ่นตรวจสอบ

ขั้นตอนการออกแบบแผ่นตรวจสอบ ประกอบด้วย 1) กำหนดวัตถุประสงค์และตั้งชื่อแผ่นตรวจสอบ 2) กำหนดปัจจัย 4M 3) ทดลองออกแบบกำหนดสัญลักษณ์ 4) ทดลองนำไปใช้เก็บข้อมูล 5) ปรับปรุงแก้ไขทดลองเก็บ 6) กำหนดการใช้แผ่นตรวจสอบ (5W 1H) 7) นำข้อมูลมาวิเคราะห์และสรุป และ 8) แบบฟอร์มข้อมูลดิบ และแบบฟอร์มสรุป

2.3.1.4 ข้อควรจำในการออกแบบแผ่นตรวจสอบ

ต้องมีวัตถุประสงค์ในการใช้แผ่นตรวจสอบ และแผ่นตรวจสอบต้องออกแบบให้กรอกข้อมูลได้สะดวก ง่ายต่อการบันทึกและอ่านค่าหรือใช้ในการวิเคราะห์ ทั้งนี้ก่อนใช้แผ่นตรวจสอบจริง ผู้ออกแบบควรทดลองเก็บข้อมูลก่อนใช้จริง เพื่อให้เกิดการปรับปรุงแก้ไขให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

2.3.1.5 วิธีการใช้

โดยส่วนใหญ่จะประยุกต์ใช้บันทึกข้อมูลเช่น ใบรายงานผลการปฏิบัติงานประจำวัน (Daily Report) ใบบันทึกรายงานของเครื่องจักร (Machine Report) ข้อมูลส่วนใหญ่ที่บันทึกจะเป็นสิ่งที่พบ ณ ขณะที่ตรวจสอบ เช่น ระดับน้ำมันในเครื่องจักร อยู่ในระดับ M (Medium) ความเร็วของสายพาน 50 rpm. (Round Per Minutes) อุณหภูมิเตาอบ 90 องศาเซลเซียส เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้ในการตรวจสอบโดยจะทำตารางเป็นช่องๆ ตามที่กำหนด สำหรับแผ่นตรวจสอบ เช่น ใบรายงานผลการตรวจสอบสินค้า ใบรายงานการตรวจสอบการทำความสะดวก

ห้องน้ำของแม่บ้าน เช่น ตรวจสอบพบว่าสินค้าไม่มีตำหนิ ก็คิดว่า “ผ่าน” หรือ สินค้าครบตามจำนวนที่จัดส่ง และขนขึ้นรถส่งของเรียบร้อยแล้วไม่พบปัญหา ก็คิดว่า “ผ่าน” เป็นต้น

2.3.1.6 ขั้นตอนการประยุกต์ใช้แผ่นตรวจสอบ ให้เกิดผลจริง มีดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดเป้าหมายในการจัดทำ และการใช้ให้ชัดเจนเพื่อทำให้ได้หัวข้อ และรายละเอียดที่ต้องการ อย่างเหมาะสม ไม่มีหัวข้อ ซ้ำกัน หรือจำนวนหัวข้อละเอียดมากจนทำให้เสียเวลามาก หรือ มีหัวข้อในแผ่นตรวจสอบน้อยเกินไป ก็อาจทำให้เราขาดข้อมูลที่สำคัญ

ขั้นตอนที่ 2 จัดทำแผ่นตรวจสอบ โดยออกแบบให้เหมาะสมกับการใช้งาน จะเลือกเป็นกระดาษ A4 A5 หรือ จะวางกระดาษตามแนวนอน หรือแนวตั้ง ขนาดตัวอักษร การเว้นระยะห่างแต่ละช่องเพื่อใช้บันทึกข้อมูลแต่ละอย่างต้องเหมาะสม

ขั้นตอนที่ 3 นำแผ่นตรวจสอบ ไปทดลองใช้ แล้วขอ Feedback เริ่มต้นผู้ปฏิบัติต้องตรวจสอบตามหัวข้อทั้งหมดกันจริงๆ ทำกันทุกคน ทุกระดับ ไม่ว่าจะเป็น พนักงาน ลีดเดอร์ โพรแมน และซูเปอร์ไวเซอร์ ผู้จัดการ ก็ต้องไปตรวจสอบพนักงานด้วย เพื่อทำให้มั่นใจว่าทุกคนทำกันจริงจัง จากนั้นหลังจากใช้กันไปได้สักพักหนึ่งแล้วก็ลองไปสอบถามความคิดเห็นกับผู้ใช้แผ่นตรวจสอบเพื่อขอคำแนะนำ

ขั้นตอนที่ 4 ปรับปรุงแผ่นตรวจสอบ ตามคำแนะนำที่ได้รับ โดยทำการปรึกษากับผู้ที่เกี่ยวข้อง เช่น ผู้จัดการ หัวหน้างาน หรือพนักงานแผนกอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ถ้าเขาเป็นผู้กำหนด หรือผู้ใช้แผ่นตรวจสอบนี้ ก็ต้องพูดคุยกับเขาถึงปัญหา หรือแนวทางการปฏิบัติที่ถูกต้องสำหรับการใช้แผ่นตรวจสอบ เพื่อให้การปฏิบัติเป็นไปตามแนวทางเดียวกัน และตรงตามวัตถุประสงค์ของการจัดทำ Check Sheet มากที่สุด

ขั้นตอนที่ 5 ปรับปรุงแผ่นตรวจสอบ ให้สอดคล้องกับการทำงาน เพราะบางครั้งเคยพบปัญหาในการปฏิบัติจริงกำหนดให้พนักงานต้องตรวจสอบหัวข้อใหม่เพิ่มเติม แต่ในแผ่นตรวจสอบ ยังไม่แก้ไขให้ Update ตรงกับการปฏิบัติงานจริง หรือบางครั้งในทางปฏิบัติที่ตัดบางหัวข้อการตรวจสอบออกแต่ในแผ่นตรวจสอบ ยังมีหัวข้อให้ตรวจสอบอยู่ นอกจากนี้อาจจะยังพบปัญหาบางหัวข้อมีการเปลี่ยนแปลงรายละเอียดบางอย่าง เช่น พารามิเตอร์ที่กำหนดไว้ในแผ่นตรวจสอบ กำหนดให้ 60 rpm แต่ในการปฏิบัติจริงมีการเปลี่ยนแปลงให้เป็น 80 rpm แต่ยังไม่แก้ไขในเอกสาร เมื่อบันทึกข้อมูลไปก็จะผิดไปด้วย

2.3.2 แผนผังพาเรโต (Pareto Diagram)

ผู้วิจัยจะสามารถตัดสินใจใช้แผนผังพาเรโต ได้ต่อเมื่อ

2.3.2.1 เมื่อต้องการกำหนดสาเหตุที่สำคัญ (Critical Factor) ของปัญหาเพื่อแยกออกมาจากสาเหตุอื่นๆ

2.3.2.2 เมื่อต้องการยืนยันผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากการแก้ปัญหา โดยเปรียบเทียบ “ก่อนทำ” กับ “หลังทำ”

2.3.2.3 เมื่อต้องการค้นหาปัญหาและหาคำตอบในการดำเนินกิจกรรมแก้ปัญหา

โครงสร้างของแผนผังพาเรโต ประกอบด้วยกราฟแท่งและกราฟเส้นรวมอยู่ด้วยกัน โดยมีแกนตั้ง (ด้านซ้ายมือที่มีตัวเลข 0 - 90) และแกนนอน (แกนที่เขียนเป็น A, B, C, ... G) ใช้แสดงขนาดของกราฟแท่ง และแกนนอน (แกนที่เขียนเป็น A, B, C, ... G) กับแกนตั้งด้านขวามือที่แสดงค่าร้อยละ หรือ เปอร์เซนต์ (%) ของข้อมูลสะสมอยู่ทางด้านขวามือเพื่อใช้แสดงขนาดของกราฟเส้นอีกด้วย นอกจากนี้ความสูงของกราฟแท่งจะเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย โดยเรียงจากซ้าย (มาก) ไปขวา (น้อย) ยกเว้นกลุ่มข้อมูลเล็กๆ น้อยๆ ที่จับมารวมกันและกำหนดเป็น “ข้อมูลอื่นๆ” จะนำไปวางอยู่ขวาสุดเสมอ ไม่ว่าจะมีความสูงเท่าใดก็ตาม

2.3.3 กราฟ (Graph)

กราฟ คือ แผนภาพที่แสดงถึงตัวเลขหรือข้อมูลทางสถิติที่ใช้ เมื่อต้องการนำเสนอข้อมูลและวิเคราะห์ผลของข้อมูลดังกล่าว เพื่อให้เข้าใจและรวดเร็วต่อการทำความเข้าใจการนำเสนอข้อมูลด้วยกราฟและแผนภูมิ (Graph & Chart) ถูกใช้กันโดยทั่วไปในการนำเสนอข้อมูลกับผู้อ่าน ผู้ฟัง เนื่องจากเป็นทางเลือกที่ดีในการสื่อข้อมูลต่างๆ ได้อย่างรวดเร็ว และง่ายกว่าการใช้ตาราง ผู้อ่าน ผู้ฟังสามารถเข้าใจ และจดจำข้อมูลได้เป็นอย่างดีการนำเสนอข้อมูลลักษณะนี้ ต้องแน่ใจว่ารูปแบบของกราฟที่เลือกใช้ เหมาะสมกับข้อมูลที่จะนำเสนอ ไม่ควรนำเสนอข้อมูลเดียวกันโดยใช้กราฟหลายรูปแบบผสมผสานกัน ประเภทของกราฟ ประกอบด้วย

2.3.3.1 กราฟวงกลม

กราฟวงกลมจะนำเสนอเพื่อแสดงสัดส่วนของข้อมูลต่างๆ ต่อข้อมูลทั้งหมดที่คิดเป็น 100% การนำเสนอข้อมูลในรูปแบบนี้ จะต้องมีการปรับ หรือคำนวณข้อมูลในแต่ละส่วน โดยให้ผลรวมของข้อมูลทั้งหมดคิดเป็น 100% และเท่ากับพื้นที่วงกลม และที่สำคัญต้องพิจารณาด้วยว่าข้อมูลมีไม่มากจนเกินไป ไม่ควรมีความแตกต่างของจำนวนตัวเลขของข้อมูลน้อยเกินไป จนไม่สามารถแบ่งแยกความแตกต่างด้วยสายตา โดยทั่วไปสัดส่วนข้อมูลต่างๆ ควรมีขนาดไม่น้อยกว่า 7% ในการสร้างกราฟชนิดนี้ ควรให้ส่วนที่ข้อมูลที่มีขนาดใหญ่สุดเริ่มที่ 12 นาฬิกา และขนาดที่มีขนาดเล็กรองลงมาอยู่ถัดไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกา การอธิบายข้อมูล ควรมีคำอธิบาย

สั้นๆ และให้คำจำกัดความของข้อมูลอย่างคร่าวๆ สำคัญที่สุดตัวเลขที่แสดงอยู่ในส่วนต่างๆ ของกราฟวงกลม รวมกันแล้วต้องได้เท่ากับผลรวมของข้อมูลทั้งหมด ที่คิดเป็น 100%

2.3.3.2 กราฟแท่ง (Bar Graph)

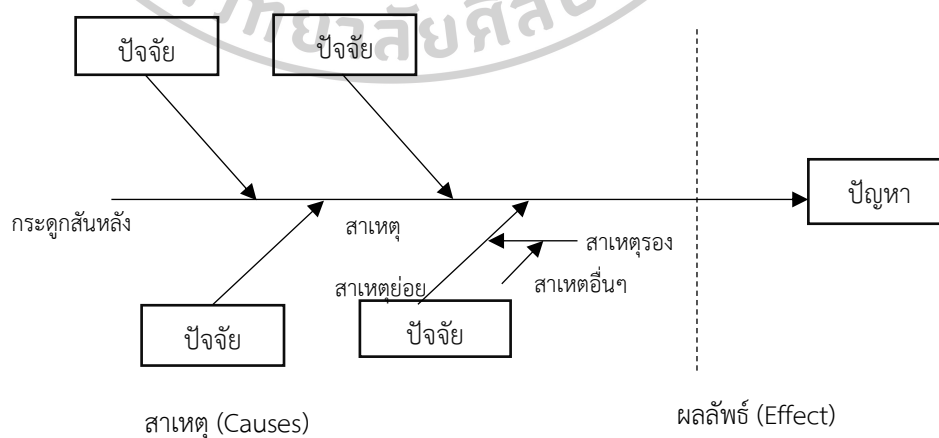
กราฟแท่ง นิยมใช้กันมากในการเปรียบเทียบ โดยสามารถนำเสนอได้ทั้งแนวตั้ง และแนวนอน โดยกราฟแท่งแนวตั้งนิยมนำไปใช้ในการเปรียบเทียบข้อมูลชนิดเดียวกันที่เวลาแตกต่างกัน ส่วนกราฟแท่งแนวนอนมักใช้เปรียบเทียบข้อมูลต่างชนิดกันที่เวลาเดียวกันการแสดงผลด้วยกราฟแท่ง ควรกำหนดจำนวนศูนย์ที่แกนตั้งไว้เสมอ และความสูงไม่ควรถูกแบ่ง หรือตัดทอน (หากไม่จำเป็นจริงๆ) นอกจากนี้ควรแสดงข้อมูลทางสถิติกำกับไว้เสมอ รวมทั้งจำนวนข้อมูลที่แปลความหมายได้ง่าย สามารถใช้สีหรือลวดลาย หรือนั้นความแตกต่างของข้อมูลชนิดต่างๆ โดยให้ความกว้างและระยะห่างของแท่งกราฟมีขนาดเท่าๆ กันควรใช้ขนาดตัวอักษรที่ใหญ่พอที่จะอ่านได้ชัดเจน เมื่อมีการย่อภาพเพื่อพิมพ์

2.3.4 แผนผังแสดงเหตุและผล (Cause & Effect Diagram)

สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรมแห่งญี่ปุ่น (JIS) ได้นิยามความหมายของผังก้างปลาไว้ว่า “เป็นแผนผังที่ใช้แสดงความสัมพันธ์อย่างเป็นระบบระหว่างสาเหตุหลายๆ สาเหตุที่เป็นไปได้ที่ส่งผลกระทบต่อให้เกิดปัญหาหนึ่งปัญหา”

2.3.4.1 โครงสร้างของผังก้างปลา

ผังก้างปลาหรือผังแสดงเหตุและผล ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ ส่วนโครงกระดูกที่เป็นตัวปลา ซึ่งได้รวบรวมปัจจัย อันเป็นสาเหตุของปัญหา และส่วนหัวปลาที่เป็นข้อสรุปของสาเหตุที่กลายเป็นตัวปัญหา โดยตามความนิยมจะเขียนหัวปลาอยู่ทางขวามือและตัวปลา (หางปลา) อยู่ทางซ้ายมือเสมอรายละเอียดแสดงดังภาพที่ 2.1

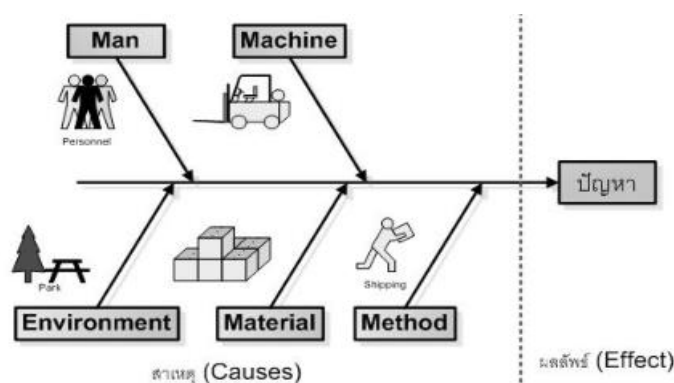


ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของแผนผังสาเหตุและผล

ที่มา : (คาโอรุ อิชิกาวา, 1993)

2.3.4.2 การกำหนดปัจจัยบนก้างปลา

การกำหนดปัจจัยบนก้างปลาโดยส่วนมากจะใช้หลักการ 4M 1E เป็นกลุ่มปัจจัย (Factors) เพื่อนำไปสู่การจำแนกถึงสาเหตุต่างๆ (รายละเอียดแสดงดังภาพที่ 2.2) อันประกอบด้วย 1) M Man บุคลากร 2) M Machine เครื่องจักร หรือเครื่องมือ 3) M Material วัตถุดิบหรืออะไหล่ที่ใช้ในกระบวนการ 4) M Method วิธีหรือกระบวนการทำงาน และ 5) E Environment สภาพแวดล้อม



ภาพที่ 2.2 การกำหนดปัจจัยบนก้างปลา

ที่มา : (คาโอรุ อิชิกาวา, 1993)

อย่างไรก็ตามปัจจัยอื่นนอกเหนือจาก 4M 1E ก็สามารถนำมากำหนดเป็นปัจจัยบนก้างปลาได้เช่นกัน นั่นคือปัจจัยการนำเข้า 4P ได้แก่ Place , Procedure, People และ Policy หรือเป็น 4S Surrounding, Supplier, System และ Skill หรืออาจจะเป็น MILK Management, Information, Leadership, Knowledge อยู่ที่ความเหมาะสมของการเลือกพิจารณา

2.3.5 แผนผังการกระจาย (Scatter Diagram)

เป็นเครื่องมือหนึ่งที่นิยมใช้ในการแก้ไขปัญหาคุณภาพ โดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์จากคุณสมบัติ 2 ประการ เช่น อุณหภูมิของเตาหลอมกับความแข็งของชิ้นงาน หรือ อุณหภูมิกับอัตราการเติบโต ปริมาณวัตถุดิบที่ใส่เข้าไปเพิ่มกับ ความเหนียวที่เกิดขึ้น เป็นต้น สำหรับขั้นตอนการจัดทำ ผังความสัมพันธ์มีดังต่อไปนี้

2.3.5.1 เก็บรวบรวมข้อมูล

โดยบันทึกข้อมูลสิ่งที่เราสนใจมาเป็นคู่ๆ อย่างน้อย 30 ข้อมูล (ยิ่งมากก็ยิ่งน่าเชื่อถือ แต่อาจทำให้เสียเวลาทั้งในการจัดเก็บ และการคำนวณ) โดยต้องเป็นข้อมูลที่มี

ลักษณะใกล้เคียงกัน เช่น เครื่องจักรเดียวกัน วันที่ผลิตที่ไม่ห่างกันมาก เช่น ช่วงสัปดาห์เดียวกัน วันเดียวกัน ก็ยิ่งดี โดยเราจะบันทึกข้อมูลในตาราง (Check Sheet)

2.3.5.2 เขียนกราฟ

โดยนำข้อมูลที่ได้จากข้อ 2.3.5.1 มาเขียนกราฟ ซึ่งมีวิธีปฏิบัติดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ลากเส้นแนวตั้ง และแนวนอนให้ตั้งฉากกัน

ขั้นตอนที่ 2 เขียนชื่อหัวข้อของข้อมูลที่เราเก็บรวบรวมมาต่อท้ายแกนตั้งแกนนอน

ขั้นตอนที่ 3 พิจารณาช่วงของข้อมูลแล้วจัดทำสเกล (Scale) ให้เหมาะสม โดยควรพิจารณาค่าต่ำสุด และสูงสุด ของข้อมูลแต่ละกลุ่มก่อน เพื่อให้สามารถกำหนดค่าต่ำสุด สูงสุด และช่องว่างของแต่ละช่อง หรือสเกลได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมมากที่สุด

ขั้นตอนที่ 4 เขียนจุด โดยอ่านตัวเลขจากตารางหัวข้อแรก หรือช่องแรก แล้วลากเส้นเบาๆ ไปทางซ้าย จากนั้นอ่านตัวเลขหัวข้อที่สองจะได้จุดตัดนั้นพอดี

ขั้นตอนที่ 5 ทำตามขั้นตอนที่ 4 จนครบทุกจุด

ขั้นตอนที่ 6 ลากเส้นแนวนอนเพื่อแบ่งครึ่งจุด บน-ล่าง โดยให้จำนวนจุดด้านบน และด้านล่างของเส้นมีจำนวนเท่าๆ กัน

ขั้นตอนที่ 7 ลากเส้นแนวตั้งแบ่งครึ่งจุด ซ้าย-ขวา โดยให้จำนวนจุดด้านซ้าย และด้านขวามีจำนวนเท่าๆ กัน

ขั้นตอนที่ 8 กรณีที่จำนวนจุดเป็นเลขคี่เราอาจลากเส้นทับจุดที่อยู่ตรงกลาง ทั้งแนวนอน และแนวตั้ง ซึ่งเราจะแบ่งจุดออกได้เป็น 4 ส่วน

ขั้นตอนที่ 9 รวมจำนวนจุดที่ได้เข้าด้วยกัน โดยนำ n_1+n_3 ได้ค่าแรก และ n_2+n_4 ได้ค่าที่สอง ในแต่ละช่อง (Quadrant) และกำหนดให้ช่องมุมบนด้านขวามือ เป็นช่องที่หนึ่ง หรือ n_1 ส่วนช่องบนด้านซ้ายมือคือ n_2 มุมล่างซ้ายมือ คือ n_3 และสุดท้าย มุมล่างขวามือ กำหนดให้เป็น n_4 โดยพิจารณาความสัมพันธ์กันดังนี้

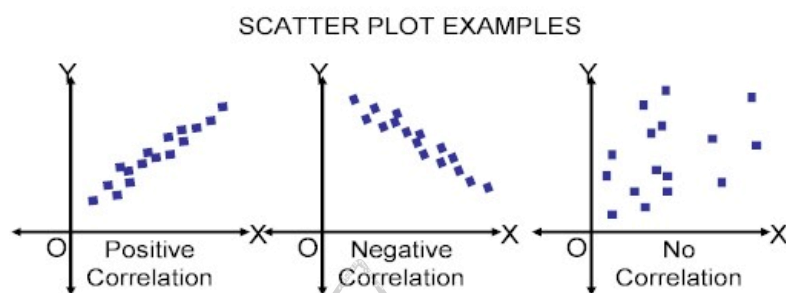
$n_1+n_3 > n_2+n_4$ แสดงความคุณสมบัติทั้งสองที่เรานำมาวิเคราะห์ นั้นมีความสัมพันธ์เชิงบวก หรือ มีความคลาดเคลื่อนไปในทิศทางเดียวกัน

$n_1+n_3 < n_2+n_4$ แสดงความคุณสมบัติทั้งสองที่เรานำมาวิเคราะห์ นั้นมีความสัมพันธ์เชิงลบหรือ มีความคลาดเคลื่อนไปในทิศทางตรงกันข้าม

n_1+n_3 ไม่เท่ากับ n_2+n_4 นั้นแสดงว่า ไม่มีความสัมพันธ์กันเลย

2.3.5.3 คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (Correlation) โดยการคำนวณค่าต่างๆ ที่ได้จากข้อมูลตามสูตร ซึ่งจะช่วยให้ทราบว่าข้อมูลที่เก็บรวบรวมมานั้นมีความสัมพันธ์กัน

หรือไม่ อย่างไร แต่ไม่ได้บอกว่าสัมพันธ์กันมากน้อยเพียงใด โดยจะมีค่าที่จะเรียกว่า สัมประสิทธิ์ของความสัมพันธ์ เป็นตัวที่บอกถึงขนาด และความสัมพันธ์ของข้อมูลทั้งสอง ตัวอย่างแผนผังการกระจาย (Scatter Diagram) แสดงดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 แผนผังการกระจาย (Scatter Diagram)

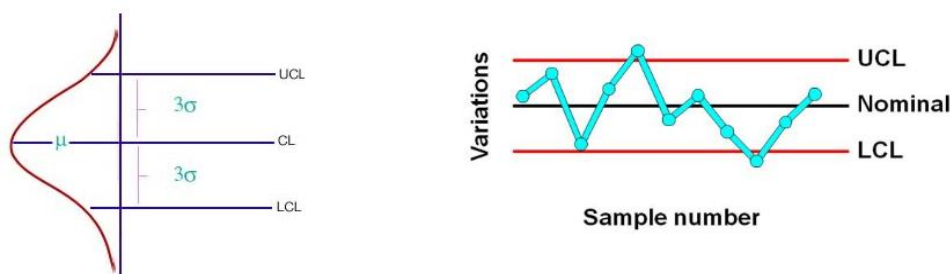
ที่มา : (อาจารย์ทองพันชิ่ง พงษ์วารินทร์, 2561)

2.3.6 แผนภูมิควบคุม (Control Chart)

แผนภูมิควบคุมจัดเป็นเครื่องมือชิ้นหนึ่งใน 7 QC Tools มีไว้สำหรับวิเคราะห์กระบวนการเหมือนกับ Process Capability แต่ทำงานได้ดีกว่า เนื่องจากสามารถบอกได้ว่ากระบวนการอยู่ในความควบคุม และมีความสามารถหรือไม่ ขณะที่ Process Capability บอกได้แค่ว่ากระบวนการมีความสามารถหรือไม่เท่านั้นและจะบอกได้ก็ต่อเมื่อกระบวนการต้องอยู่ในความควบคุมก่อนแล้วด้วย แผนภูมิควบคุมจึงถูกใช้เป็นที่สังเกตอีกตัวหนึ่งในการควบคุมความผันแปรกระบวนการ เพื่อให้มั่นใจได้ว่ากระบวนการอยู่ในความควบคุม และสามารถดำเนินซ้ำๆ กันไปได้ โดยให้ผลเป็นไปตามที่ต้องการ โดยแผนภูมิควบคุม (Control Chart) พื้นฐาน ประกอบด้วย

2.3.6.1 Variable Control Chart

ใช้สำหรับค่าที่วัดได้ที่อาจเป็นขนาด เวลา มิติ น้ำหนัก อุณหภูมิ ความแข็ง ความต้านทาน เป็นต้น ตัวแสดงผลเป็นรูปภาพ 2 รูป แสดงดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 Variable Control Chart

ที่มา : (สำนักงานเศรษฐกิจการคลัง กระทรวงการคลัง, 2548)

ขั้นตอนหลักๆ ที่ต้องทำสำหรับ Variable Control Chart

ขั้นตอนที่ 1 เก็บข้อมูลประมาณ 100 ตัว โดยแบ่งเป็นกลุ่มๆ กลุ่มละ 20-25 ตัว ในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน

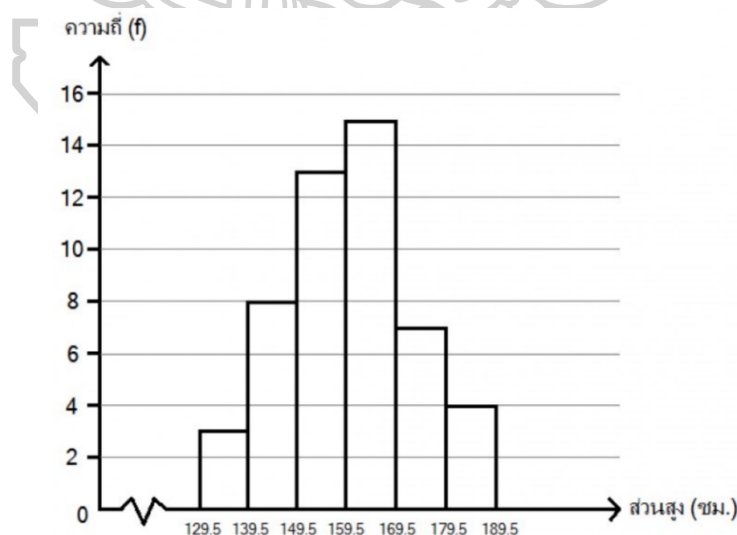
ขั้นตอนที่ 2 นำข้อมูลที่ได้มาสร้างเส้นตรง 3 เส้น คือ UCL (Upper Control Limit, LCL (Lower Control Limit) และ CL (Central Line)

2.3.6.2 Attribute Control Chart

ใช้กับข้อมูลประเภทนับ เช่น จำนวนข้อผิดพลาด ของเสีย ข้อบกพร่อง แบ่งเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 2 ประเภทกราฟ คือ 1) p และ np Charts ทั้งสองชาร์ตเป็นเรื่องของผลิตภัณฑ์บกพร่อง (Defectives) และ 2) c และ u Control Charts ทั้งสองชาร์ตใช้ในการพิจารณาข้อบกพร่อง (Defects) สำหรับ c Control Charts ใช้กับจำนวนข้อบกพร่องต่อ 1 ผลิตภัณฑ์ หรือจำนวนผลิตภัณฑ์ที่คงที่ ส่วน u Control Charts ใช้พิจารณาข้อบกพร่องเฉลี่ยต่อ 1 ผลิตภัณฑ์ หรือมากกว่า

2.3.7 ฮิสโตแกรม (Histogram)

ฮิสโตแกรม (Histogram) คือ กราฟแท่งแบบเฉพาะ โดยแกนตั้งจะเป็นตัวเลขแสดง “ความถี่” และมีแกนนอนเป็นข้อมูลของคุณสมบัติของสิ่งที่เราสนใจ โดยเรียงลำดับจากน้อยที่ใช้ดูความแปรปรวนของกระบวนการ โดยการสังเกตรูปร่างของฮิสโตแกรมที่สร้างขึ้นจากข้อมูลที่ได้มาโดยการสุ่มตัวอย่าง (แสดงดังภาพที่ 2.5)



ภาพที่ 2.5 ฮิสโตแกรม (Histogram)

ที่มา : (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) กระทรวงศึกษาธิการ, 2561)

วิธีการเขียนฮิสโตแกรม (Histogram) มีดังนี้

2.3.7.1 เก็บรวบรวมข้อมูล (ควรรวบรวมประมาณ 100 ข้อมูล)

2.3.7.2 หาค่าสูงสุด (L) และค่าต่ำสุด (S) ของข้อมูลทั้งหมด

2.3.7.3 หาค่าพิสัยของข้อมูล (R-Range)

$$R = L - S \quad \dots(1)$$

2.3.7.4 หาค่าจำนวนชั้น (K)

$$K = \sqrt{n} \quad \dots(2)$$

โดย n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

2.3.7.5 หาค่าความกว้างช่วงชั้น (H-Class Interval)

$$H = R/K \text{ หรือ } \text{พิสัย} / \text{จำนวนชั้น} \quad \dots(3)$$

2.3.7.6 หาขอบเขตของชั้น (Boundary Value)

$$\text{ขีดจำกัดล่างของชั้นแรก} = S - \text{หน่วยของการวัด} / 2 \quad \dots(4)$$

$$\text{ขีดจำกัดบนของชั้นแรก} = \text{ขีดจำกัดล่างชั้นแรก} + H \quad \dots(5)$$

2.3.7.7 หาขีดจำกัดล่างและขีดจำกัดบนของชั้นถัดไป

2.3.7.8 หาค่ากึ่งกลางของแต่ละชั้น (Median of Class Interval)

$$\text{ค่ากึ่งกลางชั้นแรก} = \text{ผลรวมค่าขีดจำกัดชั้นแรก} / 2 \quad \dots(6)$$

$$\text{ค่ากึ่งกลางชั้นสอง} = \text{ผลรวมค่าขีดจำกัดชั้นสอง} / 2 \quad \dots(7)$$

2.3.7.9 บันทึกข้อมูลในรูปตารางแสดงความถี่

2.3.7.10 สร้างกราฟฮิสโตแกรม

2.4 ทฤษฎีกระบวนการผลิต

2.4.1 ความหมายของกระบวนการผลิต

กระบวนการการผลิต หมายถึงกระบวนการหรือกิจกรรมที่เพิ่มมูลค่าให้กับปัจจัยนำเข้าโดยการเปลี่ยนแปลงทางคุณสมบัติหรือแปรรูปทางกายภาพผลิตเป็นสินค้าหรือบริการที่พร้อมส่งมอบให้หรือการตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า ในอุตสาหกรรมแต่ละประเภทมีกระบวนการผลิตในขั้นของรายละเอียดต่างๆ แตกต่างกัน กระบวนการผลิตที่มีกันอยู่ทุกๆ ไปมีวัตถุประสงค์อยู่อย่างเดียวกันคือ ต้นทุนต่ำ เพื่อที่ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะสามารถแข่งขันในตลาดได้และมีกำไรแต่ในต้นทุนการผลิตนั้นจะประกอบไปด้วย 2 ส่วนคือ

2.4.1.1 ต้นทุนในการดำเนินการผลิตซึ่งประกอบไปด้วยค่าวัสดุ, ค่าแรง, ค่าอุปกรณ์, ค่าน้ำ, ค่าไฟและค่าเครื่องจักร

2.4.1.2 ต้นทุนคุณภาพ คือต้นทุนที่ต้องใช้เพื่อรักษาให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้เป็นไปตามความต้องการของลูกค้าหรือสูงกว่าเพราะการที่ลูกค้าซื้อผลิตภัณฑ์ย่อมต้องการสิ่งที่ตรงกับความต้องการหรือความคาดหวังของเขาและถ้าได้ในสิ่งที่เหนือกว่าความคาดหวังก็ยิ่งพอใจมากขึ้น นอกจากนี้คำว่า "คุณภาพ" ยังครอบคลุมความหมายถึงประโยชน์ใช้สอยรูปร่างลักษณะที่ดึงดูดใจคุณค่าทางจิตใจที่ได้รับจากผลิตภัณฑ์ ฯลฯ

2.4.2 องค์ประกอบของกระบวนการผลิต

กระบวนการผลิตมีองค์ประกอบที่สำคัญ 3 ประการอันได้แก่ ปัจจัยนำเข้า (Input) กระบวนการแปลงสภาพ (Conversion Process) และผลผลิต (Output) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.4.2.1 ปัจจัยนำเข้า (Input) คือทรัพยากรขององค์กรที่ใช้ในการผลิตซึ่งก็คือ 4M&1E ได้แก่แรงงาน (Man) วัสดุดิบ (Material) เครื่องจักร (Machine) วิธีการ (Method) และสิ่งแวดล้อม (Environmental) ทรัพยากรที่ใช้จะต้องมีคุณสมบัติที่เหมาะสมและมีต้นทุนการผลิตต่ำเพื่อให้สินค้าสามารถแข่งขันในตลาด

2.4.2.2 กระบวนการแปลงสภาพ (Conversion Process) เป็นขั้นตอนที่ทำให้ปัจจัยนำเข้าที่ผ่านเข้ามามีการเปลี่ยนแปลงในด้านต่างๆ

2.4.2.3 ผลผลิต (Output) เป็นสิ่งที่ได้จากกระบวนการผลิตที่ได้ผ่านวิธีการปรับเปลี่ยน หรือเปลี่ยนแปลงสภาพมาแล้ว ผลผลิตที่ได้จะแบ่งเป็น 2 ประเภทหลัก คือสินค้า (Goods) และบริการ (Service)

2.5 การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance; PM)

(ธงชัย คงแก้ว, 2550) ได้กล่าวถึงการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน หมายถึง การบำรุงรักษาที่ทำการประจำและการซ่อมบำรุงเครื่องจักรเมื่อครบอายุที่ได้กำหนดไว้ เพื่อป้องกันและลดสภาพการเสื่อมสภาพของเครื่องจักร หลีกเลี่ยงการเกิดการขัดข้องอย่างทันทีจะทำให้งานไม่เสร็จตามเป้าหมายที่กำหนดไว้

2.5.1 ประโยชน์หรือผลสำเร็จของการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

- 2.5.1.1 ทำให้สามารถซ่อมเครื่องจักรเครื่องมือที่ชำรุด ได้อย่างถูกต้อง
- 2.5.1.2 สามารถใช้เป็นข้อมูลในการจัดทำคู่มือในการซ่อมบำรุงได้
- 2.5.1.3 ใช้วางแผนหรือกำหนดดำเนินการซ่อมบำรุง
- 2.5.1.4 เป็นแนวทางในการจัดเตรียมของใหม่สำหรับซ่อมบำรุงรักษา
- 2.5.1.5 ใช้เป็นข้อมูลในการวิจัยเครื่องจักรนั้น

2.5.2 การแบ่งลักษณะของการบำรุงรักษา

2.5.2.1 การบำรุงรักษาเป็นประจำตามกำหนดระยะเวลา

2.5.2.2 การบำรุงรักษาตามอายุการใช้งาน

2.5.3 องค์ประกอบของการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

2.5.3.1 การออกแบบระบบการบำรุงรักษาป้องกัน

2.5.3.2 การจัดหน่วยงาน (ผู้ที่มีการรับผิดชอบเฉพาะ)

2.5.3.3 การวางแผนปฏิบัติอย่างรัดกุม

2.5.3.4 การปฏิบัติอย่างสม่ำเสมอและจริงจัง

2.5.3.5 ความเข้าใจและสนับสนุนจากผู้บริหารทุกระดับ

2.5.3.6 ความร่วมมือโดยตรงของผู้ปฏิบัติงาน

2.6 เตาเผาอุตสาหกรรม

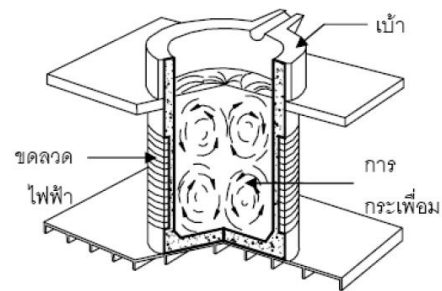
เตาอุตสาหกรรมจัดเป็นอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานความร้อนที่สูงมากอุปกรณ์หนึ่ง อีกทั้งมีการสูญเสียความร้อนที่สูงมากเช่นกัน เตาอุตสาหกรรมที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ มีการใช้งานแตกต่างกันไปในแต่ละประเภทอุตสาหกรรม

2.6.1 ประเภทเตาเผาอุตสาหกรรม

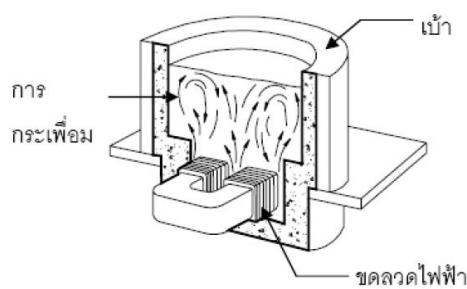
2.6.1.1 เตาหลอมไฟฟ้า

เตาหลอมไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อนเพื่อใช้หลอมโลหะ เตาหลอมไฟฟ้าที่ใช้อย่างแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทหล่อโลหะ ได้แก่ เตาเหนี่ยวนำ และเตาอาร์คไฟฟ้า

เตาเหนี่ยวนำ (Induction Furnace) นำใช้ในงานหลอมโลหะทั้งในกลุ่มเหล็กและนอกกลุ่มเหล็ก เตาเหนี่ยวนำจำแนกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ เตาเหนี่ยวนำแบบไม่มีแกน (Coreless Type) และเตาเหนี่ยวนำแบบช่อง (Channel Type) ดังภาพที่ 2.6 และ 2.7 ตามลำดับ โดยแสดงรูปร่างของเตาเหนี่ยวนำทั้งสองแบบ เตาเหนี่ยวนำแบบไม่มีแกนมีขดลวดพันอยู่รอบเตา ในขณะที่เตาเหนี่ยวนำแบบช่องมีขดลวดพันอยู่รอบแกนที่ติดตั้งอยู่ส่วนนอกของเตาหลอม เตาเหนี่ยวนำให้ความร้อนแก่โลหะที่ใช้หลอมโดยอาศัยการจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับแก่ขดลวดเพื่อกำเนิดสนามแม่เหล็ก เตาเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสขึ้นที่โลหะ ความต้านทานของโลหะที่มีต่อกระแสเหนี่ยวนำเป็นแหล่งกำเนิดความร้อนที่ใช้ในการหลอมโลหะ

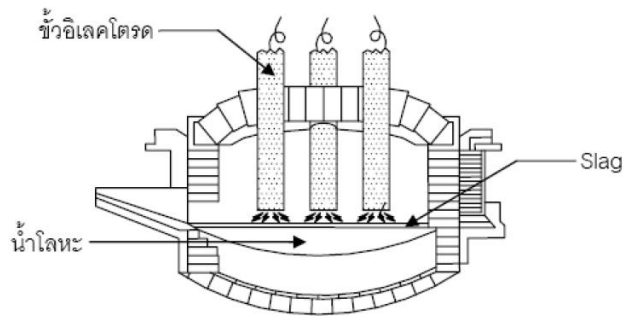


ภาพที่ 2.6 เตาเหนี่ยวนำแบบไม่มีแกน
ที่มา : (กรมพัฒนาพลังงานทดแทน, 2553)



ภาพที่ 2.7 เตาเหนี่ยวนำแบบช่อง
ที่มา : (กรมพัฒนาพลังงานทดแทน, 2553)

เตาอาร์คไฟฟ้า (Electric-Arc Furnace) มักใช้ในงานหลอมเหล็กกล้า เตาอาร์คไฟฟ้าใช้ความร้อนที่เกิดจากการอาร์คทางไฟฟ้าเพื่อหลอมโลหะ เตาอาร์คไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ เตาอาร์คไฟฟ้าทางอ้อม (Indirect-Arc Furnace) และ เตาอาร์คไฟฟ้าทางตรง (Direct-Arc Furnace) สำหรับเตาอาร์คไฟฟ้าทางอ้อม การอาร์คจะเกิดขึ้นระหว่างขั้วอิเล็กโตรด 2 ขั้ว ส่วนเตาอาร์คไฟฟ้าทางตรง การอาร์คจะเกิดขึ้นระหว่างขั้วอิเล็กโตรดและโลหะที่ใช้หลอม ภาพที่ 2.8 แสดงเตาอาร์คไฟฟ้าทางตรง



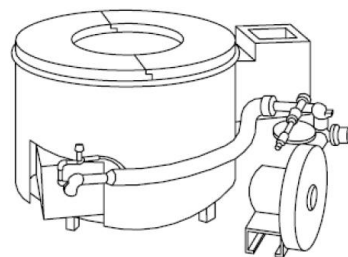
ภาพที่ 2.8 เตาอาร์คไฟฟ้าทางตรง

ที่มา : (กรมพัฒนาพลังงานทดแทน, 2553)

2.6.1.2 เตาหลอมเชื้อเพลิง

เตาหลอมเชื้อเพลิงใช้ความร้อนจากการสันดาปหลอมโลหะ เตาหลอมเชื้อเพลิงที่ใช้อย่างแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทหล่อหลอมโลหะ ได้แก่ เตาบ้า เตาคิวโปลา และเตาสะท้อนความร้อน เตาหลอมเชื้อเพลิงจะมีระบบมอเตอร์เพื่อนำอากาศและเชื้อเพลิงเข้ามาผสมกันสำหรับการสันดาป

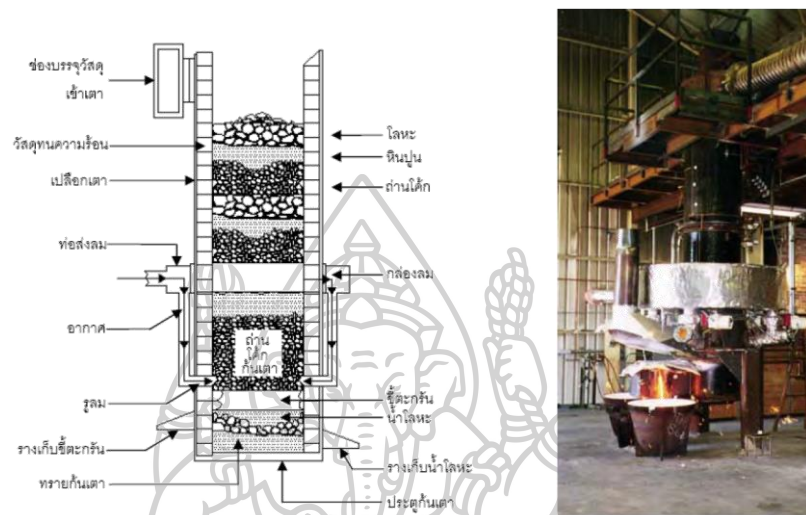
เตาบ้า (Crucible Furnace) มักใช้ในงานหลอมโลหะนอกกลุ่มเหล็กที่มีปริมาณน้อย เตาบ้าถือว่าเป็นเตาหลอมโลหะที่เก่าแก่ที่สุดและมีโครงสร้างง่ายที่สุด ภาพที่ 2.9 แสดงรูปร่างของเตาบ้า ซึ่งประกอบด้วยเข้าบรรจุโลหะที่ทำจากกราไฟต์ (Clay-Graphite) หรือ ซิลิกอนคาร์ไบด์ (Silicon-Carbide) และเปลือกที่ทำจากวัสดุทนความร้อนโดยมีเหล็กหุ้มอยู่ด้านนอก เปลือกดังกล่าวทำหน้าที่กักความร้อนจากการสันดาปให้ถ่ายเทไปยังเข้าให้มากที่สุด ความร้อนจากการสันดาปจะไม่ได้สัมผัสกับโลหะที่ใช้หลอมโดยตรง แต่ถ่ายเทโดยผ่านเข้าที่บรรจุโลหะ โดยทั่วไปแล้วเชื้อเพลิงที่ใช้กับเตาบ้า ได้แก่ น้ำมัน และก๊าซ อย่างไรก็ตามบางครั้งอาจใช้ถ่านหินหรือถ่านโค้ก



ภาพที่ 2.9 เตาบ้า

ที่มา : (กรมพัฒนาพลังงานทดแทน, 2553)

เตาคิวโปลา (Cupola Furnace) ใช้ในงานหลอมเหล็กหล่อ และใช้ถ่านโค้กเป็นเชื้อเพลิง เตาคิวโปลา มีลักษณะเป็นแท่งเหล็กทรงกระบอกแนวตั้ง ภายในบุด้วยวัสดุทนความร้อน ที่ก้นของเตาเป็นแอ่ง (Well) พักน้ำโลหะที่หลอมเหลวก่อนที่น้ำโลหะจะถูกจ่ายออก ภาพที่ 2.10 แสดงรูปร่างของเตาคิวโปลา



ภาพที่ 2.10 เตาคิวโปลา

ที่มา : (กรมพัฒนาพลังงานทดแทน, 2553)

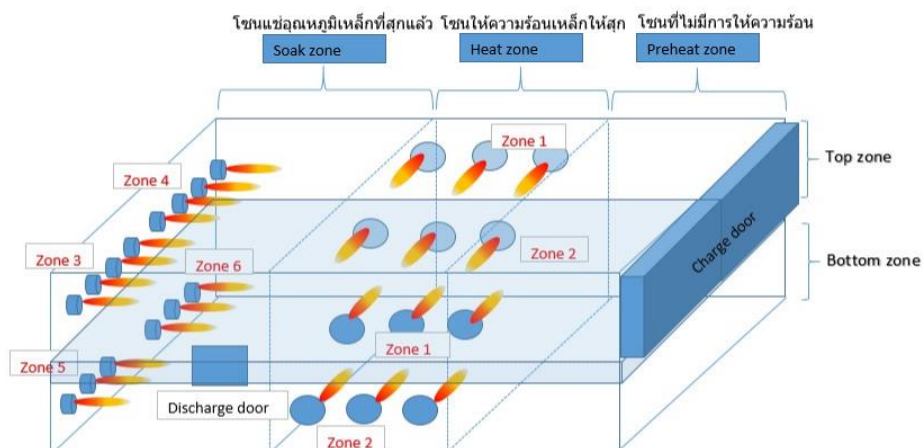
เตาสะท้อนความร้อน (Reverberatory Furnace) ใช้ในงานหลอมโลหะนอกกลุ่มเหล็กครั้งละปริมาณมากๆ โครงสร้างของเตาสะท้อนความร้อนจะเป็นห้องที่บุด้วยวัสดุทนไฟ ภายในห้องมีอ่างสำหรับบรรจุโลหะที่ใช้หลอม หัวเผา (Burner) จะฉีดเชื้อเพลิงซึ่งเป็นน้ำมันหรือก๊าซให้มาสันดาปในห้องดังกล่าว ความร้อนจากการสันดาปถ่ายเทเข้าสู่โลหะที่ใช้หลอมโดยวิธีการแผ่รังสีทั้งจากเปลวไฟโดยตรงและจากเพดานเตาที่ดูดซับความร้อนจากเปลวไฟ เตาสะท้อนความร้อนบางตัวอาจมีปั๊มหมุนเวียนน้ำโลหะเพื่อเพิ่มผลผลิต ลดการใช้เชื้อเพลิง และให้น้ำโลหะผสมเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น ภาพที่ 2.11 แสดงลักษณะของเตาสะท้อนความร้อน



ภาพที่ 2.11 เตาสะท้อนความร้อน
ที่มา : (กรมพัฒนาพลังงานทดแทน, 2553)

2.6.2 เตาอบเหล็กชนิด Reheating Furnace

เป็นเตาอบเหล็กที่มีหัว Burner ติดตั้งมาเพื่อสร้างความร้อนให้กับเตา จำนวนหัว Burner จะมีขนาดและจำนวนหัวมากขึ้นอยู่กับพื้นที่ของเตาอบ เชื้อเพลิงที่ใช้ส่วนมากในปัจจุบันคือก๊าซธรรมชาติ หรือเรียกว่า NG Gas เพราะให้ค่าความร้อนที่สูง ราคาถูก มลพิษทางอากาศน้อย การบำรุงรักษาง่าย เตาอบเหล็กชนิด Reheating Furnace แสดงดังภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 เตาอบเหล็ก (Reheating Furnace)

เตาอบเหล็กแบบ Reheating furnace แบ่งพื้นที่ดังต่อไปนี้

ส่วนที่ 1 Preheat zone เป็นส่วนที่ไม่ได้ติดตั้งหัว Burner ไว้ จะเป็นส่วนแรกที่เหล็กถูก Charge เหล็ก เข้ามาทางด้าน Charge Door เพื่อที่เหล็กจะผ่านต่อไปยัง Heat Zone และ Soak Zone ตามลำดับ ส่วนของ Preheat จะมีอุณหภูมิเฉลี่ย $1,000^{\circ}\text{C}$

ส่วนที่ 2 Heat Zone เป็นส่วนที่มี Burner ที่มีขนาดใหญ่ที่สุด เพราะต้องเร่งให้ความร้อนแก่เหล็กเพื่อให้ได้ตามมาตรฐานที่ตั้งไว้คือ 1,250°C

ส่วนที่ 3 Soak Zone เป็นส่วนที่มีหัว Burner มากที่สุด แต่ขนาดของ Burner จะเล็กกว่า Heat Zone เพราะในส่วนของ Soak Zone ต้องการให้อุณหภูมิเหล็กสูงถึงแกนกลางของเหล็ก (Core temp) อุณหภูมิที่ควบคุมไว้ที่ 1,250°C และจะถูก Discharge ออกมาทาง Discharge Door เพื่อนำไปรีดต่อไป

2.6.3 การใช้พลังงานสำหรับเตาอุตสาหกรรม

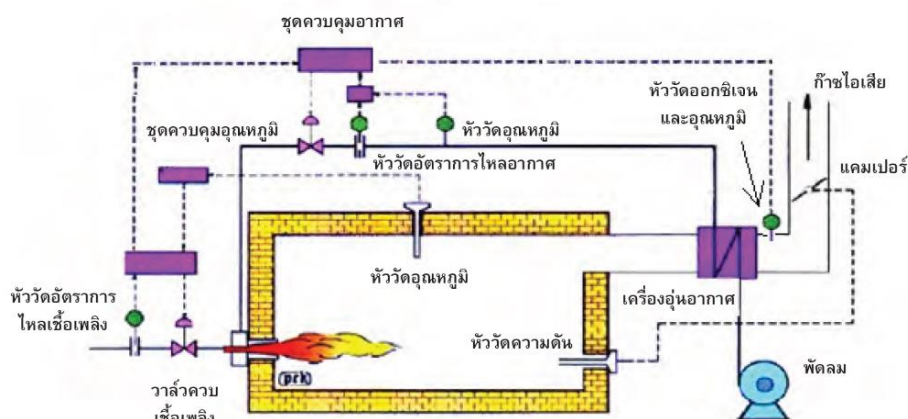
เตาอุตสาหกรรมมักจะทำงานที่อุณหภูมิสูง ดังตัวอย่างในตารางที่ 2.2 ตารางที่ 2.2 อุณหภูมิในเตาอุตสาหกรรม

ประเภทเตา	อุณหภูมิในเตา (°C)
เตาอบเหล็ก	600 - 1,100
เตาหลอมแก้ว	1,000 - 1,300
เตาเผาเซรามิกส์	700 - 1,100
เตาเผาซีเมนต์	650 - 700
เตาเผากำจัดของเสีย	650 - 1,000

2.6.4 ส่วนควบคุมการทำงานเตาเผา

ระบบควบคุมเตาเผาเป็นอีกหนึ่งองค์ประกอบในการควบคุมการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพ (นอกจากการเลือกใช้หัวเผา) การควบคุมเตาเผาให้มีประสิทธิภาพนั้นต้องควบคุมค่าตัวแปรต่างๆ ได้แก่ ควบคุมอุณหภูมิภายในเตา, ควบคุมอุณหภูมิก๊าซไอเสีย, ควบคุมออกซิเจนส่วนเกิน และควบคุมความดันภายในเตา

การควบคุมการเผาไหม้ของเตาอุตสาหกรรมโดยทั่วไปจะมีระบบควบคุมการทำงาน โดยจะวัดอุณหภูมิภายในเตาเมื่อถึงค่าที่ตั้งไว้ตัว ควบคุมจะสั่งให้ลดการจ่ายเชื้อเพลิงและตัวควบคุมอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงมีหน้าที่ปรับ เพิ่ม-ลดปริมาณอากาศให้เหมาะสม นอกเหนือจากภายในเตายังมีตัวควบคุมความดัน โดยใช้เซนเซอร์วัดความดันภายในเตาเพื่อหรีดแมมเปอร์ที่ปล่อยไอเสีย (ดังภาพที่ 2.13)



ภาพที่ 2.13 ระบบควบคุมการทำงานในเตาเผา

ที่มา : (สถาบันพลังงานเพื่ออุตสาหกรรม สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย, 2561)

2.7 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment; DOE)

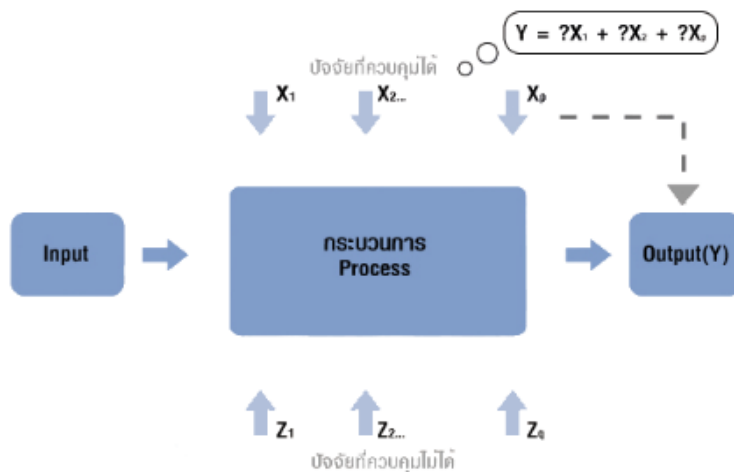
2.7.1 ความหมายของการออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลอง (Anderson & McLean, 1974) เป็นการตรวจสอบดูว่า ปัจจัยใดหรือตัวแปรใดที่มีผลต่อสิ่งที่สนใจ (Response) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแสดงการยืนยันถึงข้อเท็จจริง คือ พิสูจน์ข้อเท็จจริงหรือความเชื่อหรือทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต และเพื่อค้นหาข้อเท็จจริง คือ การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการ

การออกแบบการทดลอง คือ การดำเนินการทดลองอย่างเป็นระบบและมีการควบคุม มีวัตถุประสงค์เพื่อพิจารณาว่าวัตถุดิบที่ใส่เข้าไปในกระบวนการผลิต (Input: Xs) หรืออิทธิพลระหว่างกันของวัตถุดิบ (Interaction) มีความสัมพันธ์ต่อผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการผลิต (Output: Ys) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หรือไม่ ประโยชน์ของ DOE คือ เป็นเครื่องมือที่ช่วยประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย ในขณะที่ผลลัพธ์มีความน่าเชื่อถือสูง สามารถนำไปใช้ในการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของกระบวนการ เพื่อให้กระบวนการสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Optimal Process Setting)

การออกแบบการทดลองที่เกิดประสิทธิผล ผู้ควบคุมต้องทำตามขั้นตอนโดยต้องทำความเข้าใจกับปัญหา กำหนดวัตถุประสงค์ให้ชัดเจน เลือกผลลัพธ์ (Y) ของกระบวนการ กำหนดปัจจัย (X) ที่น่าจะมีผลสัมพันธ์กับผลลัพธ์ (Y) ทำการเก็บข้อมูลโดยใช้กลยุทธ์ที่เหมาะสม ได้แก่ One Factor at A Time, Full Factorial, Fractional Factorial, 2^k Factorial ทำการวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลการทดลอง จากนั้นจึงนำข้อสรุปที่ได้ไปปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ในกระบวนการแล้ว

ทดลองเก็บข้อมูลอีกครั้งเพื่อยืนยันผลก่อนนำไปปฏิบัติงานจริง โดยแสดงกระบวนการได้ดังภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.14 หลักการออกแบบ DOE
ที่มา : (สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ, 2562)

2.7.2 วัตถุประสงค์ของการออกแบบการทดลอง

(สิน พันธุ์พินิจ, 2547) ได้นำเสนอการออกแบบการทดลองมีความมุ่งหมาย ดังนี้

2.7.2.1 เพื่อให้ได้คำตอบของปัญหาการวิจัยที่ต้องการ ในการออกแบบการวิจัยตามแนวคิด ทฤษฎี จะทำให้ได้แบบแผนการวิจัยที่ดำเนินการตามวิธีการทางวิทยาศาสตร์ จะทำให้ได้ผลการวิจัยที่มี ความเที่ยงตรง มีความเชื่อมั่น และชัดเจน

2.7.2.2 เพื่อควบคุมความแปรปรวนของตัวแปร วิธีการทำความเข้าใจการแปรปรวนของตัวแปรที่ศึกษา มีค่าสูง ลดความคลาดเคลื่อนให้เหลือน้อยและความแปรปรวนโดยการสุ่ม และควบคุมตัวแปรแทรกซ้อนโดยใช้แบบแผนการวิจัยที่เหมาะสม

2.7.2.3 เพื่อให้ได้การวัดตัวแปรถูกต้อง ถ้าในการออกแบบการทดลองได้กำหนดตัวแปรแล้วกำหนดค่านิยามเชิงทฤษฎี ค่านิยามเชิงปฏิบัติการ และกำหนดสถิติที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ข้อมูล จะทำให้การวัดตัวแปรแต่ละประเภทได้อย่างถูกต้อง ลดความแปรปรวนและความคลาดเคลื่อนได้

2.7.2.4 เพื่อให้การดำเนินการทดลองเป็นระบบ การออกแบบการทดลองจะต้องระบุขั้นตอนในการดำเนินการที่ชัดเจนต่อเนื่อง เพื่อสะดวกต่อการติดตาม ตรวจสอบความก้าวหน้า และปัญหาอุปสรรคที่เกิดขึ้นได้อย่างชัดเจน และถูกต้อง

2.7.2.5 เพื่อความประหยัด ในการวางแผนการใช้งบประมาณ แรงงานและกำหนดเวลา ควรกำหนดอย่างเหมาะสม มีเหตุผล จะทำให้การดำเนินการวิจัยสามารถดำเนินการไปอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ

2.7.3 หลักการพื้นฐานในการวางแผนแบบการทดลอง

(รองศาสตราจารย์ สายชล สีนสมบุรณ์ทอง, 2558a) ได้กล่าวถึงหลักการพื้นฐานในการวางแผนแบบการทดลอง ไว้ดังนี้

2.7.3.1 การทดลอง (Experiment)

การทดลองเป็นวิธีการตรวจสอบเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อเท็จจริงใหม่ๆ หรือเพื่อยืนยันหรือปฏิเสธผลการทดลองที่ผ่านมา การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ 1) การทดลองเบื้องต้น (Preliminary Experiment) เป็นการทดลองที่ศึกษาก่อนเกี่ยวกับทริทเมนต์ที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก โดยเน้นการทดลองเบื้องต้นเพื่อนำผลที่ได้ไปศึกษาในการทดลองครั้งต่อไป ทริทเมนต์เหล่านี้ส่วนใหญ่ปรากฏหรือใช้ในการทดลองเพียงแค่ครั้งเดียวเท่านั้น 2) การทดลองขั้นวิกฤต (Critical Experiment) เป็นการทดลองที่ศึกษาเกี่ยวกับการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของทริทเมนต์ โดยใช้ค่าสังเกตของผลตอบสนองต่อทริทเมนต์ที่เหมาะสม เป็นการทดลองที่ต้องการหาคำตอบอย่างชัดเจนเพื่อนำผลการศึกษาไปใช้งานต่อไป และ 3) การทดลองขั้นสาธิต (Demonstration Experiment) เป็นการทดลองที่ต้องการแสดงการเปรียบเทียบให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของทริทเมนต์ใหม่กับทริทเมนต์เดิมที่ใช้อยู่หรือทริทเมนต์มาตรฐาน

2.7.3.2 ส่วนประกอบต่างๆ ของการทดลอง

หน่วยทดลองหรือแปลงทดลอง (Experimental Unit) หมายถึง หน่วยหรือกลุ่มของวัตถุทดลองที่ได้รับทริทเมนต์ชนิดเดียวกัน หน่วยทดลองอาจเป็นพืช 1 ต้น ในกระถางสัตว์ 1 ตัวในกรง พืชหลายต้นในกระถางเดียวกัน หรือสัตว์หลายตัวในกรงเดียวกัน เป็นต้น หน่วยทดลองที่ใช้ทางด้านเกษตรกรรมอาจเรียกว่า แปลงทดลอง

ทริทเมนต์ (Treatment) หมายถึง ลักษณะประจำตัวของวัตถุทดลองหรือวิธีการที่ใช้ปฏิบัติต่อหน่วยทดลอง ถ้าผู้ทดลองต้องการเปรียบเทียบพันธุ์สัตว์ พันธุ์สัตว์ต่างๆ ซึ่งเป็นลักษณะประจำตัวของสัตว์ ก็คือทริทเมนต์ ในทำนองเดียวกัน อายุ เพศ สีผิว ซึ่งเนลักษณะประจำตัวของวัตถุทดลอง ถ้าผู้ทดลองต้องการเปรียบเทียบก็ถือว่าเป็นทริทเมนต์ ในขณะเดียวกันอาหารสัตว์สูตรต่างๆ ปุ๋ยพืชชนิดต่างๆ กรรมวิธีต่างๆ ที่ใช้ผลิตทางอุตสาหกรรมเป็นวิธีการปฏิบัติต่อหน่วยทดลอง ถ้าผู้ทดลองต้องการเปรียบเทียบก็ถือว่าเป็นทริทเมนต์ ทริทเมนต์อาจเกิดจากปัจจัยเดียว เช่น ต้องการศึกษาเฉพาะปัจจัยเกี่ยวกับพันธุ์สัตว์เพียงปัจจัยเดียว หรืออาจเกิดจากหลายปัจจัย เช่น ต้องการศึกษาทั้งพันธุ์สัตว์และสูตรอาหารสัตว์ เป็นต้น ทริทเมนต์อาจมีชื่อเฉพาะโดยเรียกตามลักษณะการใช้และวัตถุประสงค์ของการทดลอง เช่น ถ้าใช้ทริทเมนต์นั้นเป็นตัวควบคุมจะเรียกว่า ทริทเมนต์ควบคุม (Control Treatment) ถ้าใช้ทริทเมนต์นั้นวิธีการปฏิบัติที่ใช้เป็นมาตรฐานทั่วไปจะเรียกว่า ทริทเมนต์มาตรฐาน (Standard Treatment) ในการวัดอิทธิพลของทริทเมนต์จะทำการวัดผลการตอบสนองต่อทริทเมนต์ของหน่วยตัวอย่างสุ่มซึ่งอาจจะเป็นส่วนหนึ่งของหน่วยทดลองหรือ

อาจจะเป็นหน่วยทดลองทั้งหน่วยก็ได้ ค่าสังเกตที่วัดจากหน่วยทดลองที่ได้รับทริทเมนต์ที่กำหนด เรียกว่า ผลตอบสนอง (Response)

ปัจจัย (Factor) หมายถึง สิ่งที่น่าสนใจศึกษาว่ามีผลต่อหน่วยทดลองหรือผลตอบสนองหรือไม่

ระดับของปัจจัย (Level of Factor) หมายถึง ความแตกต่างของปัจจัย อาจสามารถเรียงลำดับตามความมากน้อยได้ ปัจจัยที่มีระดับแตกต่างกันสามารถใช้เป็นทริทเมนต์ได้

ความแตกต่างระหว่างทริทเมนต์และปัจจัยคือ ทริทเมนต์ หมายถึง ลักษณะประจำตัวของวัตถุทดลอง หรือวิธีการที่ใช้ปฏิบัติต่อหน่วยทดลอง ดังนั้นปัจจัยที่มีระดับต่างๆ กัน เช่น ปุ๋ยที่นำไปใส่ในแปลงทดลอง 10, 20 และ 30 กิโลกรัมต่อไร่ ปุ๋ยทั้ง 3 ระดับจะเป็นทริทเมนต์ที่ให้กับหน่วยทดลอง ดังนั้นปัจจัยระดับต่างๆ กัน ถ้านำไปใส่ในหน่วยทดลองจะถือว่าเป็นทริทเมนต์ แต่ทริทเมนต์ไม่จำเป็นต้องมาจากปัจจัยในระดับต่างๆ กันก็ได้ เช่น ทริทเมนต์อาจจะเป็นวิธีการที่ต้นไม่ได้รับน้ำและวิธีการที่ต้นไม่รับแสงแดดในการทดลองเดียวกัน ถ้าทำการทดลองโดยใช้หลายปัจจัยแต่ละปัจจัยมีหลายระดับทริทเมนต์ที่ให้กับหน่วยทดลองจะเป็นทริทเมนต์ที่เกิดจากระดับของแต่ละปัจจัยร่วมกัน เรียกว่า การจัดกลุ่มทริทเมนต์ (Treatment Combination) ซึ่งมีจำนวนเท่ากับ ผลคูณของระดับปัจจัยเหล่านั้น

2.7.3.3 ความคลาดเคลื่อนในการทดลอง

คือความแปรผันระหว่างค่าสังเกตของหน่วยทดลองที่ได้รับทริทเมนต์ชนิดเดียวกันซึ่งความคลาดเคลื่อนนี้เป็นปัจจัยภายนอกหรืออิทธิพลอื่นๆ ที่นอกเหนือจากอิทธิพลของทริทเมนต์ การที่หน่วยทดลองหลายๆ หน่วย ได้รับทริทเมนต์ชนิดเดียวกันแต่ให้ผลตอบสนองต่อทริทเมนต์แตกต่างกันอาจเกิดจากหลายสาเหตุที่เป็นความแปรผันจากสาเหตุที่ไม่ทราบแน่ชัด

สาเหตุที่ทำให้เกิดความแปรผันระหว่างหน่วยทดลองที่ได้รับทริทเมนต์ชนิดเดียวกัน ได้แก่ 1) ความแปรผันที่มีอยู่ก่อนแล้วในหน่วยทดลอง หรือความแปรผันสืบทอด หรือความแปรผันถาวร เป็นความแปรผันเนื่องจากหน่วยทดลองที่ใช้กับทริทเมนต์เพราะหน่วยทดลองแต่ละหน่วยจะมีความแปรผันระหว่างหน่วยทดลองอยู่แล้วก่อนทำการทดลอง เช่น สัตว์อาจมีอายุ เพศ หรือน้ำหนักเมื่อมีการทดลองแตกต่างกัน เมล็ดพันธุ์พืชที่นำมาปลูกแม้ว่าจะเป็นพันธุ์เดียวกัน และได้จากต้นแม่เดียวกันอาจมีลักษณะพันธุกรรมไม่เหมือนกัน ความแปรผันนี้มีมาน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ในการทดลอง วัสดุที่ใช้ในการทดลองที่เป็นสิ่งมีชีวิต มักจากความแปรผันมากกว่า วัสดุที่ใช้ในการทดลองที่เน่สิ่งไม่มีชีวิต ถ้าผู้ทดลองสามารถควบคุมความแปรผันนี้ได้จะช่วยให้ความคลาดเคลื่อนลดลงซึ่งทำให้ประสิทธิภาพในการทดลองเพิ่มขึ้น 2) ความแปรผันที่เกิดขึ้นขณะทำการทดลอง หรือความแปรผันภายนอก หรือความแปรผันชั่วคราว เป็นการความแปรผันเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอในการทดลอง ได้แก่ ความแปรผันเนื่องจากสิ่งแวดล้อม เช่น ปริมาณน้ำฝน ความ

เข้มของแสง ความเร็วของลม ได้รับในปริมาณที่ไม่เท่ากันหรือความไม่สม่ำเสมอในการปฏิบัติงาน เช่น การใส่ปุ๋ย การให้น้ำ การเตรียมดิน การฉีดยาปราบศัตรูพืช กระทำไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งแปลง เนื่องจาก ความความเคลื่อนไหวในการทดลองมีผลต่อกำลังการทดสอบและขนาดของห้วงความเชื่อมั่น ถ้า ความคลาดเคลื่อนสูงจะทำให้การทดสอบต่ำ และขนาดของห้วงความเชื่อมั่นกว้างแต่ถ้าความ คลาดเคลื่อนต่ำจะทำให้การทดสอบสูง และขนาดของห้วงความเชื่อมั่นแคบ ดังนั้นเราจึงพยายามที่จะ ลดความคลาดเคลื่อนในการทดลองให้น้อยลงเท่าที่จะทำได้โดยลดความแปรผันทั้ง 2 แหล่งที่กล่าว มาแล้ว

2.7.3.4 การลดความความคลาดเคลื่อนในการทดลอง ประกอบด้วย

การทดลองซ้ำ (Replication) หมายถึงการดำเนินการทดลองซ้ำ อีกครั้ง เพื่อจุดประสงค์ 2 อย่างที่สำคัญคือ เพื่อให้สามารถมองเห็นและประเมินค่าความคลาดเคลื่อน จากการ ทดลองได้ การดำเนินการวิเคราะห์จะนำเอาค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวไปประเมินว่า ปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อกระบวนการบ้าง และเพื่อกำจัดห้วงความคลาดเคลื่อน (Average Out) อิทธิพล ที่ไม่สามารถควบคุมได้ที่มีต่อปัจจัย เปรียบดังเช่นการหาค่าเฉลี่ยนั่นเองเป็นวิธีการในการประเมินค่า อิทธิพลของปัจจัยอีกอย่างหนึ่ง

การสุ่ม (Randomization) หมายถึง การทดลองที่มีทั้งวัสดุที่ใช้ใน การทดลองและลำดับของการทดลองแต่ละครั้งเป็นแบบสุ่ม (Random) วิธีการเชิงสถิติกำหนดว่า ข้อมูลจะต้องเป็นปัจจัยแบบสุ่มที่มีการกระจายแบบสุ่มและที่มีการกระจายแบบอิสระ วัตถุประสงค์ ของการสุ่มมีดังนี้คือ เพื่อขจัดอคติ หรือความเอนเอียงของผู้ทดลอง และเพื่อให้แน่ใจว่าทริทเมนต์ ต่างๆ จะไม่ได้เปรียบและเสียเปรียบกันในเรื่องที่เกี่ยวกับการทดลอง การสุ่มจึงเป็นการประกันว่า จะไม่มีอคติใดๆ เกิดขึ้นในการทดลอง และเพื่อวิเคราะห์และทดสอบทางสถิติ นั้นมีข้อกำหนดว่าความ คลาดเคลื่อน (Error) จะต้องเกิดขึ้นโดยสุ่มเป็นอิสระต่อกัน การสุ่มจึงเป็นการทำให้ข้อมูลเป็นไปตาม ข้อกำหนดเหล่านี้ ทั้งนี้การสุ่มจะช่วยขจัดหรือเฉลี่ยความผันแปรภายนอกที่ควบคุมไม่ได้ให้เกิดขึ้นกับ หน่วยทดลองด้วยโอกาสเท่าๆ กัน การทำแบบสุ่มยังสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 วิธี คือ การทำแบบสุ่ม สมบูรณ์ (Complete Randomization), การทำแบบสุ่มอย่างง่าย (Simple Randomization) และการทำแบบสุ่มแบบสมบูรณ์ภายในบล็อก (Complete Randomization)

การบล็อก (Blocking) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการเพิ่มความแม่นยำ (Precision) ให้แก่การทดลอง หรือคือเพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนในการทดลอง

2.7.3.5 ขั้นตอนในการออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) มีขั้นตอน ทั่วไปของการออกแบบการทดลอง (Montgomery, 2001) ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดหัวข้อปัญหา (Problem Identification) จะต้องชัดเจน เข้าใจได้ง่ายและเป็นรูปธรรม

ขั้นตอนที่ 2 เลือกตัวแปรที่ใช้ชี้วัด (Define Response Variables)

ขั้นตอนที่ 3 การกำหนดระดับของปัจจัย (Factors Identification) จำเป็นที่จะต้องเลือกปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการอย่างแท้จริง ซึ่งสามารถเลือกจากกรรมวิธีคัดกรองโดยเครื่องมือทางสถิติ จำพวก Univariate เช่น T-Test เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 4 ออกแบบการทดลอง (Design Experiment) เช่น การกำหนดจำนวนสิ่งตัวอย่าง วิธีการเลือกสิ่งตัวอย่าง วางแผนการทำการทดลอง วิธีการบันทึกผลการทดลอง และการกำหนดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 5 ดำเนินการทดลอง (Perform the Experiment) ให้เป็นไปตามแผนการ ทั้งวิธีการดำเนินการ ความถูกต้องในการวัด การควบคุมตัวแปรในการทดลอง และเก็บผลการทดลอง

ขั้นตอนที่ 6 วิเคราะห์ข้อมูล (Analyze Data) เป็นการตรวจสอบลักษณะและคุณภาพของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง การพิสูจน์ทราบความถูกต้องของ Model ที่ได้ (Model adequacy checking) หาค่าระดับนัยสำคัญของอิทธิพลของแต่ละปัจจัย โดยควรนำเอาวิธีการทางสถิติมาใช้ในการทดลอง เพื่อผลลัพธ์และข้อสรุปที่เกิดขึ้นจะเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการทดลอง ถ้าการทดลองได้ถูกออกแบบมาเป็นอย่างดี

ขั้นตอนที่ 7 สรุปผล (Conclusion) หาข้อสรุปในทางปฏิบัติและนำเสนอแนะแนวทางของกิจกรรมที่จะเกิดขึ้น นอกจากนี้แล้วการทำการทดลองเพื่อยืนยันผล ควรจะทำขึ้นเพื่อที่จะทำการตรวจสอบความถูกต้องของข้อสรุปที่เกิดขึ้นอีกด้วย

2.7.4 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล

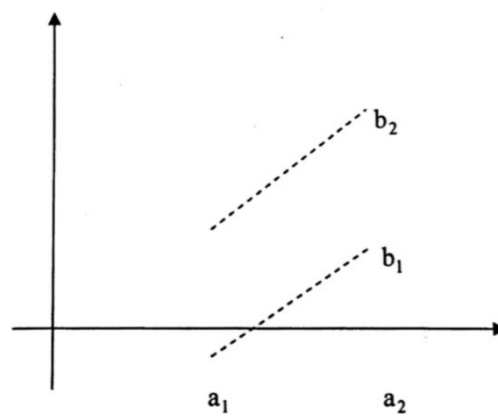
2.7.4.1 ความหมายของการทดลองเชิงแฟคทอเรียล

(รองศาสตราจารย์ สายชล สินสมบูรณ์ทอง, 2558a) ได้กล่าวถึงความหมายของการทดลองเชิงแฟคทอเรียล เป็นการทดลองที่สนใจศึกษาถึงอิทธิพลของหลายๆ ปัจจัยพร้อมกัน โดยแต่ละปัจจัยอาจมีหลายระดับ การจัดที่รทเมนต์ของการทดลองแบบนี้จะพิจารณาที่การจัดกลุ่ม (Combination) ของระดับต่างๆ ของปัจจัยดังกล่าวที่เป็นไปได้ทั้งหมด ดังนั้นการทดลองแบบแฟคทอเรียลจะมีคุณค่ามากในการวิจัยที่ยังไม่ค่อยทราบเกี่ยวกับระดับที่เหมาะสมหรือที่มีความสำคัญของปัจจัยต่างๆ การทดลองนี้จะช่วยหาระดับที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัย นอกจากนั้นยังมีประโยชน์ที่จะใช้ศึกษาถึงอิทธิพลของปัจจัยหนึ่งๆ ว่าจะมีผลต่อปัจจัยอื่นๆ ที่ระดับต่างๆ กันหรือในสภาพการณ์ที่ต่างๆ กัน (Interaction) ออกไปด้วย

อิทธิพลหลัก (Main Effect) หมายถึง อิทธิพลของปัจจัยที่เมื่อระดับของปัจจัยเปลี่ยนไป จะทำให้ผลที่ได้จากการทดลองเปลี่ยนไปด้วย อิทธิพลหลักหาได้จากการเฉลี่ยผลบวกค่าอิทธิพลอย่างง่าย สัญลักษณ์ที่ใช้แทนอิทธิพลหลักจะใช้อักษร A, B, C,

อิทธิพลร่วม หรือปฏิสัมพันธ์ของปัจจัย (Interaction Effect) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงในอิทธิพลของปัจจัยหนึ่งที่เกิดขึ้นเมื่อระดับของปัจจัยหนึ่งเปลี่ยนแปลงไป ปฏิสัมพันธ์ของปัจจัยหาได้จากการเฉลี่ยผลต่างค่าอิทธิพลอย่างง่าย สามารถแสดงปฏิสัมพันธ์ของ AB ได้ดังภาพที่ 2.15-2.17)

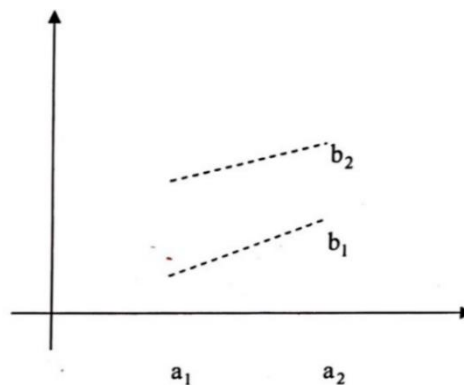
สเกลตอบสนอง (Response scale)



ภาพที่ 2.15 ปฏิสัมพันธ์ของ AB ไม่มีเกิดขึ้น

ที่มา : (รองศาสตราจารย์ สายชล สินสมบูรณ์ทอง, 2558a)

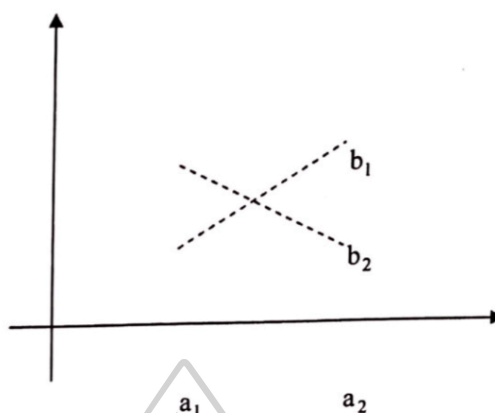
สเกลตอบสนอง (Response scale)



ภาพที่ 2.16 ปฏิสัมพันธ์ของ AB มีเกิดขึ้นซึ่งเกิดจากขนาดของการตอบสนองต่างกันเมื่อเปลี่ยนระดับของอีกปัจจัยหนึ่ง

ที่มา : (รองศาสตราจารย์ สายชล สินสมบูรณ์ทอง, 2558a)

สเกลตอบสนอง (Response scale)



ภาพที่ 2.17 ปฏิสัมพันธ์ของ AB มีเกิดขึ้นซึ่งเกิดจากความแตกต่างในทิศทางของการตอบสนอง

ที่มา : (รองศาสตราจารย์ สายชล สิ้นสมบุรณ์ทอง, 2558a)

การจัดกลุ่มของทรีทเมนต์ (Treatment Combination) หมายถึงการจัดกลุ่มของทรีทเมนต์ของการทดลองแบบแฟคทอเรียลจะเป็นการจัดกลุ่มของระดับต่างๆ ของปัจจัยที่สนใจศึกษา สัญลักษณ์ที่ใช้แทนระดับของปัจจัยคือ a_1, a_2, \dots ; b_1, b_2, \dots ; c_1, c_2, \dots ดังนั้นการจัดกลุ่มของทรีทเมนต์อาจจะเป็น $a_1b_2c_3$, $a_2b_1c_3$ เป็นต้น

2.7.4.2 รูปแบบของการออกแบบเชิงแฟคทอเรียล

(รองศาสตราจารย์ สายชล สิ้นสมบุรณ์ทอง, 2558b) ได้กล่าวถึงการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล เป็นการออกแบบที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการตรวจสอบอิทธิพลของหลายๆปัจจัย การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลมีอยู่ด้วยกันหลายแบบ ได้แก่

การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 2 ปัจจัย เป็นการออกแบบเชิงแฟคทอเรียลชนิดง่ายที่สุด จะเกี่ยวข้องกับ 2 ปัจจัย

การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^k การวางแผนแบบแฟคทอเรียลใช้อย่างกว้างขวางในการทดลองเกี่ยวกับหลายปัจจัย ซึ่งมีความจำเป็นที่จะศึกษาปฏิสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีต่อผลตอบสนอง อย่างไรก็ตามในกรณีพิเศษหลายกรณีของการวางแผนแบบแฟคทอเรียลโดยทั่วไปมีความสำคัญ เนื่องจากการวางแผนแบบแฟคทอเรียลใช้อย่างกว้างขวางในงานวิจัยและเป็นพื้นฐานของการวางแผนแบบอื่นๆ ที่มีคุณค่าในทางปฏิบัติเป็นอย่างมาก โดยสิ่งที่สำคัญที่สุดของกรณีพิเศษเหล่านี้คือมีจำนวนปัจจัย k ปัจจัย และแต่ละปัจจัยมีเพียง 2 ระดับ โดยที่ระดับของปัจจัยเหล่านั้นอาจเป็นตัวแปรเชิงปริมาณ เช่น อุณหภูมิ 2 ระดับ ความดัน 2 ระดับ หรือระยะเวลา 2 เวลา หรือระดับของปัจจัยอาจเป็นตัวแปรเชิงคุณภาพ เช่น เครื่องจักร 2 เครื่อง ผู้ปฏิบัติงาน 2 คน ระดับสูงและระดับต่ำของปัจจัยหนึ่งหรือการมีและการไม่มีของปัจจัยหนึ่งจำนวนซ้ำที่สมบูรณ์ของการวางแผน

เช่นนี้จำเป็นต้องมีค่าสังเกตจำนวน $2 \times 2 \times \dots \times 2 = 2^k$ ค่า จึงเรียกว่า การวางแผนแบบ 2^k แฟคทอเรียล (2^k Factorial Design) การวางแผนแบบ 2^k แฟคทอเรียล เป็นประโยชน์ในระยะเริ่มต้นของการทดลอง เมื่อทำการตรวจสอบปัจจัยที่มีอยู่เป็นจำนวนมากเป็นการหาจำนวนรันหรือจำนวนการทดลอง (Run) ที่น้อยที่สุดซึ่งสามารถศึกษาปัจจัย k ปัจจัย ในการวางแผนแบบแฟคทอเรียลที่สมบูรณ์ได้ ดังนั้นการวางแผนเหล่านี้ใช้อย่างกว้างขวางในการทดลองคัดเลือกปัจจัย (Factor Screening Experiments) และเนื่องจากแต่ละปัจจัยมีเพียง 2 ระดับ จะต้องสมมติว่าผลตอบสนองเป็นเชิงเส้น โดยประมาณในขอบเขตของระดับปัจจัยที่ถูกเลือกมาทดลอง ในการทดลองคัดเลือกปัจจัยจำนวนมากเมื่อเริ่มต้นศึกษากระบวนการหรือระบบ กระบวนการหรือระบบจะต้องเป็นไปตามข้อสมมติเบื้องต้นวิธีการง่ายๆ สำหรับการตรวจสอบข้อสมมติเบื้องต้นนี้โดยการเพิ่มจุดศูนย์กลางในการวางแผนแบบ 2^k แฟคทอเรียล วิธีการวิเคราะห์ของการวางแผนแบบ 2^k แฟคทอเรียลทั่วไป เป็นการวางแผนที่มี k ปัจจัย โดยที่แต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ ตัวแบบทางสถิติสำหรับการวางแผนแบบ 2^k แฟคทอเรียล ประกอบด้วยอิทธิพลหลัก k เทอม ปฏิสัมพันธ์ 2 ปัจจัย $\binom{k}{2}$ เทอม ปฏิสัมพันธ์ 3 ปัจจัย $\binom{k}{3}$ เทอม และปฏิสัมพันธ์ k ปัจจัย 1 เทอม นั่นคือสำหรับการวางแผนแบบ 2^k แฟคทอเรียล ตัวแบบที่สมบูรณ์จะมีอิทธิพล 2^{k-1} เทอม ตัวอย่างเช่น ในการวางแผนแบบ 2^5 แฟคทอเรียล $abcd$ แทนการจัดกลุ่มของทริทเมนต์ที่มีปัจจัย A, B และ D อยู่ที่ระดับสูงและปัจจัย C และ E อยู่ที่ระดับต่ำ การจัดกลุ่มของทริทเมนต์อาจจะเขียนในรูปลำดับมาตรฐาน (Standard Order) เช่น ลำดับมาตรฐานสำหรับการวางแผนแบบ 2^4 แฟคทอเรียล คือ $(1), a, b, ab, c, ac, bc, abc, d, ad, bd, abd, cd, acd, bcd$ และ $abcd$

วิธีการทั่วไปเพื่อการวิเคราะห์ทางสถิติของการวางแผนแบบ 2^k แฟคทอเรียล สรุปได้ดังนี้คือ 1) ประมาณค่าอิทธิพลของปัจจัย 2) หาตัวแบบเริ่มต้น ถ้าการวางแผนมีการทำซ้ำ และถ้าการวางแผนไม่มีการทำซ้ำ หาตัวแบบโดยใช้พล็อตความน่าจะเป็นแบบปกติของอิทธิพลต่างๆ 3) ทำการทดสอบทางสถิติ 4) หาตัวแบบที่แก้ไขใหม่ 5) วิเคราะห์เศษตกค้าง และ 6) แปลผล

ขั้นตอนที่ 1 เพื่อประมาณค่าอิทธิพลของปัจจัยและตรวจสอบเครื่องหมายและค่าต่างๆ เหล่านั้น การประมาณค่าอิทธิพลของปัจจัยจะให้ข้อมูลเบื้องต้นแก่ผู้ทำการทดลองซึ่งปัจจัยและปฏิสัมพันธ์อาจจะมีความสำคัญ

ขั้นตอนที่ 2 หาตัวแบบเริ่มต้นสำหรับการทดลอง เลือกตัวแบบเต็มรูป (Full Model) นั่นคือ อิทธิพลหลักและปฏิสัมพันธ์ทั้งหมดอยู่ภายใต้เงื่อนไขว่าการวางแผนมีการทำซ้ำอย่างน้อย 1 ครั้ง

ขั้นตอนที่ 3 ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทดสอบนัยสำคัญของอิทธิพลหลักและปฏิสัมพันธ์ ตารางที่ 2.3 แสดงรูปแบบทั่วไปของการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับการวางแผนแบบ 2^k แฟคทอเรียล ที่มี n ซ้ำ

ขั้นตอนที่ 4 หาตัวแบบที่แก้ไขใหม่ โดยทั่วไปประกอบด้วยการตัดตัวแปรที่ไม่มีนัยสำคัญ ออกจากตัวแบบเต็มรูป

ขั้นตอนที่ 5 วิเคราะห์เศษตกค้างเพื่อตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบและเพื่อตรวจสอบข้อสมมติเบื้องต้น ในบางครั้งการแก้ไขตัวแบบใหม่จะเกิดขึ้นหลังจากการวิเคราะห์เศษตกค้าง ถ้าเราพบว่าตัวแบบไม่มีความเหมาะสมหรือไม่เป็นตามข้อสมมติเบื้องต้น

ขั้นตอนที่ 6 ใช้การวิเคราะห์เชิงกราฟโดยพล็อตอิทธิพลหลักและปฏิสัมพันธ์ หรือพล็อตพื้นผิวตอบสนองและพล็อตโครงร่าง

ตารางที่ 2.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับการวางแผนแบบ 2^k แฟคทอเรียล

แหล่งความแปรผัน	ผลบวกกำลังสอง	จำนวนองศาความเป็นอิสระ
อิทธิพลหลัก k เทอม		
A	SSA	1
B	SSB	1
.	.	.
.	.	.
.	.	.
K	SSK	1
ปฏิสัมพันธ์ 2 ปัจจัย $\binom{k}{2}$ เทอม		
AB	SSAB	1
AC	SSAC	1
.	.	.
.	.	.
.	.	.
JK	SSJK	1
แหล่งความแปรผัน	ผลบวกกำลังสอง	จำนวนองศาความเป็นอิสระ
ปฏิสัมพันธ์ 2 ปัจจัย $\binom{k}{3}$ เทอม		
ABC	SSABC	1

ตารางที่ 2.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับการวางแผนแบบ 2^k แฟคทอเรียล (ต่อ)

แหล่งความแปรผัน	ผลบวกกำลังสอง	จำนวนองศาความเป็นอิสระ
ABD	SSABD	1
.	.	.
.	.	.
.	.	.
IJK	SSIJK	1
.	.	.
.	.	.
.	.	.
ปฏิสัมพันธ์ k ปัจจัย $\binom{k}{k}$ เทอม		
	SSABC...K	1
ABC...K	SSE	$2^k(n-1)$
แหล่งความแปรผัน	ผลบวกกำลังสอง	จำนวนองศาความเป็นอิสระ
ความคลาดเคลื่อน	SST	$n2^k-1$
รวม		

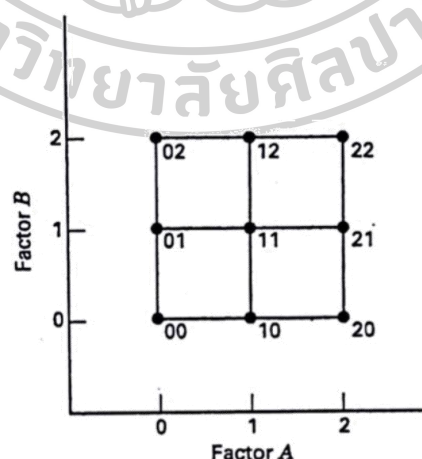
การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^{k-p} (2^{k-p} Factorial Design) การวางแผนแบบเศษส่วนของ 2^k แฟคทอเรียล ประกอบด้วยหน่วยทดลอง 2^{k-p} ค่า เรียกว่าเศษส่วน $\frac{1}{2^p}$ ของการวางแผน 2^k แฟคทอเรียล หรือการวางแผนแบบเศษส่วนของ 2^{k-p} แฟคทอเรียล การวางแผนเหล่านี้จำเป็นต้องเลือกตัวก่อกำเนิดที่เป็นอิสระกัน p ตัว ตัวยุติความสัมพันธ์สำหรับการวางแผนประกอบด้วยตัวก่อกำเนิดที่เลือกตอนเริ่มต้น p ตัว และปฏิสัมพันธ์ทั่วไป 2^{p-1} ตัว โครงสร้างอิทธิพลแฝงอาจจะหาได้โดยการคูณแต่ละอิทธิพล (Column) ด้วยตัวยุติความสัมพันธ์ ข้อควรระวังคือ ควรจะเลือกตัวก่อกำเนิดเพื่อทำให้อิทธิพลต่างๆ ที่สนใจไม่ได้มีอิทธิพลแฝงซึ่งกันและกันในแต่ละอิทธิพลมีอิทธิพลแฝง 2^{p-1} ตัวสำหรับค่า k ที่มากปานกลาง สมมติว่าปฏิสัมพันธ์อันดับสูงขึ้นไป (ปฏิสัมพันธ์อันดับที่ 3 และ 4 และสูงกว่านี้) ไม่มีความสำคัญและหาโครงสร้างอิทธิพลแฝงได้ง่าย

การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบ 3 ระดับ หรือการออกแบบ 3^k เป็นการจัดแฟคทอเรียลที่มี k ปัจจัย โดยแต่ละปัจจัยมี 3 ระดับ ปัจจัยและปฏิสัมพันธ์จะแทนด้วยตัวอักษรตัวใหญ่ เราใช้ระดับของปัจจัยทั้ง 3 ระดับ เป็น ระดับต่ำ ปานกลาง และสูง สัญลักษณ์ที่แตกต่างกัน อาจจะใช้เพื่อแสดงระดับของปัจจัยเหล่านั้น วิธีการหนึ่งคือ ให้แทนระดับของปัจจัยด้วย

เลข 0 (ระดับต่ำ) 1 (ระดับปานกลาง) และ 2 (ระดับสูง) ในแต่ละการจัดกลุ่มของทริทเมนต์ของการวางแผนแบบ 3^k แฟคทอเรียล จะแทนด้วยเลข k หลัก โดยที่เลขหลักแรกแทนระดับของปัจจัย A เลขหลักที่สองแทนระดับของปัจจัย B เป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนถึงเลขหลักที่ k แทนระดับปัจจัย K ตัวอย่างเช่น ในการวางแผนแบบ 3^2 แฟคทอเรียล และ 00 แทนการจัดกลุ่มของทริทเมนต์ที่ปัจจัย A และ B อยู่ที่ระดับต่ำ และเลข 01 แทนการจัดกลุ่มของทริทเมนต์ที่ปัจจัย A อยู่ที่ระดับต่ำ และ B อยู่ที่ระดับปานกลาง ภาพที่ 2.18 และ 2.19 แสดงรูปร่างของกราฟของการวางแผนแบบ 3^2 แฟคทอเรียล และ 3^3 แฟคทอเรียล ตามลำดับ ระบบของสัญลักษณ์นี้สามารถใช้สำหรับการวางแผนแบบ 2^k แฟคทอเรียล ดังที่ได้แสดงที่ผ่านมาแล้วโดยใช้ 0 และ 1 แทนเครื่องหมายลบและบวกตามลำดับ ในการวางแผนแบบ 2^k แฟคทอเรียล มักใช้สัญลักษณ์ ± 1 เนื่องจากการวางแผนเป็นรูปเรขาคณิตที่ง่ายและเนื่องจากเหมาะสมโดยตรงกับตัวแบบการถดถอย การบล็อก และการสร้างเศษส่วน แฟคทอเรียล ในระบบของการวางแผนแบบ 3^k แฟคทอเรียล เมื่อปัจจัยเป็นเชิงปริมาณ บ่อยครั้งเราแทนระดับต่ำ ปานกลาง และสูงด้วย $-1, 0$ และ 1 ตามลำดับ สามารถใช้กับตัวแบบถดถอยที่ผลตอบสนองมีความสัมพันธ์กับระดับปัจจัย ตัวอย่างเช่น พิจารณาการวางแผนแบบ 3^2 แฟคทอเรียล ในภาพที่.... ให้ X_1 แทนปัจจัย A และ X_2 แทนปัจจัย B ตัวแบบถดถอยที่ผลตอบสนอง y มีความสัมพันธ์กับ X_1 และ X_2 คือ

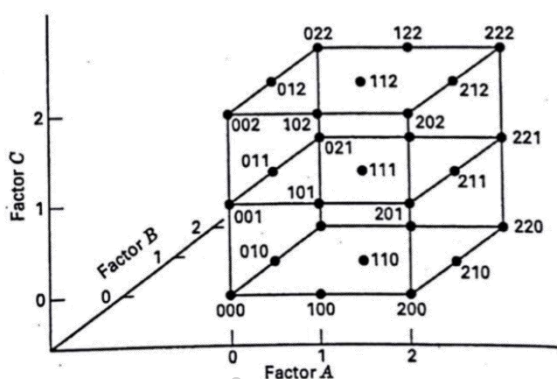
$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \epsilon \quad \dots(8)$$

จะสังเกตเห็นว่าการเพิ่มระดับปัจจัยที่ 3 จะทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบสนองและปัจจัยต่างๆ เป็นรูปลูกบาศก์



ภาพที่ 2.18 การจัดกลุ่มของทริทเมนต์ในการวางแผนแบบ 3^2 แฟคทอเรียล

ที่มา : (รองศาสตราจารย์ สายชล สีนสมบูรณ์ทอง, 2558b)



ภาพที่ 2.19 การจัดกลุ่มของทรีทเมนต์ในการวางแผนแบบ 3^3 แฟคทอเรียล

ที่มา : (รองศาสตราจารย์ สายชล สนิสมบูรณ์ทอง, 2558b)

รูปแบบของการออกแบบการทดลองนั้นมีให้พิจารณาหลายแบบเพื่อให้ผู้ทำการวิจัยได้เลือกใช้สำหรับการทดลอง โดยแนวทางของการคัดเลือกกว่าควรที่จะนำรูปแบบการทดลองแบบไหนมาใช้ขึ้นขึ้นอยู่กับหลายๆ ปัจจัยซึ่งมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน ซึ่งตารางที่ 2.4 แสดงถึงรูปแบบการทดลองที่นิยมใช้ในปัจจุบัน

ตารางที่ 2.4 รูปแบบของการออกแบบการทดลองที่นิยมใช้

รูปแบบ	ลักษณะของการทดลอง	เวลาที่ใช้	ความแม่นยำ	งบประมาณ
Single Factor	ทำการทดลองสำหรับ 1 ปัจจัย	รวดเร็ว	ปานกลาง	น้อย
Factorial Design	ทำการทดลองที่มากกว่า 1 ปัจจัย เต็มรูปแบบ	ใช้เวลามาก	มากที่สุด	มาก
2^k Design	ทำการทดลองที่มากกว่า 1 ปัจจัย เต็มรูปแบบ กำหนดระดับของปัจจัยอยู่ที่ 2 ระดับ	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง
2^{k-p} Design	ทำการทดลองที่มากกว่า 1 ปัจจัย แต่ลดรูป	รวดเร็ว	น้อย	น้อย
3^k Design	ทำการทดลองที่มากกว่า 1 ปัจจัย เต็มรูปแบบ กำหนดระดับของปัจจัยอยู่ที่ 3 ระดับ	ใช้เวลามาก	มากที่สุด	มาก

ที่มา : (บุญชัย แซ่สัว & ณัฐธยาน์ โสกุล, 2559)

2.7.5 แนวทางในการใช้เครื่องมือการออกแบบการทดลอง

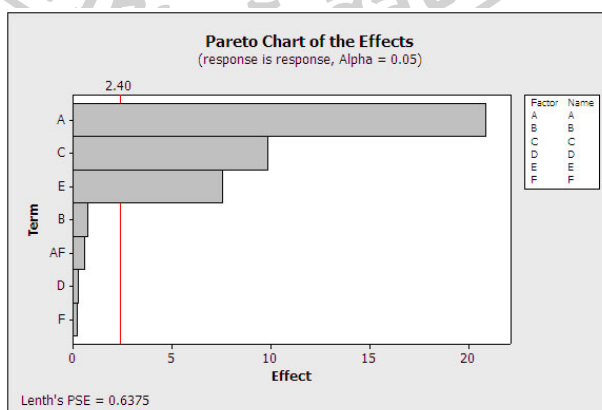
การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment, DOE) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการหาจุดที่เหมาะสม (Optimize) และปรับปรุง (Improve) กระบวนการ ดังนั้นเราสามารถที่จะเลือกตัวแบบการทดลอง (Design) จำนวนปัจจัย (Factors) และจำนวนระดับของปัจจัย (Level of Factors) ให้มีความเหมาะสมได้อย่างไร หลังจากที่ทำการรวบรวมข้อมูลแล้ว

ทางหนึ่งที่จะเริ่มต้นการทำ DOE คือ ใช้ตัวช่วยจาก Minitab คือ “Assistant” เมื่อมีปัจจัยจำนวนมากที่จะต้องประเมิน Assistant จะเดินตามทางของ DOE เพื่อเลือกปัจจัยที่มีความสำคัญมากที่สุด (ขั้นนี้เรียก Screening Design) หลังจากนั้น Assistant จะแนะนำให้ทำการทดลองที่ออกแบบเพื่อคัดกรองปัจจัยที่สำคัญที่มีผลกระทบมากที่สุด (ขั้นนี้เรียก Optimize Design) ซึ่งแนวทางในการใช้เครื่องมือการออกแบบการทดลองให้ออกมาดีนั้น ประกอบด้วย

2.7.5.1 ทำการระบุตัวแปรให้ถูกต้องเพื่อจะนำมาศึกษาในการทดลองเพื่อสำรวจตัวแปร (การทดลองเชิงบุก Exploratory Runs) เพื่อช่วยในการหาค่า Settings ของกระบวนการเพื่อทำให้สมรรถนะดีขึ้น ซึ่งการทำทดลองแบบนี้ช่วยทำให้จำนวนตัวแปรที่จะมาทำการทดลองเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีประโยชน์ที่สุด

2.7.5.2 ทำการเพิ่มจุดการทดลองเพื่อการควบคุม เพื่อวัดความเสถียรของกระบวนการ ในการทำการทดลองแบบ Center-Point ที่มีเงื่อนไข

2.7.5.3 บ่งชี้ปัญหาที่สำคัญที่สุดด้วยการวิเคราะห์ด้วยพาเรโต แผนภูมิพาเรโตของผลิตภัณฑ์หรือข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น ช่วยทำให้สามารถระบุถึงปัญหาว่าควรเป็นหัวข้อใดที่ควรนำมาแก้ไขก่อนเพื่อทำให้ผลดีที่กับธุรกิจมากที่สุด เป็นการเลือกหัวข้อปัญหาที่จะนำมาเป็นหัวข้อในการปรับปรุงเพื่อให้เกิดผลต่อธุรกิจมากที่สุด ตัวอย่างแผนภูมิพาเรโตแสดงดังภาพที่ 2.20



ภาพที่ 2.20 แผนภูมิพาเรโต

ที่มา : (บริษัท โซลูชั่น เซ็นเตอร์ จำกัด, 2560)

2.7.5.4 เพิ่มช่วงของค่า Input Settings ในการทดสอบจะทำการใช้ค่าตัวแปร Input โดยให้มีช่วงของค่าตัวแปรในการทดสอบให้กว้างมากที่สุด แม้ช่วงนั้นจะมากกว่าช่วงที่ใช้อยู่ (หรืออาจจะได้ใช้) ทั้งนี้เพื่อให้การทดลองสามารถนำผลมาใช้ประโยชน์มากที่สุด โดยเฉพาะในการหาค่าตัวแปรว่าจะเหมาะสมที่สุดในระดับใด (Optimal Settings)

2.7.5.5 ทำการทดลองบางส่วน (Fraction) เพื่อเป็นการประหยัดค่าใช้จ่าย โดยใช้การทดลองที่มีค่า Resolution V ในหลายๆกรณี การทำการทดลองด้วยจำนวน $\frac{1}{2}$ หรือ $\frac{1}{4}$ ก็มีประโยชน์มากกว่าการทดลองแบบสมบูรณ์ ถึงแม้ว่าจะมีเรื่อง Confounded Effects การทดลองที่มี Resolution V จะมีอิทธิพลของ Confounded น้อยที่สุด เพราะผลของการทดลองยังสามารถนำมาประมาณค่าอิทธิพลของ main และ Two-way Interactions ได้การทดลองที่มีจำนวนครั้งน้อยลงทำให้ประหยัดต้นทุนการทดลอง (ตัวอย่างแสดงดังภาพที่ 2.21)

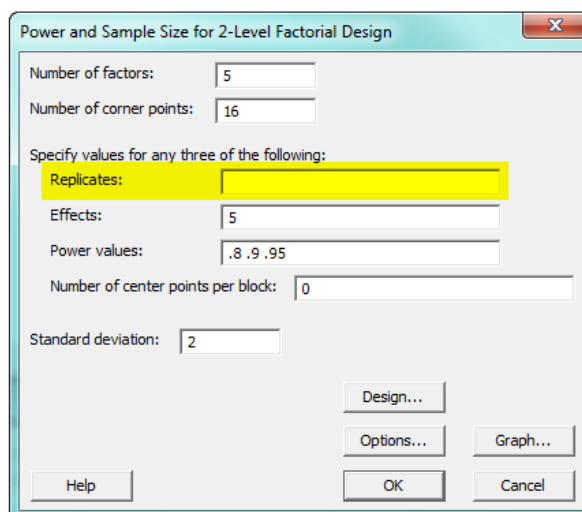
Available Factorial Designs (with Resolution)

Run	Factors													
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
4	Full	III												
8		Full	IV	III	III	III								
16			Full	V	IV	IV	IV	III	III	III	III	III	III	III
32				Full	VI	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
64					Full	VII	V	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
128						Full	VIII	VI	V	V	IV	IV	IV	IV

ภาพที่ 2.21 Available Factorial Designs

ที่มา : (บริษัท โซลูชั่น เซ็นเตอร์ จำกัด, 2560)

2.7.5.6 ทำให้ค่าอำนาจการทดสอบของการทดลอง (Power of Test) ดีขึ้นด้วยการทำซ้ำ (Replicate) ค่าอำนาจการทดสอบ (Power) คือ ค่าโอกาสที่จะสามารถทำการตรวจจับอิทธิพลที่มีต่อค่าตอบสนอง ถ้าอิทธิพลนั้นมีอยู่จริง ค่าจำนวนการทำซ้ำ (Replicate) จะมีผลต่ออำนาจการทดสอบของการทดลอง เพื่อเพิ่มโอกาสในการบ่งชี้ค่า input ที่มีอิทธิพลต่อค่าตอบสนอง คุณควรทำการทดลองแบบมีการทำซ้ำ (ตัวอย่างแสดงดังภาพที่ 2.22)



ภาพที่ 2.22 การทำซ้ำการทดลอง (Replicate)
ที่มา : (บริษัท โซลูชั่น เซ็นเตอร์ จำกัด, 2560)

2.7.5.7 ทำให้ค่าอำนาจการทดสอบของการทดลองดีขึ้นด้วยการใช้ค่าตอบสนองเป็นค่าวัดเชิงปริมาณ การลดข้อผิดพลาดคือวัตถุประสงค์หลักของการทดลอง ดังนั้น ค่าจำนวนนับข้อผิดพลาดจึงมักถูกนำมาใช้เป็นค่าตอบสนอง แต่ค่าจำนวนนับข้อผิดพลาดเป็นค่า Output ที่ไม่ดีนักสำหรับค่าวัด ดังนั้นควรมีการใช้ค่าวัดอื่นๆแทนที่เพื่อเป็นตัวแทนระดับข้อผิดพลาด ซึ่งการทำแบบนี้จะทำให้จำนวนสิ่งตัวอย่างในการทดลองมีค่าลดลงและยังทำให้อำนาจการทดสอบเพิ่มขึ้นด้วย

2.7.5.8 ทำการศึกษาค่าตัวแปรทั้งหมดที่น่าจะมีความเกี่ยวข้องกับค่าตอบสนอง การทดลองแบบ Factorial เป็นรูปแบบการทดลองที่จะทำให้สามารถศึกษาตัวแปร Input ทั้งหมดที่คาดว่าจะมีอิทธิพลต่อค่าตอบสนอง การไม่นำเอาปัจจัยตัวใดตัวหนึ่งมาทำการศึกษาอาจทำให้โอกาสในบ่งชี้ความสำคัญของปัจจัยนั้นลดลง ซึ่งการใช้ Minitab ที่มีเครื่องมือทางสถิติช่วยในการวิเคราะห์ ทำให้เราไม่ต้องกังวลต่อความซับซ้อนของปัจจัยตัวแปร Inputs

2.8 การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing)

2.8.1 การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing)

โดยทั่วไปเมื่อเกิดข้อปัญหา หรือข้อสงสัยใดๆ แล้ว ก่อนอื่นจะต้องเริ่มต้นด้วยการตั้งข้อสงสัยกับปัญหาดังกล่าวเสียก่อน แล้วค่อยนำข้อสงสัยดังกล่าว มาพิสูจน์ว่าที่เราสงสัยดังกล่าวเป็นจริงหรือไม่ ซึ่งในวิชาสถิติ เรียกข้อสงสัยดังกล่าวว่า สมมติฐาน และการพิสูจน์ข้อสงสัยก็เรียกว่า การทดสอบสมมติฐาน เช่นเดียวกัน การที่สามารถใช้ข้อมูลจากตัวอย่างเพื่อประมาณค่าพารามิเตอร์ของประชากรได้นั้น ไม่ได้แปลว่าเรารู้พฤติกรรมของประชากรได้ทั้งหมด เพราะยังมี

ปัญหาทางวิศวกรรมอีกมากมายที่ต้องการการตัดสินใจ ในทางปฏิบัติผู้ใช้สถิติจะนำเอาปัญหาดังกล่าวมาตั้งเป็นสมมติฐาน แล้วก็ทำการทดลอง เก็บข้อมูล แล้ววิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ และตัดสินใจที่จะยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐาน โดยอ้างอิงตามผลการวิเคราะห์ดังกล่าว ซึ่งเราเรียกกระบวนการทั้งหมดนี้ว่าการทดสอบสมมติฐานซึ่งจัดว่าเป็นการประยุกต์ใช้หลักวิชาสถิติที่สำคัญ

การทดสอบสมมติฐานเป็นข้อความเกี่ยวกับพารามิเตอร์ของการแจกแจงความน่าจะเป็นหรือพารามิเตอร์ของตัวแบบ สมมติฐานสะท้อนถึงการทำนายเกี่ยวกับสถานการณ์ของปัญหา

การตั้งสมมติฐานจะกล่าวถึงประชากรเท่านั้น ไม่ใช่ตัวอย่างที่เก็บมาค่าคงที่ที่นำมาใช้ตั้งสมมติฐานหลักนั้นจะมีที่มาได้ 3 ทางดังนี้

2.8.1.1 ได้มาจากข้อมูลเก่า หรือค่าที่กระบวนการดังกล่าวเป็นอยู่ในอดีต หรืออาจจะได้มาจากการทดลองก่อนหน้านี้ก็ได้ ซึ่งกรณีนี้แปลว่าเรากำลังพิสูจน์ว่าค่าพารามิเตอร์หรือ กระบวนการ ได้เปลี่ยนแปลงไปหรือยัง

2.8.1.2 ได้มาจากทฤษฎี ผลการวิจัย หรือผลจากแบบจำลองในห้องปฏิบัติการ ดังนั้นการทดสอบสมมติฐานในกรณีนี้จะเป็นการ พิสูจน์ทราบหรือยืนยัน ทฤษฎี หัวข้อการวิจัย หรือแบบจำลองว่าถูกต้องหรือไม่

2.8.1.3 ได้มาจากข้อกำหนดทางวิศวกรรม (Engineering Specification) ในกรณีนี้แปลว่าเราต้องการทดสอบว่ากระบวนการ ยังตรงตามข้อกำหนดหรือไม่

2.8.2 สมมติฐานทางสถิติ (Statistical Hypothesis)

เป็นข้อสมมติเกี่ยวกับค่าพารามิเตอร์หนึ่งตัวหรือมากกว่า ของหนึ่งประชากรหรือหลายประชากร ซึ่งข้อสมมติดังกล่าวอาจเป็นจริงหรือไม่ก็ได้ สมมติฐานที่จะทดสอบ จะเรียกว่าสมมติฐานเพื่อการทดสอบหรือสมมติฐานหลัก (Null Hypothesis) และแทนด้วย H_0 ส่วนสมมติฐานที่แย้งกับสมมติฐานหลัก เรียกว่าสมมติฐานแย้งหรือ สมมติฐานรอง (Alternative Hypothesis) แทนด้วย H_1

ในการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าพารามิเตอร์ θ เมื่อ θ_0 คือค่าของพารามิเตอร์ที่จะพิจารณาใน H_0 และ H_1 ซึ่งขัดแย้งกันกันเสมอ หาก H_0 เป็นจริงแล้ว H_1 จะไม่จริง และในทางกลับกัน หาก H_0 ไม่จริงแล้ว H_1 จะเป็นจริงเสมอ การขัดแย้งกันมี 3 ลักษณะ

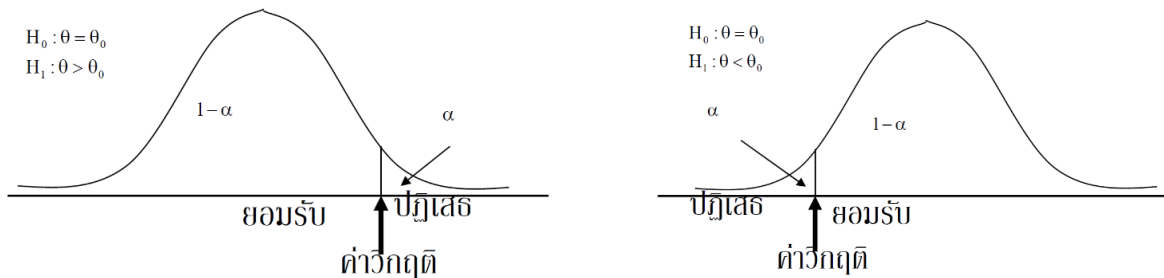
$$H_0 : \theta = \theta_0 \quad H_1 : \theta > \theta_0 \quad \dots(9)$$

$$H_0 : \theta = \theta_0 \quad H_1 : \theta < \theta_0 \quad \dots(10)$$

$$H_0 : \theta = \theta_0 \quad H_1 : \theta \neq \theta_0 \quad \dots(11)$$

2.8.2.1 การทดสอบสมมติฐานแบบทางเดียว (One - tailed Test) แสดงดัง

ภาพที่ 2.23



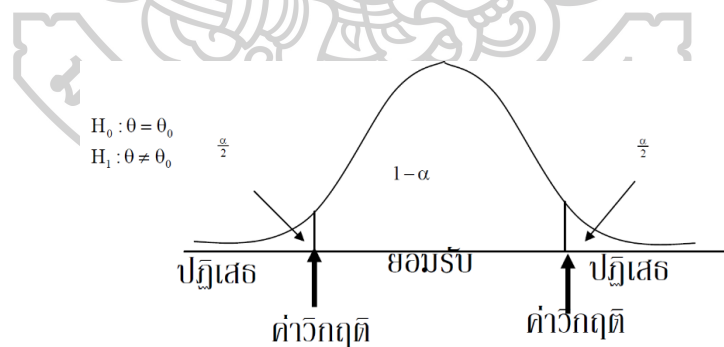
ภาพที่ 2.23 การทดสอบสมมติฐานแบบทางเดียว (One - tailed Test)

ที่มา : (รองศาสตราจารย์ สายชล สิ้นสมบูรณ์ทอง, 2558b)

จากสมมติฐานที่ตั้งขึ้นโดยอาศัยตัวสถิติทดสอบซึ่งอาจจะเป็น Z , T , X^2 หรือ F แล้วนำข้อมูลหลักฐานที่เก็บรวบรวมได้จากตัวอย่างที่สุ่มมาเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจที่จะยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐาน H_0 ด้วยเหตุนี้จึงจะเห็นว่าการแบ่งการแจกแจงของตัวสถิติทดสอบออกเป็น 2 ส่วน คือ บริเวณยอมรับและปฏิเสธ โดยค่าที่แบ่งบริเวณทั้งสองนี้เรียกว่า ค่าวิกฤติ (Critical Value)

2.8.2.2 การทดสอบสมมติฐานแบบสองทาง (Two - tailed Test) แสดงดังภาพ

ที่ 2.24



ภาพที่ 2.24 การทดสอบสมมติฐานแบบสองทาง (Two - tailed Test)

ที่มา : (รองศาสตราจารย์ สายชล สิ้นสมบูรณ์ทอง, 2558b)

2.8.2.3 บริเวณยอมรับ (Acceptance Region)

คือบริเวณที่ทำให้เกิดการยอมรับ H_0 ส่วนบริเวณปฏิเสธ (Rejection Region) หรือบริเวณวิกฤติ (Critical Region) คือบริเวณที่ทำให้เกิดการปฏิเสธ H_0

2.8.2.4 ความคลาดเคลื่อนในการตัดสินใจ

เนื่องจากการตัดสินใจที่จะยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐาน ขึ้นอยู่กับข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาจากกลุ่มตัวอย่าง จึงไม่อาจตัดสินใจด้วยความมั่นใจได้มีโอกาสที่จะตัดสินใจผิดได้เสมอ ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ความคลาดเคลื่อนในการตัดสินใจ

สมมติฐานหลัก (H_0)	การตัดสินใจ	
	ปฏิเสธ H_0	ยอมรับ H_0
เป็นจริง / ถูก	ความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 $P(\text{Type I Error}) = \alpha$	ตัดสินใจถูกต้อง (ระดับความเชื่อมั่น = $1-\alpha$)
ไม่เป็นจริง / ไม่ถูก	ตัดสินใจถูกต้อง (อำนาจการทดสอบ = $1-\beta$)	ความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 2 $P(\text{Type II Error}) = \beta$

2.8.2.5 ขั้นตอนการทดสอบสมมติฐาน ประกอบด้วย

- ขั้นตอนที่ 1 ตั้งสมมติฐานทางสถิติ
- ขั้นตอนที่ 2 เลือกสถิติที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบสมมติฐาน
- ขั้นตอนที่ 3 กำหนดระดับนัยสำคัญหรือระดับความคลาดเคลื่อน และขนาดของกลุ่มตัวอย่าง
- ขั้นตอนที่ 4 กำหนดเขตวิกฤต ในการปฏิเสธสมมติฐาน โดยอาศัยการแจกแจงของตัวอย่างของสถิติที่ใช้ทดสอบ
- ขั้นตอนที่ 5 คำนวณค่าสถิติ
- ขั้นตอนที่ 6 ทำการตัดสินใจ และสรุปผล

2.8.3 ค่าระดับนัยสำคัญ (Level of Significance)

หมายถึงค่าของ α ที่เรากำหนดให้ เรามักกำหนดให้ $\alpha = 0.05$ หรือ 0.01 เป็นต้น หรือบอกเป็นเปอร์เซ็นต์คือ 5% หรือ 1% เป็นต้น

ความผิดพลาดชนิดที่ 1 (Type I Error) หมายถึงความผิดพลาดในการตัดสินใจปฏิเสธ H_0 ที่เป็นจริง เนื่องจากเราไม่ทราบล่วงหน้าจึงกำหนดในรูปของความน่าจะเป็น

$$\begin{aligned} \text{ให้ } \alpha &= \text{ความน่าจะเป็นที่จะทำความผิดพลาดชนิดที่ 1} \quad \dots(12) \\ &= P(\text{Type I Error}) \end{aligned}$$

ความผิดพลาดชนิดที่ 2 (Type II Error) หมายถึงความผิดพลาดในการตัดสินใจยอมรับ H_0 ที่ไม่จริง เนื่องจากเราไม่ทราบล่วงหน้าจึงกำหนดในรูปของความน่าจะเป็น เช่นกัน

$$\begin{aligned} \text{ให้ } \beta &= \text{ความน่าจะเป็นที่จะทำความผิดพลาดชนิดที่ 2} && \dots(13) \\ &= P(\text{Type II Error}) \end{aligned}$$

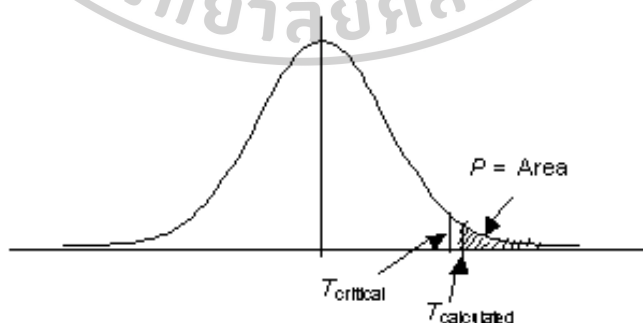
แต่ทั้งนี้ทั้งนั้น การที่จะเลือกค่านัยสำคัญทั้งสองนี้เท่าใดก็ขึ้นอยู่กับความรุนแรง ถ้าหากมีการตัดสินใจผิดพลาด ไม่ได้มีสูตรตายตัวหรือข้อกำหนดตายตัวขึ้นอยู่กับสถานการณ์

2.8.4 P-Value

โดยทั่วไป เมื่อเราต้องการสรุปผลการทดสอบสมมติฐานนั้น เราจะสนใจว่าสมมติฐานหลัก (Null Hypothesis) ถูกยอมรับหรือปฏิเสธ ถ้าถูกยอมรับ นั่นก็แปลว่า สมมติฐานเป็นจริง หรือแปลว่าสมมติฐานนั้นไม่เป็นจริง ถ้าถูกปฏิเสธ จึงมีการกำหนดค่าระดับนัยสำคัญ เพื่อที่จะบอกยอมรับหรือปฏิเสธ Null Hypothesis เราเรียกว่า Probability Value (P-Value) ไม่ว่าเราจะทดสอบสมมติฐานประเภทใดก็ตาม (Pearson Correlation r , T-test, F-test) เป็นต้น ผลการทดสอบสมมติฐานหรือโอกาสในการที่จะยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานนั้นๆจะเป็นไปตามทฤษฎี Probability ภายใต้ Normal Distribution เท่านั้น

การคำนวณหาค่า P-Value มีทั้งหมด 3 กรณี ตามการกำหนดรูปแบบการทดสอบสมมติฐาน คือ

2.8.4.1 กรณีที่การทดสอบมากกว่า (Upper-tailed Test) ค่า P-value จะเท่ากับพื้นที่ใต้กราฟด้านขวามือของค่า Z หรือ t ที่คำนวณได้ ($T_{\text{calculated}}$) ในกรณีนี้ α ก็เท่ากับพื้นที่ใต้กราฟตั้งแต่ด้านขวามือของค่า T_{critical} ไปจนสุดขอบ แสดงดังภาพที่ 2.25



ภาพที่ 2.25 ค่า P-value กรณีการทดสอบมากกว่า (Upper-tailed Test)

ที่มา : (รองศาสตราจารย์ สายชล สิ้นสมบูรณ์ทอง, 2558b)

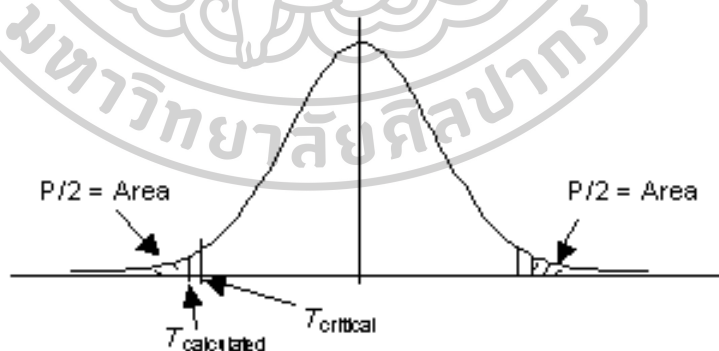
2.8.4.2 กรณีที่การทดสอบน้อยกว่า (Lower-tailed Test) ค่า P-value จะเท่ากับพื้นที่ใต้กราฟด้านซ้ายมือของค่า $-Z$ หรือ $-t$ ที่คำนวณได้ ($T_{\text{calculated}}$) ในกรณีนี้ α ก็จะเท่ากับพื้นที่ใต้กราฟตั้งแต่ด้านซ้ายมือของค่า T_{critical} ไปจนสุดขอบ แสดงดังภาพที่ 2.26



ภาพที่ 2.26 ค่า P-value กรณีการทดสอบน้อยกว่า (Lower-tailed Test)

ที่มา : (รองศาสตราจารย์ สายชล สินสมบุรณ์ทอง, 2558b)

2.8.4.3 กรณีการทดสอบไม่เท่ากับ (Two-tailed Test) ค่า P-value จะมีค่าเท่ากับผลรวมของพื้นที่ใต้กราฟที่อยู่ด้านซ้ายของค่า $-Z$ หรือ $-t$ และพื้นที่ใต้กราฟที่อยู่ด้านขวาของค่า Z หรือ t ที่คำนวณได้ ในกรณีนี้ α จะเท่ากับสองเท่าของพื้นที่ใต้กราฟตั้งแต่ด้านซ้ายของค่า T_{critical} หรือ $-T_{\text{critical}}$ ไปจนสุดขอบของกราฟ รายละเอียดแสดงดังภาพที่ 2.27



ภาพที่ 2.27 ค่า P-value กรณีการทดสอบไม่เท่ากับ (Two-tailed Test)

ที่มา : (รองศาสตราจารย์ สายชล สินสมบุรณ์ทอง, 2558b)

ดังนั้น α คือ พื้นที่ที่อยู่ใต้เส้นกราฟ เมื่อใช้ค่า Z หรือ T- Critical ซึ่งก็คือ เกณฑ์ หรือ Limit นั่นเอง ส่วน P-Value คือพื้นที่ใต้กราฟ เมื่อใช้ค่า Z หรือ T- Calculated ซึ่งก็คือ ค่า Actual ที่ได้จากการวิเคราะห์จากข้อมูลจริง

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.9.1 งานวิจัยในประเทศ

(พรฉัตรชัย สังขรัตน์, 2543) ศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาโปรแกรมการจัดการซ่อมบำรุงเชิงป้องกันของเครื่องจักรเพื่อลดเวลาการทำงานล่วงเวลาและลดเวลาว่างในการปฏิบัติงานแต่ละวัน ช่วยอำนวยความสะดวกในการจัดการข้อมูล การเบิกจ่าย การสั่งซื้อสารหล่อลื่น และช่วยในการตัดสินใจในการคงคลังสารหล่อลื่น จากการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว สามารถวางแผนงานบำรุงรักษาเชิงป้องกันของเครื่องจักรได้อย่างเหมาะสม โดยลดเวลาว่างจากการปฏิบัติงานบำรุงรักษาเชิงป้องกันของแต่ละวันลงได้ 62.07% และสามารถใช้คนในการปฏิบัติงานบำรุงรักษาเชิงป้องกันเครื่องจักรน้อยลงจากเดิม 1 คน ในส่วนของงานด้านการจัดการสารหล่อลื่น

(กังวาน ชยติมันต์กุล, 2545) ศึกษาการวิเคราะห์ต้นทุนคุณภาพสำหรับโรงงานหล่อโลหะ ตามีวัตถุประสงค์เพื่อจัดตั้งระบบต้นทุนคุณภาพและศึกษาค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในโรงงาน โดยทำการศึกษาเฉพาะในส่วน of โรงหล่อโลหะที่ใช้เตาไฟฟ้า และเน้นในส่วน of ต้นทุนที่เกิดขึ้นจากคุณภาพของสินค้า ซึ่งคาดว่าจะสามารถใช้เป็นแนวทางสำหรับอุตสาหกรรมลักษณะเดียวกันได้ จากการศึกษาสภาพปัจจุบันของโรงงานตัวอย่าง พบว่าทางโรงงานประสบปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพของสินค้าค่อนข้างมาก เช่น มีงานที่ลูกค้านำสินค้าเข้ามาเปลี่ยน การทำงานที่ช้าช้อน มีการซ่อมแซมงานระหว่างทำการผลิต เป็นต้น ส่งผลให้เกิดค่าใช้จ่ายเนื่องจากคุณภาพของสินค้าในจำนวนที่สูง ดังนั้นทางโรงงานจึงต้องการข้อมูลที่ใช้ในการวัดผลในรูปแบบของค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเนื่องจากคุณภาพของสินค้า โดยต้นทุนคุณภาพเป็นตัววัดผลทางการเงินตัวหนึ่งที่ใช้ในการบ่งชี้และช่วยให้พนักงานคำนึงถึงผลที่เกิดขึ้นเนื่องจากคุณภาพของสินค้า ซึ่งส่งผลให้ทางโรงงานต้องสูญเสียรายได้เป็นจำนวนมาก ในการวิเคราะห์ต้นทุนคุณภาพเริ่มจาก ทำการวิเคราะห์กิจกรรม และค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นแยกประเภทค่าใช้จ่าย พร้อมทั้งทำการจัดทำระบบต้นทุนคุณภาพ ซึ่งประกอบด้วย การจัดทำแบบฟอร์มเพื่อทำการเก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับการคำนวณ การอบรมพนักงานในการบันทึกข้อมูล การคำนวณต้นทุนคุณภาพ และการรายงานผลที่เกิดขึ้น นำไปสู่วิเคราะห์ต้นทุนคุณภาพที่เกิดขึ้นตามแต่ละประเภทของต้นทุนคุณภาพ และแต่ละผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษาอยู่ ผลที่ได้จากการดำเนินการวิจัย คือ ทางโรงงานสามารถจัดตั้งระบบต้นทุนคุณภาพ เพื่อให้เข้าใจถึงต้นทุนที่เกิดขึ้นในระบบคุณภาพ และสามารถจัดการควบคุมคุณภาพให้เป็นระบบและสามารถวัดผลได้โดยใช้ต้นทุนคุณภาพเป็นตัวชี้วัด ซึ่งจากชิ้นงานตัวอย่างพบว่าต้นทุนอยู่ที่ 35.82 บาท/กิโลกรัม พบต้นทุนคุณภาพ

ที่ได้อยู่ที่ 8.22 บาท/กิโลกรัม คิดเป็น 222.95% และพบต้นทุนที่ซ่อนเร้นอยู่ 3.06 บาท คิดเป็น 8.54%

(สิริวรรณ เกตุวิจิตร, 2547) ศึกษาการเปรียบเทียบวิธีการคำนวณต้นทุนระหว่าง ต้นทุนช่วงกับต้นทุนผสมและการใช้ต้นทุนคุณภาพสำหรับอุตสาหกรรมหลอมอลูมิเนียม โดยศึกษา ปัญหาในการคำนวณต้นทุนการผลิตแบบเดิมซึ่งเป็นการคำนวณตามระดับต้นทุนช่วง การคำนวณ ต้นทุนการผลิตตาม Batch ซึ่งเป็นการคำนวณตามระบบต้นทุนผสม โดยเปรียบเทียบวิธีการคำนวณ ต้นทุนการผลิตแบบเดิมกับต้นทุนตาม Batch และศึกษาต้นทุนคุณภาพเพื่อวิเคราะห์ต้นทุนที่ ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มและต้นทุนที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่ม โดยมีการสอบถามจากเจ้าหน้าที่ที่มีส่วน เกี่ยวข้องในส่วนงานต่างๆ ของบริษัท เพื่อทราบถึงกระบวนการผลิต กิจกรรมที่เกี่ยวกับคุณภาพและ ระบบบัญชีต้นทุนแบบเดิม โดยนำทฤษฎีที่เกี่ยวข้องมาใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์ต้นทุนรวมของ สินค้าสำเร็จรูปทั้ง 2 วิธี คือวิธีต้นทุนช่วงและต้นทุนผสมจะได้เท่ากัน แต่ที่แตกต่างกันคือต้นทุนต่อ หน่วยการคำนวณต้นทุนตาม Batch โดยใช้ระบบต้นทุนผสม จะได้ต้นทุนสำเร็จรูปต่อหน่วยของสินค้า 1 ชนิดไม่เท่ากัน ข้อมูลต้นทุนที่ได้สามารถเปรียบเทียบกับประมาณการที่กำหนดโดยแผนกตรวจสอบ คุณภาพก่อนการผลิตใน Batch นั้นๆ ได้

(ฉัตรชัย แสงจันทร์, 2550) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบริหาร คุณภาพกับต้นทุนคุณภาพของธุรกิจเครื่องมือทางไฟฟ้าและอุปกรณ์ที่ได้รับ ISO 9000 โดยทำการเก็บ รวบรวมข้อมูลจากผู้บริหารธุรกิจเครื่องมือทางไฟฟ้าและอุปกรณ์ที่ได้รับ ISO 9000 แล้วนำมา วิเคราะห์พบว่าผู้บริหารธุรกิจฯ มีความคิดเห็นด้วยเกี่ยวกับการมีประสิทธิภาพการบริหารคุณภาพ โดยรวมและเป็นรายด้านทุกด้านอยู่ในระดับมาก ด้านการให้ความสำคัญกับลูกค้า ด้านความเป็นผู้นำ ด้านการมีส่วนร่วมของบุคลากรและความคิดเห็นด้วยเกี่ยวกับการมีต้นทุนคุณภาพโดยรวมและเป็น รายด้านทุกด้าน อยู่ในระดับมาก ด้านต้นทุนการป้องกัน ด้านต้นทุนการประเมินผล ด้านต้นทุนความ ล้มเหลวภายในและจากการวิเคราะห์สรุปได้ว่า ประสิทธิภาพการบริหารคุณภาพมีความสัมพันธ์และ ผลกระทบเชิงบวกต่อต้นทุนคุณภาพของธุรกิจเครื่องมือทางไฟฟ้าอุปกรณ์

(เสาวลักษณ์ มุ่งหามณี, 2550) ได้ศึกษาการจัดทำและวิเคราะห์ระบบต้นทุนคุณภาพ ของธุรกิจอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์กรณีศึกษาบริษัทแห่งหนึ่ง มีการศึกษาโครงสร้างขององค์กรเพื่อ ทำการเก็บข้อมูลจากส่วนต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับรายงานต้นทุนคุณภาพแล้วนำข้อมูลรายงานที่มีอยู่ มารวบรวมให้เป็นข้อมูลทางการบัญชีที่เชื่อถือได้ ผลการศึกษาในการจัดทำรายงานต้นทุนคุณภาพ แสดงการรายงานต้นทุนคุณภาพรวมเทียบยอดขายรวมในแต่ละปีมีการสรุปรายการต้นทุนคุณภาพ พร้อมแสดงรายงานต้นทุนคุณภาพและการวิเคราะห์ปัญหา พบว่ามีต้นทุนความล้มเหลวภายในมี อัตราสูง เกิดจากการไม่ปฏิบัติตามแผนการซ่อมบำรุงเครื่องจักรและแม่พิมพ์ประจำปี พนักงานขาด ทักษะในการปรับแต่งเครื่องจักรและแม่พิมพ์ ควรเพิ่มความชำนาญในการฝึกอบรมให้พนักงานมี

ทักษะเพิ่มขึ้น ควรเพิ่มต้นทุนเพื่อการประเมินในด้านการตรวจสอบแม่พิมพ์สินค้าระหว่างผลิต และควรพิจารณาลงทุนในเรื่องเครื่องมือตรวจสอบว่าหากลงทุนแล้วคุ้มค่าหรือไม่กับการที่จะป้องกันการเกิดของเสียให้พนักงานปฏิบัติตามขั้นตอนที่ระบุไว้

(เมธัส ทิบบเงิน, 2549) ได้ทำการศึกษาเรื่องการพัฒนาประสิทธิภาพในการผลิตโดยการปรับปรุงกระบวนการผลิต กรณีศึกษาโรงงานทำตู้น้ำเย็น เนื่องจากโรงงานมีปัญหาด้านการผลิตที่ไม่สามารถผลิตให้ตรงตามแผนได้เพราะมีปัญหาในเรื่องการจัดการด้านการทำงาน และปัญหาคอขวด (Bottle Neck) จึงทำให้เกิดการรอกงานขึ้น ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาเพื่อหาแนวทางในการพัฒนาประสิทธิภาพในสายการผลิต โดยการใช้วิธีการศึกษาการทำงาน (Work Study) การวัดผลงาน (Work Measurement) การปรับปรุงประสิทธิภาพ (Productivity Improvement) และการจัดสมดุลสายการผลิต (Line Balancing) เพื่อพัฒนาวิธีการทำงานให้เป็นมาตรฐาน และเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพในการทำงาน ผลการวิจัยพบว่าภายหลังจากการปรับปรุงประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตแล้วสามารถลดขั้นตอนในการผลิตโดยการเปลี่ยนแปลงเครื่องมือที่ใช้ในการทำงานทำให้สามารถลดขั้นตอนในการทำงานจากเดิม 63 ขั้นตอน เป็น 57 ขั้นตอน หรือลดลงไป 6 ขั้นตอน โดยเวลามาตรฐานในการผลิต (Standard Time) ที่ลดลงจากเดิม 49.14 นาทีต่อ 1 ตู้เป็น 43.85 นาทีต่อ 1 ตู้ หรือลดเวลาลงไป 5.29 นาทีต่อ 1 ตู้ จากนั้นเมื่อทำการออกแบบการจัดการสมดุลสายการผลิตแล้ว ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นจากเดิม 72.90% เป็น 83.09% หรือเพิ่มขึ้น 10.19% คิดเป็นค่าการสูญเสียที่ลดลงจากเดิม 336,179 บาท เป็น 271,235 บาท หรือสามารถลดลง 64,943 บาทต่อเดือน

(วิฑูร แดงนวล, 2549) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการเพิ่มผลผลิตสายการประกอบคานขวางบังคับพวงมาลัยจากการศึกษาในเบื้องต้นพบว่า ช่างงานต้องมีการทำซ้ำเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากปัญหาหูล้อมเพื่อแก้ปัญหาความไม่ตรงของรูเครื่องเจาะได้รับการปรับปรุงโดยมีการติดตั้งเครื่องเจาะเพิ่มอีกด้านของชุดเจาะเดิมเพื่อให้การเจาะสามารถทำได้โดยไม่ต้องกลับช่างงานลดขั้นตอนการทำงานที่ไม่จำเป็นซึ่งไม่กระทบกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ผลการปรับปรุงพบว่าสามารถลดปริมาณปัญหาการทำงานซ้ำจากช่างงานหูล้อมได้ร้อยละ 75.45 ขณะที่ลดเวลาในการเจาะรูและการตรวจสอบชิ้นงานได้ประมาณ 19.17 และ 128.72 วินาที ต่อ 1 ชิ้นงาน ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 48.10 และ 90.32 หากคิดรวมเวลาทั้งสายการผลิตจะสามารถลดเวลาในการผลิตรวมได้ประมาณ 147.89 วินาที คิดเป็นร้อยละ 20.14

(พิทยารัตน์ ต้นโพธิ์, 2551) ได้ศึกษาโครงการวิจัยอุตสาหกรรมนี้เสนอการเพิ่มผลผลิตของกระบวนการเชื่อมคานรับแผงกันเครื่องยนต์ในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์จากการศึกษาวิเคราะห์กระบวนการเชื่อม พบว่าผลผลิต (Productivity) ไม่ทันต่อความต้องการของลูกค้า ดังนั้นโครงการงานวิจัยอุตสาหกรรมนี้เป็นการปรับปรุงการไหลของงาน ขั้นตอนในการปฏิบัติงานมาตรฐานเพื่อศึกษารอบเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงานต่อการผลิตหนึ่งชิ้นให้สามารถบรรลุความต้องการของลูกค้า

กับเวลาที่กำหนดในการผลิตเพื่อให้เหมาะสมกับความเร็วในการขายได้ทำการปรับปรุงกระบวนการผลิตและประยุกต์ใช้ระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดีทำให้เวลาดำเนินการในการปฏิบัติงานลดลงจากการจัดสมดุลของสายการผลิตใหม่ จึงทำให้สามารถเพิ่มผลผลิตได้ร้อยละ 25 เวลาในการผลิตลดลงร้อยละ 14 และต้นทุนในการผลิตลดลงร้อยละ 7.5

(นัยยา ลีสุขสันต์, 2528) ได้กล่าวไว้ในงานวิจัยการศึกษาปัญหาและอุปสรรคในการนำกลุ่มคุณภาพมาใช้ในธุรกิจอุตสาหกรรมการผลิตของไทย ในส่วนพนักงานพบว่าอุปสรรคสำคัญในการทำกิจกรรมกิจกรรมคือคือ พนักงานยุ่งกับงานประจำจนไม่มีเวลาทำกิจกรรม

(พิเชษฐ์ นิลสว่าง, 2553) ได้ศึกษาการประเมินการใช้ระบบคุณภาพ ISO 9001 ในบริษัทวิศวกรที่ปรึกษาด้านงานก่อสร้างอาคารซึ่งเน้นในส่วนของกระบวนการทำงานของวิศวกรที่ปรึกษาในโครงการ ก่อสร้างอาคารโดยใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในกระบวนการทำงานและระดับการแก้ไขปัญหา จากการใช้ระบบบริหารคุณภาพ ISO 9001 รวมทั้งทำการเปรียบเทียบมุมมองจากบริษัทที่ได้รับการรับรองระบบคุณภาพ ISO 9001 และบริษัทที่ไม่ได้รับการรับรองระบบบริหารคุณภาพ ISO 9001 โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับจำนวน 120 ข้อมูลจากการศึกษาพบว่า ปัญหาที่เกิดขึ้นสูงสุดในกระบวนการการทำงานของบริษัทวิศวกรที่ปรึกษาพบในกระบวนการควบคุมการปฏิบัติงาน กระบวนการจัดการความปลอดภัยและกระบวนการส่งมอบงานก่อสร้างตามลำดับ สำหรับประโยชน์ที่ได้รับสูงสุดในการใช้ระบบบริหารคุณภาพ ISO 9001 พบในกระบวนการควบคุมวัสดุและแบบก่อสร้างกระบวนการเตรียมงานก่อนการก่อสร้าง และกระบวนการการจัดจ้างตามลำดับ โดยมุมมองระหว่างบริษัทที่ได้รับการรับรองระบบบริหารคุณภาพ ISO 9001 มีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

(มีชชุติกา คอนเมฆ, สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ, & ญัฐเดช เพ็องวรวงค์, 2555) งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาโรงงานเหล็กตัวอย่างที่ผลิตเหล็กและใช้เตาเผาเหล็กขนาด 50 ตัน/ชั่วโมง และใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง โดยมีวัตถุประสงค์ของการศึกษาเพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบการใช้พลังงานของหัวเผาประสิทธิภาพสูงชนิดรีเจนเนอเรทีฟและรีคัพเปอร์เรทีฟในเตาเผาสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตเหล็กกล้า โดยพิจารณาเลือกอุณหภูมิในการอุ่นอากาศของหัวเผาประสิทธิภาพสูงให้มีความเหมาะสมกับขนาดของเตาเผา ซึ่งจากการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการอุ่นอากาศ ค่าใช้จ่ายทางด้านเชื้อเพลิงและค่าใช้จ่ายในการลงทุนหัวเผาประสิทธิภาพสูงทั้ง 2 ชนิดพบว่าที่เตาเผาเหล็กขนาด 50 ตัน/ชั่วโมง ควรเลือกติดตั้งหัวเผารีคัพเปอร์เรทีฟและหัวเผารีเจนเนอเรทีฟโดยมีการอุ่นอากาศที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสเท่ากัน ซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายทางด้านเชื้อเพลิงได้ 12.46% โดยที่หัวเผารีคัพเปอร์เรทีฟมีระยะเวลาคืนทุน 5.6 ปี และหัวเผารีเจนเนอเรทีฟโดยมีระยะเวลาคืนทุน 6.76 ปี โดยการติดตั้งหัวเผาแบบรีคัพเปอร์-เรทีฟจะทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิที่ดีกว่าคือ 12,004,011 บาท เมื่อเทียบกับการติดตั้งหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ การเลือกใช้หัวเผาแบบรีคัพเปอร์เรทีฟจึงมีความเหมาะสมมากกว่าหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ

2.9.2 งานวิจัยต่างประเทศ

(Chen Wanli, Kong Ning, & Wu Daohong, 2015) ได้ทำการศึกษาวิจัยการตั้งอุณหภูมิเตาเผาแบบไดนามิกในระบบการเผาไหม้ของเตาเผาเหล็ก (Reheating Furnace) โดยผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ว่าการกำหนดอุณหภูมิเตาเผาในระบบการเผาไหม้ของเตาเผาเหล็กเป็นตัวแปรที่สำคัญในกระบวนการผลิต โดยเฉพาะความหลากหลายของปัจจัยบางอย่างเช่น ความร้อนจำเพาะของเตา, ความเค้นทางความร้อนของเหล็ก, จังหวะการผลิต ฯลฯ ปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ส่งผลกระทบต่อโดยตรงต่อการตั้งค่าอุณหภูมิภายในเตาซึ่งเป็นปัญหามากในภาคอุตสาหกรรมเหล็ก ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการวิเคราะห์เกี่ยวกับปัจจัยที่กล่าวมาที่ว่าส่งผลต่อการตั้งค่าอุณหภูมิของเตาเผาหรืออย่างไร โดยจะเน้นกลยุทธ์ในการกำหนดอุณหภูมิของเตาเผาแบบไดนามิกเพื่อให้เหมาะสมกับการแปรผันของจังหวะการผลิตตลอดจนการวิเคราะห์ทางทฤษฎีเกี่ยวกับสมดุลพลังงานของการถ่ายเทความร้อนของเหล็กแท่งในเตาเผา กลยุทธ์ในการวิจัยนี้จะได้รับการตรวจสอบโดยการทดลองผลิตจริง ผลการศึกษาวิจัยสรุปได้ว่าจากการผลิตที่เกิดขึ้นจริงพบว่าการตั้งค่าอุณหภูมิเตาเผามีความสัมพันธ์ต่อปัจจัยบางอย่างโดยเฉพาะอย่างยิ่งการเปลี่ยนแปลงจังหวะการผลิต ความผันผวนของผลผลิตนั้นมีอิทธิพลอย่างมาก ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้มีการวิเคราะห์ถึง 1) เงื่อนไขข้อจำกัดที่ส่งผลต่อการตั้งค่าอุณหภูมิภายในเตาเผา 2) สมดุลพลังงานในกระบวนการให้ความร้อนกับแท่งเหล็ก และ 3) วิธีการตั้งค่าอุณหภูมิเตาเผาที่จะถูกแทนที่จากแบบเดิมเป็นแบบไดนามิก ผลที่เกิดขึ้นจริงเป็นที่ชัดเจนว่ากระบวนการผลิตตามสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับที่ตั้งอุณหภูมิแบบคงที่พบว่า การตั้งค่าอุณหภูมิภายในเตาเผาแบบไดนามิกสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ 5-15%

(Andreas Steinböck & Andreas Kugi, 2013) ได้ทำการศึกษาวิจัยการควบคุมประสิทธิภาพของเตาเผาเหล็กที่ให้ความร้อนอย่างต่อเนื่องโดยประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ไม่เป็นเชิงเส้นตรง (nonlinear model) เป็นเครื่องมือในการศึกษาถึงอิทธิพลของอากาศส่วนเกินและอุณหภูมิของก๊าซที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงภายในเตาเผาเหล็ก ผลจากการศึกษาของเตาเผาเหล็กที่ให้ความร้อนกับแผ่นเหล็กแท่งแบนแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองได้ทำนายว่าการควบคุมอุณหภูมิที่ให้ความร้อนกับแผ่นเหล็กแท่งแบนสามารถส่งผลไปยังปัจจัยต่างๆ และทำให้เกิดการใช้พลังงานภายในเตาเผาเหล็กลดลงได้ 9.6%

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน

การหลักการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 3^k ในการออกแบบการทดลอง เพื่อลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติของเตาอบเหล็กที่ร้อนระหว่างช่วงการอุ่นเตาเพื่อหยุดบำรุงรักษาเชิงป้องกัน กรณีศึกษาบริษัทรีดเหล็กที่ร้อนแห่งหนึ่ง ในจังหวัดระยอง โดยมีวิธีการดำเนินงานดังรายละเอียดต่อไปนี้ (ผังขั้นตอนแสดงตามภาพที่ 3.1)

3.1 ศึกษาปัญหาและหาแนวทางการแก้ไข

3.1.1 ศึกษาขั้นตอนการทำงานของเตาอบเหล็กช่วงหยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (12 ชั่วโมง) ในอดีตและปัจจุบัน

3.1.2 เก็บรวบรวมข้อมูลและเปรียบเทียบปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติในกระบวนการอบเหล็กช่วงที่หยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (12 ชั่วโมง) ระหว่างวิธีการดับเตาและอุ่นเตา

3.1.3 วิเคราะห์ข้อมูลหาปัจจัยที่เกี่ยวข้องที่ส่งผลต่อการควบคุมการทำงานของเตาอบเหล็กช่วงที่หยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (12 ชั่วโมง) ทั้งในอดีตและปัจจุบัน

3.2 การกำหนดปัจจัย

3.3 การออกแบบวิธีการทดลอง

3.3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลอง

3.3.2 ข้อกำหนดในการทดลอง

3.4 ทดลองและเก็บผลการทดลอง

3.5 การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

3.5.1 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบทดลอง

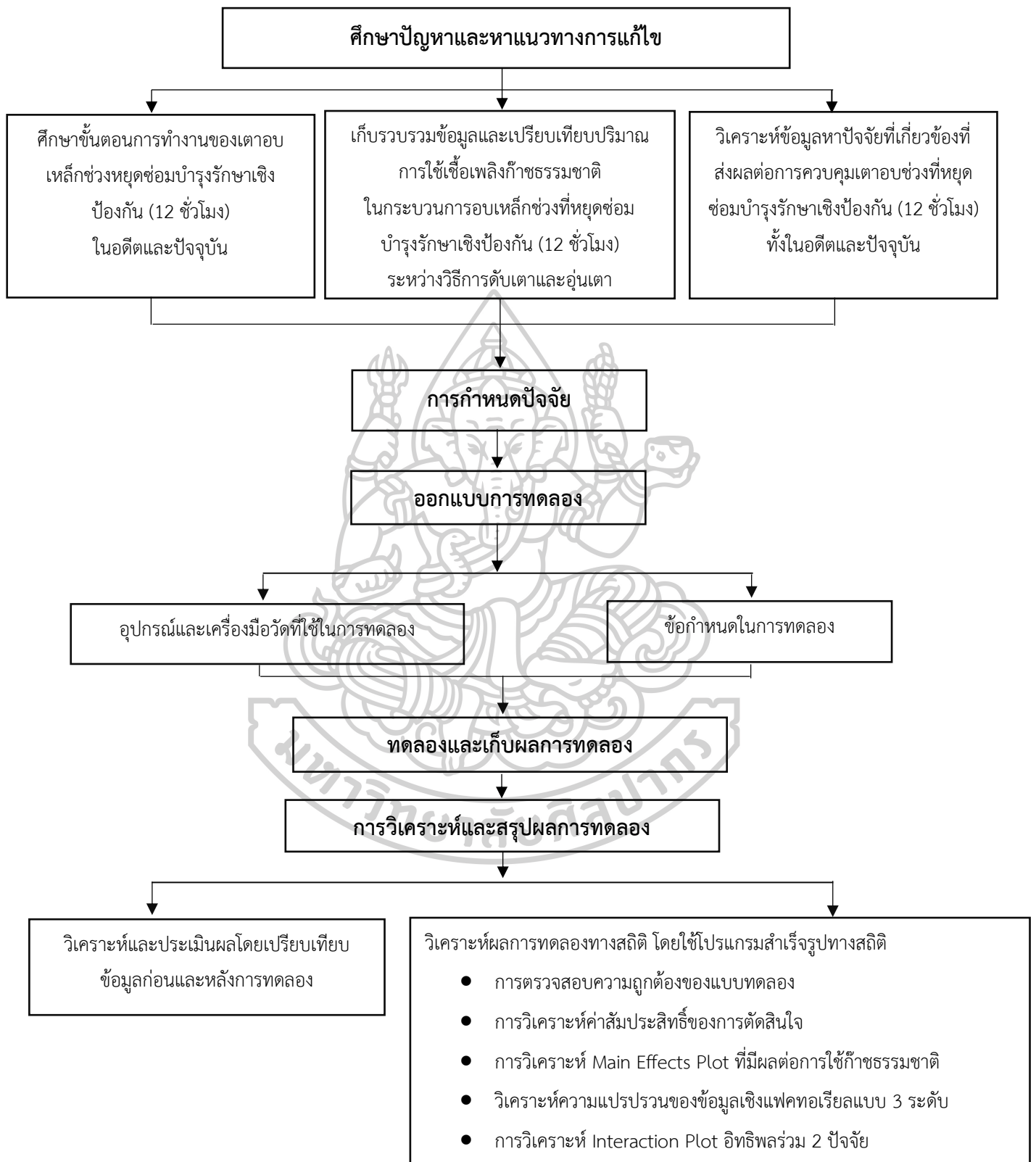
3.5.2 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ

3.5.3 การวิเคราะห์อิทธิพลหลัก (Main Effects) ที่มีผลต่อการใช้ก๊าซธรรมชาติในการอุ่นเตา

3.5.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงแฟคทอเรียลแบบ 3 ระดับ

3.5.5 การวิเคราะห์อิทธิพลร่วม 2 ปัจจัย (Interaction Effect)

ผู้วิจัยได้วางแผนงานโดยมีขั้นตอนการทำงานวิจัยครั้งนี้ เพื่อเป็นแนวทางเพื่อหาวิธีการที่นำมาใช้ควบคุมการทำงานของเตาอบเหล็กช่วงที่หยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (12 ชั่วโมง) โดยแสดงตามภาพที่ 3.1



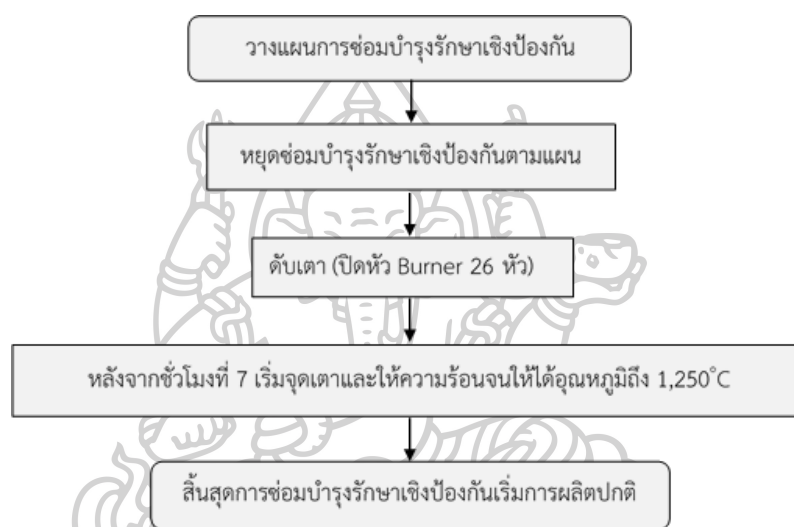
ภาพที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 ศึกษาปัญหาและหาแนวทางการแก้ไข

3.1.1 ศึกษาขั้นตอนการทำงานของเตาอบเหล็กช่วงหยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (12 ชั่วโมง) ในอดีตและปัจจุบัน ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลดังต่อไปนี้

3.1.1.1 ขั้นตอนการทำงานของเตาอบเหล็กช่วงหยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (12 ชั่วโมง) ในอดีต ได้แก่

1) แผนผังขั้นตอนการทำงานของเตาอบเหล็กช่วงหยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (12 ชั่วโมง) ในอดีตที่ผ่านมา (แบบวิธีดับเตา) แสดงรายละเอียดดังภาพที่ 3.2



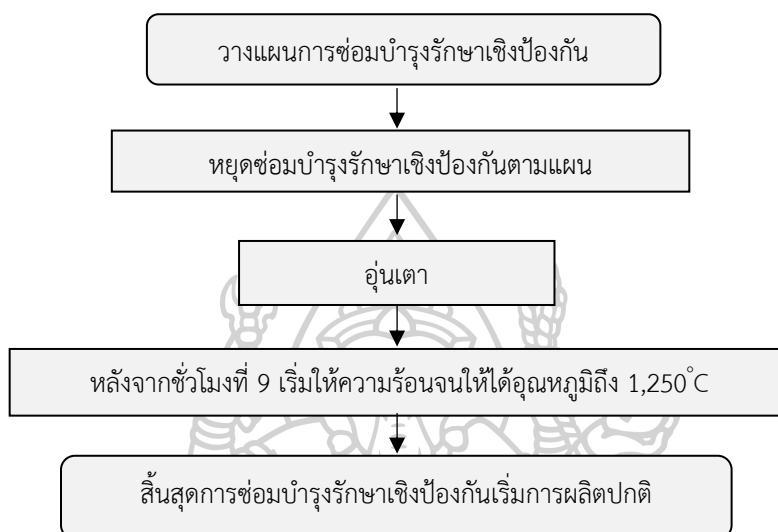
ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนการทำงานของเตาอบเหล็กช่วงหยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (12 ชั่วโมง) แบบวิธีดับเตา

2) การปรับตั้งค่าต่างๆ ในการควบคุมการทำงานของเตาอบเหล็กในช่วงหยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (12 ชั่วโมง) ด้วยวิธีดับเตา ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 3.1 ตารางที่ 3.1 การปรับตั้งค่าปัจจัยในการควบคุมการทำงานของเตาอบเหล็กช่วงหยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (12 ชั่วโมง) ด้วยวิธีดับเตา

ลำดับ	ปัจจัยควบคุม	ค่าที่ปรับตั้ง	หน่วย
1	อุณหภูมิภายในเตาอบเหล็ก (ไม่ได้ทำการให้ความร้อนกับเตาอบเหล็ก)	0	องศาเซลเซียส (°C)
2	อัตราส่วนอากาศ : ก๊าซ ภายในเตาอบเหล็ก	0.95	-
3	ความดันภายในเตาอบเหล็ก	2.5	บาร์

3.1.1.2 ขั้นตอนการทำงานของเตาอบเหล็กช่วงหยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (12 ชั่วโมง) ในปัจจุบัน ได้แก่

1) แผนผังขั้นตอนการทำงานของเตาอบเหล็กช่วงหยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (12 ชั่วโมง) ในปัจจุบัน (แบบวิธีอุ่นเตา) แสดงรายละเอียดดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 ขั้นตอนการทำงานของเตาอบเหล็กช่วงหยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (12 ชั่วโมง) แบบวิธีอุ่นเตา

2) การปรับตั้งค่าต่างๆ ในการควบคุมการทำงานของเตาอบเหล็กในช่วงหยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (12 ชั่วโมง) ด้วยวิธีอุ่นเตา ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 3.2 ตารางที่ 3.2 การปรับตั้งค่าปัจจัยในการควบคุมการทำงานของเตาอบเหล็กช่วงหยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (12 ชั่วโมง) ด้วยวิธีอุ่นเตา

ลำดับ	ปัจจัยควบคุม	ค่าที่ปรับตั้ง	หน่วย
1	อุณหภูมิภายในเตาอบเหล็ก (ทำการให้ความร้อนกับเตาอบเหล็ก)	800	องศาเซลเซียส (°C)
2	อัตราส่วนอากาศ : ก๊าซ ภายในเตาอบเหล็ก	0.95	-
3	ความดันภายในเตาอบเหล็ก	2.5	บาร์

3.1.2 เก็บรวบรวมข้อมูลและเปรียบเทียบปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติในกระบวนการอบเหล็กช่วงที่หยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (12 ชั่วโมง) ระหว่างวิธีการดับเตาและอุ่นเตา

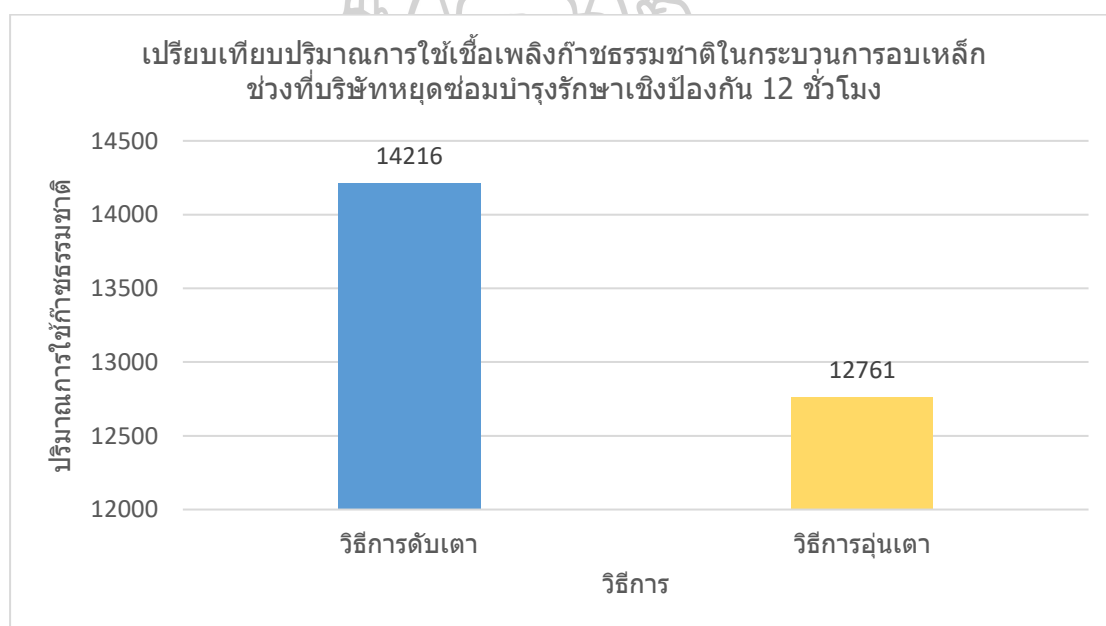
ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบข้อมูลการควบคุมเตาอบในช่วงที่หยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน โดยเปรียบเทียบระหว่างวิธีการดับเตากับวิธีอุ่นเตาว่าแบบใดให้ผลของปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติที่น้อยที่สุด โดยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลสถิติปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติที่ใช้ในการให้ความร้อนช่วงหยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ในระหว่างปี 2559-2560 ดังรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3.3 และภาพที่ 3.4

ตารางที่ 3.3 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติในกระบวนการอบเหล็กโดยเปรียบเทียบระหว่างวิธีการดับเตาและวิธีการอุ่นเตา

ช่วงเวลาที่เก็บข้อมูล	ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติในกระบวนการอบเหล็กช่วงที่บริษัทหยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน 12 ชั่วโมง ด้วยวิธีการดับเตา (Nm ³)	ช่วงเวลาที่เก็บข้อมูล	ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติในกระบวนการอบเหล็กช่วงที่บริษัทหยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน 12 ชั่วโมง ด้วยวิธีการอุ่นเตา (Nm ³)
17-ม.ค.-59	14,189	13-ม.ค.-60	12,780
29-ก.พ.-59	14,421	20-ก.พ.-60	12,693
15-มี.ค.-59	14,067	10-มี.ค.-60	12,494
29-มี.ค.-59	13,856	22-มี.ค.-60	12,880
12-เม.ย.-59	14,260	9-เม.ย.-60	12,920
8-พ.ค.-59	14,080	1-พ.ค.-60	12,776
19-พ.ค.-59	14,303	18-พ.ค.-60	12,866
11-มิ.ย.-59	13,754	17-มิ.ย.-60	12,955
27-มิ.ย.-59	14,400	29-มิ.ย.-60	12,754
17-ก.ค.-59	14,420	13-ก.ค.-60	12,787
26-ก.ค.-59	14,276	26-ส.ค.-60	12,853
18-ส.ค.-59	14,066	22-ก.ย.-60	12,552
30-ก.ย.-59	14,305	27-ก.ย.-60	12,745
11-ต.ค.-59	14,154	11-ต.ค.-60	12,930
20-ต.ค.-59	14,287	15-ต.ค.-60	12,550
14-พ.ย.-59	14,390	20-พ.ย.-60	12,625

ตารางที่ 3.3 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติในกระบวนการอบเหล็กโดยเปรียบเทียบระหว่างวิธีการดับเตาและวิธีการอุ่นเตา (ต่อ)

ช่วงเวลาที่เก็บข้อมูล	ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติในกระบวนการอบเหล็กช่วงที่บริษัทหยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน 12 ชั่วโมง ด้วยวิธีการดับเตา (Nm ³)	ช่วงเวลาที่เก็บข้อมูล	ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติในกระบวนการอบเหล็กช่วงที่บริษัทหยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน 12 ชั่วโมง ด้วยวิธีการอุ่นเตา (Nm ³)
6-ธ.ค.-59	14,498	17-ธ.ค.-60	12,667
19-ธ.ค.-59	14,170	15-ธ.ค.-60	12,879
ค่าเฉลี่ย	14,216		12,746



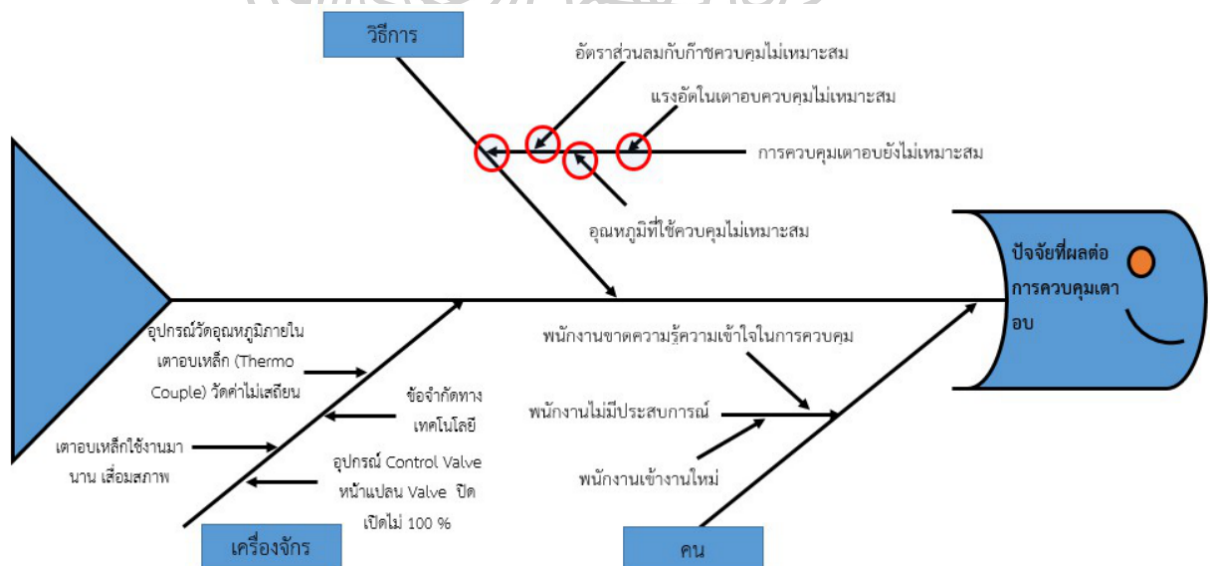
ภาพที่ 3.4 กราฟเปรียบเทียบปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติในกระบวนการอบเหล็กช่วงหยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน 12 ชั่วโมง ระหว่างวิธีการดับเตาและอุ่นเตา

จากการเปรียบเทียบข้อมูลปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติในกระบวนการอบเหล็กช่วงที่บริษัทหยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน 12 ชั่วโมง โดยได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างวิธีการดับเตาและอุ่นเตา พบว่าการใช้วิธีการอุ่นเตาเป็นวิธีการที่ดีกว่าการใช้วิธีการดับเตา เนื่องจากวิธีการอุ่นเตาจะใช้ปริมาณก๊าซธรรมชาติในการให้ความร้อนกับเตาอบเหล็กที่น้อยกว่าวิธีการดับเตา

3.1.3 วิเคราะห์ข้อมูลหาปัจจัยที่เกี่ยวข้องที่ส่งผลต่อการควบคุมการทำงานของเตาอบเหล็กช่วงที่หยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (12 ชั่วโมง) ในอดีตและปัจจุบัน

จากข้อมูลที่ได้ตามข้อ 3.1.2 จึงทำให้ปัจจุบันบริษัทฯ ได้เปลี่ยนวิธีการควบคุมการทำงานของเตาอบเหล็กช่วงที่หยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (12 ชั่วโมง) โดยเปลี่ยนจากวิธีการดับเตาเป็นวิธีการอุ่นเตาแทน แต่จากการเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลสถิติปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติช่วงที่หยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (12 ชั่วโมง) ด้วยวิธีการอุ่นเตา (ข้อมูลแสดงดังตารางที่ 3.3) ผู้วิจัยยังคงพบว่าถึงแม้จะมีการเปลี่ยนวิธีการเป็นอุ่นเตาแต่ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติที่ถูกดึงมาใช้เพื่อให้ความร้อนภายในเตาอบเหล็กในกระบวนการดังกล่าวก็ยังมีปริมาณที่ค่อนข้างสูงอยู่ ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงมีความต้องการที่จะศึกษาหาแนวทางหรือปัจจัยอื่นๆ ที่คาดว่าจะส่งผลต่อการควบคุมการทำงานของเตาอบเหล็กช่วงที่หยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (12 ชั่วโมง) เพิ่มเติม เพื่อช่วยลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติที่ถูกดึงมาใช้ภายในเตาอบเหล็กให้ได้มากที่สุด

ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการวิเคราะห์โดยใช้แผนภูมิแกงปลาเพื่อหาปัจจัยที่มีผลในการควบคุมการทำงานของเตาอบเหล็กช่วงที่หยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (12 ชั่วโมง) ด้วยวิธีการอุ่นเตา เพื่อหาวิธีการที่ดีที่สุดและนำมาใช้ควบคุมการทำงานของเตาอบเหล็กในช่วงเวลาหยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ซึ่งมีแนวทางการวิเคราะห์ปัญหา แสดงดังภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 การวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้เทคนิค วิธีการวิเคราะห์แผนภูมิแกงปลา

จากการวิเคราะห์แผนภูมิแก๊งปลาเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อการควบคุมการทำงานของเตาอบเหล็กช่วงที่หยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (12 ชั่วโมง) ผู้วิจัยจึงได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่ามีรายละเอียดดังนี้

3.1.3.1 คน (man)

เนื่องจากบริษัทฯ มีพนักงานที่เกษียณอายุในทุกๆ ปี ทำให้ต้องมีการรับพนักงานใหม่เข้ามาทดแทน ส่งผลทำให้เมื่อรับพนักงานใหม่เข้ามาทำงาน พนักงานใหม่จึงยังขาดประสบการณ์ ความชำนาญและมีความจำเป็นต้องมีการเรียนรู้งาน ซึ่งต้องใช้ระยะเวลาอย่างน้อย 1-2 ปี

3.1.3.2 เครื่องจักร (Machine)

1) Control Valve Air, Control Valve Gas เนื่องจากหน้าแปลนวาล์วเกิดการเสื่อมสภาพทำให้เปิดปิดไม่สนิท ทำให้เชื้อเพลิงก๊าซเกิดการรั่วไหลได้

2) ผนังทนไฟ ผนังที่ใช้มาระยะเวลานาน เกิดความเสื่อมสภาพส่งผลทำให้เก็บรักษาอุณหภูมิภายในเตาอบเหล็กได้ลดน้อยลง หรือทำให้เกิด Heat Loss เพิ่มขึ้น

3) Thermo Couple เนื่องจากใช้อุปกรณ์ดังกล่าวเป็นระยะเวลานาน ส่งผลให้อ่านค่าอุณหภูมิภายในเตาอบเหล็กไม่เสถียร กระทบต่อการให้ความร้อนภายในเตาอบเหล็ก

4) ข้อจำกัดด้านเทคโนโลยี เนื่องจากเทคโนโลยีใหม่มีราคาแพง อีกทั้งต้องศึกษาความคุ้มค่าในการลงทุนด้านเทคโนโลยี จึงทำให้ในปัจจุบันยังไม่สามารถลงทุนในการปรับเปลี่ยนเทคโนโลยีใหม่ได้

3.1.3.3 วิธีการ (Method)

1) การปรับตั้งค่าควบคุมการทำงานภายในเตาอบเหล็กยังไม่เหมาะสม

(1) อุณหภูมิ หากปรับตั้งค่าสูงเกินไปอาจส่งผลให้มีการดึงปริมาณก๊าซธรรมชาติมาใช้สูง หรือหากปรับตั้งค่าต่ำเกินไปจะส่งผลให้ใช้ระยะเวลานานในการให้ความร้อน (Heat up) กับเตาอบเหล็กจนกว่าจะได้อุณหภูมิที่เหมาะสมในการผลิตทำให้มีการดึงปริมาณก๊าซธรรมชาติมาใช้สูงเช่นเดียวกัน

(2) อัตราส่วนอากาศ:ก๊าซ หากปรับตั้งค่าสูงเกินไปหรือต่ำเกินไปจะส่งผลต่อการทำงานภายในเตาอบเหล็กทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการดึงปริมาณก๊าซธรรมชาติมาใช้

(3) ความดัน หากปรับตั้งค่าสูงเกินไปหรือต่ำเกินไปจะส่งผลต่อการทำงานภายในเตาอบเหล็กและการดึงปริมาณก๊าซธรรมชาติมาใช้

3.2 การกำหนดปัจจัย

จากผลการวิเคราะห์โดยใช้แผนภูมิแกงปลา (ดังภาพที่ 3.5) พบว่ามีปัจจัยหลายประการที่ส่งผลต่อการควบคุมการทำงานของเตาอบเหล็กช่วงที่หยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (12 ชั่วโมง) ซึ่งทำให้เกิดต้นทุนค่าใช้จ่ายของการใช้ปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติที่สูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามผู้วิจัยพบว่าปัจจัยที่สามารถควบคุมได้และส่งผลกระทบต่อการทำงานของเตาอบเหล็กและปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติในกระบวนการดังกล่าว ประกอบด้วย 1) อุณหภูมิภายในเตาอบเหล็ก 2) อัตราส่วนอากาศ : ก๊าซ ภายในเตาอบเหล็ก และ 3) ความดันภายในเตาอบเหล็ก เนื่องจากปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยนี้เป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องมีการปรับตั้งค่าให้มีความเหมาะสมเพื่อควบคุมการทำงานของเตาอบเหล็กให้มีประสิทธิภาพ ซึ่งผู้วิจัยได้พิจารณาถึงความเป็นไปได้ของการกำหนดปัจจัยที่ใช้ในการทดลองโดยมีรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 การพิจารณาความเป็นไปได้ของการกำหนดปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

ปัจจัย	ความเป็นไปได้ของการกำหนดปัจจัยในการทดลอง		เหตุผล
	ดำเนินการได้	ดำเนินการไม่ได้	
คน (man)		✓	ปัจจัยการทำงานของคน เป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ยาก เนื่องจากประสบการณ์การทำงานและระดับทักษะแต่ละคนไม่เท่ากัน ถึงแม้จะมีการจัดอบรมให้กับพนักงานใหม่ แต่ด้านการควบคุมต้องอาศัยการทำบ่อยๆ การทำแบบซ้ำๆหลายครั้งจนกว่าจะชำนาญ ดังนั้นต้องใช้เวลาเป็นปี และบางแผนกอาจใช้เวลาหลายปี
เครื่องจักร (Machine)		✓	เนื่องจากการลงทุนด้านเครื่องจักรเป็นการลงทุนที่มีมูลค่าสูง ทำให้มีความจำเป็นต้องศึกษาความคุ้มค่าซึ่งใช้ระยะเวลานานและด้วยสถานะเศรษฐกิจในปัจจุบัน ที่บริษัทต้องลดต้นทุนค่าใช้จ่ายเพื่อให้บริษัทมีกำไรและสามารถแข่งขันในตลาดในสภาวะเศรษฐกิจที่ไม่ดี ดังนั้นการเสนอโครงการต่อผู้บริหารเพื่อเปลี่ยนหรือทดแทนเครื่องจักรเดิมจึงต้องใช้เวลาหลายปีและอาจจะชะลอโครงการหากสภาวะเศรษฐกิจยังมีแนวโน้มที่ไม่ดี
วิธีการ (Method)	✓		เป็นปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ โดยสามารถที่จะเก็บข้อมูลและสามารถทำการทดลองได้เลยโดยไม่เสียค่าใช้จ่ายใดๆ อีกทั้งปัจจัยด้านวิธีการสามารถศึกษาได้ถึงความเหมาะสมของวิธีการควบคุมและสามารถกำหนดเป็นคู่มือปฏิบัติงานเพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานไม่ว่าจะเป็นคนเก่าหรือคนที่เข้ามาใหม่สามารถปฏิบัติตามได้ในมาตรฐานเดียวกัน

ทั้งนี้การปรับตั้งค่าควบคุมการทำงานเดิมของเตาอบเหล็กช่วงที่หยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (12 ชั่วโมง) ที่บริษัทฯ ตั้งค่าการทำงานอยู่ในปัจจุบันตามขั้นตอนการดำเนินงานที่กำหนดแสดงดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 การปรับตั้งค่าควบคุมการทำงานของเตาอบเหล็กช่วงหยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (12 ชั่วโมง) เดิม

ลำดับ	ปัจจัยควบคุม	ค่าที่ปรับตั้ง	หน่วย
1	อุณหภูมิภายในเตาอบเหล็ก	800	องศาเซลเซียส (°C)
2	อัตราส่วนอากาศ : ก๊าซ ภายในเตาอบเหล็ก	0.95	-
3	ความดันภายในเตาอบเหล็ก	2.5	บาร์

3.3 การออกแบบวิธีการทดลอง

หลังจากค้นพบสาเหตุของปัญหา ผู้วิจัยจึงได้ศึกษารูปแบบวิธีการควบคุมการทำงานของเตาอบเหล็กช่วงที่หยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (12 ชั่วโมง) ด้วยวิธีการอุ่นเตาแบบใหม่ เพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสมในการช่วยลดปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติให้ลดลงได้มากที่สุด ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบการทดลองเพื่อให้ครอบคลุมปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัย โดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) ซึ่งการทดลองแบบนี้จะมีระดับที่สามของปัจจัยเพิ่มเข้ามาในแบบจำลอง ซึ่งทำให้สามารถที่จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบ และปัจจัยที่สนใจได้ งานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ตัดสินใจเลือกใช้การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบ 3 ระดับ หรือ 3-Level Full factorial design (3^k) โดยพิจารณาจากรูปแบบการทดลองที่นิยมใช้ในปัจจุบัน รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 รูปแบบของการออกแบบการทดลองที่นิยมใช้

รูปแบบ	ลักษณะของการทดลอง	เวลาที่ใช้	ความแม่นยำ	งบประมาณ
Single Factor	ทำการทดลองสำหรับ 1 ปัจจัย	รวดเร็ว	ปานกลาง	น้อย
Factorial Design	ทำการทดลองที่มากกว่า 1 ปัจจัย เต็มรูปแบบ	ใช้เวลามาก	มากที่สุด	มาก
2^k Design	ทำการทดลองที่มากกว่า 1 ปัจจัย เต็มรูปแบบ กำหนดระดับของปัจจัยอยู่ที่ 2 ระดับ	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง
2^{k-p} Design	ทำการทดลองที่มากกว่า 1 ปัจจัย แต่ลดรูป	รวดเร็ว	น้อย	น้อย
3^k Design	ทำการทดลองที่มากกว่า 1 ปัจจัย เต็มรูปแบบ กำหนดระดับของปัจจัยอยู่ที่ 3 ระดับ	ใช้เวลามาก	มากที่สุด	มาก

ที่มา : (บุญชัย แซ่ลิว & ณัฐธยาน์ โสกุล, 2559)

ในงานวิจัยครั้งนี้เนื่องจากปัจจัยควบคุมที่ใช้ทำการทดลองมีเพียง 3 ปัจจัย ดังนั้นผู้วิจัยจึงพิจารณาแล้วว่าการออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบ 3 ระดับเป็นทางเลือกที่ดีและเหมาะสม โดยมีข้อดีคือ ไม่มีการเกิดผลให้ปัจจัยที่ได้มีค่าปนกัน และสามารถวิเคราะห์ปัจจัยหลัก (Main Effect) และความสัมพันธ์ (Interaction) ได้ทั้งหมด นอกจากนี้การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบ 3 ระดับจะให้ผลที่มีความถูกต้องแม่นยำสูงกว่ารูปแบบการทดลองอื่น รวมถึงเวลาที่ใช้ในการทดลองไม่มากนัก และไม่มีต้นทุนค่าใช้จ่ายเนื่องจากการดำเนินการทดลองตามแผนการบำรุงรักษาในกระบวนการผลิตของบริษัทฯ อยู่แล้ว

การวิจัยครั้งนี้จึงได้นำการทดลอง 3-Level Full Factorial Design มาใช้ในการทดลองทั้งหมดเท่ากับ 3^k โดยแบ่งเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ระดับต่ำ ระดับกลาง และระดับสูง โดยที่ข้อมูลของการกำหนดปัจจัยและระดับของปัจจัยแสดงได้ดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 การออกแบบการทดลอง 3-Level Full Factorial Design ด้วยวิธีการอุณหภูมิต่างช่วงหยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน 12 ชั่วโมง

ลำดับ	ปัจจัยควบคุม	สัญลักษณ์	ระดับของปัจจัย			หน่วย
			ระดับต่ำ (-)	ระดับกลาง (0)	ระดับสูง (+)	
1	อุณหภูมิภายในเตาอบเหล็ก	Temp	500	600	700	องศาเซลเซียส (°C)
2	อัตราส่วนอากาศ : ก๊าซ ภายในเตาอบเหล็ก	Ratio	0.95	1.00	1.05	-
3	ความดันภายในเตาอบเหล็ก	Pressure	2.3	2.5	2.7	บาร์

ทั้งนี้ในแต่ละระดับของปัจจัยควบคุมที่ผู้วิจัยพิจารณากำหนดค่าขึ้นมา นั้น สามารถอธิบายที่มาของการกำหนดระดับของปัจจัยต่างๆ ได้ดังนี้

1) ปัจจัยอุณหภูมิภายในเตาอบเหล็ก

เนื่องจากในช่วงที่หยุดบำรุงรักษาเชิงป้องกันการปรับตั้งค่าอุณหภูมิภายในเตาอบเหล็กจะสามารถปรับตั้งค่าอุณหภูมิภายในเตาอบเหล็กเพื่ออุณหภูมิต่ำสุดได้ต่ำสุดเพียงแค่ 500°C เท่านั้น หากปรับตั้งค่าอุณหภูมิที่ต่ำกว่านี้ จะไม่สามารถทำการให้ความร้อน (Heat up) แก่เตาอบเหล็กเพื่อกลับมาสู่สภาวะการทำงานของเตาอบเหล็กในกระบวนการผลิตได้ทันตามระยะเวลาที่กำหนด และเนื่องจากการปรับตั้งค่าอุณหภูมิที่ 800°C ขึ้นไปนั้น ผู้วิจัยได้เคยมีการเก็บรวบรวม

ข้อมูลปริมาณของการใช้ก๊าซธรรมชาติมาแล้ว ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เลือกกำหนดระดับของปัจจัยอุณหภูมิที่จะทำการศึกษาอยู่ที่ 3 ระดับ คือ ตั้งค่าอุณหภูมิที่ 500°C, 600°C และ 700°C

2) ปัจจัยอัตราส่วนอากาศ : ก๊าซภายในเตาอบเหล็ก

เนื่องจากคู่มือการทำงานของเตาอบเหล็กที่ใช้ในโรงงานกรณีศึกษา จะกำหนดช่วงของการตั้งค่าอัตราส่วนอากาศ : ก๊าซภายในเตาอบเหล็ก โดยต้องอยู่ในช่วงที่มีค่า 0.95-1.05 เท่านั้น จึงจะสามารถทำให้เตาอบเหล็กสามารถทำการผลิตได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงได้กำหนดระดับของปัจจัยอัตราส่วนอากาศ : ก๊าซที่จะทำการศึกษาอยู่ที่ 3 ระดับ คือตั้งค่าที่ 0.95, 1.00 และ 1.05

3) ปัจจัยความดันภายในเตาอบเหล็ก

เนื่องจากคู่มือการทำงานของเตาอบเหล็กที่ใช้ในโรงงานกรณีศึกษา จะกำหนดช่วงของการตั้งค่าความดันภายในเตาอบเหล็ก โดยต้องอยู่ในช่วงที่มีค่าที่เหมาะสม คือช่วง 2.3-2.7 บาร์ จึงจะสามารถทำให้เตาอบเหล็กสามารถทำการผลิตได้อย่างปลอดภัย และไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงได้กำหนดระดับของปัจจัยความดันที่จะทำการศึกษาอยู่ที่ 3 ระดับ คือตั้งค่าที่ 2.3, 2.5 และ 2.7 บาร์

ในการศึกษาทดลองนี้จะทำการทดลองให้ครบทุกเงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงค่าของทุกปัจจัย และทำการวิเคราะห์ผลกระทบต่อปัจจัยตอบสนอง นั่นคือ ปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติภายในเตาอบเหล็กช่วงที่บริษัทหยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน 12 ชั่วโมง โดยมีจำนวนสภาวะการทดลอง 27 สภาวะการทดลอง และทำการทดลองละ 2 ชั่วโมง ดังแบบการทดลองตารางที่ 3.8 และรูปแบบการทดลองดังแสดงในภาพที่ 3.6

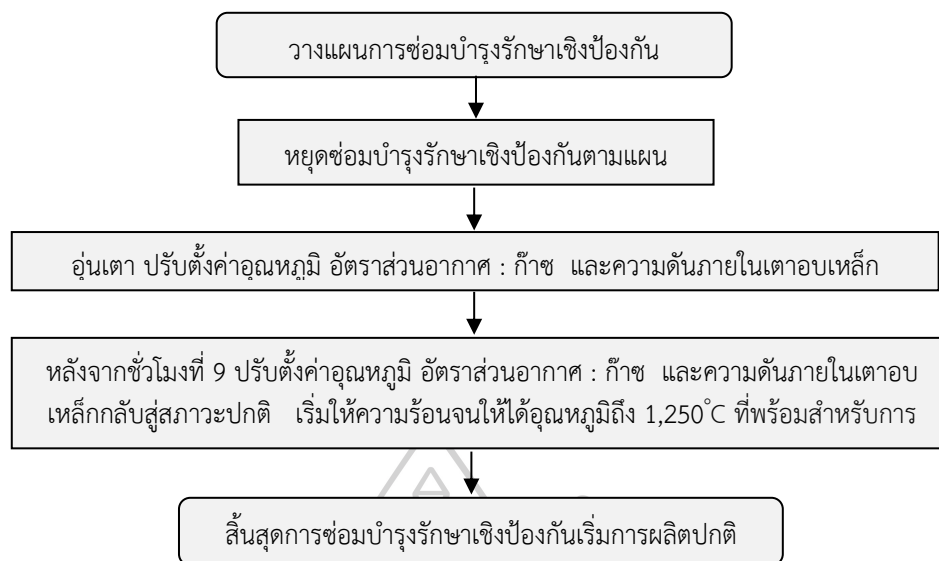
ตารางที่ 3.8 การกำหนดแบบทดลองโดยใช้ 3-Level Full Factorial Design

วิธีการทดลอง	ปัจจัยในการทดลอง		
	อุณหภูมิ (Temp)	อัตราส่วนอากาศ: ก๊าซ (Ratio)	ความดันในเตาอบ เหล็ก (Pressure)
1	500	0.95	2.3
2	500	0.95	2.5
3	500	0.95	2.7
4	500	1.00	2.3
5	500	1.00	2.5
6	500	1.00	2.7
7	500	1.05	2.3

ตารางที่ 3.8 การกำหนดแบบทดลองโดยใช้ 3-Level Full Factorial Design (ต่อ)

วิธีการทดลอง	ปัจจัยในการทดลอง		
	อุณหภูมิ (Temp)	อัตราส่วนอากาศ: ก๊าซ (Ratio)	ความดันในเตาอบ เหล็ก (Pressure)
8	500	1.05	2.5
9	500	1.05	2.7
10	600	0.95	2.3
11	600	0.95	2.5
12	600	0.95	2.7
13	600	1.00	2.3
14	600	1.00	2.5
15	600	1.00	2.7
16	600	1.05	2.3
17	600	1.05	2.5
18	600	1.05	2.7
19	700	0.95	2.3
20	700	0.95	2.5
21	700	0.95	2.7
22	700	1.00	2.3
23	700	1.00	2.5
24	700	1.00	2.7
25	700	1.05	2.3
26	700	1.05	2.5
27	700	1.05	2.7

แผนผังขั้นตอนการทดลองอุณหภูมิต่อเหล็กช่วงหยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (12 ชั่วโมง)
โดยปรับค่าพารามิเตอร์ตามตารางการทดลอง แสดงรายละเอียดดังภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 แผนผังการทดลองอุ่นเตาอบเหล็กช่วงหยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน
(12 ชั่วโมง)

3.3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลอง

3.3.1.1 เตาอบเหล็ก (Reheating Furnace)

3.3.1.2 Burner เป็นชนิด Low NOx Burner มีทั้งหมด 26 Burner ทำหน้าที่ให้ความร้อนโดยใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง อุณหภูมิที่ใช้ในการอบเหล็ก 1,250°C โดยช่วงเวลาผลิตปกติจะใช้ Burner ทุกตัวให้ความร้อน

3.3.1.3 มิเตอร์วัดปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติ (Metering)

3.3.1.4 โปรแกรมควบคุมเตาอบ (PLC, Win cc)

3.3.1.5 Control valve (Gas, Air)

3.3.1.6 ก๊าซธรรมชาติ (Natural Gas; NG)

3.3.2 ข้อกำหนดในการทดลอง

3.3.2.1 กำหนดแผนการหยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกันในการทดลองจำนวน 27 ครั้ง ครั้งละ 12 ชั่วโมง เท่ากันทุกการทดลอง

3.3.2.2 เชื้อเพลิงที่ใช้เป็นก๊าซธรรมชาติ (Natural Gas; NG)

3.3.2.3 ทดลองแบบ จำนวน 27 สภาวะการทดลอง การทดลองละ 2 ชั่วโมงรวมทั้งสิ้น 54 วิธีการทดลอง ในช่วงอุณหภูมิ 500°C ,600°C ,700°C อัตราส่วนอากาศ:ก๊าซ 0.95 ,1.0 ,1.05 ความดันในเตาอบเหล็ก 2.3 ,2.5 ,2.7 บาร์

3.3.2.4 สุ่มลำดับก่อนหลังของการทดลองทั้ง 27 สภาวะการทดลอง โดยใช้โปรแกรม Minitab Release 16 (แสดงข้อมูลดังตารางที่ 3.9)

ตารางที่ 3.9 การสุ่มลำดับก่อนหลังการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab Release 16

วิธีการทดลอง ตามลำดับการสุ่ม	ปัจจัยในการทดลอง		
	อุณหภูมิ (Temp)	อัตราส่วนอากาศ: ก๊าซ (Ratio)	ความดันในเตาอบเหล็ก (Pressure)
2	500	0.95	2.5
16	600	1.05	2.3
8	500	1.05	2.5
7	500	1.05	2.3
12	600	0.95	2.7
9	500	1.05	2.7
10	600	0.95	2.3
25	700	1.05	2.3
18	600	1.05	2.7
27	700	1.05	2.7
23	700	1.00	2.5
17	600	1.05	2.5
21	700	0.95	2.7
5	500	1.00	2.5
4	500	1.00	2.3
3	500	0.95	2.7
24	700	1.00	2.7
26	700	1.05	2.5
11	600	0.95	2.5
22	700	1.00	2.3
14	600	1.00	2.5
15	600	1.00	2.7
13	600	1.00	2.3

ตารางที่ 3.9 การสุ่มลำดับก่อนหลังการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab Release 16 (ต่อ)

วิธีการทดลอง ตามลำดับการสุ่ม	ปัจจัยในการทดลอง		
	อุณหภูมิ (Temp)	อัตราส่วนอากาศ: ก๊าซ (Ratio)	ความดันในเตาอบเหล็ก (Pressure)
19	700	0.95	2.3
1	500	0.95	2.3

3.3.2.5 กำหนดให้มีการทดลอง 1 แบบการทดลอง 1 ครั้งที่หยุดบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

3.3.2.6 ในทุกการทดลองใช้ Burner ดังนี้ Burner Zone 5 จำนวน 3 หัว Burner Zone 6 จำนวน 3 หัว

3.4 ทดลองและเก็บผลการทดลอง

ผู้วิจัยได้วางแผนการปรับปรุงวิธีการทำงานเพื่อควบคุมปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติในการให้ความร้อนช่วงที่มีการหยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกันโดยปรับกระบวนการทำงานจากปกติที่มีการดับเตาเป็นการอุ่นเตา โดยทำการศึกษาหาวิธีการที่นำมาใช้ควบคุมเตาอบที่มีการแปรผันค่าตัวแปรคือ อุณหภูมิ, อัตราส่วนอากาศ:ก๊าซ และความดันในเตาอบเหล็ก ซึ่งมีแผนผังสรุปขั้นตอนการทดลองแสดงดังภาพที่ 3.7 โดยมีรายละเอียดของวิธีการทดลอง ดังต่อไปนี้

3.4.1 หยุด PM เริ่มทำการทดลอง

3.4.2 ชั่วโมงที่ 1-9 เปิด Burner ในเตาอบดังนี้ Burner Zone 5 จำนวน 3 หัว และ Zone 6 จำนวน 3 หัว ที่ส่วน Burner ที่เหลือให้ปิดทั้งหมดและจ่ายก๊าซธรรมชาติไปยัง Burner ทั้ง 6 หัว ดังวิธีการในภาพที่ 3.8

3.4.3 ปรับค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 ตัวแปร ประกอบด้วย อุณหภูมิ, อัตราส่วนอากาศ:ก๊าซ, ความดันในเตาอบเหล็ก ตามตารางที่ 3.8

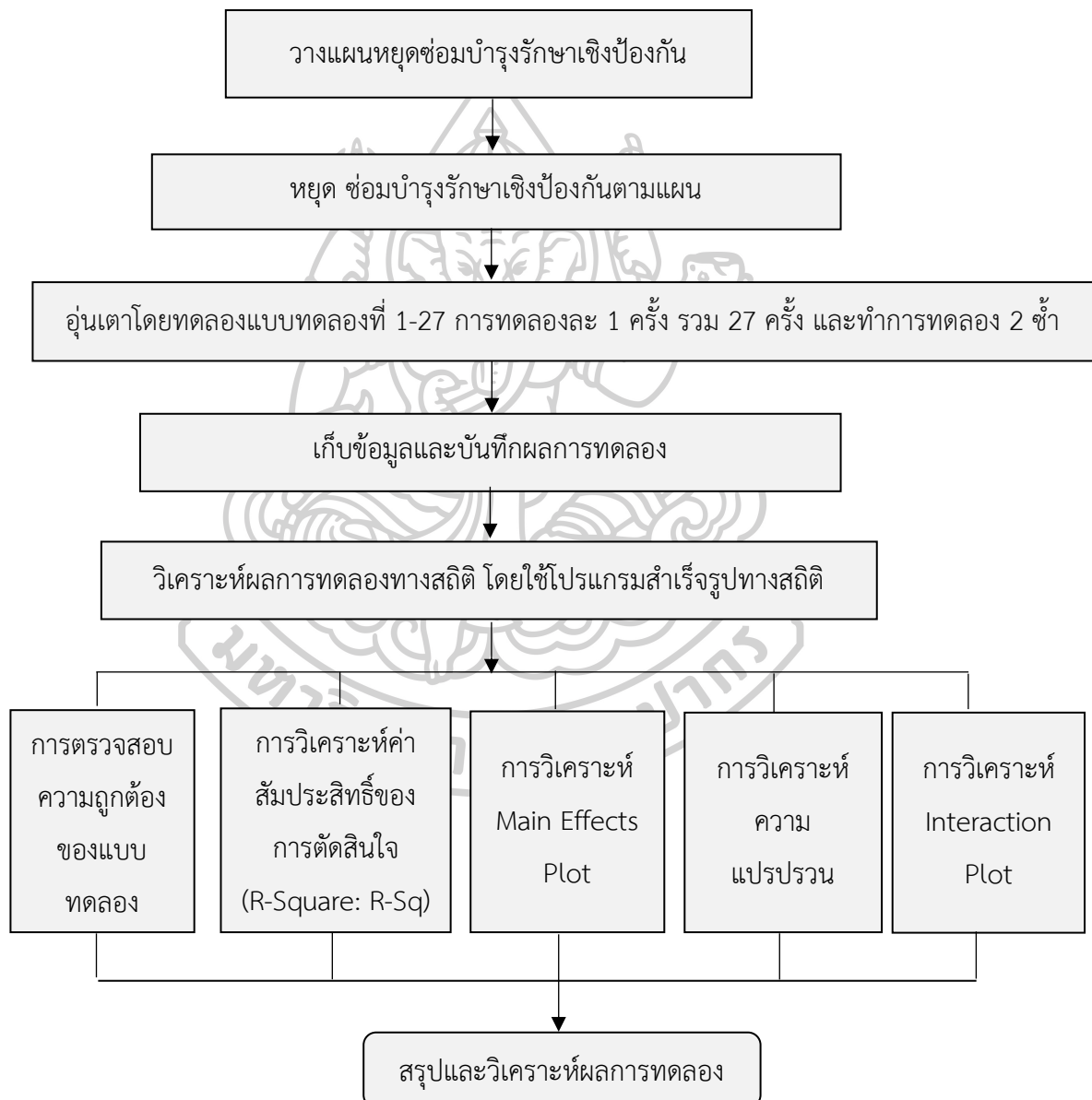
3.4.4 หลังจากชั่วโมงที่ 9 ทำการเปิด Burner ที่เหลือทั้งหมดและจ่ายก๊าซธรรมชาติไปยัง Burner ทั้งหมด ดังนี้ Burner Zone 5 จำนวน 3 หัว และ Zone 6 จำนวน 3 หัว Burner Zone 3 จำนวน 4 หัว Burner Zone 4 จำนวน 4 หัว Burner Zone 1 จำนวน 6 หัว Burner Zone 2 จำนวน 6 หัว ดังวิธีการในภาพที่ 3.9

3.4.5 ปรับค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 ตัวแปร กลับสู่สภาวะผลิตปกติ ประกอบด้วย อุณหภูมิ 1,250 °C, อัตราส่วนอากาศ:ก๊าซ 0.95, ความดันในเตาอบเหล็ก 2.5 Bar

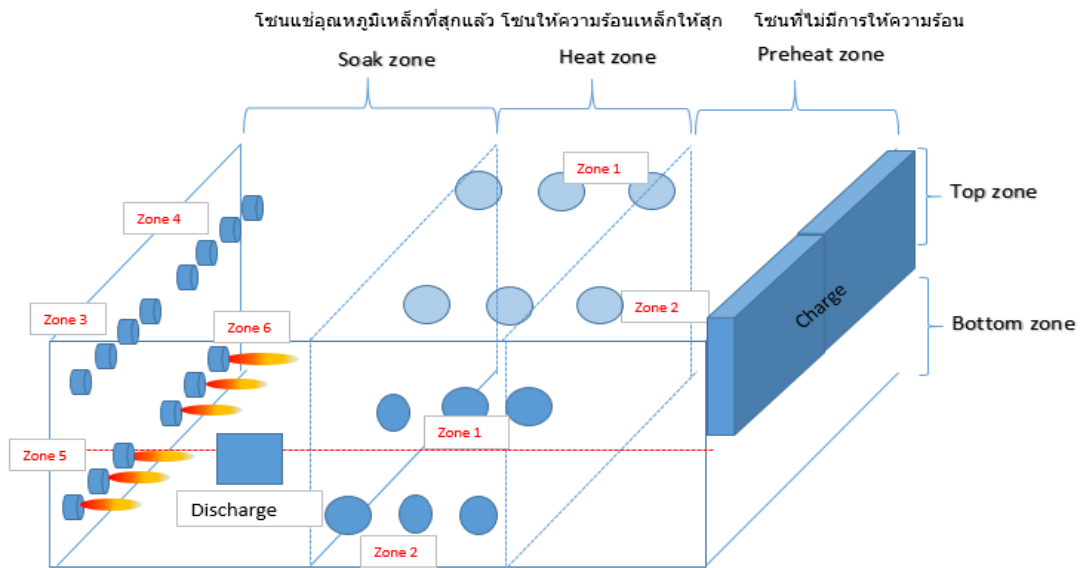
3.4.6 สิ้นสุดการ PM ทำการบันทึกผลการทดลอง จดบันทึกค่า Flow gas (Nm^3/m) และปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติ (Nm^3/h) จนกระทั่งสิ้นสุดระยะเวลาการทดลองในแต่ละแบบ การทดลองเริ่มสู่สภาวะการผลิตปกติ

3.4.7 เดินเครื่องทดสอบตามแบบวิธีการทดลองที่ละแบบการทดลอง

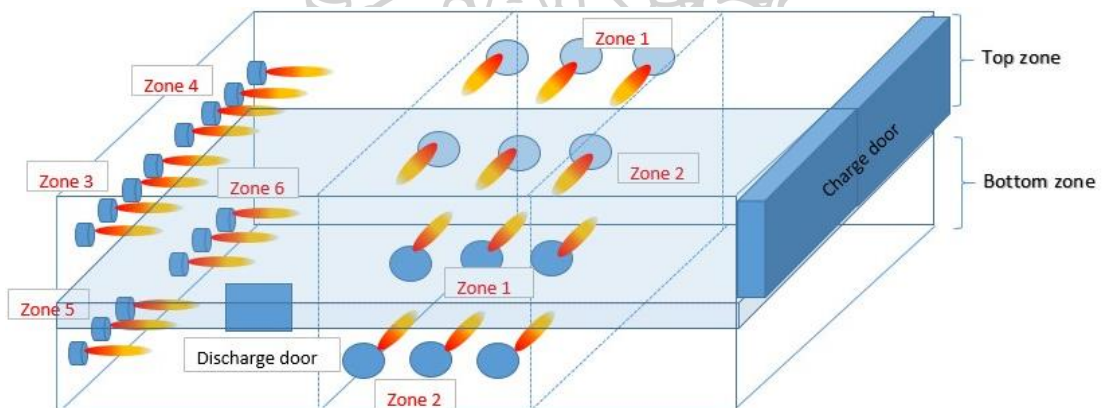
3.4.8 ทำการทดลองเช่นเดียวกับ ข้อ 3.4.1) – 3.4.7) นี้ จนครบทั้ง 27 แบบการทดลอง และทำการทดลองอย่างละ 2 ชั่วโมง



ภาพที่ 3.7 แผนผังการทดลองการควบคุมปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติในการให้ความร้อนช่วงที่มีการหยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (12 ชั่วโมง) โดยวิธีการอุ่นเตา



ภาพที่ 3.8 กระบวนการเปิดหัว Burner สภาวะทำการทดลอง



ภาพที่ 3.9 กระบวนการเปิดหัว Burner สภาวะผลิตปกติ

3.5 การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

การวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติแบ่งออกเป็น 5 ส่วน คือ การตรวจสอบความถูกต้องของแบบทดลอง, การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R-Square: R-Sq), การวิเคราะห์ความแปรปรวน, การวิเคราะห์ Main Effects Plot ที่มีผลต่อการใช้ก๊าซธรรมชาติในการอุ่นเตา และการวิเคราะห์ Interaction Plot อิทธิพลร่วม 2 ปัจจัย ซึ่งมีรายละเอียดต่อไปนี้

3.5.1 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบทดลอง

เป็นการตรวจสอบข้อมูลที่ได้จากการทดลองเพื่อนำไปวิเคราะห์การตัดสินใจและวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยข้อมูลที่ได้จากการทดลองต้องเป็นไปตามสมมติฐาน 3 ข้อ คือ

(1) ค่าส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน (2) ส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ และ (3) ค่าความแปรปรวนมีเสถียรภาพ ทั้ง 3 ข้อต้องมีถูกต้องตรงตามสมมติฐาน ก็ถือว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความถูกต้องและเหมาะสมที่จะนำมาวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจและวิเคราะห์ความแปรปรวน

3.5.2 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ

ใช้สมการการถดถอยประมาณค่ามีความสามารถอธิบายความผันผวน (Variation) ของตัวแปรเป็นการวิเคราะห์ว่าการออกแบบที่ใช้การทดลองของตัวแปรมีความเหมาะสมหรือไม่ การตัดสินใจสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้ (Hu, 1999)

$$r^2 = \frac{\text{Regression Sum of Squares}}{\text{Total Sum of Squares}} \quad \dots(14)$$

3.5.3 การวิเคราะห์อิทธิพลหลัก (Main Effects) ที่มีผลต่อการใช้ก๊าซธรรมชาติในการอุ่นเตา

ทำการศึกษาอิทธิพลหลักของปัจจัยที่มีผลต่อการใช้ก๊าซธรรมชาติในการอุ่นเตาโดยเมื่อระดับของปัจจัยเปลี่ยนไป จะส่งผลทำให้ผลที่ได้จากการทดลองเปลี่ยนไปด้วย ซึ่งอิทธิพลหลักหาได้จากการเฉลี่ยผลบวกค่าอิทธิพลอย่างง่าย สัญลักษณ์ที่ใช้แทนอิทธิพลหลักจะใช้อักษร A, B, C,

3.5.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงแฟคทอเรียลแบบ 3 ระดับ

ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทดสอบนัยสำคัญของอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วม โดยพิจารณาจาก ค่า P-value ของเทอมต่าง ๆ ในตารางของการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่ได้เปรียบเทียบกับค่านัยสำคัญทางสถิติที่กำหนด ซึ่งในการพิจารณาค่า P-value นั้น จะทำการเปรียบเทียบกับค่า α ทั้งนี้ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้ α มีค่าเท่ากับ 0.05 โดยถ้าวค่า P-value ที่คำนวณได้ในแต่ละปัจจัยมีค่าน้อยกว่าค่า α แสดงว่าปัจจัยนั้นๆ มีผลต่อตัวแปรตอบสนองแต่ถ้าวค่าที่คำนวณได้ในแต่ละปัจจัย มีค่ามากกว่าค่า α แสดงว่าปัจจัยนั้นๆ ไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง

3.5.5 การวิเคราะห์อิทธิพลร่วม 2 ปัจจัย (Interaction Effect)

ทำการศึกษาอิทธิพลร่วมของปัจจัยที่การเปลี่ยนแปลงในอิทธิพลของปัจจัยหนึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อระดับของปัจจัยหนึ่งเปลี่ยนแปลงไป โดยปฏิสัมพันธ์ของปัจจัยหาได้จากการเฉลี่ยผลต่างค่าอิทธิพลอย่างง่าย

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการวิเคราะห์

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงใช้หลักการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 3^k ในการออกแบบการทดลองเพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติของเตาอบเหล็ก รีดร้อนระหว่างช่วงการอุ่นเตาเพื่อหยุดบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ในกระบวนการรีดเหล็กก้อน โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาการปรับปรุงวิธีการทำงานเพื่อควบคุมปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติในการให้ความร้อนช่วงที่มีการหยุดบำรุงรักษาเชิงป้องกันให้ได้มากที่สุด โดยปรับกระบวนการทำงาน จากปกติที่มีการดับเตาเป็นการอุ่นเตาและหาวิธีปรับค่าค่าพารามิเตอร์ ซึ่งจะทำการศึกษาค้นคว้าหาอุณหภูมิ, อัตราส่วนระหว่างอากาศ : ก๊าซธรรมชาติ, ความดันของอากาศในเตาอบเหล็ก ที่เหมาะสมโดยแปรผัน ทั้ง 3 ปัจจัยภายในเตาอบในช่วงที่มีการหยุดบำรุงรักษาเชิงป้องกันในช่วงที่ 1-9 ให้อยู่ที่อุณหภูมิ 500°C , 600°C , 700°C , อัตราส่วนระหว่างอากาศ : ก๊าซธรรมชาติ 0.95, 1.0, 1.05 ความดันของอากาศในเตาอบเหล็ก 2.3 บาร์, 2.5 บาร์, 2.7 บาร์ ตามลำดับ โดยทำการแบ่งการทดลองออกเป็น 27 สภาวะการทดลอง การทดลองละ 2 ชั่วโมง รวมการทดลองทั้งหมด 54 วิธีการทดลอง เพื่อหาวิธีการควบคุมการทำงานของเตาอบให้ได้มีประสิทธิภาพและสามารถช่วยลดปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติได้มากที่สุด โดยมีผลการดำเนินงานวิจัยดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.1 ข้อมูลผลการทดลอง

จากการทดลองทั้ง 27 วิธีการทดลอง การทดลองละ 2 ชั่วโมง จึงได้นำผลการทดลอง คือปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติช่วงที่ทำการทดลองมาบันทึกผลลงในตารางที่ 4.1 ซึ่งจากการวิเคราะห์ผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าการปรับตั้งค่าปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยตามวิธีการทดลองตามลำดับการสุ่มที่ 18 นั่นคือ การปรับตั้งค่าปัจจัยที่อุณหภูมิ 600°C , อัตราส่วนอากาศ:ก๊าซธรรมชาติที่ 1.05 และความดันในเตาอบเหล็กที่ 2.7 บาร์ ให้ผลการทดลองที่ประหยัดปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติได้มากที่สุดอยู่ที่ค่าเฉลี่ย $11,240 \text{ Nm}^3$

ตารางที่ 4.1 ผลบันทึกปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติในกระบวนการอบเหล็กโดยวิธีการอุ่นเตา ช่วงหยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

วิธีการ ทดลอง ตามลำดับ การสุ่ม	ปัจจัยในการทดลอง			ปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติ (Nm ³)		
	อุณหภูมิ (Temp) (°C)	อัตราส่วน อากาศ:ก๊าซ (Ratio)	ความดันใน เตาอบเหล็ก (Pressure) (Bar)	การทดลอง ครั้งที่ 1	การทดลอง ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย
2	500	0.95	2.5	13,735	13,111	13,423
16	600	1.05	2.3	11,670	11,656	11,663
8	500	1.05	2.5	12,900	12,923	12,911
7	500	1.05	2.3	13,010	13,018	13,014
12	600	0.95	2.7	11,890	11,845	11,867
9	500	1.05	2.7	12,820	12,840	12,830
10	600	0.95	2.3	12,120	12,117	12,119
25	700	1.05	2.3	14,072	13,950	14,011
18	600	1.05	2.7	11,250	11,230	11,240
27	700	1.05	2.7	14,519	14,399	14,459
23	700	1.00	2.5	13,020	13,036	13,028
17	600	1.05	2.5	11,476	11,470	11,473
21	700	0.95	2.7	12,990	12,978	12,984
5	500	1.00	2.5	13,110	13,100	13,105
4	500	1.00	2.3	13,400	13,423	13,411
3	500	0.95	2.7	13,120	13,080	13,100
24	700	1.00	2.7	13,100	13,119	13,109
26	700	1.05	2.5	12,908	13,002	12,955
11	600	0.95	2.5	12,030	12,056	12,043
22	700	1.00	2.3	13,620	13,590	13,605
14	600	1.00	2.5	11,980	11,967	11,973
15	600	1.00	2.7	11,880	11,888	11,884

ตารางที่ 4.1 ผลบันทึกปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติในกระบวนการอบเหล็กโดยวิธีการอุ่นเตา ช่วงหยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (ต่อ)

วิธีการ ทดลอง ตามลำดับ การสุ่ม	ปัจจัยในการทดลอง			ปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติ (Nm ³)		
	อุณหภูมิ (Temp) (°C)	อัตราส่วน อากาศ:ก๊าซ (Ratio)	ความดันใน เตาอบเหล็ก (Pressure) (Bar)	การทดลอง ครั้งที่ 1	การทดลอง ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย
13	600	1.00	2.3	12,034	12,030	12,032
19	700	0.95	2.3	13,230	13,242	13,236
1	500	0.95	2.3	14,994	14,830	14,912
20	700	0.95	2.5	13,123	13,115	13,119
6	500	1.00	2.7	13,050	13,032	13,041

4.2 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติของเตาอบเหล็ก รีดร้อนระหว่างช่วงการอุ่นเตาเพื่อหยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ทางผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูล ผลการทดลองทั้ง 54 วิธีการทดลองทางสถิติ โดยใช้โปรแกรม Minitab Release 16 โดยรูปแบบของ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลอง แสดงได้ดังรูปที่ 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 และ 4.5 ซึ่งจากการวิเคราะห์ โดยใช้โปรแกรม Minitab Release 16 ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

4.2.1 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบทดลอง

4.2.1.1 ความอิสระของข้อมูล

1) กราฟ Normal Probability Plot

เมื่อพิจารณาจากกราฟ Normal Probability Plot พบว่าการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างมีลักษณะเรียงตัวกันมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง (ดังรูปที่ 4.1) แสดงว่ามีความอิสระของข้อมูล คือข้อมูลเก็บมาอย่างสุ่มกราฟระหว่างค่าของส่วนตกค้างกับลำดับการทดลองไม่มีลักษณะที่เป็นแนวโน้ม ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าเป็นแบบอิสระต่อกันและไม่ขึ้นอยู่กับวิธีการทดลอง จึงถือว่าการทดลองนี้ถูกต้อง

2) กราฟ Histogram

จากการวิเคราะห์กราฟ Histogram (ดังรูปที่ 4.1) พบว่ากราฟมีลักษณะของระฆังคว่ำ แสดงว่าข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ

4.2.1.2 การแจกแจงเป็นแบบปกติ

จากการพิจารณารูป Probability Plot (ดังรูปที่ 4.2) พบว่าโปรแกรม Minitab จะให้ค่า P-Value เท่ากับ 0.054 ซึ่งเป็นการสรุปผลการทดสอบสมมติฐานที่ว่า

H_0 : ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ

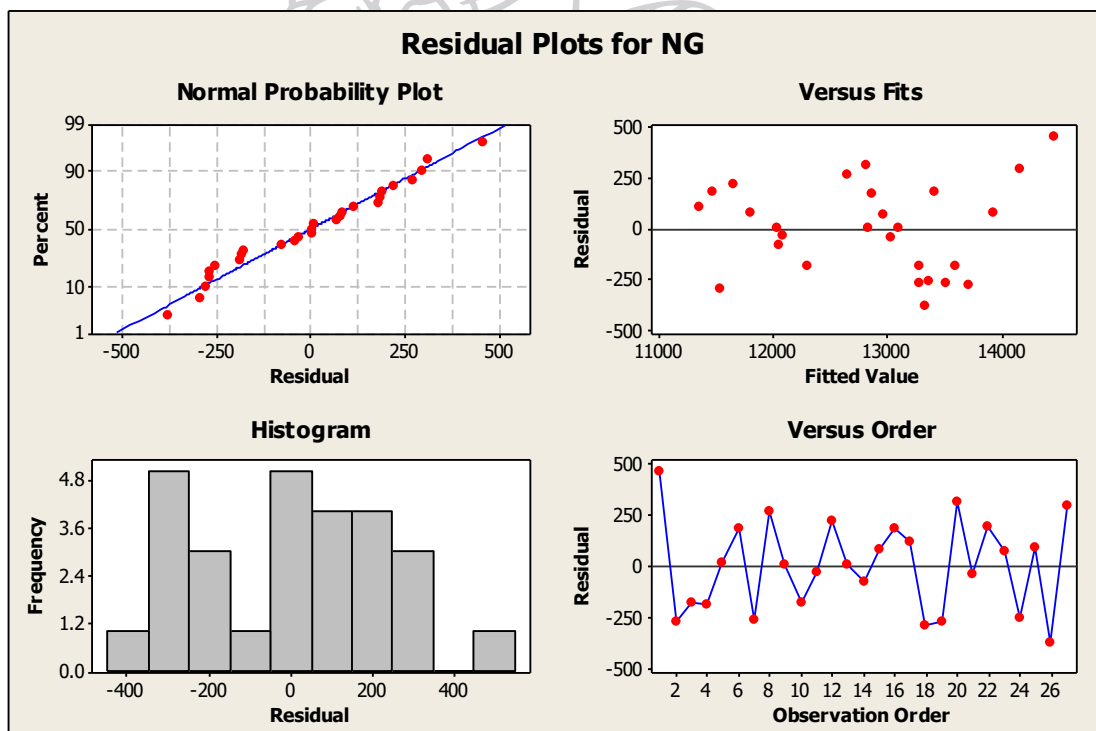
H_1 : ข้อมูลมีการแจกแจงไม่เป็นปกติ

โดยกำหนดยอมรับค่าความผิดพลาดที่ 5 % ($\alpha=0.05$) เมื่อ P-Value > α จึงยอมรับสมมติฐาน H_0 แต่หากเมื่อ P-Value < α จะปฏิเสธสมมติฐาน H_0

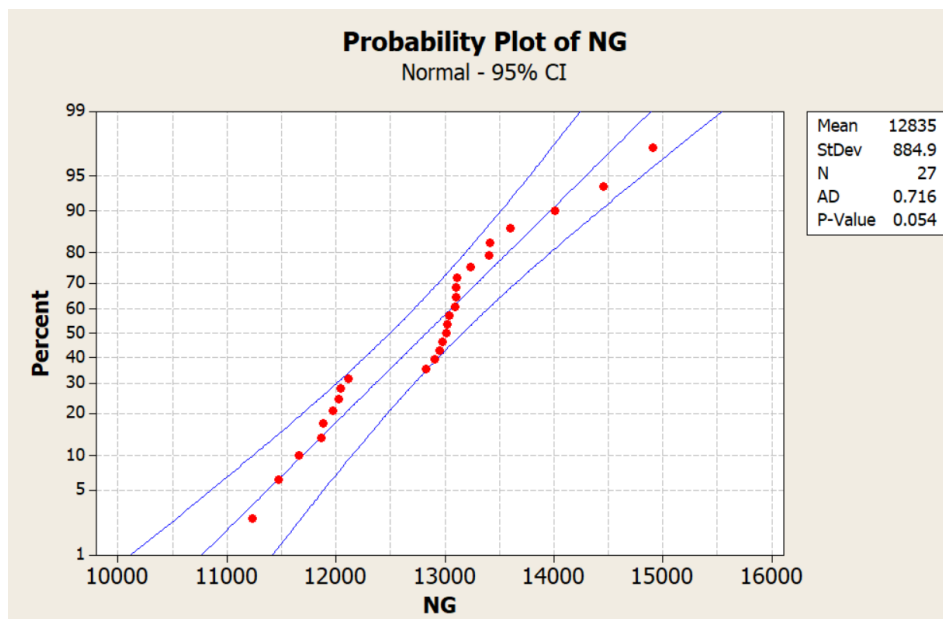
ดังนั้นเมื่อได้ค่า P-Value > α จึงสามารถแสดงได้ว่าข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ

4.2.1.3 ความแปรปรวนมีเสถียรภาพ

จากการพิจารณารูป Versus Order (ดังรูปที่ 4.1) พบว่าการกระจายตัวของ (Residual) มีรูปแบบที่เป็นอิสระ ทั้งบนและล่าง ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน



ภาพที่ 4.1 การตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลของการทดลองแบบแฟคทอเรียล



ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงข้อมูลเป็น Normal distribution โดยโปรแกรม Minitab Release 16

4.2.2 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ

การวิเคราะห์ความแปรปรวนจากการทดลองวัดปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติตามที่ได้ ออกแบบไว้ดังแสดงในรูปที่ 4.3 ได้ผลว่า R^2 มีค่าเท่ากับ 93.68% ดังนั้นจึงแสดงได้ว่าข้อมูล มีสารสนเทศต่อการวิเคราะห์

General Linear Model: NG versus Temp, Ratio, Pressure

Factor	Type	Levels	Values
Temp	fixed	3	500, 600, 700
Ratio	fixed	3	0.95, 1.00, 1.05
Pressure	fixed	3	2.3, 2.5, 2.7

Analysis of Variance for NG, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Temp	2	14204085	14204085	7102042	44.19	0.000
Ratio	2	298249	298249	149125	0.93	0.434
Pressure	2	1043599	1043599	521800	3.25	0.093
Temp*Ratio	4	2338931	2338931	584733	3.64	0.057
Temp*Pressure	4	702069	702069	175517	1.09	0.422
Ratio*Pressure	4	485944	485944	121486	0.76	0.582
Error	8	1285655	1285655	160707		
Total	26	20358533				

S = 400.883 R-Sq = 93.68% R-Sq(adj) = 79.48%

ภาพที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงแฟคทอเรียลแบบ 3 ระดับ

4.2.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติ โดยใช้โปรแกรม Minitab ที่แสดงดังรูปที่ 4.3 ยังพบว่าปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติอย่างมีนัยสำคัญ คือ อุณหภูมิ เนื่องจากมีค่าของ P-value < 0.05

นอกจากนี้การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 3 ระดับที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติในการอุ่นเตา และแผนภาพความสำคัญของอิทธิพลร่วมสองปัจจัยสามารถวิเคราะห์ถึงอิทธิพลหลัก และอิทธิพลร่วมของ 2 ปัจจัยได้จากรูปที่ 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ ดังนี้

4.2.3.1 การวิเคราะห์อิทธิพลหลัก

1) อุณหภูมิ

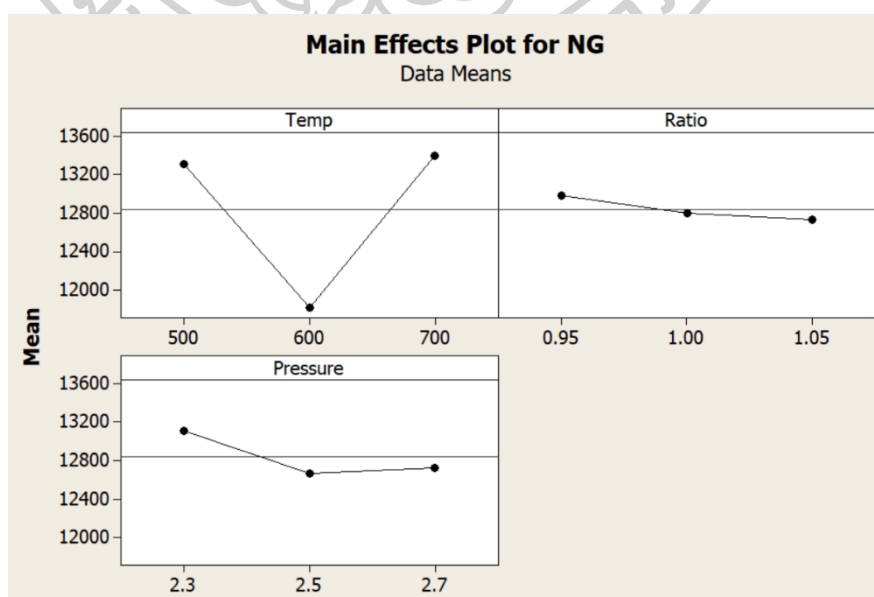
พบว่าเส้นกราฟมีลักษณะชันลงมาก ซึ่งหมายความว่าปัจจัยอุณหภูมิ 600°C นั้นส่งผลกระทบต่อปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติลดน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ

2) อัตราส่วนอากาศ:ก๊าซธรรมชาติ

พบว่าเส้นกราฟมีลักษณะชันลง ซึ่งหมายความว่าปัจจัยอัตราส่วนอากาศ: ก๊าซธรรมชาติ 1.05 นั้นส่งผลกระทบต่อปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติลดน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ

3) ความดันในเตาอบเหล็ก

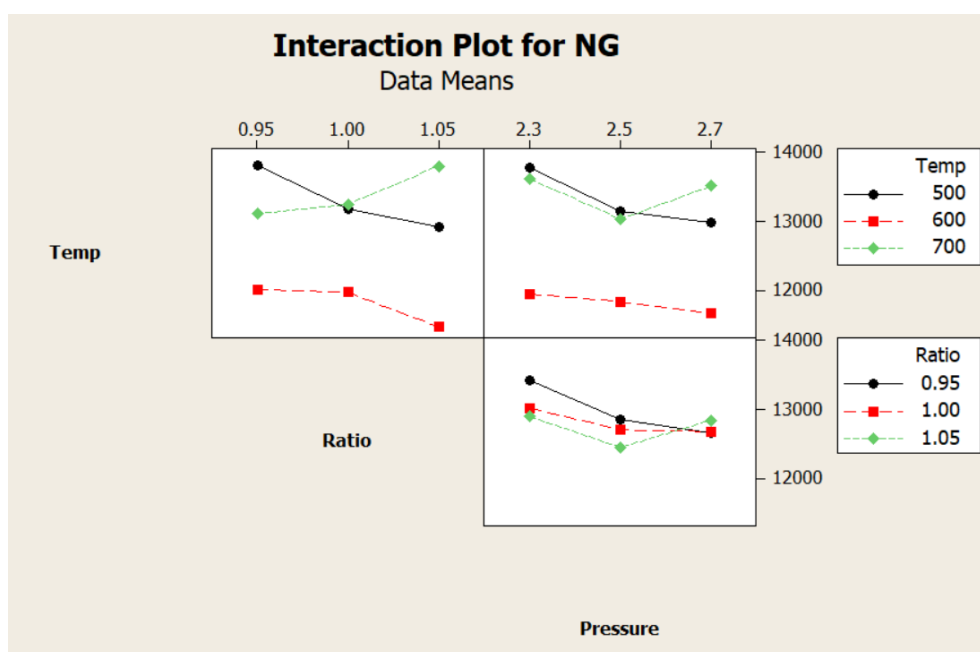
พบว่าเส้นกราฟมีลักษณะเกือบเป็นเส้นตรง ซึ่งหมายความว่าไม่ว่าจะปรับตั้งค่าความดันในเตาอบเหล็ก ต่ำ หรือ สูง จะส่งผลกระทบต่อปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติที่มีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ดังนั้นความดันในเตาอบเหล็ก จึงมีผลน้อยต่อปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติ



ภาพที่ 4.4 การวิเคราะห์ Main Effects Plot ที่มีผลต่อปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติในการอุ่นเตา

4.2.3.2 การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมของ 2 ปัจจัย

จากการพิจารณารูปภาพอิทธิพลร่วม 2 ปัจจัย พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย อุณหภูมิและอัตราส่วนอากาศ:ก๊าซธรรมชาติ ส่งผลกระทบต่อการใช้ก๊าซธรรมชาติลดน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญอย่างชัดเจน เนื่องจากหากมีการปรับตั้งค่าอุณหภูมิสูง และอัตราส่วนอากาศ:ก๊าซธรรมชาติสูงขึ้น จะส่งผลให้เกิดปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติลดน้อยลง แต่หากเมื่อมีการปรับตั้งค่าอุณหภูมิต่ำ และอัตราส่วนอากาศ:ก๊าซต่ำ จะส่งผลทำให้มีปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติเพิ่มสูงขึ้น



ภาพที่ 4.5 การวิเคราะห์ Interaction Plot อิทธิพลร่วม 2 ปัจจัย

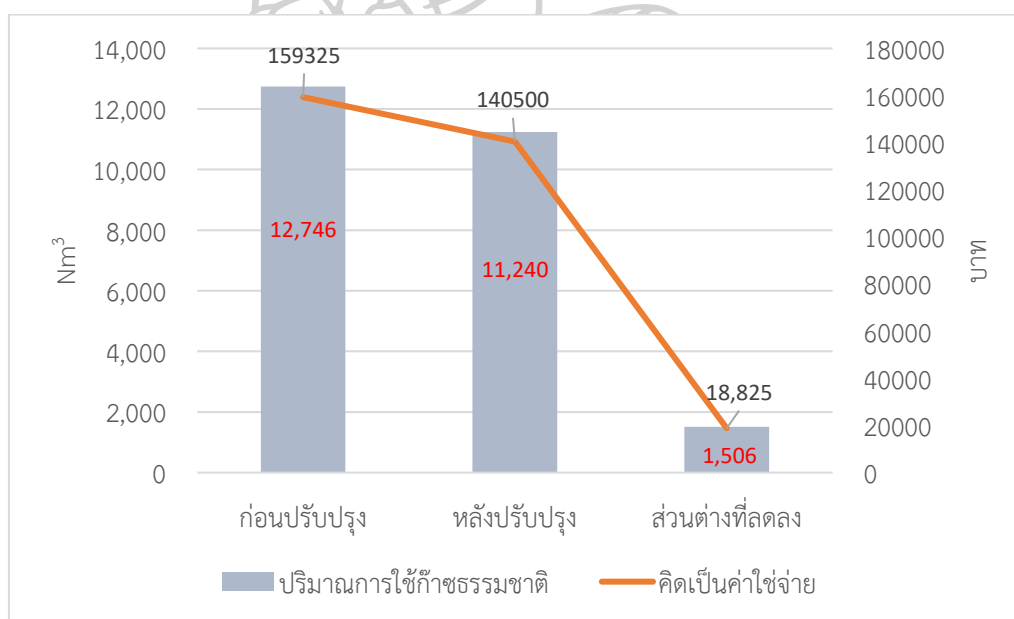
4.3 ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากผลการศึกษาที่ได้มีการปรับเปลี่ยนจากวิธีการดับเตาเป็นวิธีการอุ่นเตา และทำการศึกษาเพื่อทดลองหาค่าของปัจจัยควบคุมและระดับของปัจจัยควบคุมที่เหมาะสมที่นำมาใช้ในการควบคุมการทำงานของเตาอบในช่วงที่มีการหยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (12 ชั่วโมง) เพื่อที่จะช่วยลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติของเตาอบเหล็กกรีดร้อนระหว่างช่วงการอุ่นเตาเพื่อหยุดบำรุงรักษาเชิงป้องกันให้เหลือน้อยที่สุด โดยอาศัยหลักการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 3^k ผลการทดลองที่ได้พบว่าการปรับเปลี่ยนการปรับตั้งค่าของอุณหภูมิ, อัตราส่วนอากาศ:ก๊าซธรรมชาติ และความดันภายในเตาอบเหล็กนี้สามารถที่จะช่วยลดปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติลงได้ในช่วงระหว่างที่มีการอุ่นเตาเพื่อหยุดบำรุงรักษาเชิงป้องกัน โดยปัจจัยที่เหมาะสมสามารถสรุปได้ตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการวิเคราะห์หาระดับปัจจัย

ปัจจัย	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง
อุณหภูมิ (Temp)	800°C	600°C
อัตราส่วนอากาศ:ก๊าซธรรมชาติ (Ratio)	0.95	1.05
ความดันในเตาอบเหล็ก (Pressure)	2.5 บาร์	2.7 บาร์

การปรับเปลี่ยนวิธีการทำงานโดยการปรับตั้งค่าปัจจัยใหม่จากการทดลองครั้งนี้สามารถที่จะช่วยลดปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติได้ในช่วงระหว่างการอุ่นเตาเพื่อหยุดบำรุงรักษาเชิงป้องกัน และยังสามารถวิเคราะห์ถึงการปรับตั้งค่าการทำงานเตาอบเหล็กที่เหมาะสมในการช่วยลดปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบข้อมูลปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติระหว่างก่อนและหลังการทดลองพบว่า การปรับตั้งค่าปัจจัยใหม่ที่ได้จากการทดลองครั้งนี้สามารถที่จะลดปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติลงได้มากที่สุดที่ปริมาณ 1,506 Nm³/ครั้ง และคิดเป็นค่าใช้จ่ายที่สามารถลดต้นทุนลงได้เท่ากับ 18,825 บาท/ครั้ง (ดังแสดงผลในรูปที่ 4.6)



ภาพที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบปริมาณใช้ก๊าซธรรมชาติก่อนและหลังการทดลอง

4.4 ผลการติดตามการวิจัย

จากการทดลองได้นำการนำการอุ่นเตาและปรับค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 ปัจจัย คืออุณหภูมิ ปรับตั้งค่าที่ 600 °C อัตราส่วนอากาศ:ก๊าซธรรมชาติ ปรับตั้งค่าที่ 1.05 และความดันในเตาอบเหล็ก ปรับตั้งค่าที่ 2.7 บาร์ ที่เป็นผลการทดลองที่ประหยัดการใช้ก๊าซธรรมชาติมากที่สุด จึงได้นำไปปรับใช้ในกระบวนการผลิตจริงเมื่อมีการหยุดบำรุงรักษาเชิงป้องกันในช่วงระหว่างเดือนมกราคมถึง พฤษภาคม 2562 ซึ่งผลของการเก็บข้อมูลหลังนำไปใช้ในกระบวนการผลิตจริงแสดงดังตารางที่ 4.3 ตารางที่ 4.3 ผลบันทึกปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติในกระบวนการอบเหล็กโดยวิธีการอุ่นเตา ช่วงหยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

วันที่หยุดซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน	ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ (Nm ³)
20/1/2562	11,247
2/2/2562	11,250
15/2/2562	11,200
26/2/2562	11,270
1/3/2562	11,265
10/3/2562	11,310
22/3/2562	11,244
5/4/2562	11,270
12/4/2562	11,250
24/4/2562	11,230
4/5/2562	11,321
15/5/2562	11,248
ค่าเฉลี่ย	11,258.75

จากผลการบันทึกปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติในกระบวนการอบเหล็กโดยวิธีการอุ่นเตาที่มาจากผลการทดลองที่ได้ค่าประหยัดการใช้ก๊าซธรรมชาติมากที่สุดไปปรับใช้ในกระบวนการผลิตจริงเมื่อมีการหยุดบำรุงรักษาเชิงป้องกันในช่วงระหว่างเดือนมกราคม ถึง พฤษภาคม 2562 พบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติจะอยู่ที่ปริมาณ 11,258.75 Nm³/ครั้ง

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

จากการวิจัยเพื่อศึกษาโดยใช้หลักการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 3^k ในการออกแบบการทดลองเพื่อลดปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติในการให้ความร้อนช่วงที่มีการหยุดบำรุงรักษาเชิงป้องกันในกระบวนการรีดเหล็กร้อน โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาการปรับปรุงวิธีการทำงานเพื่อควบคุมปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติในการให้ความร้อนช่วงที่มีการหยุดบำรุงรักษาเชิงป้องกันให้ได้มากที่สุด ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาดทดลองโดยปรับเปลี่ยนกระบวนการทำงานจากเดิมปกติที่มีการดับเตาในช่วงที่มีการหยุดบำรุงรักษาเชิงป้องกันเปลี่ยนเป็นวิธีการอุ่นเตาแทน ซึ่งได้ทำการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติแล้วพบว่าการใช้วิธีการอุ่นเตาโดยการควบคุมอุณหภูมิภายในเตาอบเหล็กนั้นได้ผลลัพธ์ที่ออกมาดีกว่าการดับเตา ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการศึกษาดทดลองเพิ่มเติมเพื่อหาวิธีปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการควบคุมกระบวนการทำงานของเตาอบเหล็กด้วยวิธีการอุ่นเตา เพื่อช่วยลดปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติในการให้ความร้อนช่วงที่มีการหยุดบำรุงรักษาเชิงป้องกันในกระบวนการรีดเหล็กร้อนให้ลดลงได้มากที่สุด

5.1 สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

จากผลการทดลองก่อนการปรับปรุงโดยใช้วิธีการดับเตาและหลังปรับปรุงได้เปลี่ยนเป็นวิธีการอุ่นเตา ผู้วิจัยได้ทำการทดลองปรับตั้งค่าปัจจัยที่ใช้ควบคุมการทำงานของเตาอบเหล็ก ได้แก่ อุณหภูมิ อัตราส่วนอากาศ:ก๊าซธรรมชาติ และความดันในเตาอบเหล็ก และได้นำผลการทดลองมาวิเคราะห์หาระดับปัจจัยในการปรับตั้งเครื่องจักร เพื่อลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติของเตาอบเหล็กที่ร้อนระหว่างช่วงการอุ่นเตาเพื่อหยุดบำรุงรักษาเชิงป้องกัน โดยอาศัยหลักการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 3^k ผลการทดลองที่ได้พบว่า การปรับเปลี่ยนวิธีการทำงานนี้สามารถที่จะช่วยลดปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติได้ในช่วงระหว่างการอุ่นเตาเพื่อหยุดบำรุงรักษาเชิงป้องกันได้ โดยปัจจัยที่ใช้ควบคุมการทำงานของเตาอบเหล็กที่เหมาะสมที่สุด คือการปรับตั้งค่าที่อุณหภูมิภายในเตาอบเหล็ก เท่ากับ $600\text{ }^{\circ}\text{C}$, อัตราส่วนอากาศ:ก๊าซภายในเตาอบเหล็ก เท่ากับ 1.05 และความดันภายในเตาอบเหล็ก เท่ากับ 2.7 บาร์

การปรับเปลี่ยนวิธีการทำงานโดยการปรับตั้งค่าปัจจัยใหม่จากการทดลองครั้งนี้สามารถที่จะช่วยลดปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติได้ในช่วงระหว่างการอุ่นเตาเพื่อหยุดบำรุงรักษาเชิงป้องกัน และยังสามารถวิเคราะห์ถึงการปรับตั้งค่าการทำงานของเตาอบเหล็กที่เหมาะสมในการช่วยลดปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบข้อมูลปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติระหว่างก่อนและหลังการทดลองพบว่า การปรับตั้งค่าปัจจัยใหม่ที่ได้จากการทดลองครั้งนี้สามารถที่จะลดปริมาณการใช้ก๊าซ

ธรรมชาติลงได้มากที่สุดที่ปริมาณ $1,506 \text{ Nm}^3/\text{ครั้ง}$ และคิดเป็นค่าใช้จ่ายที่สามารถลดต้นทุนลงได้เท่ากับ 18,825 บาท/ครั้ง

นอกจากนี้ผลจากการทดสอบเพื่อยืนยันการปรับเปลี่ยนการตั้งค่าวิธีการทำงานของเตาอบเหล็กโดยการนำปัจจัยที่ตั้งค่าใหม่ที่ได้จากการทดลองดังกล่าวไปปรับใช้ในกระบวนการผลิตจริงในช่วงระหว่างการอุ่นเตาเพื่อหยุดบำรุงรักษาเชิงป้องกันนั้น พบว่าสามารถที่จะช่วยลดปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติลงได้ จึงสามารถยืนยันได้ว่าค่าของการปรับตั้งค่าปัจจัยที่ได้จากการทดลองนี้สามารถนำไปใช้ในกระบวนการผลิตของบริษัทได้จริง

5.2 ข้อเสนอแนะ

การศึกษางานวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้มีข้อเสนอแนะในการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมในประเด็นดังต่อไปนี้

5.2.1 ควรศึกษาการทดลองให้มีความละเอียดมากขึ้นโดยเพิ่มแบบการทดลอง

5.2.2 ควรนำวิธีการทดลองและผลการทดลองที่ได้ไปขยายการศึกษาและทดลองต่อโดยนำไปใช้ควบคุมการหยุดบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่ระยะเวลา 16 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง เพื่อศึกษาประสิทธิภาพต่อไป

5.2.3 ควรมีการศึกษาถึงปัจจัยผลกระทบอื่นที่มีผลต่อการทดลองเพิ่มขึ้น อาทิเช่น

5.2.3.1 ศึกษาปัจจัยผลกระทบจากจำนวนหัว Burner ที่มีผลต่อการควบคุมอุณหภูมิกับปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติ

5.2.3.2 ศึกษาปัจจัยผลกระทบจากอัตราการไหลของก๊าซธรรมชาติที่มีผลต่อการควบคุมอุณหภูมิ

รายการอ้างอิง

- Anderson, V. L., & McLean, R. A. (1974). *Design of Experiments: A Realistic Approach*. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Andreas Steinböck, & Andreas Kugi. (2013). Optimized pacing of continuous reheating furnaces. *European Control Conference*.
- Chen Wanli, Kong Ning, & Wu Daohong. (2015). Dynamic Furnace Temperature Setting Research on Combustion System of Rolling Mill Reheating Furnace. *Energy Procedia*, 66, 217-220. doi:10.1016/j.egypro.2015.02.029
- Montgomery, D. C. (2001). *Design and Analysis of Experiments* (5 ed.). New York: John Wiley & Sons Ltd., .
- เมธัส หีบเงิน. (2549). การพัฒนาประสิทธิภาพในการผลิตโดยการปรับปรุงกระบวนการผลิต กรณีศึกษา โรงงานทำตู้น้ำเย็น. (วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ,
- เรืองวิทย์ เกษสุวรรณ. (2545). การจัดการคุณภาพ : จาก TQC ถึง TQM, ISO 9000 และการประกันคุณภาพ. คณะวิทยาการจัดการ สถาบันราชภัฏอุบลราชธานี.
- เสาวลักษณ์ มุ่งหามณี. (2550). การจัดทำและวิเคราะห์ระบบต้นทุนคุณภาพของธุรกิจอุตสาหกรรม อิเล็กทรอนิกส์ กรณีศึกษาบริษัทแห่งหนึ่ง. (บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยบูรพา,
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทน. (2553). คู่มือผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (โรงงาน) พ.ศ. 2553. Retrieved from http://www2.dede.go.th/bhrd/old/Download/file_handbook/Pre_Fac/Fac_14.pdf
- กั้ววาน ชยุติมันต์กุล. (2545). การวิเคราะห์ต้นทุนคุณภาพ สำหรับโรงงานหล่อโลหะ. (วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
- คาโอรุ อิชิกาว่า. (1993). แผนผังแสดงเหตุและผล (*Cause & Effect Diagram*): มหาวิทยาลัยโตเกียว.
- ฉัตรชัย แสงจันทร์. (2550). ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบริหารคุณภาพกับต้นทุนคุณภาพ. (บัญชีมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยมหาสารคาม,
- ธงชัย คงแก้ว. (2550). ความหมายการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance). Retrieved from <https://www.gotoknow.org/posts/92141>
- นัยยา ลีสุขสันต์. (2528). 2528. (รัฐประศาสนศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยบูรพา,
- บริษัท โซลูชั่น เซ็นเตอร์ จำกัด. (2560). 8 เคล็ดลับในการทำ DOE ให้ออกมาดีเลิศ (8 Expert Tips for

- Excellent Designed Experiments (DOE). Retrieved from <https://www.solutioncenterminitab.com/blog/common-assumptions-about-data-part-3-stability-and-measurement-systems/>
- บุญชัย แซ่ลิว, & ญัฐธยาน์ โสกุล. (2559). การลดของเสียในขั้นตอนกระบวนการบรรจุ โดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา: บริษัทผลิตขนมขบเคี้ยว. (วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการจัดการและโลจิสติกส์). มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต, ปริญญาบัตร. (2551). ขั้นตอนในการควบคุมคุณภาพ. Retrieved from http://annkomnaun.blogspot.com/2008/08/blog-post_9459.html
- พรฉัตรชัย สังข์รัตน์. (2543). การพัฒนาโปรแกรมการจัดการซ่อมบำรุงเชิงป้องกันของเครื่องจักรเพื่อลดเวลาการทำงานล่วงเวลาและลดเวลาว่างในการปฏิบัติงานแต่ละวัน. (วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ,
- พิเชษฐ์ นิลสว่าง. (2553). การประเมินการใช้ระบบคุณภาพ ISO 9001 ในบริษัทวิศวกรที่ปรึกษาดำเนินงานก่อสร้างอาคาร. (วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี,
- พิทยารัตน์ ต้นโพธิ์. (2551). การเพิ่มผลผลิตของกระบวนการเชื่อมคานรับแผงกันเครื่องยนต์ในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนรถยนต์. (วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี,
- มัชชุลิกา คอนเมฆ, สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ, & ญัฐเดช เพ็ญจรวงศ์. (2555). ศึกษาโรงงานเหล็กตัวอย่างที่ผลิตเหล็กและใช้เตาเผาเหล็กขนาด 50 ตัน/ชั่วโมง และใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงเพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบการใช้พลังงานของหัวเผาประสิทธิภาพสูงชนิดรีเจนเนอเรทีฟและรีคัพเปอร์เรทีฟในเตาเผาสำหรับอุตสาหกรรม. (วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
- รองศาสตราจารย์ สายชล สนิสมบูรณ์ทอง. (2558a). การวางแผนแบบการทดลอง เล่ม 1. กรุงเทพฯ: จามจุรีโปรดักท์.
- รองศาสตราจารย์ สายชล สนิสมบูรณ์ทอง. (2558b). การวางแผนแบบการทดลอง เล่ม 2. กรุงเทพฯ: จามจุรีโปรดักท์.
- วิฑูร แดงนวล. (2549). การเพิ่มผลผลิตสายการประกอบคานขวางบังคับขวงมาลัย. (วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี,
- สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ. (2562). การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE). Retrieved from <http://piu.ftpi.or.th/productivity-tools/doe/>
- สถาบันพลังงานเพื่ออุตสาหกรรม สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย. (2561). การอนุรักษ์พลังงานในระบบเตาเผา โครงการจัดตั้งศูนย์การเผยแพร่แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในภาคอุตสาหกรรม.

Retrieved from

www.energypoints.info%2Fdownload%2F98&usg=AOvWaw15TPKX9hd-xHfLp5X4iQEu

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) กระทรวงศึกษาธิการ. (2561). อีส์โตแกรม.

Retrieved from <https://www.scimath.org/socialnetwork/groups/viewbulletin/599-4?groupid=168>

สำนักงานเศรษฐกิจการคลัง กระทรวงการคลัง. (2548). การควบคุมคุณภาพเชิงสถิติ. Retrieved from

<http://www2.fpo.go.th/S-I/Source/ECO/ECO26.htm>

สิน พันธุ์พินิจ. (2547). เทคนิคการวิจัยทางสังคมศาสตร์. กรุงเทพฯ: วิทย์พัฒนา.

สิริวรรณ เกตุวิจิตร. (2547). การเปรียบเทียบวิธีการคำนวณต้นทุนช่วงกับต้นทุนผสมและการใช้ต้นทุน

คุณภาพสำหรับอุตสาหกรรมหลอมอลูมิเนียม กรณีศึกษา : บริษัท ABC จำกัด. (บัญชีมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยบูรพา,

สุธี ขวัญเงิน. (2548). หลักการบัญชีการเงิน. กรุงเทพมหานคร: สำนักซีเอ็ดยูเคชั่น.

อาจารย์ทองพันชั่ง พงษ์วารินทร์. (2561). Easy 7QC Tools เครื่องมือที่ 6 แผนภูมิการกระจาย

(Scatter Diagram). Retrieved from [http://www.bt-](http://www.bt-training.com/index.php?lay=show&ac=article&id=539886514&Ntype=1)

[training.com/index.php?lay=show&ac=article&id=539886514&Ntype=1](http://www.bt-training.com/index.php?lay=show&ac=article&id=539886514&Ntype=1)





ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายชิษณุ ธาราอุดมทรัพย์
วัน เดือน ปี เกิด	10 กรกฎาคม 2535
สถานที่เกิด	ชลบุรี
วุฒิการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาวิชา เทคโนโลยีอุตสาหกรรม (วิชาเอกเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม) มหาวิทยาลัยราชภัฏ ราชนครินทร์
ที่อยู่ปัจจุบัน	40/225 หมู่ 5 ซอยหมอศรี ถนนเพชรเกษม ตำบลไร่ขิง อำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม 73210

