



การศึกษาปัจจัยเพื่อลดต้นทุนผงเคมีในการผลิตผ้าเบรก



โดย  
นายสรวิชัย สุวรรณอักษร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 1 ปริญญามหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและการจัดการ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2563

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การศึกษาปัจจัยเพื่อลดต้นทุนผงเคมีในการผลิตผ้าเบรก



โดย  
นายสรวิชัย สุวรรณอักษร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 1 ปริญญามหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและการจัดการ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2563

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

A STUDY OF FACTORS FOR CHEMICAL COST REDUCTION IN THE BRAKE PAD  
MANUFACTURING PROCESS



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 2020  
Copyright of Graduate School, Silpakorn University

หัวข้อ	การศึกษาปัจจัยเพื่อลดต้นทุนผงเคมีในการผลิตผ้าเบรก
โดย	สรวิชญ์ สุวรรณอักษร
สาขาวิชา	การจัดการงานวิศวกรรม แผนก ก แบบ ก 1 ปริญญาโทบริหารธุรกิจ
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชูศักดิ์ พรสิงห์

---

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

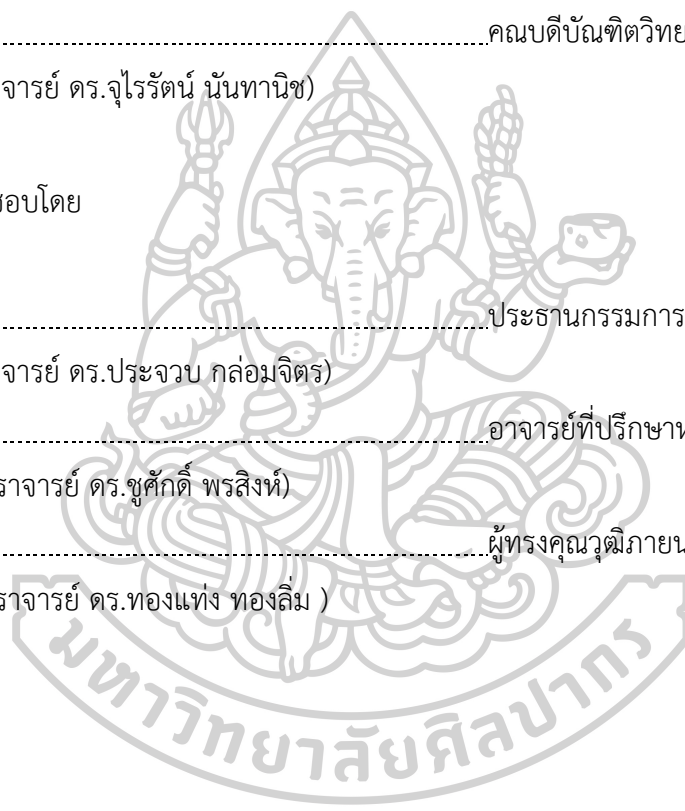
.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดร.จุไรรัตน์ นันทานิช)

พิจารณาเห็นชอบโดย

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

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชูศักดิ์ พรสิงห์)

.....ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทองแท่ง ทองลิ่ม )



61405315 : การจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 1 ปริญญาโทบริหารธุรกิจ

คำสำคัญ : ผ้าเบรก, ค่าความเผื่อของชิ้นงาน, การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปที่ 2 ระดับ, การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปที่ 3 ระดับ

นาย สรวินธุ์ สุวรรณอักษร: การศึกษาปัจจัยเพื่อลดต้นทุนผงเคมีในการผลิตผ้าเบรก  
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชูศักดิ์ พรสิงห์

บริษัท ตรีศึกษามีปริมาณของผงเคมีที่เหลือจากกระบวนการผลิตผ้าเบรกมากถึง 180,000 กิโลกรัมต่อปี หรือประมาณ 15.84% ของปริมาณวัตถุดิบเคมีที่ใช้ในการผลิต ซึ่งส่งผลให้มีต้นทุนการใช้ผงเคมีในการผลิตผ้าเบรกเพิ่มสูงขึ้นคิดเป็นมูลค่าวัตถุดิบเคมีที่สูญเสียไปประมาณ 13 ล้านบาทต่อปี ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาสาเหตุของปัญหาที่ส่งผลให้มีปริมาณผงเคมีที่เหลือใช้จากการผลิตผ้าเบรก และเพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงแก้ไขให้มีปริมาณผงเคมีที่เหลือจากกระบวนการผลิตผ้าเบรกลดลง โดยจากการระดมความคิดจากผู้เชี่ยวชาญของทางบริษัท ตรีศึกษาพบว่า สาเหตุของปริมาณผงเคมีที่เหลือจากการผลิตเป็นจำนวนมากนั้น เกิดจากในกระบวนการผลิตผ้าเบรกมีความจำเป็นต้องเผื่อน้ำหนักผงเคมีไว้ เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาในการผลิต ได้แก่ 1) ค่าเผื่อความผันแปรของความหนาชิ้นงานในกระบวนการผนตักแต่ง 2) ค่าเผื่อความผันแปรของความหนาชิ้นงานในกระบวนการอัดขึ้นรูปรีด และ 3) ค่าเผื่อน้ำหนักชิ้นงานสำหรับการผ่าร่องและการลบมุม จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์เพื่อค้นหาปัจจัยเบื้องต้นที่อาจจะส่งผลกระทบต่อความผันแปรของขนาดความหนาชิ้นงาน โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ปัญหา Why-Why Analysis และนำปัจจัยเหล่านั้นไปทำการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปที่ 2 ระดับ ( $2^k$  Full Factorial Design) เพื่อค้นหาปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่ออย่างแท้จริง และนำปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่ออย่างแท้จริงนั้นไปทำการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปที่ 3 ระดับ ( $3^k$  Full Factorial Design) เพื่อหาค่าระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย ซึ่งค่าระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยที่ได้จากการทดลองนั้น เมื่อนำไปใช้ในกระบวนการผลิตจริงสามารถลดปริมาณการใช้ผงเคมีในการผลิตผ้าเบรกลดลงได้ 8.75% ทำให้สามารถลดต้นทุนในการผลิตผ้าเบรกได้ 2.60%

61405315 : Major (ENGINEERING MANAGEMENT)

Keyword : Brake Pad, Tolerances, 2k Full Factorial Design, 3k Full Factorial Design

MR. SORAWICH SUWANAGSORN : A STUDY OF FACTORS FOR CHEMICAL COST REDUCTION IN THE BRAKE PAD MANUFACTURING PROCESS THESIS ADVISOR : ASSISTANT PROFESSOR CHOOSAK PORNSING, Ph.D.

The case study company had a surplus chemical powder from brake pad manufacturing processes at 180,000 kilogram per year or 15.84% of all chemical powder in manufacturing processes and was resulting high manufacturing cost. The cost of a surplus chemical powder was about 13 million baht per year. The objective of this research was to find the cause and reduced a surplus chemical powder from brake pad manufacturing processes. Brainstorming of case study company experts found cause of a surplus chemical powder in brake pad manufacturing from necessary tolerance weight of chemical powder in the production so that no problem in production: 1) variation of thickness in grinding process 2) variation of thickness in hot press process and 3) variation of slotting process and chamfering process. After that brake pad thickness variation problem was analyzed preliminary affect factor by Why-Why Analysis. And factors were analyzed for decide which factors affected the problem by  $2^k$  Full Factorial Design experiment. The factors that were obtained were then tested in  $3^k$  Full Factorial Design to find the optimal levels of various factors. In conclusion, the optimum level of each factor from the experiment can be reduced chemical powders by 8.75% in the brake pads production and can be reduced cost by 2.60% in brake pad manufacturing processes.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ เรื่องการศึกษาปัจจัยเพื่อลดต้นทุนผงเคมีในการผลิตผ้าเบรก สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เพราะได้รับความช่วยเหลือ คำแนะนำ และคำปรึกษาตลอดจนตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ในการทำวิจัย การเขียนรายงาน และบทความวิจัยจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชูศักดิ์ พรสิงห์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาและควบคุมการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ รวมทั้งประธานกรรมการสอบ รองศาสตราจารย์ ดร.ประจวบกล่อมจิตร และผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทองแท่ง ทองลั่น ที่ได้ร่วมให้คำแนะนำเพิ่มเติมทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้มีความถูกต้องสมบูรณ์มากขึ้น นอกจากนี้ยังได้รับความรู้และคำแนะนำจาก ดร.บรรพต หอบันลือกิจ ซึ่งผู้วิจัยจึงถือโอกาสกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

อนึ่ง ขอขอบคุณบริษัทกรณีศึกษา คณะผู้บริหารตลอดจนพนักงานที่เกี่ยวข้อง ที่ได้ให้คำแนะนำ การระดมความคิดเห็น ความช่วยเหลือในการดำเนินงานและมีความร่วมมือในการศึกษาทดลองเป็นอย่างดี ส่งผลให้การทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจและช่วยเหลือในทุก ๆ สิ่งอย่างตลอดมา ขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านและมหาวิทยาลัยศิลปากรที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ตั้งแต่ต้นจนถึงปัจจุบันทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจไม่มากนักน้อย จึงขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องมา ณ ที่นี้ด้วย



สรวิชัย สุวรรณอักษร

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญรูปภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ .....	4
1.3 ขอบเขตการวิจัย .....	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.5 กรอบแนวคิดการวิจัย.....	5
1.6 นิยามศัพท์จำเพาะ .....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (QC 7 Tools).....	6
2.2 การวิเคราะห์รากสาเหตุ (Root Cause Analysis).....	15
2.3 การประเมินความสามารถของกระบวนการ .....	18
2.4 การออกแบบการทดลอง (Design Of Experiment: DOE).....	19
2.5 ค่าความเชื่อของชิ้นงาน.....	29
2.6 การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis).....	30
2.7 ระบบเบรกรถยนต์ .....	32



2.8 เอกสารที่เกี่ยวข้อง .....	35
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย .....	40
3.1 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	40
3.2 แผนผังการดำเนินงาน .....	43
บทที่ 4 ผลการดำเนินการวิจัย.....	45
4.1 เก็บข้อมูลปริมาณการใช้ผงเคมีในกระบวนการผลิตผ้าเบรกและเลือกผลิตภัณฑ์วิจัย .....	45
4.2 เลือกผลิตภัณฑ์วิจัย.....	48
4.3 ศึกษากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์วิจัยอย่างละเอียด .....	49
4.4 ระดมความคิดกับพนักงานที่เกี่ยวข้องเพื่อวิเคราะห์หาปัจจัย.....	50
4.5 วิเคราะห์ระบบการวัด .....	58
4.6 การทดลองแบบ 2k Full Factorial Design.....	63
4.7 ออกแบบการทดลองแบบ 3k Full Factorial Design .....	78
4.8 ทดลองผลิตชิ้นงานตามผลที่ได้.....	94
4.9 เปรียบเทียบผลการดำเนินงานก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง.....	97
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ .....	106
5.1 สรุปผลการวิจัย .....	106
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	109
รายการอ้างอิง .....	110
ภาคผนวก.....	112
ภาคผนวก ก การเก็บข้อมูลการทดลอง .....	113
ภาคผนวก ข อุปกรณ์ในการทดลองสำหรับ Model A.....	128
ประวัติผู้เขียน.....	130

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 การใช้กราฟตามแต่ละจุดประสงค์.....	14
ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับ Two Factor Fixed Effect Model .....	29
ตารางที่ 3 ปริมาณการใช้วัตถุดิบเคมีและปริมาณฝุ่นผงเคมีที่เกิดจากกระบวนการผลิต.....	46
ตารางที่ 4 เพื่อน้ำหนักเคมีผลิตภัณฑ์ดีสก์เบรกรุ่น A สูตรเคมี A.....	53
ตารางที่ 5 ผลการวัดความหนาชิ้นงานของพนักงาน A B C และ D.....	59
ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการวัดชิ้นงานของพนักงาน A B C และ D.....	61
ตารางที่ 7 ข้อกำหนดปัจจุบันของแต่ละปัจจัย.....	63
ตารางที่ 8 การแบ่งระดับปัจจัย.....	64
ตารางที่ 9 ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน.....	64
ตารางที่ 10 จำนวนชิ้นงานในการทดลองแบบ 2k Full Factorial Design .....	65
ตารางที่ 11 บันทึกผลการทดลอง แบบ 2k Full Factorial Design .....	66
ตารางที่ 12 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง.....	77
ตารางที่ 13 ปัจจัยนำเข้าและการแบ่งระดับปัจจัย .....	78
ตารางที่ 14 จำนวนชิ้นงานในการทดลองแบบ 3k Full Factorial Design .....	79
ตารางที่ 15 บันทึกผลการทดลอง แบบ 3k Full Factorial Design .....	79
ตารางที่ 16 ค่าระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย .....	93
ตารางที่ 17 ผลการหาค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Response Optimization).....	93
ตารางที่ 18 บันทึกผลการทดลองชิ้นงานตามค่าระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย .....	94
ตารางที่ 19 บันทึกผลขนาดความหนาของชิ้นงานจากการผลิตจริง .....	98
ตารางที่ 20 เปรียบเทียบผลของความสามารถของกระบวนการก่อนและหลังการปรับปรุง.....	102
ตารางที่ 21 เปรียบเทียบผลของค่าเพื่อน้ำหนักเคมีก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง.....	103

ตารางที่ 22	เปรียบเทียบปริมาณเคมีในกระบวนการผลิตก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง .....	104
ตารางที่ 23	ข้อมูลความหนาของชิ้นงานก่อนปรับปรุง.....	114
ตารางที่ 24	ค่าต่างๆ ทางสถิติของความหนาชิ้นงานก่อนปรับปรุง.....	116
ตารางที่ 25	บันทึกผลการทดลอง แบบ 2k Full Factorial Design .....	116
ตารางที่ 26	บันทึกผลการทดลอง แบบ 3k Full Factorial Design .....	120



## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1 การพยากรณ์ปริมาณการผลิตยานยนต์ในประเทศไทย .....	1
รูปที่ 2 โครงสร้างต้นทุนผลิตภัณฑ์ดีส์ก์เบรก .....	2
รูปที่ 3 โครงสร้างต้นทุนในส่วนของวัตถุดิบทางตรงผลิตภัณฑ์ดีส์ก์เบรก .....	2
รูปที่ 4 กรอบแนวคิดการวิจัย .....	5
รูปที่ 5 ตัวอย่างใบตรวจสอบ .....	8
รูปที่ 6 รูปแบบโดยทั่วไปของฮิสโตแกรม .....	9
รูปที่ 7 หลักการพาเรโต .....	10
รูปที่ 8 แผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram) .....	10
รูปที่ 9 รูปแบบโดยทั่วไปของแผนผังเหตุและผล .....	12
รูปที่ 10 รูปแบบโดยทั่วไปของแผนภูมิควบคุม .....	12
รูปที่ 11 ตัวอย่างการออกนอกการควบคุม .....	13
รูปที่ 12 รูปแบบโดยทั่วไปของแผนภาพการกระจาย .....	13
รูปที่ 13 ตัวอย่างการใช้เทคนิค Why-Why Analysis .....	16
รูปที่ 14 ตัวอย่างปัจจัยกระบวนการและตัวแปรตอบสนอง .....	20
รูปที่ 15 การมีอิทธิพลของปัจจัย A ต่อผลิตภัณฑ์ .....	20
รูปที่ 16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนการผลิตต่อชิ้นกับค่าความเผื่อ .....	30
รูปที่ 17 ระบบเบรกรถยนต์ .....	32
รูปที่ 18 ส่วนประกอบหลักระบบดีส์ก์เบรก .....	33
รูปที่ 19 ส่วนประกอบหลักระบบดรัมเบรก .....	34
รูปที่ 20 แผนผังกระบวนการดำเนินงานวิจัย .....	44
รูปที่ 21 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ของบริษัท .....	45

รูปที่ 22 ปริมาณการใช้วัตถุดิบเคมีของแต่ละผลิตภัณฑ์ ปี 2562 .....	47
รูปที่ 23 สัดส่วนปริมาณการใช้วัตถุดิบเคมีของแต่ละผลิตภัณฑ์ ปี 2562.....	47
รูปที่ 24 ปริมาณการใช้วัตถุดิบเคมีแต่ละสูตรเคมี ปี 2562.....	48
รูปที่ 25 ปริมาณการใช้เคมีสูตร A ผลิตชิ้นงานดิสก์เบรกแต่ละรุ่น ปี 2562.....	49
รูปที่ 26 ผังกระบวนการผลิตดิสก์เบรก .....	50
รูปที่ 27 การประชุมเพื่อระดมความคิดกับผู้เชี่ยวชาญและพนักงาน .....	50
รูปที่ 28 สาเหตุการเกิดผงฝุ่นเคมี.....	51
รูปที่ 29 การเผื่อขนาดความหนาของชิ้นงาน.....	51
รูปที่ 30 ชิ้นส่วนที่ผ่นอกที่กระบวนการฝนตกแต่ง.....	51
รูปที่ 31 ชิ้นงานดิสก์เบรกที่มีขนาดและรูปร่างตามข้อกำหนด.....	52
รูปที่ 32 สัดส่วนค่าเผื่อน้ำหนักผงเคมีแต่ละปัจจัยต่อค่าน้ำหนักมาตรฐาน .....	53
รูปที่ 33 ความสามารถของกระบวนการฝนตกแต่งในการผลิตชิ้นงานรุ่น A.....	54
รูปที่ 34 เครื่องฝนตกแต่งดิสก์เบรกในกระบวนการฝนตกแต่ง.....	55
รูปที่ 35 Control Chart ของความหนาชิ้นงานจากกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อน .....	56
รูปที่ 36 เครื่องอัดขึ้นรูปร้อน ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อน.....	57
รูปที่ 37 Why – Why Analysis วิเคราะห์ปัญหาขนาดความหนาของชิ้นงาน.....	58
รูปที่ 38 พนักงานผู้วัดความหนาชิ้นงาน.....	59
รูปที่ 39 ตำแหน่งวัดความหนาของชิ้นงาน .....	59
รูปที่ 40 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัด (GR&R) จากโปรแกรม Minitab.....	62
รูปที่ 41 2k Full Factorial Design .....	65
รูปที่ 42 ชิ้นงานจากการทดลอง 2k Full Factorial Design (Run 1-39).....	70
รูปที่ 43 ชิ้นงานจากการทดลอง 2k Full Factorial Design (Run 40-78).....	71
รูปที่ 44 ชิ้นงานจากการทดลอง 2k Full Factorial Design (Run 79-112).....	71
รูปที่ 45 Normality Test สำหรับขนาดความหนาของชิ้นงาน.....	72

รูปที่ 46 Residual Plots.....	73
รูปที่ 47 การกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง (Residual) เทียบกับ Observation Order.....	73
รูปที่ 48 การกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง (Residual) เทียบกับ Fits Value.....	74
รูปที่ 49 กราฟ Normal Plot ของค่าเฉลี่ยขนาดความหนาของชิ้นงาน .....	75
รูปที่ 50 กราฟพาเรโต้แสดงปัจจัยหลักที่มีผลกับค่าเฉลี่ยขนาดความหนาของชิ้นงาน .....	75
รูปที่ 51 ผลหลักของปัจจัยที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยขนาดความหนาของชิ้นงาน.....	76
รูปที่ 52 อันตรกิริยาของปัจจัยที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยขนาดความหนาของชิ้นงาน.....	76
รูปที่ 53 3k Full Factorial Design .....	79
รูปที่ 54 ชิ้นงานจากการทดลอง 3k Full Factorial Design (Run 1-39).....	87
รูปที่ 55 ชิ้นงานจากการทดลอง 3k Full Factorial Design (Run 40-78).....	88
รูปที่ 56 ชิ้นงานจากการทดลอง 3k Full Factorial Design (Run 79-117).....	88
รูปที่ 57 ชิ้นงานจากการทดลอง 3k Full Factorial Design (Run 118-156) .....	89
รูปที่ 58 ชิ้นงานจากการทดลอง 3k Full Factorial Design (Run 157-189) .....	89
รูปที่ 59 Normality Test สำหรับขนาดความหนาของชิ้นงาน.....	90
รูปที่ 60 Residual Plots.....	91
รูปที่ 61 การกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง (Residual) เทียบกับ Observation Order.....	91
รูปที่ 62 การกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง (Residual) เทียบกับ Fits Value.....	92
รูปที่ 63 Optimization Plot .....	93
รูปที่ 64 Probability Plot สำหรับขนาดความหนาของชิ้นงาน .....	96
รูปที่ 65 ผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการด้วยโปรแกรม Minitab .....	97
รูปที่ 66 Probability Plot สำหรับขนาดความหนาของชิ้นงาน .....	99
รูปที่ 67 ผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการด้วยโปรแกรม Minitab .....	100
รูปที่ 68 Control Chart ของความหนาชิ้นงานจากกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนก่อนปรับปรุง .....	101
รูปที่ 69 ผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการหลังปรับปรุง .....	102

รูปที่ 70 สัดส่วนค่าเผื่อน้ำหนักเคมีของก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง.....	103
รูปที่ 71 น้ำหนักเคมีต่อชิ้นก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง .....	104
รูปที่ 72 ปริมาณเคมีในกระบวนการผลิตก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง.....	105
รูปที่ 73 น้ำหนักเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตก่อนและหลังปรับปรุงของทุกผลิตภัณฑ์ .....	105
รูปที่ 74 เครื่องอัดขึ้นรูปร้อน.....	129
รูปที่ 75 เครื่องชั่งน้ำหนักเคมี.....	129
รูปที่ 76 เครื่องมือที่ใช้ในการวัดความหนาของชิ้นงาน (เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์) .....	129

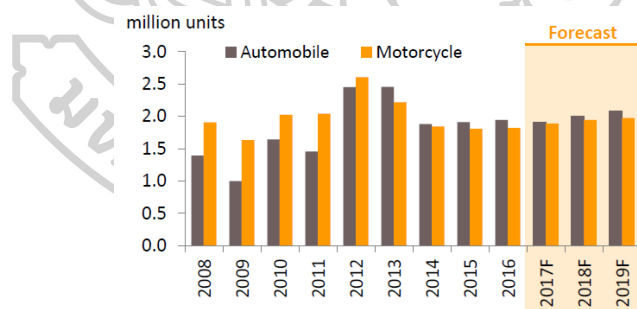


## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

อุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วนยานยนต์เป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมหลักที่ขับเคลื่อนเศรษฐกิจ ของประเทศไทยในปัจจุบันนี้ โดยในปี พ.ศ.2559 ประเทศไทยสามารถผลิตรถยนต์ได้สูงเป็นลำดับที่ 13 ของโลก และเป็นที 1 ของประเทศในอาเซียน ซึ่งการผลิตนี้คิดเป็นร้อยละ 12 ของมูลค่าการส่งออกสินค้าของไทยทั้งหมด (ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, 2560) โดยในปี พ.ศ.2555 -2556 รัฐบาลไทยได้มีโครงการรถยนต์คันแรกส่งผลให้อัตราการผลิตยานยนต์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่เมื่อโครงการสิ้นสุดลงกลับพบว่า ตลาดยานยนต์ต้องชะลอตัวการผลิตลงอันเนื่องมาจากสินค้าล้นตลาดและปัญหาทางการเมืองที่ทำให้เศรษฐกิจต้องชะลอตัว แต่อย่างไรก็ตาม 3 – 4 ปีต่อมา พบว่าตลาดชิ้นส่วนยานยนต์กลับมาขยายตัวอีกครั้งเนื่องจากการผลิตยานยนต์ที่เพิ่มขึ้นและชิ้นส่วนยานยนต์บางประเภทในโครงการรถคันแรกหมดอายุการใช้งาน และในอนาคตตลาดยานยนต์ถูกคาดการณ์ว่าจะยังคงเติบโตเรื่อย ๆ ต่อไปเนื่องจากการฟื้นตัวของเศรษฐกิจในประเทศ และการเร่งผลิตตามแผนการส่งเสริมการลงทุน Eco-car (วรรณฯ ยงพิศาลภพ, 2560)



		2016	2017F	2018F	2019F
Automobile	units, m	1.94	1.89-1.92	1.98-2.02	2.06-2.10
	% YoY	1.6%	-1% to -3%	4-6%	3-5%
Motorcycle	units, m	1.82	1.87-1.91	1.93-1.96	1.95-2.0
	% YoY	0.7%	3-5%	2-4%	0-3%

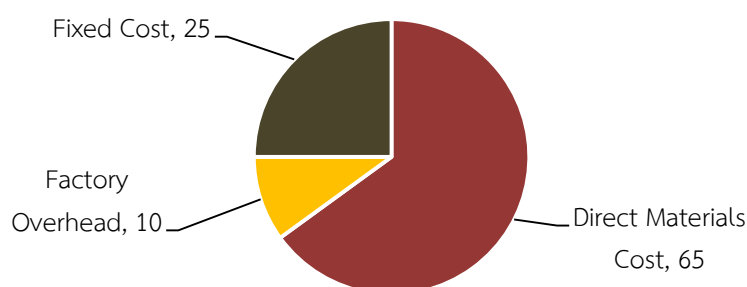
รูปที่ 1 การพยากรณ์ปริมาณการผลิตยานยนต์ในประเทศไทย

ที่มา: Toyota, FTI, Forecast by Krungsri Research

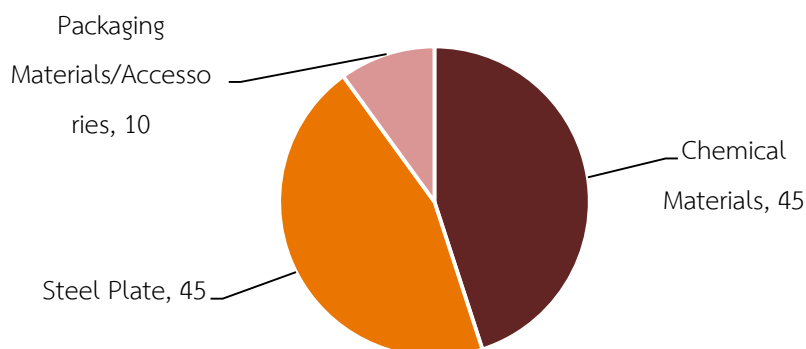


ด้วยปริมาณความต้องการและกำลังผลิตที่เพิ่มขึ้นภายในประเทศ ประกอบกับประเทศไทย มีลักษณะทำเลที่ตั้งและสิ่งแวดล้อมที่เป็นประโยชน์ในการผลิตและขนส่ง ทำให้ผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ต่างชาติจำนวนมากย้ายฐานการผลิตเข้ามาลงทุนในประเทศไทย ส่งผลให้การแข่งขันในธุรกิจ อุตสาหกรรมนี้มีอัตราเพิ่มสูงขึ้น อีกทั้งลูกค้ามีตัวเลือกในการตัดสินใจซื้อเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นผู้ผลิต หลายรายในประเทศไทยจึงพยายามให้ความใส่ใจในรายละเอียดกระบวนการทำงานแต่ละ กระบวนการเพิ่มขึ้นและให้ความสำคัญในการปรับปรุงกระบวนการทำงานเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการลงทุนลงให้น้อยที่สุดและได้กำไรในการประกอบการเพิ่มขึ้น

บริษัทกรณีศึกษาสำหรับงานวิจัยครั้งนี้เป็นบริษัทผู้ผลิตและจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วน ยานยนต์ ประเภทผ้าเบรก โดยมี 2 ผลิตภัณฑ์หลักคือ ผลิตภัณฑ์ดิสก์เบรก (Disc Brakes ) และ ผลิตภัณฑ์ก้ามเบรก (Brake Shoes) จากการวิเคราะห์โครงสร้างต้นทุนในกระบวนการผลิตดิสก์เบรก พบว่าสัดส่วนของต้นทุนที่มากที่สุดอยู่ในส่วนของต้นทุนวัสดุทางตรงที่ใช้ในการผลิตดิสก์เบรก ซึ่งมีมาก ถึงร้อยละ 65 หากพิจารณาในรายละเอียดของต้นทุนดังกล่าวพบว่า ร้อยละ 45 เป็นต้นทุนของ วัตถุดิบเคมีและอีกร้อยละ 45 เป็นต้นทุนของแผ่นเหล็ก



รูปที่ 2 โครงสร้างต้นทุนผลิตภัณฑ์ดิสก์เบรก



รูปที่ 3 โครงสร้างต้นทุนในส่วน of วัตถุดิบทางตรงผลิตภัณฑ์ดิสก์เบรก

ทั้งนี้จากการเก็บข้อมูลของบริษัทกรณีศึกษา พบว่าในปี พ.ศ. 2559 -2561 มีปริมาณเฉลี่ยของผงเคมีที่เหลือจากกระบวนการผลิตมีมากถึง 180,000 กิโลกรัมต่อปีหรือประมาณ 16% ของปริมาณวัตถุดิบเคมีที่ใช้ในการผลิตทั้งหมด คิดเป็นมูลค่าวัตถุดิบเคมีที่สูญเสียไปประมาณ 13 ล้านบาทต่อปี และค่าส่งกำจัดฝุ่นผงเคมีซึ่งเป็นกากอุตสาหกรรมอีกประมาณ 5 แสนบาทต่อปี ถึงแม้ว่าบริษัทตัวอย่าง จะมีการนำฝุ่นผงเคมีกลับมาใช้ได้ใหม่ แต่ปริมาณสัดส่วนการนำฝุ่นผงเคมีกลับมาใช้ใหม่นั้นมีแนวโน้มที่ลดลง ซึ่งส่งผลทำให้มีปริมาณฝุ่นผงเคมีที่ต้องส่งกำจัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อศึกษากระบวนการผลิต เพื่อหาต้นเหตุของปริมาณฝุ่นเคมีที่เหลือเป็นปริมาณมากนั้นพบว่า ในกระบวนการผลิตผ้าเบรก ต้องมีการเผื่อขนาดของผลิตภัณฑ์ในกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน เพื่อให้ไม่ให้เกิดผลกระทบต่อกระบวนการฝนตกแต่งชิ้นงานที่ต้องมีการฝนเนื่องงานออกจำนวนหนึ่งเพื่อให้ชิ้นงานเป็นไปตามข้อกำหนด ประกอบกับความหนาของผ้าเบรกที่ได้จากกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อนมีความผันแปรอันเนื่องมาจากความแปรปรวนของกระบวนการ ส่งผลทำให้ต้องมีการใช้วัตถุดิบผงเคมีในกระบวนการผลิตผ้าเบรกเพิ่มมากขึ้น โดยการเผื่อน้ำหนักผงเคมีที่ใช้ในการผลิตต่อชิ้นเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อต้นทุนการผลิตที่เพิ่มขึ้น

เพื่อลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้วัตถุดิบ การลดปริมาณการใช้วัตถุดิบเคมีที่นำมาผลิตผลิตภัณฑ์จึงเป็นส่วนสำคัญที่ควรดำเนินการปรับปรุง จากปัญหาดังกล่าวการกำหนดค่าเผื่อน้ำหนักผงเคมีที่ใช้ในการผลิตเพื่อให้ได้ขนาดชิ้นงานที่ไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการฝนตกแต่งชิ้นงานให้เป็นไปตามข้อกำหนดนั้น ค่าเผื่อน้ำหนักผงเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตผ้าเบรกของบริษัทกรณีศึกษา ยังไม่มีการวิเคราะห์ว่ามีความเหมาะสมหรือไม่ จากความแปรปรวนของกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อนในปัจจุบัน

ดังนั้นงานวิจัยเล่มนี้จึงต้องการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาที่ส่งผลต่อการกำหนดค่าเผื่อน้ำหนักผงเคมีในกระบวนการผลิตผ้าเบรก เพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงให้สอดคล้องกับปัญหา ซึ่งจะก่อให้เกิดต้นทุนการผลิตที่ลดลงและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้วัตถุดิบ โดยเครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาในงานวิจัยนี้ คือ เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (7 QC Tools) เมื่อสามารถระบุสาเหตุของปัญหาดังกล่าวได้แล้วจึงจะหาแนวทางการปรับปรุงต่อไป โดยหวังว่างานวิจัยนี้จะส่งผลให้บริษัทตัวอย่างพร้อมที่จะตอบสนองกำลังการผลิตที่จะขยายเพิ่มขึ้นในอนาคต และมีศักยภาพเพิ่มขึ้นในการแข่งขันทางธุรกิจ ตลอดจนสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ทั้งหมดนี้ล้วนสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้าได้เป็นอย่างดี

## 1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อค้นหาปัจจัยปัญหาสำคัญที่เป็นเหตุต่อการกำหนดค่าเพื่อน้ำหนักผงเคมีในการผลิตผ้าเบรกของบริษัททหรณีศึกษา
- 1.2.2 เพื่อหาเกณฑ์ค่าเพื่อน้ำหนักผงเคมีในการผลิตผ้าเบรกของบริษัททหรณีศึกษาที่เหมาะสม
- 1.2.2 เพื่อลดต้นทุนการใช้ผงเคมีในการผลิตผ้าเบรกของบริษัททหรณีศึกษา

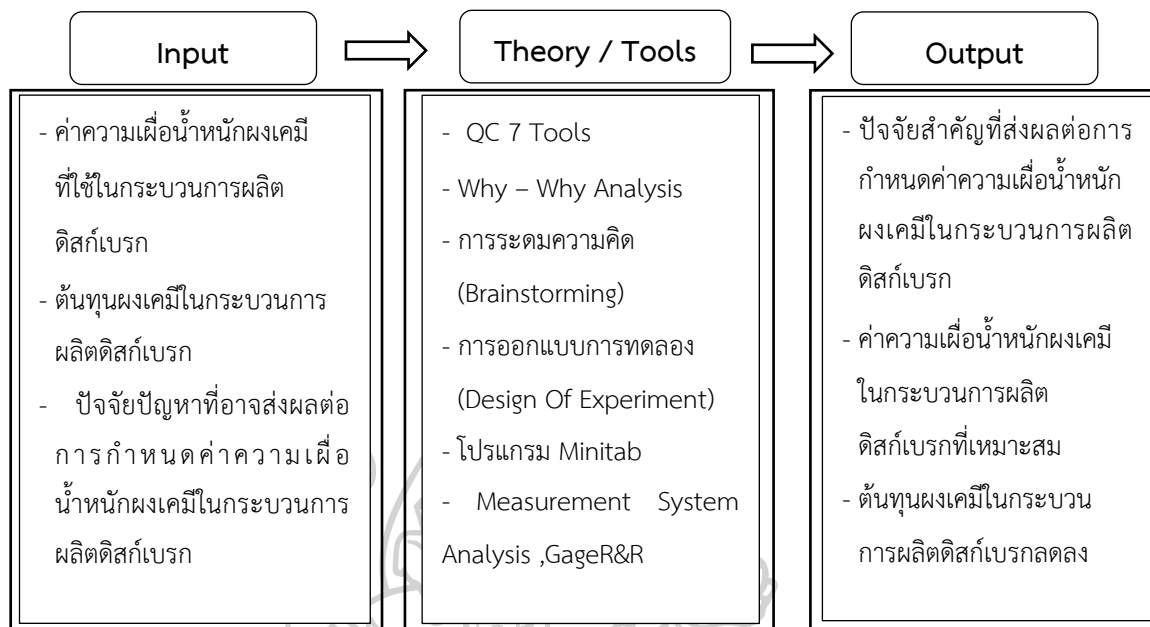
## 1.3 ขอบเขตการวิจัย

- 1.3.1 การวิจัยครั้งนี้ศึกษาเฉพาะกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ดิสก์เบรก โดยเก็บข้อมูลจากบริษัทผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ทหรณีศึกษาเท่านั้น
- 1.3.3 การวิจัยครั้งนี้ใช้การออกแบบทดลอง (Design of Experiment) ในการวิเคราะห์หาปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความผันแปรของขนาดความหนาผลิตภัณฑ์ดิสก์เบรก เพื่อใช้ปรับปรุงการกำหนดค่าเพื่อน้ำหนักผงเคมีในการผลิตของบริษัททหรณีศึกษา
- 1.3.4 ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูลและทดลองปรับปรุงปัญหา ตั้งแต่ พ.ศ.2562 - พ.ศ. 2563

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 สามารถลดปริมาณฝุ่นผงเคมีที่ต้องถูกกำจัดได้
- 1.4.2 สามารถลดปริมาณการใช้วัตถุดิบผงเคมีเกินความจำเป็นในการผลิต เพื่อลดต้นทุนผลิตภัณฑ์และต้นทุนค่ากำจัดฝุ่นเคมีลงและเพิ่มประสิทธิภาพการแข่งขันในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์

## 1.5 กรอบแนวคิดการวิจัย



รูปที่ 4 กรอบแนวคิดการวิจัย

## 1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.6.1 ชิ้นส่วนยานยนต์ หมายถึง อุปกรณ์ หรือชิ้นงาน ที่เป็นส่วนประกอบของยานพาหนะที่ขับเคลื่อนกำลังด้วยเครื่องยนต์ กำลังไฟฟ้า หรือ พลังงานในรูปแบบอื่น อาทิ รถยนต์ รถจักรยานยนต์ รถบรรทุก ซึ่งในงานวิจัยเล่มนี้ หมายถึง ผ้าเบรก

1.6.2 ผ้าเบรก หมายถึง เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานจลน์เป็นพลังงานความร้อนเพื่อสร้างแรงเสียดทาน โดยเมื่อผู้ขับขี่เหยียบเบรกจะเกิดกลไกที่ทำให้ผ้าเบรกกดเข้ากับจานดิสก์เบรก หรือ จานดรัมเบรก เนื้อผ้าเบรกใช้วัสดุผสมหลายอย่างตามสูตรของโรงงานการผลิต อาทิ เรซิน แกรไฟต์ คาร์บอน และอาจผสมกับโลหะเนื้อนิ่มต่าง ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเบรกให้ดี

1.6.3 เนื้อผ้าเบรก (Friction Material) หมายถึง วัสดุเชิงประกอบซึ่งประกอบด้วยผงเคมีหลายชนิดตามอัตราส่วนผสมของแต่ละสูตร (Formula) โดยยึดติดกันด้วยสารยึดติด (Binder) สารประกอบหลักอื่น ๆ เช่น สารตัวเติม (Fillers) เส้นใย (Fibers) และสารปรับแต่งความเสียดทาน (Friction modifier) ซึ่งมีคุณสมบัติแตกต่างกันไปตามประเภทของเนื้อผ้าเบรก

1.6.4 ผงเคมี หมายถึง วัตถุดิบเคมีภัณฑ์ที่ใช้ในการผลิตเนื้อผ้าเบรก

1.6.5 ผุ่นผงเคมี หมายถึง เศษของเนื้อผ้าเบรกที่ถูกผ่นออก หรือตกค้างในกระบวนการผลิต ซึ่งก่อให้เกิดต้นทุนการกำจัดและค่าเสียโอกาสในการนำไปผลิต

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (QC 7 Tools)

การแปรผัน (Variation) ในกระบวนการผลิตนั้นมักจะเกิดขึ้นในทุก ๆ ที่และทุก ๆ เวลา ถึงแม้ว่าระหว่างกระบวนการผลิตจะมีการควบคุมปัจจัยต่าง ๆ อย่างรัดกุม ความแปรผันก็ยังสามารถเกิดขึ้นกับชิ้นงานได้เสมอ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากความแปรผันระหว่างกระบวนการนั้นมีความแปรผันที่ควบคุมได้ อาทิ อัตราเร็วในการทำงานของเครื่องจักร ปริมาณวัตถุดิบ และความแปรผันที่ควบคุมไม่ได้ อาทิ ปริมาณความชื้นในแต่ละวัน ความเหนื่อยล้าของพนักงาน ซึ่งสาเหตุที่ก่อให้เกิดความแปรผันสามารถแบ่งเป็นสาเหตุหลักได้ 6 กลุ่ม (ศุภชัย นาทะพันธ์, 2551) คือ

1. ความบกพร่องที่เกิดจากการกระทำของบุคคล (Man-Made Error) ซึ่งสาเหตุอาจเกิดจากการขาดความชำนาญ หรือความเหนื่อยล้าในการทำงาน
2. เครื่องจักรกล (Machinery) เกิดการสึกหลอ เนื่องจากการใช้งานเป็นเวลานาน
3. วิธีการทำงาน (Method of Work) ภายใต้กระบวนการผลิตเหมือนกัน อาจมีขั้นตอนการปฏิบัติงานต่างกันทำให้ได้ผลที่ต้องการต่างกัน
4. วัตถุดิบ (Material) แตกต่างกัน เพราะอาจจะมาจากแหล่งที่มาแตกต่างกัน
5. เครื่องมือวัด (Measurements) เกิดความคลาดเคลื่อน
6. สภาพสิ่งแวดล้อมในกระบวนการผลิต (Environment) ไม่คงที่

ดังนั้นเพื่อลดความแปรผันที่อาจส่งผลให้เกิดของเสียซึ่งไม่เป็นที่ต้องการเนื่องจากก่อให้เกิดต้นทุนตามมาทั้งต้นทุนในการเสียโอกาสการขายผลิตภัณฑ์นั้นหรือต้นทุนการซ่อมแซม เป็นต้น ดังนั้นผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในการผลิตจึงควรควบคุมความแปรผันที่สามารถควบคุมได้ เพื่อให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นไปตามคุณภาพที่ต้องการและลดโอกาสการเกิดของเสียหรือข้อบกพร่องให้น้อยที่สุด ซึ่งเป็นหลักการของการควบคุมคุณภาพ (Quality Control) โดยขั้นตอนการควบคุมคุณภาพมีดังต่อไปนี้ (ศุภชัย นาทะพันธ์, 2551)

1. การระบุตัวปัญหาให้ชัดเจน
2. การสำรวจหรือการสังเกตหาลักษณะจำเพาะของปัญหา
3. การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา
4. การกำจัดสาเหตุแห่งปัญหา

5. การตรวจสอบเพื่อสร้างความมั่นใจว่าปัญหาได้รับการป้องกันไม่ให้เกิดซ้ำ
6. การจัดทำมาตรการป้องกันปัญหาให้เป็นมาตรฐานปฏิบัติ
7. การสรุปผล

สำหรับเครื่องมือที่ใช้ควบคุมคุณภาพถูกนำมาใช้ครั้งแรกในอุตสาหกรรมการผลิตประเทศญี่ปุ่น เพื่อการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการทำงานอย่างต่อเนื่อง โดยใช้เครื่องมือดังกล่าวเก็บข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์และแยกแยะสาเหตุของปัญหาที่แท้จริง เพื่อให้แก้ปัญหาได้อย่างถูกต้องและสามารถควบคุมคุณภาพของผลผลิตให้มีคุณภาพสม่ำเสมอ ตลอดจนช่วยให้การจัดทำมาตรฐานและควบคุมการติดตามผลได้อย่างต่อเนื่อง รวมถึงป้องกันการเกิดปัญหาในอนาคต เครื่องมือเหล่านี้จะใช้กลวิธีทางสถิติและความรู้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลซึ่งช่วยให้การทำงานสะดวกและง่ายต่อการทำความเข้าใจ(ยูทธรณรงค์ จงจันทร์, 2554)

การควบคุมคุณภาพต้องอาศัยการควบคุมกระบวนการผลิตโดยใช้กลวิธีทางสถิติ (Statistical Process Control; SPC) เป็นเครื่องมือที่ใช้แก้ปัญหาอย่างต่อเนื่องเพื่อให้กระบวนการผลิตไม่เปลี่ยนแปลงและมีสมรรถภาพสูงขึ้น(ยูทธรณรงค์ จงจันทร์, 2554) ซึ่งเครื่องมือที่เป็นที่รู้จักและนิยมใช้ในการควบคุมคุณภาพ คือ เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 อย่าง (QC 7 Tools) ซึ่งได้แก่

1. ใบตรวจสอบ (Check Sheet)
2. ฮิสโทแกรม (Histogram) หรือแผนภาพลำต้นและใบไม้ (Stem and Leaf Diagram)
3. แผนภาพพาเรโต (Pareto Chart)
4. แผนผังสาเหตุและผล (Fish bone Diagram)
5. แผนภูมิควบคุม (Control Chart)
6. แผนภาพการกระจาย (Scatter Diagram)
7. กราฟ (Graph)

คาโอรุ อิชิกาวา เป็นผู้ให้นิยามเครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 อย่าง ซึ่งเขาเชื่อว่า 90 เปอร์เซ็นต์ของปัญหาสามารถแก้ไขได้โดยการประยุกต์เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 อย่าง โดยสามารถแบ่งการประยุกต์ใช้งานได้ดังนี้

1. การใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล คือ ใบตรวจสอบ
2. การใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลคือ ฮิสโทแกรม แผนภาพพาเรโต แผนผังก้างปลา แผนภาพการกระจาย และแผนภูมิควบคุม
3. การใช้ในการแสดงผลของข้อมูลคือ ฮิสโทแกรม และกราฟ

### 2.1.1 ใบตรวจสอบ (Check Sheet)

เป็นเครื่องมือแรกในการแก้ปัญหาใช้สำหรับเก็บข้อมูลที่เกิดขึ้น ณ เวลาที่สนใจ ในสถานที่ที่ต้องการศึกษา โดยผู้ที่ปฏิบัติงานเกี่ยวกับการควบคุมกระบวนการผลิตจะเป็นผู้บันทึก ใบตรวจสอบข้อมูลนั้น ใบตรวจสอบนั้นมีหลายประเภททั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการใช้งาน ตั้งแต่การตรวจสอบวัตถุดิบกระบวนการผลิตตลอดจนถึงผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป ขั้นตอนเริ่มต้นในการเก็บข้อมูลคือการออกแบบแผ่นบันทึกข้อมูล (Data Sheet) ไว้ใช้ในการเก็บข้อมูลทั้งที่เป็นตัวเลขและ ไม่เป็นตัวเลขโดยแผ่นบันทึกข้อมูลที่ได้จะได้จากประสบการณ์จากการทำงานจริง จากนั้นจึงออกแบบ เป็นใบตรวจสอบ (Check Sheet) ซึ่งต้องมียอดประกอบคือ รายละเอียดของผลิตภัณฑ์ ผู้ตรวจสอบ วันและเวลาที่ตรวจ จำนวนตัวอย่างที่ต้องตรวจสอบและตารางหรือรูปแสดงข้อมูล เป็นต้น ใบตรวจสอบที่ออกแบบอย่างเหมาะสมต้องเก็บข้อมูลได้รวดเร็วและไม่ยุ่งยากต่อการวิเคราะห์ ข้อมูลและแสดงผลได้อย่างชัดเจน นอกจากนี้ในการออกแบบยังต้องคำนึงถึงปัจจัยที่สำคัญต่อการ ควบคุมกระบวนการเพื่อที่จะสามารถจัดเก็บข้อมูลได้ตรงตามความต้องการจริง นอกจากนี้ประโยชน์ ของใบตรวจสอบคือ สามารถใช้เป็นหลักฐานอ้างอิงหรือเกณฑ์ในการพิจารณาประสิทธิภาพการ ทำงาน (ศุภชัย นาทะพันธ์, 2551)

บริษัท บางมดพลาสติก จำกัด  
ใบตรวจสอบขนาดผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์: หลอดโพลีเอทิลีน      พารามิเตอร์: ความยาว  
ข้อกำหนดเฉพาะ: ± 0.03      ผู้ตรวจสอบ: กิตติพล      วันที่: 1 - 5/04/48

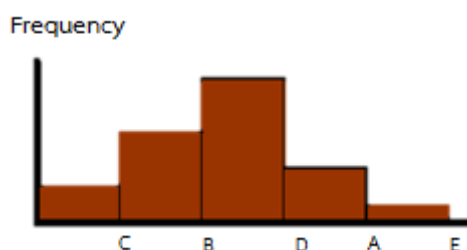
ขนาดพารามิเตอร์	ความถี่										รวม
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	
-0.05											
-0.04	/										1
-0.03											2
-0.02											5
-0.01											10
0											15
+0.01						/					26
+0.02											37
+0.03											25
+0.04											23
+0.05											12

รูปที่ 5 ตัวอย่างใบตรวจสอบ

ที่มา: กิตติศักดิ์ พลอยพานิช, 2550, หน้า 287

### 2.1.2 ฮิสโทแกรม (Histogram) หรือแผนภาพลำต้นและใบไม้ (Stem and Leaf Diagram)

เป็นกราฟแท่งที่ใช้แสดงความถี่ของข้อมูลที่จัดเป็นหมวดหมู่โดยแท่งกราฟมีความกว้างเท่ากันและด้านข้างติดกันซึ่งจัดตัวอย่างให้ศูนย์กลางของฮิสโตแกรมเป็นค่าความถี่สูงสุด ส่วนความถี่รองลงมาจะกระจายลดหลั่นไปตามลำดับ



รูปที่ 6 รูปแบบโดยทั่วไปของฮิสโตแกรม

ที่มา: ชิวิน จันทรสุนทร, 2553, หน้า 19

### 2.1.3 แผนภาพพาเรโต (Pareto Chart)

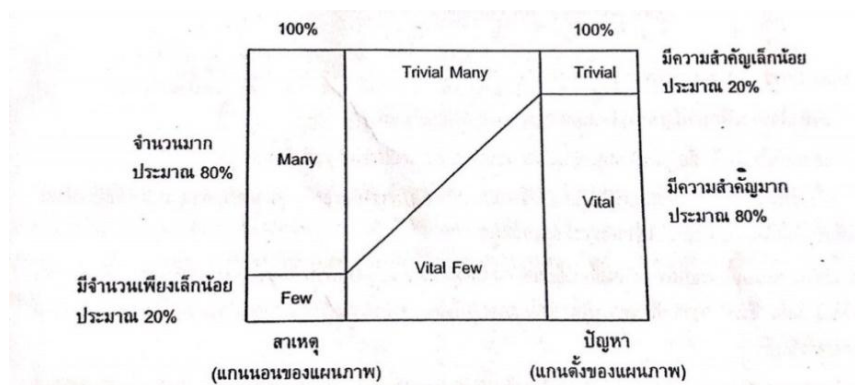
แผนภาพพาเรโต ถูกคิดค้นครั้งแรกในช่วงระหว่างปีพ.ศ. 2391-2466 โดยอัลเฟรโด พาเรโต ซึ่งเป็นนักเศรษฐศาสตร์ชาวอิตาลี โดยเขาได้แสดงผลการวิจัยที่แสดงให้เห็นถึงการกระจายรายได้ของประชากรในยุโรปพบว่ารายได้มากอยู่ในมือของประชากรกลุ่มน้อย ขณะที่รายได้น้อยอยู่ในมือของประชากรกลุ่มใหญ่

ต่อมาในปีพ.ศ. 2535 โจเซฟ จูราน เป็นนักเศรษฐศาสตร์ชาวอเมริกันได้ยอมรับแนวความคิดดังกล่าวนี้ว่าสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลายสาขาวิชาและจูรานได้สร้างคำพูดที่ว่า “ประเภทน้อยชนิดแต่มีผลมาก และประเภทมากชนิดแต่มีผลน้อย (Vital Few and Trivial Mary)” โดยจูรานได้แนะนำให้ใช้ตัวเลขหยาบ ๆ กับการตัดสินใจในหลักการพาเรโต (Pareto Principle) คือ “80-20” ซึ่งหมายความว่า “ปัญหาหรือความสูญเสียที่มีความสำคัญมากจำนวนร้อยละ 80 มักจะมีสาเหตุมาจากประมาณร้อยละ 20 ของสาเหตุทั้งหมด (The Vital Few) ในขณะที่อีกประมาณร้อยละ 80 ของสาเหตุจะมีผลต่อปัญหาที่มีความสำคัญเพียงเล็กน้อยอีกจำนวนร้อยละ 20 ของปัญหาเท่านั้น (The Trivial Mary)” (ศุภชัย นาทะพันธ์, 2551)

ดังนั้นแผนภาพพาเรโตจะเป็นเครื่องมือที่ชี้ให้เห็นถึงปัญหาที่สำคัญจริง ๆ นั้นมาจากไม่กี่สาเหตุ และปัญหาที่มีความสำคัญน้อยเกิดจากสาเหตุมากมาย ทำให้กล่าวได้ว่าในการแก้ปัญหาไม่จำเป็นต้องแก้ทุกสาเหตุให้หมดแต่ให้เลือกแก้เฉพาะสาเหตุหลักที่สำคัญ กล่าวคือปัญหาใดเป็นปัญหา



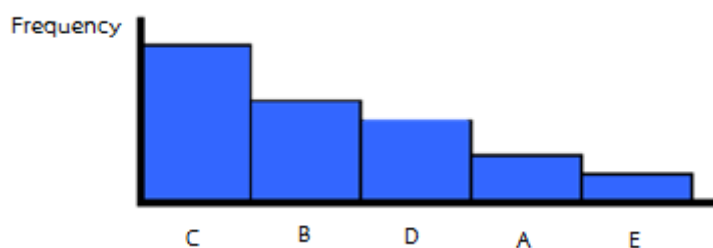
สำคัญมากก็ควรเร่งแก้ไขก่อนและปัญหาใดที่เป็นปัญหาสำคัญน้อยก็ให้แก้ไขทีหลัง โดยแผนภาพพาเรโตเป็นตามหลักการดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 หลักการพาเรโต

ที่มา: ศุภชัย นาทะพันธ์, 2551, หน้า 81

แผนภาพพาเรโต (Pareto Diagram) มีลักษณะเป็นกราฟแท่งที่แบ่งแยกข้อมูลเป็นช่วงๆ จากมากไปน้อยและจากซ้ายไปขวาโดยแกน  $y$  มี 2 แกนคือแกนซ้ายมือแทนความถี่ (เช่น จำนวนจุดบกพร่อง จำนวนคำร้องเรียนหรือจำนวนอุบัติเหตุ) และแกนขวามือแทนเปอร์เซ็นต์ แกน  $x$  แทนสาเหตุของเรื่องที่น่าสนใจ



รูปที่ 8 แผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram)

ที่มา: ชีวิน จันทรสุนทร, 2553, หน้า 17

#### 2.1.4 แผนผังเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

แผนผังเหตุและผล หรือแผนผังอิชิกาวา (Ishikawa Diagram) ได้รับการพัฒนาครั้งแรกในปีค.ศ. 1943 โดยศาสตราจารย์คาโอรุ อิชิกาวา แห่งมหาวิทยาลัยโตเกียวสำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรมแห่งญี่ปุ่น (JIS) โดยเขาได้ให้คำนิยามของแผนผังเหตุและผลว่าเป็นแผนผังที่ใช้แสดงความสัมพันธ์อย่างเป็นระบบระหว่างสาเหตุหลาย ๆ สาเหตุที่ส่งผลกระทบต่อให้เกิดปัญหาหนึ่ง

ปัญหา (ยูทธรรงค์ จงจันทร์, 2554) เป็นผังที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหา (Problem) กับสาเหตุทั้งหมดที่อาจก่อให้เกิดปัญหานั้น (Possible Cause) หรืออาจค้นเคยกกับแผนผังสาเหตุและผล ในชื่อของผังก้างปลา (Fish Bone Diagram) เนื่องจากแผนผังมีลักษณะคล้ายก้างปลา วัตถุประสงค์ในการใช้แผนผังเหตุและผล (ยูทธรรงค์ จงจันทร์, 2554) มีดังนี้

1. เมื่อต้องการค้นหาสาเหตุแห่งปัญหา
2. เมื่อต้องการศึกษาทำความเข้าใจหรือทำความเข้าใจกับกระบวนการอื่น ๆ เพราะส่วนใหญ่พนักงานจะรู้ปัญหาเฉพาะพื้นที่ของตนเท่านั้น แต่เมื่อมีการทำแผนผังเหตุและผลจะทำให้สามารถรู้และเข้าใจกระบวนการทำงานของส่วนอื่นได้ง่ายขึ้น เห็นภาพรวมกว้างขึ้น

3. เมื่อต้องการให้เป็นแนวทางในการระดมความคิด (Brainstorm) ซึ่งจะเป็นแรงจูงใจให้ทุกคนสนใจในปัญหาของกลุ่มซึ่งแสดงไว้ที่หัวปลา วิธีการสร้างแผนผังสาเหตุและผลสิ่งที่สำคัญคือจะต้องรวมกลุ่มทำงานกันเป็นทีม โดยอาศัยขั้นตอน 6 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 3.1) กำหนดประโยคปัญหาที่หัวปลา
- 3.2) กำหนดกลุ่มปัจจัยที่จะทำให้เกิดปัญหานั้น ๆ
- 3.3) ระดมความคิดเพื่อหาสาเหตุในแต่ละปัจจัย
- 3.4) หาสาเหตุหลักของปัญหา
- 3.5) จัดลำดับความสำคัญของสาเหตุ
- 3.6) ใช้แนวทางการปรับปรุงที่จำเป็น

การกำหนดปัจจัยบนแผนผังเหตุและผลนั้นไม่ได้จำเพาะเจาะจงกลุ่มของปัจจัย แต่ควรมั่นใจว่ากลุ่มที่กำหนดไว้เป็นปัจจัยที่สามารถช่วยให้แยกแยะหรือกำหนดสาเหตุต่าง ๆ ได้อย่างมีระบบและเป็นเหตุเป็นผล ส่วนมากมักจะใช้หลักการ 4M1E เป็นกลุ่มปัจจัย (Factors) ประกอบด้วย

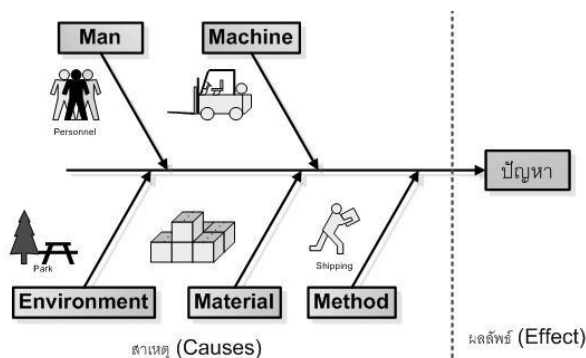
M-Man หมายถึง คนงาน หรือพนักงาน หรือบุคลากร

M-Machine หมายถึง เครื่องจักร หรืออุปกรณ์อำนวยความสะดวก

M-Material หมายถึง วัตถุดิบ หรืออะไหล่ อุปกรณ์อื่น ๆ ที่ใช้ในกระบวนการ

M-Method หมายถึง กระบวนการทำงาน

E-Environment หมายถึง สถานที่แสงสว่าง และบรรยากาศในการทำงาน

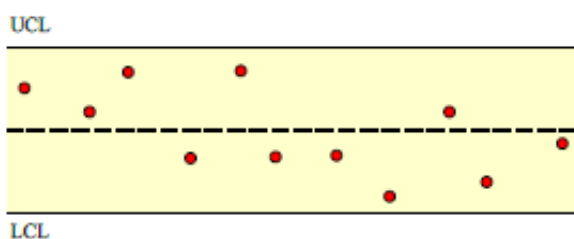


รูปที่ 9 รูปแบบโดยทั่วไปของแผนผังเหตุและผล

ที่มา: แผนผังเหตุและผล เข้าถึงเมื่อ 17 กันยายน 2562 เข้าถึงได้จาก: <http://www.prachasan.com/mindmapknowledge/fishbonemm.htm>

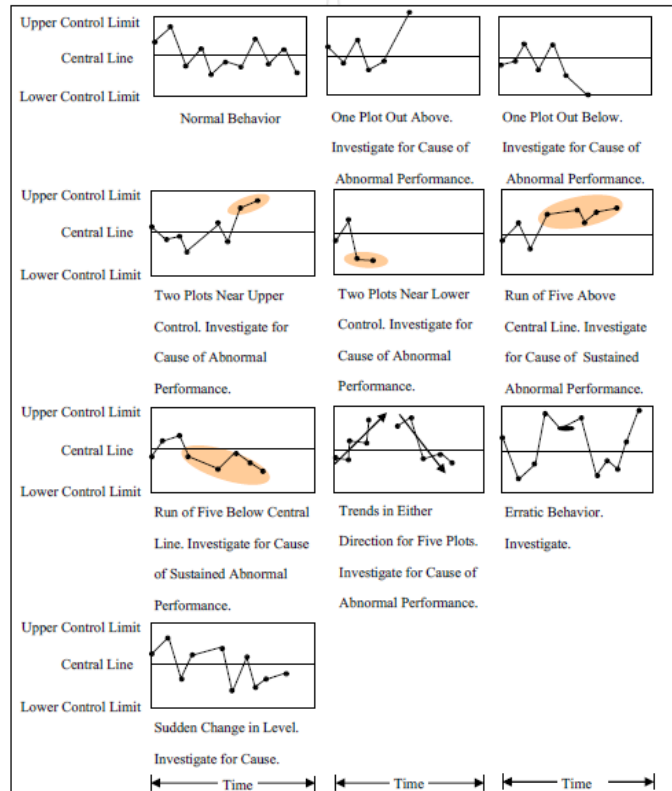
### 2.1.5 แผนภูมิควบคุม (Control Chart)

แผนภูมิกราฟที่ใช้เพื่อเฝ้าติดตามกระบวนการผลิตที่ดำเนินการอยู่ โดยมีการแสดงให้เห็นถึงขอบเขตในการควบคุมทั้งขอบเขตควบคุมบน (Upper Control Limit: UCL) และขอบเขตล่าง (Lower Control Limit: LCL) แล้วนำข้อมูลด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในกระบวนการมาเขียนเทียบกับขอบเขตที่ตั้งไว้เพื่อจะรู้ว่าในกระบวนการผลิต ณ เวลาใดมีปัญหาด้านคุณภาพจะได้รับแก้ไขปรับปรุงกระบวนการให้กลับสู่สภาพปกติโดยเร็ว โดยแผนภูมิควบคุมสามารถทำให้ทราบถึงความแปรผันที่ไม่ได้เกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติ (Assignable Cause) ซึ่งจะสามารถทำให้ผู้ผลิตกำจัดความแปรผันได้ถูกจุดและสามารถทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตตรงต่อความต้องการของลูกค้า (ซีวิน จันท์สุนทร, 2553)



รูปที่ 10 รูปแบบโดยทั่วไปของแผนภูมิควบคุม

ที่มา: ซีวิน จันท์สุนทร, 2553, หน้า 21

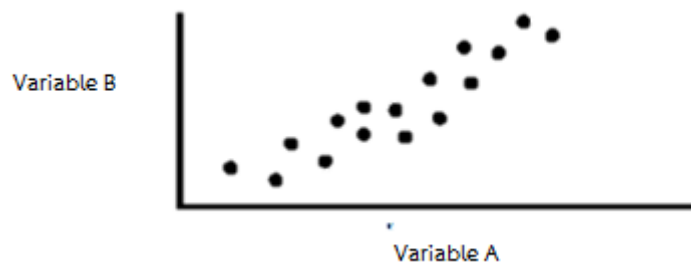


รูปที่ 11 ตัวอย่างการออกนอกการควบคุม

ที่มา: Mark, M. Davis, et al., 2003, หน้า 264

2.1.6 แผนภาพการกระจาย (Scatter Diagram)

แผนผังที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัวว่าสัมพันธ์กันในลักษณะใด ซึ่งจะสามารถหาสหพันธ์ (Correlation) ของตัวแปรทั้งสองตัวที่แสดงด้วยแกน x และแกน y ของกราฟว่าสหพันธ์เป็นบวกคือตัวแปรมีความสัมพันธ์แปรตามกัน หรือมีสหพันธ์เป็นลบคือตัวแปรมีความสัมพันธ์แปรผกผันต่อกัน (ชีวิน จันท์สุนทร, 2553)



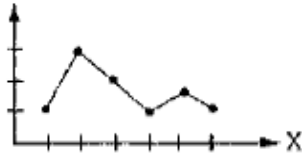
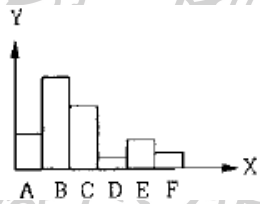
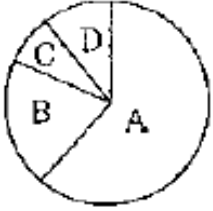
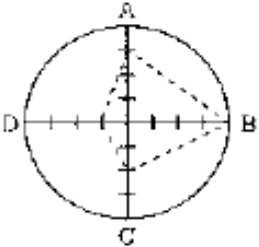
รูปที่ 12 รูปแบบโดยทั่วไปของแผนภาพการกระจาย

ที่มา: ชีวิน จันท์สุนทร, 2553, หน้า 20

### 2.1.7 กราฟ (Graph)

แผนภาพที่แสดงถึงตัวเลขผลการวิเคราะห์ทางสถิติที่สามารถเข้าใจได้ง่าย และสะดวกต่อการใช้งานโดยอาศัยการพิจารณาด้วยตาเปล่าได้ กราฟใช้แสดงข้อมูลที่เป็นตัวเลขหรือสัดส่วน แสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลตั้งแต่ 2 ชุดขึ้นไปเพื่อใช้เสนอสถานภาพของปัญหาและนำเสนอผลการปรับปรุง โดยการเปรียบเทียบปริมาณข้อมูลให้เห็นได้ง่าย อ่านได้อย่างรวดเร็ว หรือสามารถเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลให้เห็นได้อย่างชัดเจน กราฟมีหลายชนิด ซึ่งได้สรุปกราฟตามจุดประสงค์ ในการใช้งานตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การใช้กราฟตามแต่ละจุดประสงค์

ชื่อกราฟ	ลักษณะ	วัตถุประสงค์
กราฟเส้นตรง		แสดงถึงความผันแปรของข้อมูล เชิงตัวเลขโดยมีสาเหตุสำคัญอยู่ที่แกน x จะเรียกกราฟนี้ว่ากราฟแนวโน้ม
กราฟแท่ง		แสดงถึงการเปรียบเทียบปริมาณ ของประเภทข้อมูลตามแกน x
กราฟวงกลม		แสดงการเปรียบเทียบถึงสัดส่วน ของข้อมูลแต่ละประเภท (แสดงในแต่ละส่วน )
กราฟเรดาร์		แสดงการเปรียบเทียบปริมาณของข้อมูลที่ต้องการแสดงผลมากกว่า 2 มิติ

ที่มา: กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2550, หน้า 283

## 2.2 การวิเคราะห์รากสาเหตุ (Root Cause Analysis)

การวิเคราะห์รากสาเหตุ คือ การวิเคราะห์หาปัจจัยที่เป็นต้นเหตุของปัญหาที่แท้จริงและส่งผล กระทบต่อกระบวนการ ด้วยการใช้วิธีที่เป็นระบบและเป็นขั้นตอนซึ่งไม่ทำให้เกิดการตกหล่น และซ้ำซ้อนของข้อมูล รวมทั้งไม่ทำให้ผู้วิเคราะห์กล่าวถึงหัวข้อใด ๆ โดยการจินตนาการขึ้นเอง

การวิเคราะห์ปัญหาด้วยการวิเคราะห์รากสาเหตุ ให้เกิดประสิทธิภาพสูงต้องมีเครื่องมือ และเทคนิค ซึ่งเครื่องมือและเทคนิค มีดังนี้

### 2.2.1 หลักการระดมความคิดอย่างถูกต้อง (Brainstorming)

การระดมสมอง หรือภาษาอังกฤษเรียกว่า Brainstorming เป็นการรวมคำศัพท์ ระหว่างคำว่า “Brain” ที่หมายถึง สมอง และ “Storming” ที่หมายถึง พายุโหมกระหน่ำ เมื่อนำทั้งสองคำมารวมกัน จึงแปลว่า การมุ่งใช้พลังความสามารถทางความคิดของสมองจากสมาชิกในกลุ่มเพื่อคิดในเรื่องใดเรื่องหนึ่งเป็นการปลุกไอเดียสร้างสรรค์ หรือการระดมความคิดเพื่อแก้ไขปัญหา ซึ่งจะสามารถนำความคิดเหล่านี้ไปใช้ประโยชน์ได้ต่อไป (ศศิมา สุขสว่าง)

การระดมความคิด (Brainstorming) เป็นกระบวนการที่มีแบบแผนที่ใช้เพื่อรวบรวมความคิดเห็น ปัญหา หรือข้อเสนอแนะจำนวนมากในเวลาที่ยาวเร็วเป็นวิธีการที่ดีในการกระตุ้นความคิดสร้างสรรค์และเกิดการมีส่วนร่วมของกลุ่มมากที่สุด โดยในการระดมความคิดนั้นต้องระดมความคิดจากทุก ๆ มุมมอง โดยไม่มีการตัดสินถูกผิดของสมาชิกในกลุ่ม ซึ่งหมายถึงทุกคนได้มีส่วนร่วมในการแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่มีการตั้งกรอบ หรือประเมินถูกผิดขณะระดมความคิด และเน้นการระดมความคิดให้ได้ปริมาณมากที่สุด (วีรชน บาดตาสา, ศรีบุญญา นุรา, กิตติพัฒน์ ศรีหนองห้าง, ธนวัฒน์ จันทร์วงศ์, & กรกฎ ศิริสุข, 2555)

ขั้นตอนการระดมสมอง มี 5 ขั้นตอน (ศศิมา สุขสว่าง) ดังนี้

1. ตั้งผู้ดำเนินการ หรือผู้อำนวยความสะดวก (Facilitator) เพื่อเป็นผู้ประสานงาน กระตุ้นให้เกิดการออกความเห็นอย่างเท่าเทียมกันหากมีผู้ที่นั่งเงียบหรือบางคนผูกขาดพูดอยู่คนเดียว หรือช่วยใกล้เคียงหากมีผู้ที่โต้แย้งกัน
2. กำหนดหัวข้อ หัวข้อในการระดมสมองควรเป็นหัวข้อที่เจาะจง ไม่กว้างจนเกินไป เพราะเมื่อจบการระดมสมองอาจจะไม่ได้ข้อสรุปที่นำไปดำเนินการต่อได้
3. ระดมความคิด เพื่อให้ได้ความคิดปริมาณมากที่สุดจะมีกฎว่าต้องจดทุกความคิด โดยไม่มีการประเมินใด ๆ ทั้งสิ้นเพราะทุกคนต้องได้รับอิสระในการแสดงความคิดเห็น ในขั้นตอนนี้จะต้องกำหนดเป้าหมายในการระดมความคิดหรือกำหนดเวลา ซึ่งเครื่องมือที่ใช้จดความคิด มีหลาย

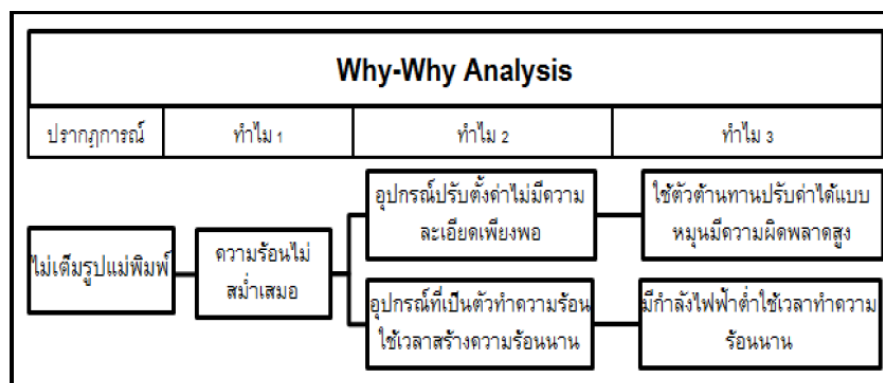
เครื่องมืออาทิ ใช้ mind map , แผนผังเหตุและผล (แผนผังก้างปลา) หรือแม้จะเป็นการใช้กระดาษแปะตามหมวดหมู่

4. สรุปผล สรุปออกมาเป็น 3 กลุ่ม ความคิดที่ดีพร้อมไปดำเนินการได้ ความคิดดีรอการพิจารณา และความคิดที่ต้องพิจารณา โดยสมาชิกคนใดคนหนึ่งเป็นผู้จดโน้ตพร้อมทั้งส่งบันทึกให้กับผู้ร่วมระดมความคิดในการระดมความคิดนั้น ส่วนใหญ่จะไม่ทิ้งความคิดใดคิดหนึ่ง เพราะในเวลานั้นความคิดที่คิดว่าเป็นไปไม่ได้ หรือเพื่อฝัน อาจจะเป็นเพราะทรัพยากรในตอนนั้นไม่พร้อมที่จะดำเนินการแต่อาจจะเป็นจริงในภายหลังก็ได้

5. ติดตามผล หลังจากระดมความคิดเสร็จควรมีการติดตามผลว่า ได้นำความคิดนั้นไปดำเนินการแล้วผลเป็นอย่างไร เพื่อประเมินและหาหนทางหรือนำแนวคิดที่เหลือไปดำเนินการต่อ

## 2.2.2 เทคนิค Why-Why Analysis

Why-Why Analysis เป็นเทคนิคการวิเคราะห์หาปัจจัยที่เป็นต้นเหตุให้เกิดปัญหาอย่างเป็นระบบมีขั้นตอนไม่เกิดการตกหล่น ซึ่งไม่ใช่การคิดแบบคาดเดาหรือนั่งเทียนเป็นการอธิบายถึงวิธีการวิเคราะห์ค้นหาสาเหตุโดยก่อนจะทำการวิเคราะห์ปัญหาต้องตรวจสอบที่หน้างานจริงและดูสภาพของจริงเพื่อสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับรายละเอียดของปัญหาให้ถูกต้องและชัดเจน จากนั้นจึงกำหนดปัญหา และให้ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการร่วมกันวิเคราะห์ โดยการตั้งคำถามหาสาเหตุด้วยคำถาม “ทำไม” ไปเรื่อย ๆ เพื่อหาสาเหตุที่แท้จริง ตัวอย่างการใช้เทคนิค Why-Why Analysis ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 ตัวอย่างการใช้เทคนิค Why-Why Analysis

ที่มา: อธิลักษณ์ เตียวติ, บุญชัย แซ่ลิ้ว และศุภชัย วรรัตน์ (2557)

หลัก Why-Why Analysis 10 ข้อ (พศุทธิ์ พรหมสุวรรณ & พิษณุตม์ เทพอารักษ์, 2561)

1. ใส่เรื่องหลักเพียงหนึ่งเดียวในประโยคแสดง “ปรากฏการณ์” หรือ “สาเหตุ”
2. การตั้ง “ทำไม” ต้องสัมพันธ์กับ “ปรากฏการณ์” และตรงตามหลักการและกฎเกณฑ์
3. การตั้ง “ทำไม” ที่เขียนขึ้นต้องสัมพันธ์กับเหตุผล ไม่ว่าจะอ่านไปข้างหน้าหรือย้อนกลับ
4. ตั้ง “ทำไม” เป็นข้อ ๆ เรียงกันโดยให้ตัวหลังสัมพันธ์กับตัวหน้า เพื่อให้ทวนสอบความถูกต้องโดยการอ่านย้อนกลับได้
5. สร้างประโยค “ทำไม” ให้ตรงตามเป้าหมายของการวิเคราะห์
6. การตั้ง “ทำไม” ทุกคนต้องเข้าใจตรงกันต้องและอ่านเข้าใจง่าย
7. มีการใช้คำคุณศัพท์ที่ชัดเจน
8. อย่าใช้คำว่า “ทำไม” ในด้านความรู้สึกของคนเพราะไม่สามารถวัดและปรับปรุงได้
9. ค้นหา “ทำไม” ต่อไป จนกระทั่งแน่ใจว่าจะไม่เกิดเหตุการณ์ซ้ำขึ้นอีก โดยต้องทวนสอบ
10. พิสูจน์ความถูกต้องของ “ทำไม” ที่สถานที่จริงและทดลองกับงานจริงในขั้นตอนนี้สำคัญเป็นอย่างมากในการตรวจสอบความถูกต้องของการระดมความเห็น รวมถึงการวิเคราะห์ค้นหาความจริงจากสาเหตุที่เป็นไปได้ที่หน้างาน

ขั้นตอนการวิเคราะห์ Why-Why Analysis (พศุทธิ์ พรหมสุวรรณ & พิษณุตม์ เทพอารักษ์, 2561)

1. จัดลำดับความสำคัญของหัวข้อที่จะปรับปรุงด้วยแผนภูมิพาเรโต ในขั้นตอนนี้จะเป็น การเลือกสาเหตุใหญ่ ๆ มาปรับปรุง
2. เลือกหัวข้อที่จะปรับปรุงหรือแก้ไขหลังจากได้สาเหตุหลักที่จะนำมาแก้ไขแล้วเขียนปัญหาให้มีความกระชับเข้าใจง่าย
3. จัดตั้งทีมงานที่เกี่ยวข้องในส่วนนี้มาช่วยกันทำการวิเคราะห์หาสาเหตุรวมไปถึงพนักงานระดับหน้างานด้วยเพราะเป็นผู้เข้าใจสถานการณ์ที่ดีที่สุด
4. สอบถามสภาพการณ์เบื้องต้นในขั้นตอนนี้จะมีความสำคัญมากในการตรวจหาความผิดปกติของสถานการณ์ โดยขั้นตอนนี้ละเลยไม่ได้เพราะจะทำให้การวิเคราะห์ผิดพลาด



5. การระดมความคิดในส่วนนี้จะเป็นการระดมความเห็นของทีมงานควรจะมีหัวหน้าทีม เพื่อไม่ให้เกิดการระดมความคิดกลายเป็นสนามรบและควบคุมการระดมความคิดให้อยู่ในแนวทางการแก้ไขปัญหา

6. ตรวจสอบความถูกต้องหลังจากระดมความคิดและแยกทำไม ทำไม ออกมาได้แล้ว เบื้องต้นให้พาทีมงานไปดูสถานการณ์จริงเพื่อตรวจสอบความผิดปกติโดยเทียบกับมาตรฐาน

7. จัดทำมาตรการโต้ตอบหลังจากที่เราพบสาเหตุรากเหง้าแล้วโดยเน้นให้อยู่ในรูปแบบ Visual Control ซึ่งจะประกอบไปด้วย ผู้รับผิดชอบ ระยะเวลา การปรับปรุงใด ๆ ก็ตาม ให้ใช้วิธีการที่ง่าย ค่าใช้จ่ายต่ำ ประสิทธิภาพสูง

8. ตรวจสอบความสำเร็จของงานเมื่อทำการแก้ไขหรือปรับปรุงไปแล้วให้ติดตามผลว่าปัญหาดังกล่าวได้เกิดขึ้นซ้ำหรือไม่หรือลดน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ผ่านรูปแบบของกราฟ หรือการทดสอบสมมติฐานทางสถิติ หากพบว่า ปัญหาไม่ได้ลดลง ให้กลับมาวิเคราะห์ใหม่ทันทีแสดงว่ามีสาเหตุที่ตกหล่นไป ในการวิเคราะห์ครั้งแรก

9. จัดทำมาตรฐานหากพบว่ามาตรการโต้ตอบนั้นได้ผลก็ให้จัดทำมาตรฐานขึ้นเพื่อรักษาไว้ซึ่งระดับคุณภาพต่อไป

### 2.3 การประเมินความสามารถของกระบวนการ

การประเมินความสามารถของกระบวนการที่มีข้อมูลวัด เป็นการวัดความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ เพื่อพิจารณาว่ากระบวนการนั้นมีความสามารถเพียงใด (Potential Capability Indices) โดยมีดัชนี  $C_p$  (C ย่อมาจาก Capability หรือความสามารถ ส่วน P ย่อมาจาก Process หรือกระบวนการ) ซึ่งจะไม่สนใจว่าค่าเฉลี่ยหรือตำแหน่งของกระบวนการ ( $\bar{x}$ ) จะตั้งอยู่ตรงกลาง (Centering) ของเขตกำหนดหรือไม่ (วลัยพร เหมโส, 2556)

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (2.1)$$

โดยที่ USL: Upper Specification Limit หรือของเขตกำหนดด้านบน

LSL: Lower Specification Limit หรือของเขตกำหนดด้านล่าง

$\sigma$ : Standard Deviation หรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

การวัดความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ พร้อมด้วยตำแหน่งของค่าเฉลี่ยของกระบวนการ ว่าตั้งอยู่กึ่งกลางของขอบเขตกำหนดหรือไม่สำหรับกระบวนการที่กำลังดำเนินอยู่โดยวัด

ค่าดัชนีอยู่ในรูป  $C_{pk}$  โดยค่าที่น้อยที่สุดของดัชนีแสดงความสามารถของกระบวนการที่เป็นของเขตกำหนดด้านบน ( $C_{pu}$ ) หรือดัชนีแสดงความสามารถของกระบวนการที่เป็นของเขตกำหนดด้านล่าง ( $C_{pl}$ )

$$C_{pk} = C_p(1-k) \quad (2.2)$$

$$C_{pu} = \frac{USL-x}{3\sigma} \quad (2.3)$$

$$C_{pl} = \frac{x-LSL}{3\sigma} \quad (2.4)$$

โดยที่ ค่า  $k$  คือระยะที่ค่าเฉลี่ยของกระบวนการอยู่ห่างจากตรงกลางของขอบเขตกำหนด

## 2.4 การออกแบบการทดลอง (Design Of Experiment: DOE)

การออกแบบการทดลอง คือ การทดสอบทางสถิติเพื่อตรวจสอบปัจจัย (Factor) หรือตัวแปร (Input Variable) ใด ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งที่สนใจและเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับกระบวนการนั้น ๆ (ปาริชาติ นาทะสัน, 2553) โดยการออกแบบการทดลองมีจุดมุ่งหมายหลักคือ เพื่อยืนยันข้อเท็จจริงและเพื่อค้นหาข้อเท็จจริงที่เหมาะสมกับกระบวนการนั้น (อัชริยา เก็งวินิจ, 2544)

ในกระบวนการปัจจัยนำเข้าอาจมีมากมายซึ่งปัจจัยที่ศึกษาเหล่านั้นอาจมาจากข้อมูลเชิงปริมาณ หรือคุณภาพ โดยสามารถแยกประเภทได้ดังนี้

1. ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่ส่งผลต่อการตอบสนองในการทดลอง และสามารถกำหนดค่าของปัจจัยได้ที่สภาวะต่าง ๆ ในการทดลอง

2. ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่ส่งผลต่อการตอบสนองในการทดลอง แต่ไม่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ อาจจะเนื่องมาจากมีข้อจำกัดทางด้านเทคโนโลยี และต้นทุน

ปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

2.1 ตัวแปรรบกวน (Noise Variable) หรือ Background Variable ซึ่งหมายถึง ตัวแปรที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) ในการทดลอง แต่ไม่ใช่ปัจจัยที่ถูกนำมาพิจารณา ส่วนใหญ่มักได้แก่ เวลาหรือเครื่องมืออุปกรณ์ เป็นต้น

2.2 Nuisance Variable คือ ตัวแปรที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง แต่ไม่ทราบผลมาก่อน โดยสามารถกำจัดอิทธิพลของ Nuisance Variable ได้โดยการสุ่มลำดับในการทดลอง

สำหรับผลกระทบที่สนใจโดยจะถูกสังเกตหรือวัดค่าในการทดลอง เรียกว่า ตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ตัวแปรตาม ซึ่งเป็นตัวแปรที่สะท้อนให้เห็นถึงอิทธิพลของตัวแปรอิสระนั่นเอง ในการทดลองหนึ่ง ๆ อาจวัดค่าตัวแปรตามมากกว่า 1 ก็ได้

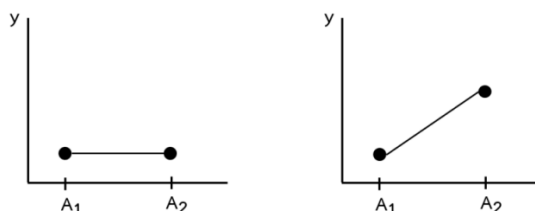
การเลือกตัวแปรตามที่ดีควรพิจารณาจากความไว (Sensitivity) ความเชื่อถือได้ (Reliability) การแจกแจงของตัวแปรนั้นและความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ นอกจากนี้ในการเลือกตัวแปรตามจะต้องพิจารณาว่าค่าสังเกตที่ได้จากการทดลอง ควรมีการแจกแจงแบบปกติโดยประมาณ ซึ่งข้อสมมติในเรื่องความเป็นปกติ (Normality) นี้เป็นสิ่งจำเป็นในการออกแบบการทดลอง



รูปที่ 14 ตัวอย่างปัจจัยกระบวนการและตัวแปรตอบสนอง

ที่มา: DOE เข้าถึงเมื่อ 25 กันยายน 2562 เข้าถึงได้จาก: [https://applied-statistics.webs.com/why\\_DOE.htm](https://applied-statistics.webs.com/why_DOE.htm)

ในการออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการต้องมีการเปลี่ยนแปลงระดับปัจจัยอย่างน้อย 2 ระดับ เพื่อให้ทราบถึงผลกระทบที่เปลี่ยนแปลงไปต่อสิ่งที่สนใจหรือตัวแปรตอบสนองแล้วจึงทดลองเพื่อนำผลมาวิเคราะห์ได้ โดยการวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยดังรูปที่ 15 โดย A คือ ระดับของปัจจัยนำเข้า และ Y คือ ค่าระดับของตัวแปรตอบสนอง



ก. ปัจจัย A ไม่มีอิทธิพลต่อผลิตภัณฑ์

ข. ปัจจัย A มีอิทธิพลต่อผลิตภัณฑ์

รูปที่ 15 การมีอิทธิพลของปัจจัย A ต่อผลิตภัณฑ์

ที่มา: อัคริยา เก่งวินิจ, 2544, หน้า 7

## 2.4.1 ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง

### ขั้นตอนของการทดลองมีดังนี้

2.4.1.1. การนิยามปัญหา (Recognition of and statement of the problem) ในการวัดคุณลักษณะใดประการหนึ่ง ๆ ผู้วิจัยต้องทราบถึงปัญหาที่แท้จริงเป็นลำดับแรกเพื่อหาสาเหตุและแก้ปัญหาให้ตรงจุด โดยปัญหานั้นต้องมีความชัดเจนและเข้าใจง่าย

2.4.1.2. การเลือกปัจจัยและระดับของปัจจัย (Choice of factors, levels and ranges) เป็นการใช้หลักการทางทฤษฎีและประสบการณ์จากงานวิจัยต่าง ๆ หรือผู้ที่เกี่ยวข้องในงานนั้น ๆ เพื่อระบุว่าปัจจัยใดบ้างที่น่าจะมีผลต่อการทดลอง โดยปัจจัยเหล่านั้นควรพิจารณาถึงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกระบวนการอย่างแท้จริง เพื่อลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการทดลอง รวมทั้งการกำหนดช่วงและระดับในแต่ละปัจจัย โดยระดับปัจจัยที่ใช้อาจเป็นแบบกำหนด (Fixed Effect) แบบสุ่ม (Random Effect) หรือแบบผสม

1. แบบกำหนด (Fixed Effect) หมายถึง ระดับของปัจจัยที่สามารถควบคุมหรือกำหนดค่าได้แน่นอน

2. แบบสุ่ม (Random Effect) หมายถึง ระดับของปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมหรือกำหนดค่าของปัจจัยได้แน่นอน

3. แบบผสม (Mixed Effect) หมายถึงการผสมผสานระดับของปัจจัยที่เป็นทั้งแบบกำหนดและแบบสุ่ม

2.4.1.3. การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Selection of the response variable) ในการเลือกตัวแปรตอบสนอง ผู้วิจัยจะต้องเลือกตัวแปรที่สามารถให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการศึกษา และการวัดค่านั้นจะต้องมีความแม่นยำและถูกต้องด้วย

2.4.1.4. การเลือกแบบการทดลอง (Choice of experimental design) เมื่อกำหนดปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนองแล้วต้องทำการตัดสินใจเกี่ยวกับขนาดของการทดลอง ซึ่งหมายถึงจำนวนซ้ำของการทดลอง (Replication) ความเหมาะสมของข้อจำกัดในการสุ่ม (Randomization) และการบล็อก (Blocking) ที่เกี่ยวข้องทั้งนี้ต้องนำมาเกี่ยวโยงกันในด้านความเสี่ยงและต้นทุนที่ใช้ในการทดลองสำหรับการเลือกปัจจัย

2.4.1.5. ดำเนินการทดลอง (Performing the experiment) ในระหว่างการดำเนินการทดลองผู้วิจัยจะต้องศึกษาดูแลอย่างใกล้ชิดปฏิบัติตามหลักการที่ได้ออกแบบไว้ ข้อควรระวังในขณะที่ทำการทดลองคือ ความถูกต้องของเครื่องมือวัดและความสม่ำเสมอในการทดลองเพื่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดซึ่งจะมีเทคนิคแตกต่างกันไปในแต่ละสาขาวิจัย

2.4.1.6. การวิเคราะห์ข้อมูล (Statistical Analysis of data) ในการวิเคราะห์ข้อมูล จะใช้ความรู้ทางด้านสถิติเข้า มาวิเคราะห์ สรุปผล รวมทั้งตรวจสอบ ลักษณะ คุณภาพ และความถูกต้องของข้อมูลที่ได้รับ ก่อนที่จะตีความข้อมูลและวิธีการทางสถิติไม่สามารถบอกได้ว่าปัจจัยมีผล (Effect) เท่าใดแน่นอน แต่เป็นเพียงเครื่องมือที่ให้แนวทางในการวิเคราะห์ภายใต้ความเชื่อมั่นเป็นร้อยละในการสรุปผล โดยส่วนมากมักจะใช้โปรแกรม ANOVA ในการวิเคราะห์ข้อมูล

2.4.1.7. สรุปผลและข้อเสนอแนะ (Conclusions and recommendations) เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลแล้วจะต้องสรุปผลการวิเคราะห์อาจแสดงในรูปกราฟ ตารางแผนภูมิ ฯลฯ และให้ข้อเสนอแนะเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตให้ดีขึ้น

## 2.4.2 หลักการที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง

2.4.2.1 การสุ่ม (Randomization) เป็นการสุ่มลำดับการทดลอง และการดำเนินการใด ๆ กับปัจจัยในการทดลองต้องเป็นอิสระต่อกัน โดยเทคนิคการสุ่มนี้เป็นการช่วยลดความเอนเอียงของตัวผู้ทดลองและช่วยจัดหรือเฉลี่ยความแปรผันภายนอกที่ควบคุมไม่ได้ให้เกิดในแต่ละการทดลองเท่า ๆ กันอีกด้วย ซึ่งการสุ่มแบ่งได้ 3 ประเภท ดังนี้

1. การทำแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomization)
2. การทำแบบสุ่มอย่างง่าย (Simple Randomization)
3. การทำแบบสุ่มแบบสมบูรณ์ภายในบล็อก (Complete Randomization within Blocks)

2.4.2.2 การทำซ้ำ (Replication) ในการทำการทดลองแต่ละครั้งอาจมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นในการทดลองได้ จึงต้องทำการทดลองมากกว่า 1 ครั้ง โดยวัตถุประสงค์ของการทำซ้ำมีดังนี้

1. เพื่อให้สังเกตเห็นและประเมินค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดลองได้ การวิเคราะห์จะนำเอาค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวไปประเมินว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อกระบวนการได้บ้าง

2. เพื่อกำจัดทิ้งความคลาดเคลื่อน (Average Out) อิทธิพลที่ไม่สามารถควบคุมได้ที่มีผลต่อปัจจัย อีกทั้งสามารถเพิ่มความเที่ยงตรงของการทดลอง เช่น การหาค่าเฉลี่ยเป็นวิธีการในการประเมินค่าอิทธิพลของปัจจัยชนิดหนึ่ง

2.4.2.3 การบล็อก (Blocking) เป็นการเพิ่มความแม่นยำของการทดลองหรือเพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนในการทดลอง ในบางครั้งอาจจะมีปัจจัยบางตัวที่ไม่อาจควบคุมได้หรือไม่อยู่ในความสนใจของผู้วิเคราะห์ และถ้าคิดว่าอิทธิพลของปัจจัยตัวที่ไม่สนใจนั้นไม่ใช่ค่าคงที่และน่าจะมีขนาดมากพอที่จะทำให้เกิดความผันแปรของข้อมูลในการจัดอิทธิพลของปัจจัยที่ไม่ต้องการ ซึ่งเรียกว่า Block ออกไปก่อนที่จะวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยที่ต้องการ

### 2.4.3 การเลือกการออกแบบการทดลอง

#### 2.4.3.1 การออกแบบการทดลองแบบปัจจัยเดียว (Single Factor Design)

เป็นการทดลองที่ศึกษาเพียงปัจจัยเดียว เพื่อทดสอบว่าระดับของปัจจัยต่าง ๆ มีผลต่อตัวแปรตอบสนองหรือไม่สามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบใหญ่ ๆ คือ

1. การทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) จัดเป็นแผนการทดลองและการวิเคราะห์ผลที่ง่ายที่สุด เหมาะกับการทดลองที่ไม่สามารถแยกได้ว่าการทดลองแต่ละครั้งที่ทำนั้นมีลักษณะแตกต่างกันอย่างไร เป็นการทดลองที่มีปัจจัยเดียวแต่จะทำการเปรียบเทียบระหว่างระดับของปัจจัยเดียวไม่มีสาเหตุจากปัจจัยอื่น ๆ โดยอาจมีปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้แต่ส่งผลกระทบต่อผลและไม่มีปัจจัยรบกวน (Nuisance Factor) โดยการทดลองรูปแบบนี้ไม่สามารถวิเคราะห์อิทธิพลร่วม (Interaction Effect) เพื่อให้แผนการทดลองมีประสิทธิภาพการทดลองควรจะมีความสม่ำเสมอ และมีความคล้ายคลึงกันมากที่สุด หรือมีความผันแปรระหว่างการทดลองน้อยที่สุด ดังนั้นหลักสำคัญของการทดลองนี้คือ ต้องทำแบบสุ่มและการทำซ้ำ

ลักษณะข้อดีและข้อเสียของการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์มีดังนี้

#### ข้อดี

- เป็นรูปแบบการทดลองที่จัดง่ายที่สุด เมื่อเทียบกับรูปแบบอื่น ๆ
- ให้ค่าองศาแห่งความเป็นอิสระของความคลาดเคลื่อน (Degree of freedom for error) สูงสุด
- ในแต่ละปัจจัยถึงแม้ว่าจะมีจำนวนซ้ำไม่เท่ากันก็ไม่ทำให้การวิเคราะห์มีความซับซ้อนแต่อย่างใด

#### ข้อเสีย

- ใช้กับหน่วยทดลองที่มีความสม่ำเสมอ
- ไม่สามารถตรวจสอบอิทธิพลของกิริยาร่วมได้ (Interaction effect)

2. การทดลองบล็อกกลุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Block Design: CRB) เป็นการทดลองที่มีปัจจัยเดียวในบางการทดลอง ซึ่งอาจประสบปัญหาหน่วยทดลองไม่มีความสม่ำเสมอหรือบางครั้งมีปัจจัยรบกวนที่ไม่ทราบและไม่สามารถควบคุมได้ในการทดลอง และส่งผลกระทบต่อค่าตัวแปรตอบสนองอาจทำให้ในการวิเคราะห์ข้อมูลมีความคลาดเคลื่อนสูง ดังนั้นจึงต้องใช้วิธีการบล็อก (Blocking) ในการกำจัดผลของปัจจัยรบกวนออกได้เพื่อให้แน่ใจว่าผลการทดลองมาจากปัจจัยที่ศึกษาเท่านั้น

ลักษณะข้อดีและข้อเสียของการทดลองบล็อกกลุ่มสมบูรณ์มีดังนี้

ข้อดี

- ไม่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับจำนวนปัจจัยหรือบล็อก
- กรณีที่ข้อมูลในบล็อกใดหรือปัจจัยใดใช้ไม่ได้หรือสูญหายไปสามารถละเว้นได้โดยไม่ก่อให้เกิดความยุ่งยากในการคำนวณวิเคราะห์สำหรับส่วนข้อมูลที่เหลือ

ข้อเสีย

- ถ้าหน่วยทดลองในแต่ละบล็อกมีความผันแปรมาก ความผันแปรที่เกิดขึ้นจากการทดลองย่อมมากตามกรณีนี้มักเกิดขึ้นถ้าไม่สามารถควบคุมหน่วยทดลองภายในบล็อกให้สม่ำเสมอตลอดได้

#### 2.4.3.2 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคตอเรียล (Factorial Design)

เป็นการทดลองที่มุ่งศึกษาถึงอิทธิพลของปัจจัยมากกว่าหนึ่งปัจจัยพร้อม ๆ กันโดยให้ความสนใจที่อิทธิพลร่วมของปัจจัยซึ่งเป็นอิทธิพลที่ส่งผลให้กับตัวแปรตอบสนอง ดังนั้นในการวิเคราะห์สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งอิทธิพลหลัก (Main Effect) คือ อิทธิพลของปัจจัยที่แสดงต่อตัวแปรตอบสนองด้วยตัวของมันเองเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยเกิดขึ้น และอิทธิพลร่วม (Interaction Effect) คือ อิทธิพลของปัจจัยหนึ่งที่จะเปลี่ยนไปเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยร่วมกัน อีกทั้งความแปรปรวนในการทดลองประกอบด้วย ความแปรปรวนจากอิทธิพลหลัก ความแปรปรวนจากอิทธิพลร่วม และความแปรปรวนเนื่องจากความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

รูปแบบหลัก ๆ ของแผนการทดลองแบบแฟคตอเรียลที่ ได้แก่

1. แฟคตอเรียล ใช้กับการทดลองหลายปัจจัย ( K ปัจจัย) ที่กำหนดระดับของแต่ละปัจจัยไว้ 2 ระดับ รูปแบบนี้มักเหมาะกับรูปแบบที่มีความเป็นเส้นตรงเพราะทำให้สามารถตีความข้อมูลได้อย่างถูกต้อง
2. แฟคตอเรียล ใช้กับการทดลองหลายปัจจัย ( K ปัจจัย) ที่กำหนดระดับของแต่ละปัจจัยไว้ 3 ระดับ รูปแบบนี้มักเหมาะกับการทดลองที่อิทธิพลของปัจจัยต่อตัวแปรตอบสนอง ค่อนข้างไม่เป็นเส้นตรง

ข้อดีและข้อเสียของรูปแบบ ดังนี้

ข้อดี

- สามารถใช้ผลของการทดลองแต่ละครั้ง ตรวจสอบอิทธิพลของหลาย ๆ ปัจจัยพร้อมกันได้ จึงประหยัดและเสียเวลาน้อยลงกว่าการทดสอบครั้งละ 1 แฟกเตอร์
- ทำให้สามารถตรวจสอบอิทธิพลของกิริยาร่วมระหว่างแฟกเตอร์ได้ ส่งผลให้สรุปผลได้กว้างขวางกว่าการทดลองครั้งละ 1 แฟกเตอร์

### ข้อเสีย

- ในกรณีที่มีกิริยาร่วมเกิดขึ้นอาจทำให้การสรุปผลเป็นภาษาที่เข้าใจง่ายได้ยาก
- ถ้าจำนวนปัจจัยมีมากขนาดของการทดลองก็จะใหญ่ขึ้นซึ่งเป็นการเสียค่าใช้จ่ายสูงและการหาวัตถุทดลองที่มีความสม่ำเสมอจำนวนมากก็เป็นไปได้ยาก อีกทั้งมีจำนวนการทดลองมาก ทำให้เสียเวลาเยอะ

#### 2.4.4 หลักการทางสถิติในการวิเคราะห์ข้อมูล

จากขั้นตอนการทดลองในขั้นที่ 6 กล่าวถึง ก่อนการนำข้อมูลมาตีความจำเป็นต้องมีการตรวจสอบความถูกต้อง ลักษณะของข้อมูล รวมถึงคุณภาพของข้อมูลก่อนนำไปวิเคราะห์ทางสถิติ ดังนั้นในหัวข้อนี้จะกล่าวถึง การทดสอบสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ และการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

##### 2.4.4.1 การทดสอบสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R-Square)

เป็นการวิเคราะห์ความเหมาะสมของการออกแบบที่นำมาใช้ในการทดลองว่ามีความเหมาะสมเพียงใด ซึ่งในการทดลองทุกครั้งจะต้องมีความผันแปรที่อธิบายไม่ได้ (Unexplained variable) หรือความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นเสมอ การออกแบบการทดลองที่ดีจะต้องทำให้เกิดความผันแปรที่อธิบายไม่ได้น้อยที่สุด

$$R\text{-Square} = \frac{\text{ความผันแปรที่อธิบายได้} \times 100\%}{\text{ความผันแปรทั้งหมด}} \quad (2.5)$$

หากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-Square) ต่ำสามารถแก้ไขได้โดย

1. เพิ่มจำนวนในการทดลอง
2. ตรวจสอบหาปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้องแล้วออกแบบการทดลองอีกครั้ง เนื่องจากอาจมีปัจจัยซ่อนเร้นที่ถูกกลบเกลื่อนและเป็นปัจจัยที่มีผลต่อปัจจัยตอบสนอง
3. ถ้าทำการเพิ่มปัจจัยอื่นแล้วค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-Square) ยังต่ำอยู่แสดงว่าผลจากปัจจัยรบกวน (Noise Factor) มีมาก ดังนั้นต้องทำการบล็อก (Blocking) เพื่อลดปัจจัยรบกวน

##### 2.4.4.2 การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล (Model Adequacy Checking)

การตรวจสอบความเพียงพอของแบบจำลอง เป็นวิธีที่ทำให้ทราบว่าข้อมูลที่ได้มานั้นมีความถูกต้องและเพียงพอที่จะใช้หรือไม่



$$\text{โดยจากสมการ } Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad (2.6)$$

โดย	$\mu$	คือ	ค่าเฉลี่ย
	$\tau_i$	คือ	อิทธิพลที่เกิดจากปัจจัย
	$\varepsilon_{ij}$	คือ	ความคลาดเคลื่อน

ในการออกแบบการทดลองส่วนใหญ่มักจะตั้งสมมติฐานในการวิเคราะห์จากการที่  $y$  (ตัวแปรตอบสนอง) มีการกระจายแบบแจกแจงปกติ (Normal Distribution) ดังนั้น  $y$  จะมีการกระจายแบบนี้ได้ต้องให้ค่าความคลาดเคลื่อน ( $\varepsilon$ ) มีการกระจายแบบปกติด้วย และต้องเป็นการกระจายที่เป็นอิสระ  $\varepsilon_{ij} \sim NID(0, \sigma^2)$  (อัชริยา เก่งวินิจ, 2544) โดยการตรวจสอบ  $\varepsilon_{ij}$  มี 3 ขั้นตอน (ปาริชาติ นาทะสัน, 2553) ดังนี้

1. การตรวจสอบการกระจายว่าเป็นแบบแจกแจงปกติ (Normal distribution) หรือไม่หากแจกแจงปกติต้องมีการแจกแจงแบบ  $\varepsilon_{ij} \sim NID(0, \sigma^2)$  และลักษณะของกราฟจากการสร้าง Normal Probability Plot ของส่วนตกค้าง (Residual) ต้องเป็นเส้นตรง
2. การตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) โดยใช้แผนภูมิการกระจาย (Scatter Plot) ของค่าความคลาดเคลื่อน ซึ่งพล็อตระหว่างส่วนตกค้างกับเวลาในการทดลอง แล้วดูลักษณะการกระจายของจุดที่แทนข้อมูลบนแผนภูมิว่าเป็นรูปแบบอิสระหรือไม่
3. การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน (Variance Stability) โดยใช้แผนภูมิการกระจายซึ่งเป็นแผนภูมิการกระจายค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) ในแต่ละระดับของปัจจัยถ้ารูปร่างของการกระจายของข้อมูลที่ออกมาไม่เป็นลักษณะของการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของความแปรปรวน (Megaphone) แสดงว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน

#### 2.4.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA)

เมื่อออกแบบการทดลองและทดลองเรียบร้อยแล้ว หลักการของ ANOVA หรือการถดถอยจะถูกนำมาใช้เพื่อวิเคราะห์ผลของการทดลองและทดสอบนัยสำคัญทางสถิติ

การวิเคราะห์ความแปรปรวนทำให้ทราบว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อปัจจัยใดบ้าง โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนเป็นวิธีการคำนวณแบบเลขคณิตมาจากการแยกผลรวมกำลังสองทั้งหมด (Total Sum of Square: SST) ออกเป็นส่วนต่าง ๆ ตามแหล่งกำเนิดหรือสาเหตุที่ทำให้ข้อมูลนั้นต่างกัน แล้วจึงจะวิเคราะห์ว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อการทดลอง โดยพิจารณาความแตกต่างจากการวัดความแตกต่างรวมออกมาในรูปของความแปรปรวน แล้วแยกออกมาเป็นความแตกต่างย่อยเพื่อจะเปรียบเทียบความแตกต่างย่อยเหล่านั้น หากความแตกต่างใดมีค่ามากกว่าแสดงว่าปัจจัยนั้นทำให้เกิด

ความแตกต่าง โดยมีผลต่อค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Mean Square; MS) ซึ่งเป็นตัวที่ประมาณค่าความแปรปรวนที่ดีที่สุด (อัคริยา เก่งวินิจ, 2544) ซึ่ง

$$MS = \frac{SS}{DF} \quad (2.7)$$

เมื่อ  $SS$  คือ ผลรวมกำลังสอง (Sum of Square)  
 $df$  คือ ชั้นของความอิสระ (Degree of Freedom)

โดย ความผันแปรทั้งหมด = ความผันแปรระหว่างทรีทเมนต์ + ความผันแปรภายในทรีทเมนต์  
 เดียวกัน

$$\text{หรือ } SS_T = SS_{Tr} + SS_E \quad (2.8)$$

เมื่อ  $SS_T$  คือ ความผันแปรทั้งหมด  
 $SS_{Tr}$  คือ ความผันแปรระหว่างทรีทเมนต์  
 $SS_E$  คือ ความผันแปรภายในทรีทเมนต์เดียวกัน  
 หรือเรียกว่าผลบวกของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสอง

$$SS_E = SS_T - SS_{Tr} \quad (2.9)$$

และสำหรับชั้นของความอิสระมีสมการเช่นเดียวกันคือ

ชั้นของความอิสระทั้งหมด = ชั้นของความอิสระระหว่างทรีทเมนต์  
 + ชั้นของความอิสระภายใน ทรีทเมนต์เดียวกัน

ตัวสถิติทดสอบ (Test Statistic) ที่นำใช้ในการเปรียบเทียบค่าความแปรปรวน คือ

$$F = \frac{MS_{Tr}}{MS_E} \quad (2.10)$$

เมื่อ  $MS_{Tr}$  คือ ค่าเฉลี่ยกำลังสองระหว่างทรีทเมนต์  
 (Mean Square for Treatment)

$MS_E$  คือ ค่าเฉลี่ยกำลังสองภายในทรีทเมนต์เดียวกัน  
 (Mean Square for Error)

โดยจะปฏิเสธ  $H_0$  ก็ต่อเมื่อ  $F > F_{\alpha, v_1, v_2}$

เมื่อ  $\alpha$  คือ ระดับนัยสำคัญ (Significance Level)

$v_1$  คือ ชั้นของความอิสระระหว่างทรีทเมนต์

$v_2$  คือ ชั้นของความอิสระภายในทรีทเมนต์

โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองแบบแฟกทอเรียล (Factorial Experiment) จะแยกตามความแปรปรวนออกเป็นความแปรปรวนเนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ ความแปรปรวนของอิทธิพลร่วมและความแปรปรวนเนื่องจากความคลาดเคลื่อนของการทดลอง โดยอธิบายตัวอย่างการสร้างตารางวิเคราะห์ที่ได้ดังนี้ (อัชริยา เก็งวินิจ, 2544)

กำหนดให้เป็นการวิเคราะห์ความแปรปรวนกรณีที่มีตัวแปร 2 ตัว ของตัวแบบที่มีอิทธิพลคงที่ (Fixed Effect Model)

$$\text{ตัวแบบ เป็นดังนี้} \quad Y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (2.11)$$

โดย  $i = 1, 2, 3, \dots, a$

$j = 1, 2, 3, \dots, b$

$k = 1, 2, 3, \dots, n$

เมื่อ  $Y_{ijkl}$  คือ ค่าสังเกตที่  $j$  ในกลุ่ม  $i$

$\mu$  คือ ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตทั้งหมด

$\tau_i$  คือ อิทธิพลของปัจจัย A ที่เกิดจากกลุ่ม  $i$

$\beta_j$  คือ อิทธิพลของปัจจัย B ที่เกิดจากกลุ่ม  $j$

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

$\varepsilon_{ijk}$  คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

ในการวิเคราะห์จะแบ่งความผันแปรทั้งหมดของค่าสังเกตออกเป็น ส่วน ๆ โดยกำหนดความผันแปรทั้งหมดของค่าสังเกตอยู่ในรูปของผลรวมกำลังสองทั้งหมด (The Total Sum of Square:  $SS_T$ )

$$\text{โดย} \quad SS_T = \left( \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n Y^2 \right) - (Y^2 \dots / abn) \quad (2.12)$$

$$SS_A = \left( \sum_{i=1}^a Y_i^2 \dots / bn \right) - (Y^2 \dots / abn) \quad (2.13)$$

$$SS_B = \left( \sum_{j=1}^b Y_j^2 \dots / an \right) - (Y^2 \dots / abn) \quad (2.14)$$

ผลรวมกำลังสองของอิทธิพลร่วมกันของปัจจัย 2 ตัว (Two Factor interaction sum of square)

$$\begin{aligned} SS_{AB} &= \left( \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b Y_{ij}^2 / n \right) - (Y^2 \dots / abn) - SS_A - SS_B \\ &= SS_{\text{subtotal}(AB)} - SS_A - SS_B \end{aligned} \quad (2.15)$$

ดังนั้นเมื่อเอาผลรวมกำลังสองของปัจจัยหลักแต่ละตัวและของ interaction ไปหักออกจากผลรวมกำลังสองทั้งหมดของทั้งหมด จะได้ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (Error) ดังสมการ

$$SS_E = SS_T - SS_{subtotal(AB)} \quad (2.16)$$

รายละเอียดของผลรวมกำลังสองของแต่ละปัจจัยแสดงดังตารางที่ 2.2 การทดสอบสมมติฐานของการทดลองจะใช้ค่าสถิติทดสอบที่มีการแจกแจงแบบเอฟ (F-Distribution) โดยกำหนดค่า  $\alpha$  ก่อน หากค่า  $F_0 \leq F_{\alpha, v_1, v_2}$  แสดงว่าปัจจัยนั้นไม่มีผลต่อค่าตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญสามารถยอมรับ Null Hypothesis ( $H_0$ ) ได้ แต่ถ้าหาก  $F_0 > F_{\alpha, v_1, v_2}$  จะปฏิเสธ  $H_0$  นั่นคือปัจจัยนั้นมีผลต่อค่าตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับ Two Factor Fixed Effect Model

Source of Variation (SOV)	Sum of Square (SS)	Degree of Freedom (df)	Mean Square (MS)	$F_0$
A	$SS_A$	$a - 1$	$MS_A$	$MS_A / MS_E$
B	$SS_B$	$b - 1$	$MS_B$	$MS_B / MS_E$
AB	$SS_{AB}$	$(a - 1)(b - 1)$	$MS_{AB}$	$MS_{AB} / MS_E$
Error	$SS_E$	$ab(n - 1)$	$MS_E$	
Total	$SS_T$	$abn - 1$		

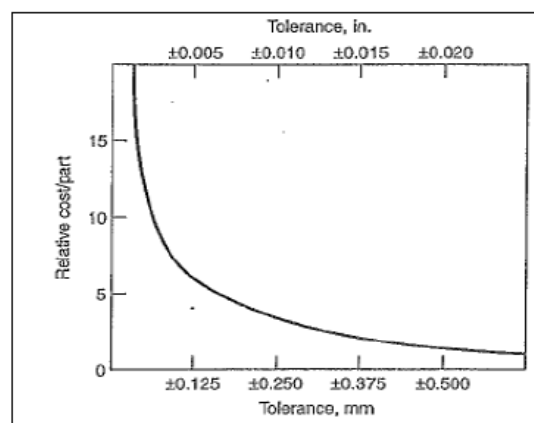
## 2.5 ค่าความเผื่อของชิ้นงาน

ปัจจุบันกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์บางชนิดนิยมผลิตครั้งละมาก ๆ เพื่อลดต้นทุนค่าใช้จ่าย อาทิ ต้นทุนการตั้งค่าเครื่องจักร ต้นทุนการทำความสะอาดก่อนการเริ่มผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดใหม่ ซึ่งในความเป็นจริงของกระบวนการการผลิตครั้งละมาก ๆ นั้นสินค้าแต่ละชิ้นมักจะมีขนาดแปรผัน อาทิ ขนาดต่างกัน น้ำหนักไม่เท่ากัน การผลิตให้สินค้าทุกชิ้นมีลักษณะเหมือนกันทุกชิ้นสามารถทำได้ยากเนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ ในกระบวนการผลิตที่ส่งผลกระทบต่อสินค้า ดังนั้นในอุตสาหกรรมจึงมักกำหนดค่าความเผื่อที่ลูกค้าสามารถยอมรับได้ขึ้นมา

ค่าความเผื่อของชิ้นงาน (Tolerances) ได้เกิดจากการทดลองของ Eli Whitney และบุคคลอื่น ๆ ในช่วงต้นของยุคศตวรรษที่ 19 โดย Whitney ได้รับคำสั่งจากรัฐบาลสหรัฐอเมริกาให้ผลิตปืน

10,000 กระบอก โดยในยุคนั้นการผลิตปืนจะผลิตทีละชิ้นส่วนแล้วนำมาประกอบกัน ทำให้ปืนแต่ละกระบอกจะมีลักษณะเฉพาะเจาะจง Whitney จึงแก้ไขโดยการประยุกต์ความคิดในการผลิตชิ้นส่วนทีละมาก ๆ และมีการกำหนดค่าความเผื่อทางวิศวกรรมไว้ (Engineering Tolerance) (พิชิต สุขเจริญพงษ์, 2549) เมื่อนำมาประกอบก็พบว่าปืนสามารถใช้งานได้ปกติ ทำให้วงการอุตสาหกรรมในยุคนั้นได้รับการปฏิวัติด้วยหลักการของ Whitney และจึงเริ่มมีการกำหนดค่าความเผื่อของชิ้นงาน

ในการออกแบบทางวิศวกรรมมีการกำหนดขนาดและส่วนประกอบต่าง ๆ ภายใต้อุปกรณ์แปรปรวนซึ่งส่งผลต่อหน้าที่และสมรรถนะควรออกแบบค่าเผื่อให้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม โดยค่าเผื่อที่แคบไปแคบ ส่งผลให้ต้นทุนที่เกิดขึ้นสูงขึ้น เนื่องจากต้องมีการควบคุมสินค้าอย่างละเอียดถี่ถ้วนมากขึ้น มีขั้นตอนการทำงานที่เพิ่มขึ้น อีกทั้งเครื่องจักรสำหรับการผลิตควรต้องมีความเที่ยงตรงซึ่งเครื่องจักรเหล่านี้มักมีราคาค่อนข้างสูงด้วยเช่นกัน และหากค่าความเผื่อกว้างเกินอาจส่งผลให้เกิดของเสียเป็นจำนวนมาก ซึ่งจะสัมพันธ์กับความสามารถของกระบวนการโดยความสัมพันธ์ระหว่างค่าเผื่อกับต้นทุนการผลิตนั้นจะแสดงดังรูปที่ 16



รูปที่ 16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนการผลิตต่อชิ้นกับค่าความเผื่อ

ที่มา: Groover, M.P. (2007)

## 2.6 การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis)

วัตถุต่าง ๆ ล้วนแล้วมีแต่ค่าคงที่ของคุณสมบัติเฉพาะต่าง ๆ ค่าหนึ่ง ซึ่งถือว่าเป็น “ค่าจริง” ของวัตถุตามคุณสมบัติเฉพาะนั้น ๆ โดยการวัด จะเป็นการกำหนดค่าที่เป็นตัวเลขให้กับคุณสมบัติเฉพาะเหล่านั้น ในกระบวนการวัดหรือระบบการวัดจะมีองค์ประกอบหลัก ๆ คือ เครื่องมือวัด, พนักงานวัด, วิธีการวัด และสิ่งแวดล้อมในการวัด แต่เนื่องจากองค์ประกอบเหล่านี้จะมีความไม่เท่ากัน จึงเกิดผลให้เกิดความผันแปรจากระบบการวัดขึ้น ซึ่งความผันแปรนี้ มีอยู่ด้วยกันสองลักษณะ

คือ ความผันแปรที่เป็นไปโดยสาเหตุธรรมชาติ (Common cause of variation) ซึ่งความผันแปรนั้น จะอยู่ในเสถียรภาพที่สามารถทำนายได้ ส่วนความผันแปรอีกลักษณะหนึ่ง คือ ความผันแปรที่เป็นไป โดยสาเหตุจากความผิดพลาด (Special cause of variation) ความผันแปรนี้จะไม่มีความเสถียรภาพและ ไม่สามารถทำนายได้ ในการทำการวัดเพื่อประกันคุณภาพจึงมีความจำเป็นต้องดำเนินการตรวจจับ สาเหตุแห่งความผิดพลาด แล้วทำการกำจัดทิ้ง โดยจะทำควบคู่ไปกับการพยายามลดสาเหตุ ธรรมชาติแห่งความผันแปรอย่างต่อเนื่อง สาเหตุด้านความผันแปรของกระบวนการเหล่านี้ จะมีผลทำให้ค่าที่วัดได้มาเบี่ยงเบนไปจากค่าจริง ของสิ่งที่วัดเสมอ กล่าวคือ ถ้าให้ค่า  $X$  แทนค่าที่วัดได้ และให้  $\mu$  แทนค่าจริงของสิ่งที่ได้รับการวัด จะได้ว่า  $X_i = \mu - \epsilon_i$  โดยให้  $\epsilon$  แทนค่าความคลาดเคลื่อนของ การวัด (Measurement error) ซึ่งในการวิเคราะห์ระบบการวัดนี้ มีจุดประสงค์สำคัญในการวิเคราะห์ คือ วิเคราะห์ถึงแหล่งความคลาดเคลื่อนในระบบการวัด แล้วทำการแก้ไขปรับปรุงจากความ คลาดเคลื่อนของค่าวัดที่มีการรวมกันอยู่ของทั้งปริมาณที่สามารถกำจัดได้ และกำจัดไม่ได้ จึงต้อง ดำเนินการกำจัดปริมาณที่สามารถควบคุมได้ก่อน เช่น ความคลาดเคลื่อนจากความผิดพลาด ซึ่งเป็น สาเหตุมาจากการขาดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับเครื่องมือวัด ซึ่งจะสามารถกำจัดได้โดยการกำหนด ขั้นตอนและวิธีการวัดที่แน่นอนไว้ การฝึกอบรมพนักงานที่ทำการวัด การจัดทำมาตรฐานของสิ่งที่ ได้รับการวัดเป็นต้น และเมื่อดำเนินการทำให้ระบบการวัดเป็นมาตรฐานแล้ว ก็จะต้องดำเนินการสอบ เทียบเครื่องมือเพื่อการกำจัดความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ และหลังจากนั้นจะต้องมีการลดค่าความ คลาดเคลื่อนแบบสุ่ม ซึ่งมีสาเหตุมาจากธรรมชาติต่าง ๆ ด้วยการประเมินถึงแหล่งความผันแปรต่าง ๆ ทั้งจากเคลื่อนมือวัด พนักงานวัด ตลอดจนสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการวัดด้วย

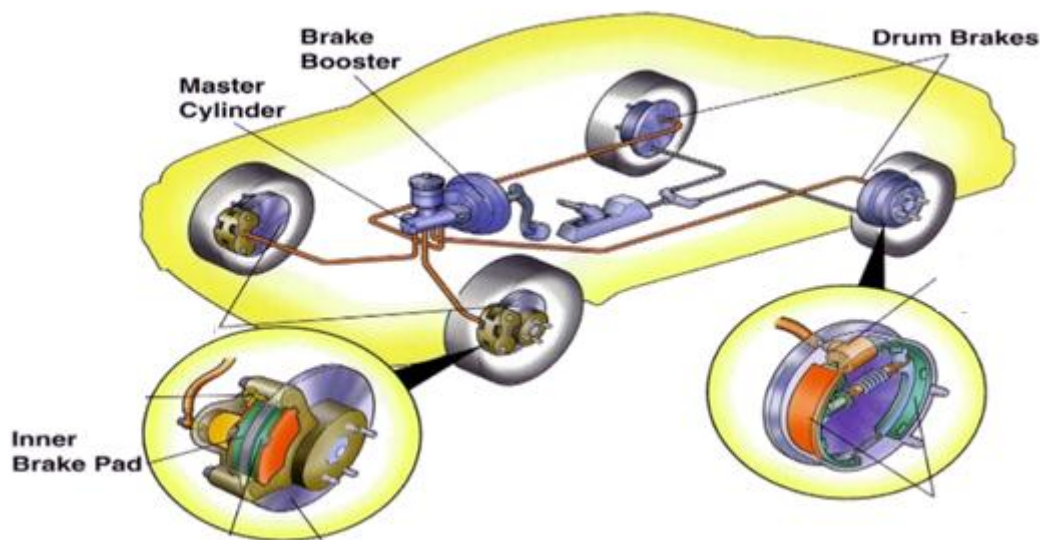
การวิเคราะห์ระบบการวัด เป็นการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงสถิติของระบบการวัด เพื่อทำการ แยกแยะแหล่งความผันแปรต่าง ๆ และดำเนินการปรับปรุง โดยการวิเคราะห์จะให้ความสนใจการ วิเคราะห์ถึงความถูกต้องและความแม่นยำของระบบการวัด แล้วพยายามปรับให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับ ได้ ซึ่งการประเมินค่าความแม่นยำของระบบการวัด (Gage R&R) ประกอบไปด้วย

- ความสามารถในการทำซ้ำ (Repeatability) หมายถึง ค่าความแตกต่างในการวัด อย่างต่อเนื่องกับงานชิ้นเดียวกันด้วยเครื่องมือเดียวกันและพนักงานวัดคนเดียวกัน ซึ่งปกติจะใช้ค่านี้ ในการประมาณค่าความผันแปรของระบบการวัดในระยะสั้น

- ความสามารถในการทำเหมือน (Reproducibility) หมายถึง ค่าความแตกต่างใน ค่าเฉลี่ยของการวัดกับชิ้นงานเดียวกันด้วยเครื่องมือวัดเดียวกัน แต่ต่างพนักงานกัน และโดยปกติแล้ว ค่านี้เป็นการประมาณค่าความผันแปรของระบบการวัดในระยะยาว (ปาริชาติ บุญเกลี้ยง, 2552)

## 2.7 ระบบเบรกรถยนต์

ระบบเบรกทำหน้าที่ชะลอหรือหยุดความเร็วของยานพาหนะ ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนพลังงานจลน์ไปเป็นพลังงานความร้อน โดยพลังงานความร้อนนี้เกิดจากแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นบริเวณผิวสัมผัสระหว่างจานเบรก (Brake rotor) กับผ้าเบรก จากนั้นจะถูกถ่ายโอนผ่านการนำความร้อน (Conduction) การพาความร้อน (Convection) และการแผ่รังสี (Radiation) ไปยังอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบเบรกซึ่งอาศัยการทำงานประสานกันของอุปกรณ์ 3 ส่วน คือ จานเบรก ระบบไฮดรอลิก (Hydraulic System) และผ้าเบรก โดยใช้หลักการถ่ายทอดแรงเหยียบแป้นเบรก (Brake pedal) ไปที่ตัวอุปกรณ์หยุดล้อผ่านระบบไฮดรอลิกโดยแรงเหยียบจานเบรกแป้นเบรกจะถูกเพิ่มความดันผ่านหม้อลมเบรก จากนั้นจึงส่งไปที่แม่ปั้มน้ำมันเบรกเพื่อดันน้ำมันเบรกไปตามท่อน้ำมันเบรกจนถึงตัวเบรก จากนั้นลูกปั้มน้ำมันเบรก (Brake caliper) จะดันผ้าเบรกไปด้านารหมุนของจานเบรก เพื่อสร้างความเสียดทานในการชะลอหรือหยุดความเร็วของยานพาหนะ ดังรูปที่ 17



รูปที่ 17 ระบบเบรกรถยนต์

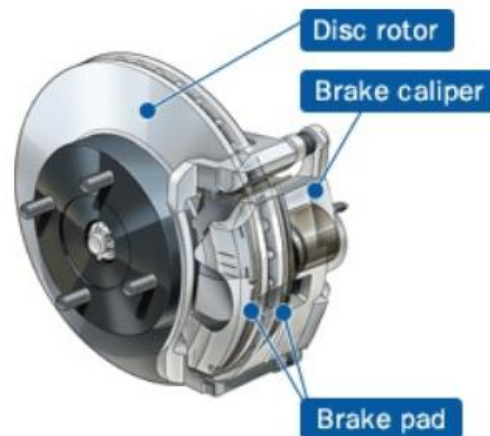
ที่มา: ระบบเบรก เข้าถึงเมื่อ 25 กันยายน 2562 เข้าถึงได้จาก: <https://sites.google.com/site/pattapongmeaw/hnwy-thi-3-rabb-berk>

### 2.7.1 ชนิดของระบบเบรก

2.6.1.1 ระบบดิสก์เบรก (Brake Pad System) มีส่วนประกอบหลักดังนี้

- จานเบรก (Rotor) ซึ่งติดตั้งบนแกนเพลาล้อโดยจะหมุนไปพร้อมล้อเมื่อรถเคลื่อนที่

- คาลิปเปอร์ (Caliper) ทัวไปเรียกว่า ”ก้ามปูเบรก” เป็นตัวถ่ายแรงกดให้กับดิสก์เบรกเสียดสีกับจานเบรก ติดตั้งโดยครอบลงไปในจานเบรก (ไม่หมุนไปกับล้อ)
- ดิสก์เบรก (Disc Brake Pad) จะถูกติดตั้งอยู่ภายในคาลิปเปอร์ โดยอยู่ทางด้านซ้ายและขวาของจานเบรก



รูปที่ 18 ส่วนประกอบหลักระบบดิสก์เบรก

ที่มา: ส่วนประกอบระบบดิสก์เบรก เข้าถึงเมื่อ 25 กันยายน 2562 เข้าถึงได้จาก:  
<http://bigbike.boxzaracing.com/knowledge/10049>

ข้อดี

- ประสิทธิภาพการเบรกสูง
- ถ่ายเทความร้อนได้ดี

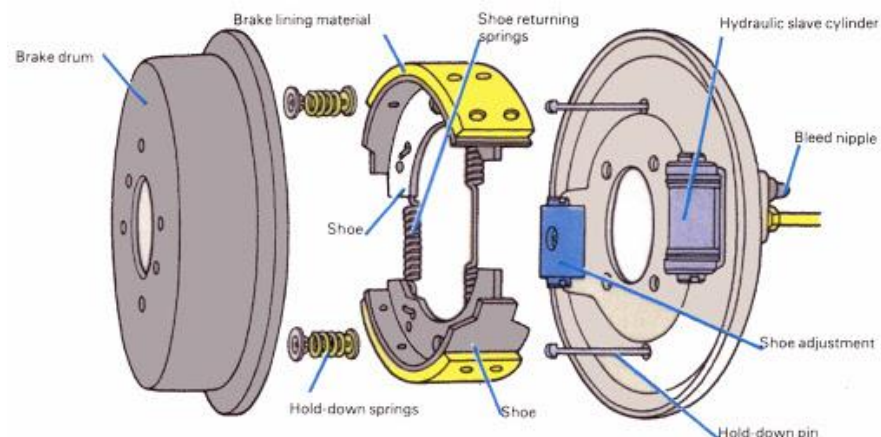
ข้อเสีย

- อายุการใช้งานน้อย เนื่องจากมีพื้นที่ผิวสัมผัสน้อยและความร้อนสูงขณะเบรก

2.6.1.2 ระบบดรัมเบรก (Brake Shoes System) มีส่วนประกอบหลักดังนี้

- จานดรัมเบรก เป็นโลหะวงกลมยึดติดกับดุมล้อ และหมุนไปพร้อมกับล้อ
- ชุดลูกสูบปั๊มเบรก ทำหน้าที่ในการดันผ้าเบรกให้เสียดทานกับจานดรัมเบรกชุดฝักเบรก
- ก้ามเบรก (Brake Shoes) จะติดตั้งอยู่ในจานดรัมเบรกในลักษณะเป็นก้ามนำและก้ามตาม





รูปที่ 19 ส่วนประกอบหลักระบบดรัมเบรก

ที่มา: ความแตกต่างระหว่างระบบเบรกแบบ ดิสก์เบรกและดรัมเบรก เข้าถึงเมื่อ 25 กันยายน 2562  
 เข้าถึงได้จาก: <https://www.sure2car.com/ความแตกต่างระหว่างระบบเบรกแบบดิสก์เบรกและดรัมเบรก/>

#### ข้อดี

- อัตราการสึกต่าเนื่องจากอุณหภูมิการเบรกต่ำ พื้นที่ผิวสัมผัสมาก

#### ข้อเสีย

- ประสิทธิภาพการเบรกไม่คงที่ เนื่องจากกลไกการทำงาน
- การถ่ายเทความร้อนได้ไม่ดี

#### 2.7.2 ลักษณะที่พึงประสงค์ของผ้าเบรก (Requirements of brake pad)

การพิจารณาความต้องการของผู้บริโภคต่อสมบัติของผ้าเบรคนั้น ผู้บริโภคมักคำนึงถึงความปลอดภัย ความรู้สึกในการเหยียบเบรก (Pedal feel) สมรรถภาพด้านเสียงรบกวน การสั่นสะเทือนและความกระด้าง (Noise-vibration-harshness หรือ NVH) รวมถึงการดูแลรักษาหลังการใช้งาน โดยผ้าเบรกที่ดีมักมีสมบัติดังนี้

- มีเสถียรภาพของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (Coefficient of friction) เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิขณะเบรก ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่สูงจะช่วยลดระยะเวลาการเบรก ช่วยให้ยานพาหนะหยุด หรือชะลอตัวได้เร็วขึ้น
- ทนต่อความร้อน ผ้าเบรกควรมีความสามารถในการถ่ายเทความร้อน และระบายความร้อนต่อสิ่งแวดล้อมได้ดี
- มีความแข็ง (Hardness) สูง ทนต่อแรงอัด และแรงเฉือนที่ช่วงอุณหภูมิกว้าง
- ไม่เกิดการเบรกจมหรือเบรกเฟด (Brake fade) เมื่อใช้งานที่อุณหภูมิสูง (เบรกเฟดเป็นผลมาจากค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานลดลงอย่างฉับพลัน

หรือเป็นการเสียความสามารถขณะเบรกเมื่ออุณหภูมิในการใช้งานสูงขึ้นโดยสาเหตุมีหลายอย่าง เช่น การเกิดแก๊สแทรกระหว่างผ้าเบรกกับจานเบรก หรือเกิดจากวัสดุเนื้อผ้าเบรกที่ไม่ทนความร้อน เป็นต้น)

- ทนทานต่อการสึก (High wear resistance) โดยผ้าเบรกที่ดีต้องมีอัตราการสึกของผ้าเบรกต่ำและมีอัตราการสึกของจานเบรกต่ำ ไม่สร้างสร้อยให้แก่จานเบรก
- ไม่เกิดเสียงขณะเบรก

โดยเนื้อผ้าเบรก (Friction Material) จะประกอบไปด้วยผงเคมีหลายชนิดตามอัตราส่วนผสมของแต่ละสูตร (Formula) โดย เป็นวัสดุเชิงประกอบที่ยึดติดกันด้วยสารยึดติด (Binder) สารประกอบหลักอื่น ๆ เช่น สารตัวเติม (Fillers) เส้นใย (Fibers) และสารปรับแต่งความเสียดทาน (Friction modifier) ซึ่งมีคุณสมบัติแตกต่างกันไปตามสูตรการผลิตของผู้ผลิตแต่ละราย

## 2.8 เอกสารที่เกี่ยวข้อง

ปาริชาติ บุญเกลี้ยง งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์แนวคิดซิกซ์ ซิกมา มาใช้ในการปรับปรุงงาน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนของเสีย จากปัญหาขนาดหน้ากว้างออกนอกค่าการยอมรับของเพป โฟมอะคริลิก ซึ่งเป็นเทปกาวที่ใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ และมีราคาแพง หากเกิดปัญหาดังกล่าว ก็จะต้องทิ้งเทปนั้นไป ไม่สามารถซ่อมแก้ไขได้ การดำเนินการวิจัยประกอบด้วย 5 ขั้นตอนตามระยะของซิกซ์ ซิกมา เริ่มจากระยะการนิยามปัญหา ได้ศึกษาสภาพปัญหา กำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการปรับปรุง ต่อมาในระยะการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา ได้วิเคราะห์ระบบการวัด ในด้านความแม่นยำของระบบการวัด และพิจารณาความสามารถของกระบวนการผลิตในปัจจุบัน จากนั้นระดมสมอง เพื่อหาปัจจัยนำเข้าไปที่อาจมีผลต่อความผันแปรของขนาดหน้ากว้าง โดยการหาแผนผังกระบวนการ จัดลำดับความสำคัญของปัจจัยนำเข้าไป โดยใช้ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล และการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ จากนั้นในระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ได้ออกแบบการทดลองเพื่อหาปัจจัยนำเข้าไป ที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความผันแปรของขนาดหน้ากว้าง ระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ การได้หาระดับของปัจจัยที่ทำให้ค่าเฉลี่ยเข้าใกล้เป้าหมายมากที่สุด และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าต่ำสุด โดยออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล แบบมีจุดศูนย์กลาง และระยะสุดท้ายคือ ระยะการติดตามควบคุม ได้ทดสอบยืนยันผลจัดทำแผนควบคุม โดยประยุกต์ใช้เครื่องมือคุณภาพที่เหมาะสมในการตรวจติดตาม และควบคุมทั้งปัจจัยนำเข้าไป และตัวแปรตอบสนอง เพื่อรักษามาตรฐานหลังการปรับปรุง ผลหลังการปรับปรุงพบว่า ค่าเฉลี่ยเข้า

ใกล้ค่าเป้าหมายที่ 12 มม. มากขึ้น จาก 12.0324 มม. เป็น 12.0171 มม. และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานลดลงจาก 0.1088 มม. เป็น 0.0504 มม. ส่งผลให้ค่า  $C_{pk}$  และ  $C_p$  ที่ได้ อยู่ที่ 1.87 และ 1.98 ตามลำดับ ซึ่งดีกว่าก่อนการปรับปรุงกระบวนการ ซึ่งอยู่ที่ 0.96 และ 1.07 ตามลำดับ และดีกว่าเกณฑ์การยอมรับมาตรฐาน ที่ 1.33 ส่งผลให้ต้นทุนของเสียลดลง 99.7% คิดเป็นมูลค่าความสูญเสียที่ลดลงได้ 4,713,992 บาทต่อปี (ปาริชาติ บุญเกลี้ยง, 2552)

มะลิ แซ่อึ้ง ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความหนาของผิวเคลือบในกระบวนการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าแบบใหม่เพื่อลดการใช้ตะกั่วซึ่งเป็นอันตรายต่อชีวิตและจัดทำมาตรฐานการทำงานฉบับใหม่ขึ้นมา โดยผู้วิจัยได้รวบรวมและระบุปัจจัยทั้งหมดของสารการใช้สารเคลือบผิวชนิดใหม่ที่จะส่งผลต่อการกำหนดความหนาของผิวเคลือบด้วยแผนภาพแสดงเหตุและผล และได้เลือกปัจจัยดังกล่าวที่จะทำการทดลองจากการพิจารณาด้วยทฤษฎีฟาราเดย์และอิทธิพลความผันแปรของความหนา ซึ่งสามารถระบุปัจจัยได้ทั้งหมด 6 ปัจจัย จากนั้นจึงใช้การออกแบบการทดลองวิธีการของ Taguchi มาวิเคราะห์หาปัจจัยใดบ้างที่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยความหนาผิวเคลือบและให้ค่าความแข็งแรงต่อค่าตอบสนอง จากผลพบว่ามีเพียง 3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยความหนาผิวเคลือบได้แก่ เวลาที่ใช้ในกระบวนการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า ความหนาแน่นของกระแส และความสูงของแผ่นกัน จากนั้นจึงใช้การออกแบบการทดลองแบบเชิงแฟกทอเรียลมาหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตพบว่าเวลาที่ใช้ในกระบวนการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า ความหนาแน่นของกระแสมีอิทธิพลอย่างมากต่อความหนาของผิวเคลือบ พบว่าความหนาของผิวเคลือบอยู่ในช่วงค่าเป้าหมาย 520 – 470 ไมโครนิ้ว และไม่มีข้อบกพร่อง โดยมี 2 สภาวะที่ทำให้ได้ผลดังกล่าว คือ ความหนาแน่นกระแส ที่ 30 แอมแปร์ต่อเดซิเมตร ที่เวลาในการชุบ 55 วินาที และ ความหนาแน่นกระแสที่ 28 แอมแปร์ต่อเดซิเมตร ที่เวลาในการชุบ 65 วินาที (มะลิ แซ่อึ้ง, 2544)

วัชรศักดิ์ ทวีสุข ได้ศึกษาปัจจัยในกระบวนการผลิตชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูลที่มีผลกระทบต่อค่าการโก่งตัวของหัวเขียนอ่านข้อมูล รวมทั้งพิจารณาหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่เป็นไปได้จริงในทางปฏิบัติ เพื่อลดค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าการเปลี่ยนแปลงการโก่งตัวให้อยู่ในระดับ 0.033 ส่วนในล้านส่วนของนิ้ว ขั้นแรกในการทดสอบคือ ระดมความคิดของผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการ เพื่อรวบรวมปัจจัยที่ก่อให้เกิดปัญหาโก่งตัวของหัวเขียนอ่านข้อมูลและเขียนสรุปเป็นแผนภาพเหตุและผล จากนั้นจึงวิเคราะห์ปัจจัยหลักที่อาจจะส่งผลสำคัญต่อการโก่งตัวซึ่งมีทั้งหมด 6 ปัจจัย แต่เนื่องด้วยข้อจำกัดด้านเวลาและค่าใช้จ่ายในการดำเนินการทดลอง ผู้วิจัยจึงเลือกแผนการทดลองแบบแฟกชันนอลแบบครึ่งหนึ่งของวิธีแฟกทอเรียลและแต่ละปัจจัยมีระดับปัจจัยเพียงแค่ 2

ระดับ จากผลพบว่ามีปัจจัยหลักเพียง 4 ปัจจัย ที่ส่งผลกระทบต่อค่าการโก่งตัว โดยค่าระดับที่เหมาะสมต่อการใช้งานมีดังนี้คือ ขนาดของกาวโครงสร้างควรจะมีขนาดเท่ากับ  $52 \text{ mil}^2$  ขนาดของกาวนำไฟฟ้าควรจะมีขนาดเท่ากับ  $80 \text{ mil}^2$  ตำแหน่งของกาวโครงสร้างในแนวแกน x ควรจะอยู่ที่ระยะห่างเท่ากับ 32 mil และตำแหน่งของกาวนำไฟฟ้าในแนวแกน x ควรจะอยู่ที่ระยะห่างเท่ากับ 36 mil จากจุดอ้างอิง อีกทั้งสามารถลดค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าการเปลี่ยนแปลงค่าการโก่งตัวลงมาอยู่ที่ระดับ 0.033 ส่วนในล้านส่วนของนิ้วได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (วัชรศักดิ์ ทวีสุข, 2546)

ปาริชาติ นาทะสัน ได้วิเคราะห์ปัจจัยในกระบวนการผลิตกล่องลูกฟูก ซึ่งได้ค้นหาปัจจัยที่เกี่ยวข้องในกระบวนการขึ้นรูปกล่องกระดาษลูกฟูกและแบ่งประเภทของแต่ละปัจจัยเบื้องต้นไว้ทั้งหมด 6 ประเภท โดยมีปัจจัยทั้งหมด 33 ปัจจัย โดยวิธีการที่ใช้ในการรวบรวมปัจจัย คือ การระดมความคิดและระบุดังในแผนผังเหตุและผล จากผลพบว่ามีจำนวนปัจจัยที่รวบรวมได้มีปริมาณมากดังนั้นจึงใช้เกณฑ์ในการคัดเลือกโดยขั้นแรกได้พิจารณาความสามารถในการควบคุมปัจจัย หากปัจจัยใดควบคุมได้จะพิจารณาความยากง่ายในการปรับเปลี่ยนค่าแล้วจึงพิจารณาผลกระทบที่ส่งผลกระทบต่อเครื่องจักร แล้วนำปัจจัยดังกล่าวไปใช้ในการออกแบบการทดลองเบื้องต้นด้วยวิธีเทคนิคทากูชิ เพื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าการเปลี่ยนแปลงค่าระยะห่างร่องกาวด้วยการวิเคราะห์ทางสถิติจากการคัดเลือกได้ปัจจัยมาทั้งหมด 13 ปัจจัย ให้แต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ ทำการทดลองทั้งหมด 16 ครั้ง ซ้ำ 2 รอบพบว่ามีเพียง 3 ปัจจัยเท่านั้นที่มีผลต่อความเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาดบนและฝาล่าง จึงได้ทดลองอีกครั้งสำหรับทั้ง 3 ปัจจัย ด้วยการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลสามระดับ ผลสรุปพบว่าทั้ง 3 ปัจจัยมีอิทธิพลต่อความเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาดบนและฝาล่าง และมีเทอมความสัมพันธ์ที่ส่งผลดังกล่าวอีก 2 เทอม อีกทั้งยังได้ระดับปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อลดค่าความเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวเพื่อใช้ในการปฏิบัติจริงจากการนำไปปฏิบัติจริงให้ผลสรุปได้แสดงว่าค่าความเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาดบนและฝาล่างมีค่าลดลง และความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการผลิตระยะสั้น ( $C_{pk}$ ) ของฝาดบนและฝาล่างมีค่าเพิ่มขึ้น (ปาริชาติ นาทะสัน, 2553)

วัลย์พร เหมโส ได้ศึกษาและออกแบบวิธีการลดปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตผ้าเบรกรถยนต์โดยประยุกต์ใช้หลักการ DMIC ของซิกส์ ซิกมา ซึ่งจากการลำดับปัญหาด้วยแผนผังพาเรโตพบว่าปัญหาใหญ่ที่สุดคือ การมีของเสียจากปัญหาชิ้นงานร้าว จากนั้นจึงวิเคราะห์และกำหนดปัจจัยจากปัญหา 2 ส่วน คือ ปัญหาจากกระบวนการผลิตผ้าเบรกรถยนต์ และปัญหาเครื่องทดสอบแรงกดผ้าเบรก (Compression Test) และการตรวจสอบ Visual Check โคนพนักงาน ด้วยแผนผัง

เหตุและผล การวิเคราะห์ความผิดพลาดและผลกระทบของปัญหา (Failure Mode and Effect Analysis) แผนผังพาเรโต และระบบการวัดข้อมูลแบบนับ (Measurement System Analysis) ซึ่งมีทั้งหมด 5 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิของแม่พิมพ์ (Die Temperature) จำนวนการอัดคายตัวของเครื่องจักร (Number of Bump) ระยะช่องว่างในการคายก๊าซ (Vent distance Gap) ระยะเวลาการอัดตัวของเครื่องจักร (Dwell Time) และ แรงดันการอัดตัว (Dwell Pressure) เมื่อได้ปัจจัยแล้ว ผู้วิจัยได้วิเคราะห์และทดลองเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อรอยร้าวด้วยการวิเคราะห์ที่สาเหตุที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของ Paired T-Test เพื่อให้ทราบถึงปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปัญหาชิ้นงานรอยร้าว โดยพบว่ามี 3 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิของแม่พิมพ์ จำนวนการอัดคายตัวของเครื่องจักร และระยะช่องว่างในการคายก๊าซ ที่ส่งผล ต่อมาผู้วิจัยจึงได้ออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล  $2^k$  แบบ Replicates เพื่อหาค่าที่เหมาะสมพบว่าอุณหภูมิของแม่พิมพ์ควรอยู่ที่ 140 องศาเซลเซียส จำนวนการอัดคายตัวของเครื่องจักรควรเป็น 4 Bump และระยะช่องว่างในการคายก๊าซ 1 มิลลิเมตร ที่จะทำให้อัตราการร้าวต่ำ และได้วิเคราะห์ตัวแปรพบว่า อุณหภูมิของแม่พิมพ์ จำนวนการอัดคายตัวของเครื่องจักร และระยะช่องว่างในการคายก๊าซ ไม่มีเทอมสัมพันธ์กันที่ส่งผลต่อปัญหาการร้าว แล้วจึงนำไปปฏิบัติจริงโดยมีการควบคุมกระบวนการผลิตด้วยการควบคุมตัวแปรต่าง ๆ ด้วยวิธีทางสถิติ (Statistical Process Control: SPC) จากผลสรุปพบว่าหลังการปรับปรุงสามารถลดปัญหาชิ้นงานร้าวของกระบวนการขึ้นรูปร้อนผ้าเบรกรถยนต์ได้มากถึงร้อยละ 36.75 (วลัยพร เหมโส, 2556)

Jan Hron และ Tomáš Macák ได้ใช้การออกแบบการทดลองในการหาปัจจัยในกระบวนการเชื่อมที่มีผลต่อความแข็งแรง (Strength) และความแปรปรวนของค่าความแข็งแรงของงานเชื่อม อีกทั้งเพื่อหาค่าของการตั้งค่ากระบวนการที่เหมาะสม ซึ่งรูปแบบที่เลือกใช้คือ การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบเต็ม เมื่อทดลองแล้วจากปัจจัยที่เลือกมาทั้งหมด 4 ปัจจัย คือ ชนิดของเทคโนโลยี เวลาของกระบวนการ อุณหภูมิเชื่อม ความดันในการเชื่อม พบว่าทุกปัจจัยส่งผลต่อความแข็งแรงของงานเชื่อม อีกทั้งยังพบอีก 1 ความสัมพันธ์ที่ส่งผลกระทบ นั่นคือ เวลาของกระบวนการกับอุณหภูมิเชื่อม นอกจากนี้ยังได้ค่าที่เหมาะสมสำหรับการตั้งค่ากระบวนการ ซึ่งจากการปรับการตั้งค่าปัจจัยทั้ง 4 ทำให้กระบวนการเชื่อมของบรรจุภัณฑ์อาหารมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นร้อยละ 34 อีกด้วย (Hron & Macák, 2013)

A. López และคณะ (2015) ได้นำเสนอการใช้การออกแบบการทดลองในกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก เนื่องจากกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกเป็นกระบวนการแปรรูปพลาสติกที่ได้รับ

ความนิยมอย่างมากในการผลิตชิ้นส่วนที่มีความซับซ้อน เพราะแม่พิมพ์สามารถสร้างชิ้นส่วนซ้ำซ้อนได้และข้อได้เปรียบทางเศรษฐกิจ แต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้ พบข้อบกพร่องที่เป็นปัญหาของการควบคุมคุณภาพ ดังนั้นผู้วิจัยได้ประยุกต์การออกแบบการทดลองเพื่อปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อชิ้นงาน โดยได้เลือกปัจจัยของน้ำหนักและความดันเป็นปัจจัยนำเข้า แต่เมื่อทดลองกลับพบว่านอกเหนือจากปัจจัยทั้งสองนี้ยังมีปัจจัยอื่นที่ส่งผลกระทบต่อชิ้นงานเพราะชิ้นงานที่ได้ยังมีความบกพร่อง (López, Aisa, Martinez, & Mercado, 2016)



### บทที่ 3

#### วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ต้องการค้นหาปัญหาสำคัญที่ส่งผลต่อการกำหนดค่าความเผื่อน้ำหนักผงเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตผ้าเบรกเพื่อให้ได้ขนาดความหนาที่ต้องการ ซึ่งการเผื่อน้ำหนักผงเคมีดังกล่าวมีผลกระทบโดยตรงต่อต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้น โดยเริ่มจากการศึกษากระบวนการผลิตอย่างละเอียดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา แล้วจึงนำเสนอเหตุมาวิเคราะห์หาแนวทางการแก้ไขเพื่อนำมาปรับปรุงการกำหนดค่าเผื่อน้ำหนักผงเคมีของบริษัทกรณีศึกษาในปัจจุบันให้มีความเหมาะสมต่อไป ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการดำเนินงานที่ผู้วิจัยได้เริ่มดำเนินการ

#### 3.1 วิธีการดำเนินการวิจัย

##### 3.1.1 เก็บข้อมูลปริมาณการใช้ผงเคมีในกระบวนการผลิตผ้าเบรก

ทำการเก็บข้อมูลปัจจุบันของปริมาณวัตถุดิบเคมีที่ใช้ในการผลิตผ้าเบรกทั้งหมดในบริษัทกรณีศึกษา เพื่อนำข้อมูลที่ได้วิเคราะห์ต่อไป

##### 3.1.2 เลือกผลิตภัณฑ์วิจัย

เลือกผลิตภัณฑ์วิจัยสำหรับงานนี้ โดยเลือกจากการนำข้อมูลในขั้นตอน 3.1.1 ที่ได้สร้างเป็นแผนภูมิพารेटโต โดยใช้เกณฑ์ปริมาณวัตถุดิบเคมีที่ใช้ในการผลิตสูงสุด ในการเลือกผลิตภัณฑ์วิจัย เป็นเกณฑ์เปรียบเทียบเนื่องจากเกณฑ์ดังกล่าวส่งผลต่อต้นทุนการสั่งซื้อวัตถุดิบเคมี

##### 3.1.3 ศึกษากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์วิจัยอย่างละเอียด

ศึกษาขั้นตอนกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์วิจัยในแต่ละขั้นตอนอย่างละเอียด เพื่อนำไปวิเคราะห์และค้นหาปัญหาสำคัญ ที่ส่งผลต่อการกำหนดค่าความเผื่อน้ำหนักผงเคมีที่ใช้ในการผลิตผ้าเบรก

##### 3.1.4 ระดมความคิดกับพนักงานที่เกี่ยวข้องเพื่อวิเคราะห์หาปัจจัย

นัดหมายพนักงานที่มีความเกี่ยวข้องในการผลิตผลิตภัณฑ์วิจัย เพื่อร่วมกันวิเคราะห์และค้นหาปัญหาสำคัญ ที่ส่งผลต่อค่าความเผื่อน้ำหนักผงเคมีที่ใช้ในการผลิตผ้าเบรก เพื่อนำไปดำเนินการหาแนวทางการปรับปรุงแก้ไขต่อไป

### 3.1.5 วิเคราะห์ระบบการวัด

โดยวิเคราะห์แหล่งความคลาดเคลื่อนในระบบการวัดผลการทดลอง เป็นการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงสถิติ เพื่อทำการแยกแยะแหล่งความผันแปรต่าง ๆ โดยให้ความสนใจในการวิเคราะห์ถึงความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัด เพื่อปรับให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ก่อนใช้วัดผลการทดลอง แต่เนื่องจากบริษัทกรณีศึกษาได้รับรองระบบคุณภาพ ISO 9001/IATF 16949 จึงได้มีการสอบเทียบเครื่องมือวัดเป็นประจำ จึงอนุมานได้ว่า คุณสมบัติด้านความถูกต้องของเครื่องมือวัดดีแล้ว งานวิจัยนี้จึงทำการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความแม่นยำของระบบการวัดเพียงอย่างเดียว โดยใช้การประเมินค่า Repeatability และ Reproducibility ( Gage R&R )

### 3.1.6 ออกแบบการทดลองแบบ แบบ $2^k$ Full Factorial Design

นำปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์ในหัวข้อ 3.1.4 ในส่วนที่ยังไม่สามารถกำหนดแนวทางการปรับปรุงได้ มากำหนดเป็นปัจจัยนำเข้าที่จะใช้ในการทดสอบ และออกแบบการทดลองแบบ  $2^k$  Full Factorial Design กำหนดการทดลองแบบสุ่ม โดยใช้โปรแกรม Minitab ในการคำนวณการกำหนดจำนวนในการทำซ้ำ ในแต่ละการทดลองเพื่อกำหนดขนาดตัวอย่าง และสร้างตาราง (Matrix Design) เพื่อกำหนดรายละเอียดของเงื่อนไขต่าง ๆ ของแต่ละการทดลองย่อยและจำนวนการทดลองย่อยทั้งหมด ในการออกแบบการทดลองรูปแบบนี้ เป็นการออกแบบการทดลองเพื่อให้ง่าย และรวดเร็วต่อการทดสอบปัจจัยที่ส่งผลต่อความหนาของผ้าเบรกในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อน ซึ่งผลที่ได้จะทำให้ตัดปัจจัยที่ไม่ส่งผลต่อปัญหาดังกล่าวออกไป โดยการทดลองกำหนดระดับปัจจัยเพียง 2 ระดับของทุก ๆ ปัจจัย

### 3.1.7 ดำเนินการทดลอง

เมื่อได้รูปแบบการทดลองแล้ว นำมาทดลองกับชิ้นงานจริงโดยจะเป็นการทดลองแบบสุ่ม ไม่ว่าจะเป็นการสุ่มวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง ลำดับก่อนหลังการทดลองของแต่ละชุดการทดลอง รวมถึงลำดับก่อนหลังของการวัดผล เพื่อป้องกันความไม่สม่ำเสมอของเครื่องจักร วัตถุดิบ ผู้ทดลอง และเครื่องมือวัด ระหว่างทดลองผู้วิจัยและวิศวกรที่มีหน้าที่รับผิดชอบจะเป็นผู้ควบคุมการปรับเปลี่ยนค่าต่าง ๆ ที่วางไว้ในแผนการทดลองและสังเกตการณ์ในระหว่างทำการทดลองอย่างใกล้ชิด เพื่อหาจุดผิดปกติที่อาจจะเกิดขึ้นและรับประกันการไม่เกิดความผิดพลาดกับแผนการทดลองที่วางไว้

### 3.1.8 วิเคราะห์ผลและตัดปัจจัยที่ไม่ก่อให้เกิดปัญหา

วิเคราะห์ข้อมูลนิยมโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเนื่องจากความสะดวก ง่ายและรวดเร็ว โดยโปรแกรมที่เลือกใช้ในการวิเคราะห์งานวิจัยนี้คือ โปรแกรม Minitab โดยขั้นตอนนี้จะเป็นการนำ



ความรู้ด้านสถิติเข้ามาวิเคราะห์และสรุปผล โดยขั้นตอนการวิเคราะห์การทดลอง ได้แก่ การวิเคราะห์ความแปรปรวน ตรวจสอบความถูกต้อง (Model Adequacy Checking) การวิเคราะห์ตัวแปรตอบสนอง จากการทดลอง จากนั้นจึงตัดปัจจัยที่ไม่เกี่ยวข้องออก

### 3.1.9 ออกแบบการทดลองแบบ $3^k$ Full Factorial Design

หลังจากที่ได้ตัดตัวแปรที่ไม่เกี่ยวข้องออกไปแล้ว การออกแบบการทดลองรูปแบบนี้เป็นการออกแบบการทดลอง โดยเลือกเฉพาะปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลกระทบต่อขนาดความหนาผ้าเบรกในกระบวนการอัดขึ้นรูปอย่างมีนัยสำคัญที่ได้จากการทดลองตามหัวข้อ 3.1.6 เท่านั้น เพื่อศึกษาระดับที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัยที่ส่งผลให้ได้ขนาดความหนาผ้าเบรกในกระบวนการอัดขึ้นรูปที่ความต้องการและใช้น้ำหนักผงเคมีในการผลิตน้อยที่สุด โดยกำหนดระดับปัจจัยสำหรับการทดลองไว้ 3 ระดับ เพื่อก่อให้เกิดความแม่นยำและได้ผลที่ดีที่สุด

### 3.1.10 ดำเนินการทดลอง

เช่นเดียวกับหัวข้อ 3.1.7

### 3.1.11 วิเคราะห์และประเมินผลการทดลอง

ในการวิเคราะห์ข้อมูลนิยมใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเนื่องจากความสะดวก ง่ายและรวดเร็ว โดยโปรแกรมที่เลือกใช้ในการวิเคราะห์งานวิจัยนี้คือ โปรแกรม Minitab โดยขั้นตอนนี้จะเป็นการนำความรู้ด้านสถิติเข้ามาวิเคราะห์และสรุปผล โดยขั้นตอนการวิเคราะห์การทดลอง ได้แก่ การวิเคราะห์ความแปรปรวน ตรวจสอบความถูกต้อง (Model Adequacy Checking) การวิเคราะห์ตัวแปรตอบสนอง จากการทดลอง จากนั้นจึงหาและเลือกค่าระดับปัจจัยของปัจจัยที่เหมาะสมกับกระบวนการอัดขึ้นรูปที่ ทำให้ได้ขนาดความหนาผ้าเบรกในกระบวนการอัดขึ้นรูปที่ความต้องการและใช้น้ำหนักผงเคมีในการผลิตน้อยที่สุด พร้อมทั้งประเมินความเป็นไปได้ในการผลิต เพื่อทำการทดลองผลิตต่อไป

### 3.1.12 ทดลองผลิตชิ้นงานตามผลที่ได้

เป็นการทดลองผลิตผลิตภัณฑ์วิจัยตามค่าระดับปัจจัยและค่าความเผื่อน้ำหนักผงเคมีที่ได้มาจากขั้นตอนการประเมินผล และทำการตรวจวัดค่าขนาดความหนาและคุณสมบัติทางกายภาพอื่น ๆ ของผ้าเบรกว่าอยู่ในเกณฑ์ค่าควบคุมหรือไม่ เพื่อยืนยันผลที่ได้ว่าสามารถนำไปผลิตได้จริงไม่ก่อให้เกิดความเสียหายหรือข้อบกพร่องใด ๆ เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการผลิตต่อไป

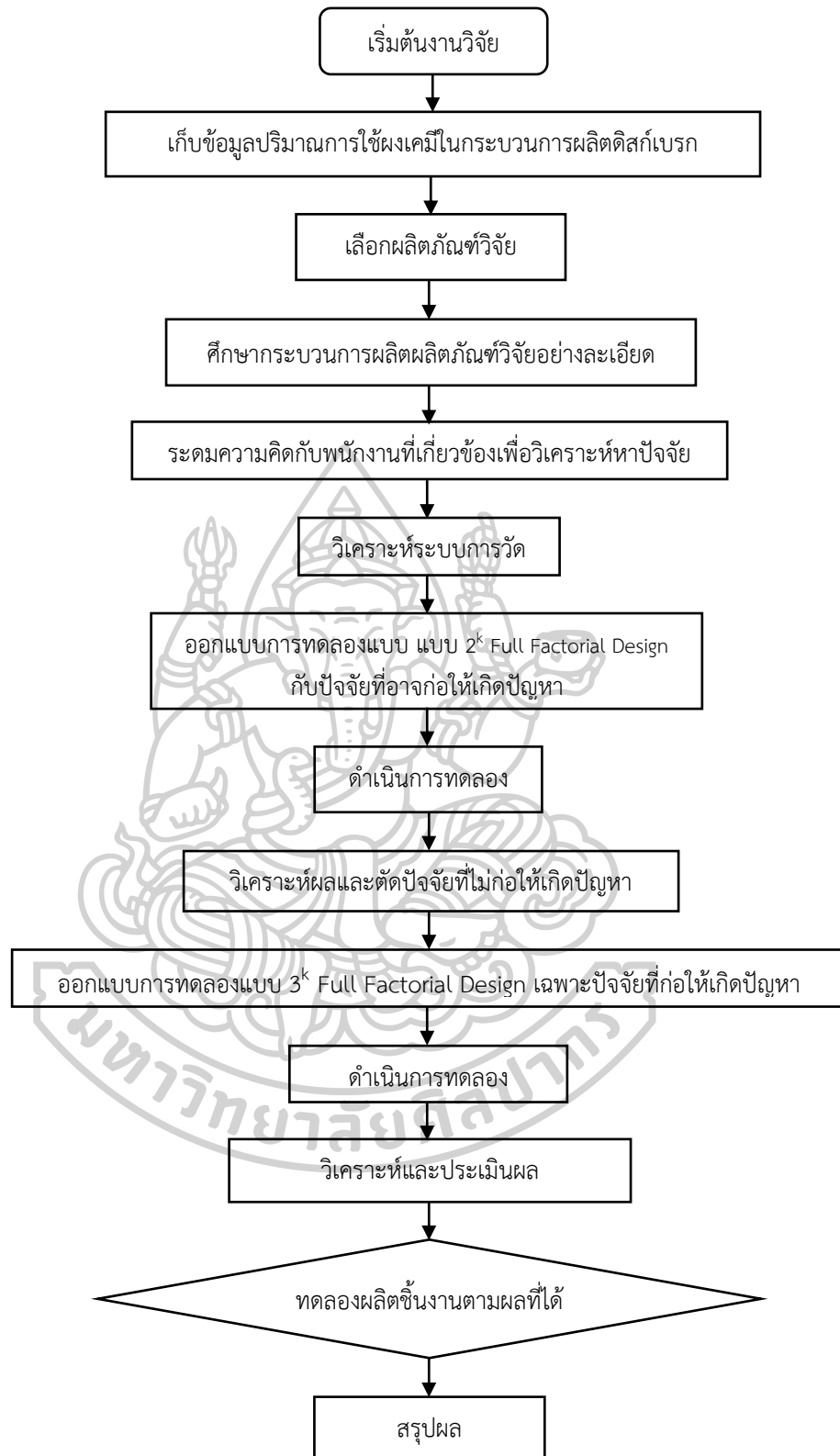
### 3.1.13 สรุปผล

สรุปผลที่ได้จากการทดลองจริง โดยเปรียบเทียบผลก่อนการปรับปรุง และหลังการปรับปรุงเพื่อยืนยันผลการลดลงของต้นทุนในการผลิตดีสก์เบรกของบริษัทกรณีศึกษา

## 3.2 แผนผังการดำเนินงาน

ในการวิจัยเพื่อค้นหาปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณฝุ่นเคมีที่เกิดขึ้นในบริษัทกรณีศึกษา ตัวอย่างมีขั้นตอนการดำเนินงานตามแผนผังดังรูปที่ 20





รูปที่ 20 แผนผังกระบวนการดำเนินงานวิจัย

## บทที่ 4 ผลการดำเนินการวิจัย

จากขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 3 โดยต้องการค้นหาปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อข้อกำหนดค่าความเผื่อน้ำหนักผงเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตผ้าเบรกเพื่อให้ได้ขนาดความหนาที่ต้องการ และวิเคราะห์หาแนวทางการแก้ไขเพื่อปรับปรุงข้อกำหนดค่าเผื่อน้ำหนักผงเคมีของบริษัทกรณีศึกษาในปัจจุบันให้มีความเหมาะสม ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงผลการดำเนินงานที่ผู้วิจัยได้ดำเนินการไปแล้วนั้น

### 4.1 เก็บข้อมูลปริมาณการใช้ผงเคมีในกระบวนการผลิตผ้าเบรกและเลือกผลิตภัณฑ์วิจัย

บริษัทกรณีศึกษาจัดเป็นบริษัทอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ซึ่งเป็นผู้ผลิตและจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนยานยนต์ทั้งภายในประเทศและต่างประเทศโดยมี 2 ผลิตภัณฑ์หลักคือ ผลิตภัณฑ์ดิสก์เบรก (Disc Brakes) และผลิตภัณฑ์ก้ามเบรก (Brake Shoes) ตามรูปที่ 21



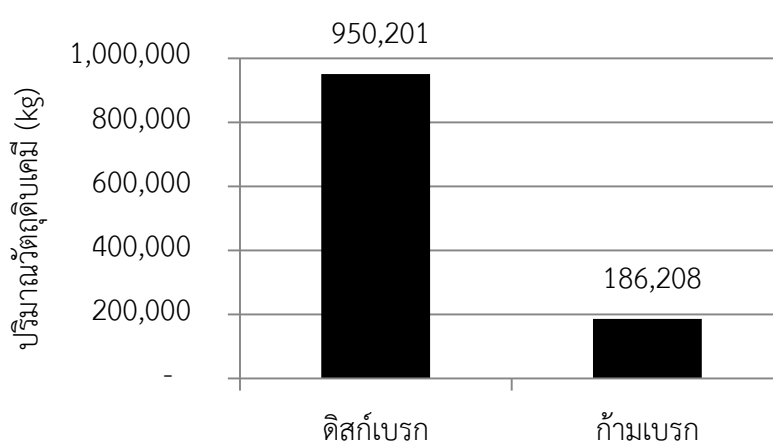
รูปที่ 21 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ของบริษัท

โดยจากการศึกษาข้อมูลปริมาณการใช้วัตถุดิบเคมีและปริมาณฝุ่นผงเคมีที่เกิดจากกระบวนการผลิตตั้งแต่ปี 2559-2562 (ข้อมูลเดือนมกราคม-กันยายน) พบว่า ปริมาณฝุ่นผงเคมีที่ส่งไปกำจัดมีจำนวนเพิ่มขึ้นในแต่ละปี โดยในปี 2562 มีปริมาณฝุ่นผงเคมีที่ส่งไปกำจัดจำนวน 113,876 กิโลกรัม เป็นจำนวนเงิน 8,199,072 บาท หรือคิดเป็น 13% ของวัตถุดิบเคมีที่มีการผลิตทั้งหมดในปี 2562 ดังตารางที่ 3

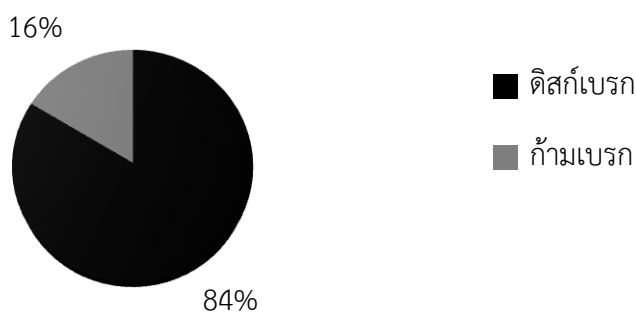
ตารางที่ 3 ปริมาณการใช้วัตถุดิบเคมีและปริมาณฝุ่นผงเคมีที่เกิดจากการกระบวนการผลิต

ปี	ปริมาณการใช้วัตถุดิบเคมี/ปริมาณฝุ่นผงเคมีที่เกิดจากการกระบวนการผลิต											
	วัตถุดิบเคมี		ฝุ่นที่เกิดขึ้นทั้งหมด			ฝุ่นนำกลับมาใช้ใหม่			ฝุ่นส่งไปกำจัด			
	(kg)	บาท	(kg)	บาท	%จากวัตถุดิบเคมี	(kg)	บาท	%จากวัตถุดิบเคมี	(kg)	บาท	%จากวัตถุดิบเคมี	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)=(3)/(1)*100	(6)	(7)	(8)=(6)/(1)*100	(9)	(10)	(11)=(9)/(1)*100		
2559	1,042,872	75,086,784	177,108	12,751,776	17%	75,348	5,425,056	7%	101,760	7,326,720	10%	
2560	1,113,646	80,182,512	186,608	13,435,776	17%	62,748	4,517,856	6%	123,860	8,917,920	11%	
2561	1,107,665	79,751,880	181,110	13,039,920	16%	50,750	3,654,000	5%	130,360	9,385,920	12%	
2562 (ม.ค.- ก.ย.)	887,321	63,887,112	149,876	10,791,072	17%	36,000	2,592,000	4%	113,876	8,199,072	13%	

อีกทั้งจากการเก็บข้อมูลปริมาณการใช้วัตถุดิบเคมีนั้นพบว่า จากข้อมูลการผลิตในปี 2562 ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณการใช้วัตถุดิบเคมีเพื่อการผลิตผ้าเบรกสูงสุดนั้นได้แก่ ผลิตภัณฑ์ดิสก์เบรกซึ่งมีปริมาณการใช้วัตถุดิบเคมีจำนวน 950,201 กิโลกรัม หรือคิดเป็น 84% ของปริมาณการใช้วัตถุดิบเคมีทั้งหมด ส่วนผลิตภัณฑ์ก้ามเบรานั้นมีปริมาณการใช้เคมีจำนวน 186,208 กิโลกรัม หรือคิดเป็น 16% ของปริมาณการใช้วัตถุดิบเคมีทั้งหมด ดังนั้นจึงเลือกผลิตภัณฑ์ดิสก์เบรกมาเป็นผลิตภัณฑ์กรณีศึกษา



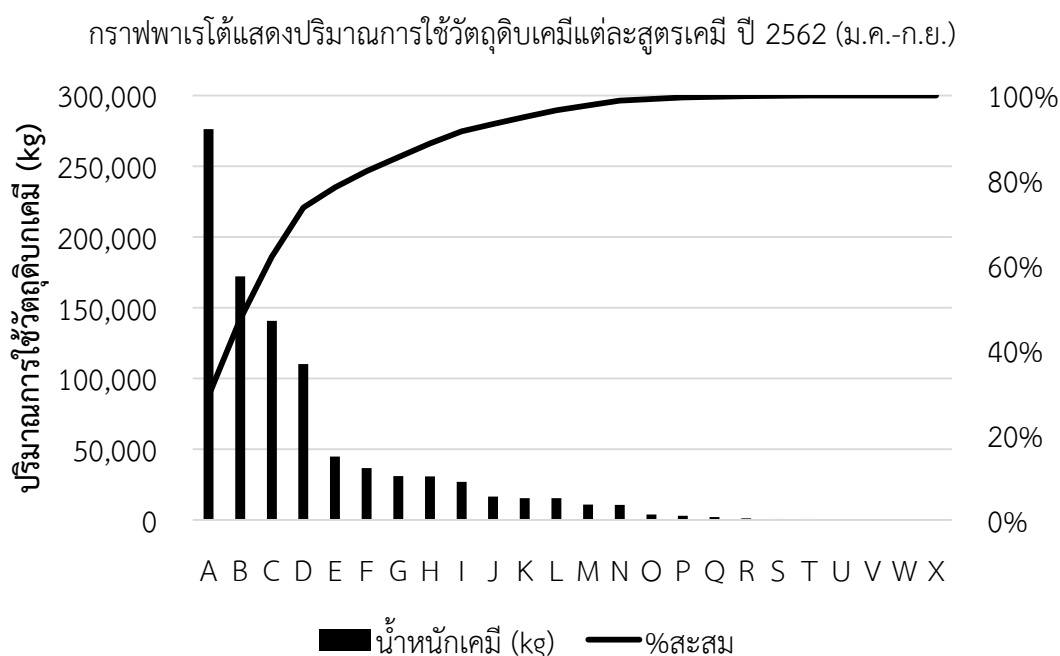
รูปที่ 22 ปริมาณการใช้วัตถุดิบเคมีของแต่ละผลิตภัณฑ์ ปี 2562



รูปที่ 23 สัดส่วนปริมาณการใช้วัตถุดิบเคมีของแต่ละผลิตภัณฑ์ ปี 2562

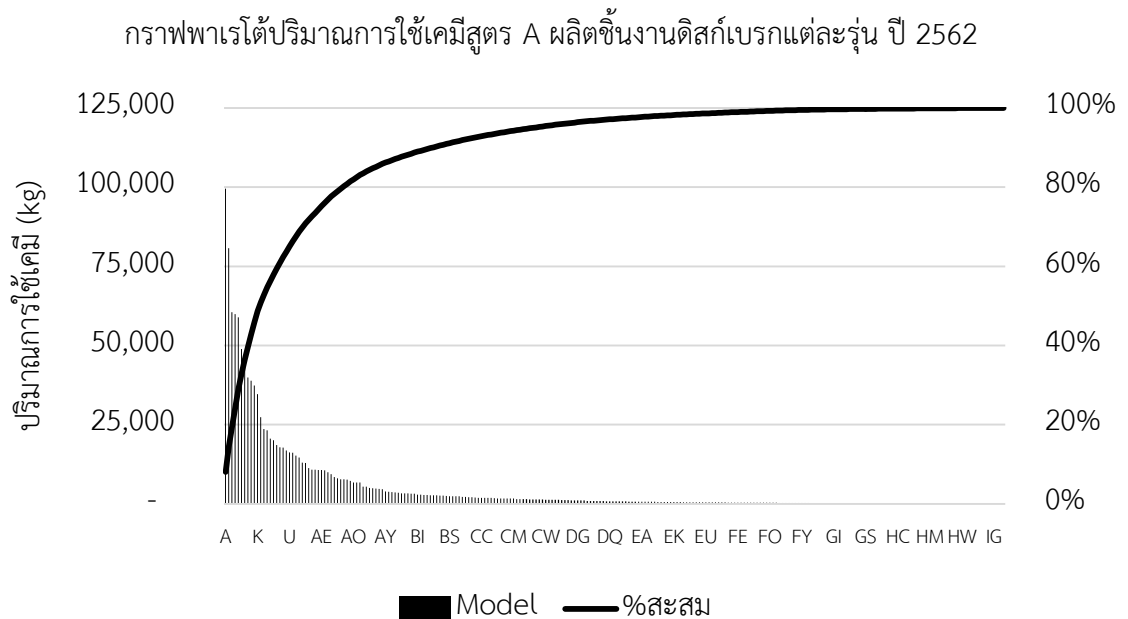
## 4.2 เลือกผลิตภัณฑ์วิจัย

เนื่องด้วยผลิตภัณฑ์ดิสก์เบรคนั้นทางบริษัทกรณีศึกษามีสูตร (Formula) การผสมวัตถุดิบเคมีที่ใช้ในการผลิตหลายสูตร จากข้อมูลการผลิตพบว่า สูตรการผสมวัตถุดิบเคมีที่มีปริมาณการผลิตมากที่สุดนั้นได้แก่ สูตรเคมี A ดังรูปที่ 24 ดังนั้นจึงเลือกทำการศึกษาสูตรเคมีดังกล่าวเนื่องจากเป็นสูตรเคมีที่มีปริมาณการใช้วัตถุดิบเคมีมากกว่าสูตรอื่น



รูปที่ 24 ปริมาณการใช้วัตถุดิบเคมีแต่ละสูตรเคมี ปี 2562

อีกทั้งผลิตภัณฑ์ดิสก์เบรกของทางบริษัทกรณีศึกษามีรุ่น (Model) ที่ทำการผลิตจำนวน 400 รุ่น และมีสูตรเคมีจำนวน 20 สูตร แต่ทุกรุ่นและสูตรเคมีนั้นมีขั้นตอนและวิธีการผลิตที่เหมือนกัน ในการศึกษาครั้งนี้จึงทำการเลือกรุ่นและสูตรเคมีที่มีการผลิตสูงที่สุดมาเพียง 1 รุ่น 1 สูตรเคมีเพื่อเป็นตัวแทนในการทำวิจัย โดยผลิตภัณฑ์ที่เลือกศึกษาได้แก่ ผลิตภัณฑ์รุ่น A สูตรเคมี A

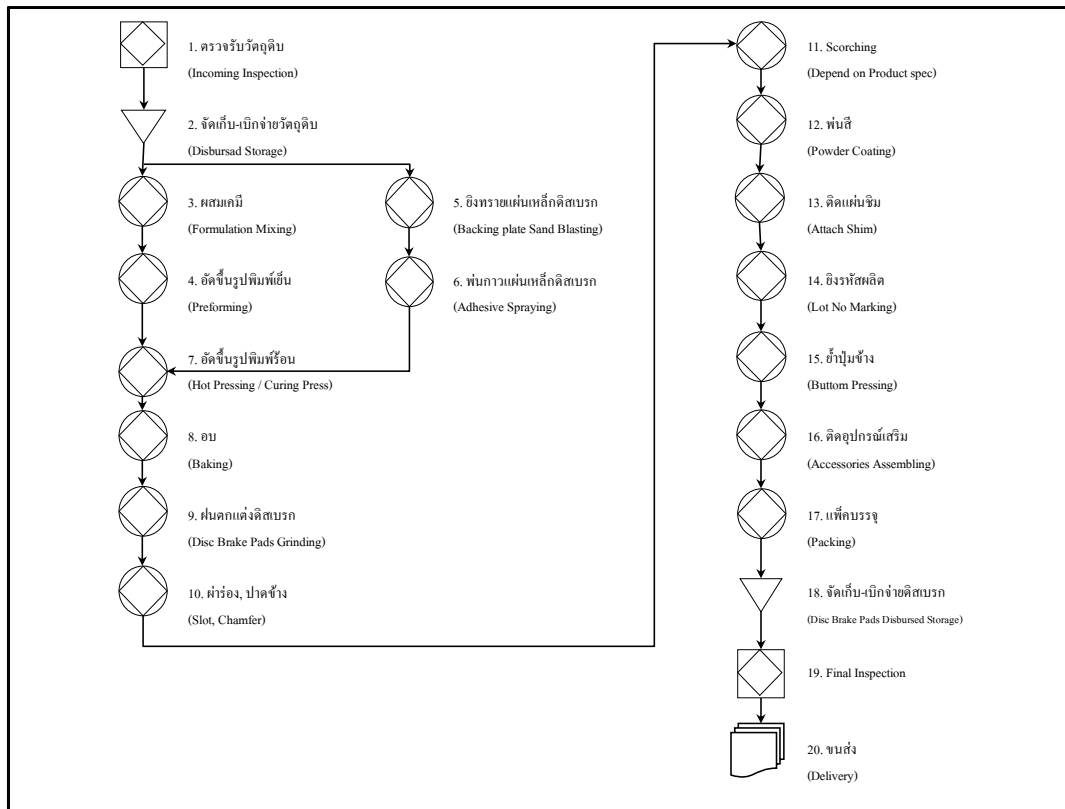


รูปที่ 25 ปริมาณการใช้เคมีสูตร A ผลิตชิ้นงานดิสก์เบรกแต่ละรุ่น ปี 2562

#### 4.3 ศึกษากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์วิจัยอย่างละเอียด

กระบวนการผลิตดิสก์เบรกเริ่มด้วยการนำวัตถุดิบผงเคมีแต่ละชนิดที่กำหนดปริมาณการใช้ไว้ในแต่ละสูตรการผสมผงเคมี มาทำการปั่นผสมในเครื่องผสมผงเคมี โดยมีการกำหนดความเร็วรอบของใบตีผสม (shopper) และเวลาในการผสมที่เหมาะสมกับสูตรการผสมผงเคมีแต่ละสูตร จนได้ผงเคมีที่ละเอียดเป็นเนื้อเดียวกันและมีค่าความหนาแน่น (Bulk density) ตามที่กำหนด ผงเคมีที่ได้หลังการผสมนั้นจะนำไปอัดขึ้นรูปพิมพ์เย็นตามค่าน้ำหนักผงเคมีที่กำหนดในแม่พิมพ์ของแต่ละรุ่น หลังจากนั้นจึงนำผงเคมีที่อัดเป็นก้อนแล้วพร้อมกับแผ่นเหล็กที่ผ่านกระบวนการยิงทรายเพื่อทำความสะอาดผิวเหล็กและพ่นกาวสำหรับการยึดติดผงเคมีกับแผ่นเหล็ก ไปเข้าสู่กระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อนที่มีการกำหนดค่าแรงอัดของเครื่องจักรและความร้อนของแม่พิมพ์ เพื่ออัดให้ก้อนผงเคมีต่าง ๆ ให้ทำปฏิกิริยากันเพื่อให้เป็นเนื้อเดียวกันตามขนาดความหนาที่ต้องการและสามารถยึดติดกับแผ่นเหล็กได้ เมื่อได้ชิ้นงานตามความหนาที่ต้องการแล้วจึงนำเข้าสู่กระบวนการอบตามอุณหภูมิที่กำหนด เพื่อให้เนื้อเคมีที่ได้จากกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนมีการทำปฏิกิริยาทางเคมีที่สมบูรณ์ และเพิ่มความแข็งแรงให้กับดิสก์เบรก ดิสก์เบรกหลังกระบวนการอบแล้วก็จะนำไปเข้าสู่กระบวนการฝนตกแต่ง เพื่อให้ได้ขนาดรูปร่างตามแบบที่กำหนด จากนั้นนำชิ้นงานที่ได้ไปทำการพ่นสีในส่วนที่เป็นแผ่นเหล็ก ตามสีที่กำหนดในแต่ละตราสินค้า (Brand) ก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์รหัสผลิตและติดอุปกรณ์เสริมต่าง ๆ เพื่อเข้าสู่กระบวนการบรรจุภัณฑ์ต่อไป





รูปที่ 26 ผังกระบวนการผลิตคิบบรก

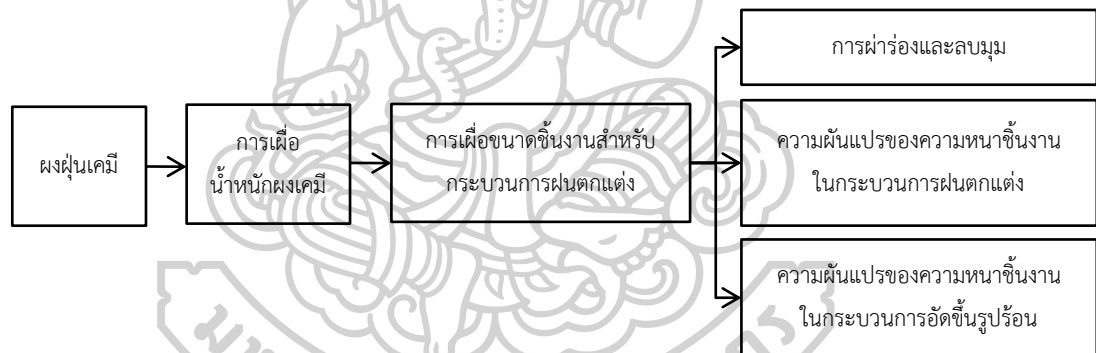
#### 4.4 ระดมความคิดกับพนักงานที่เกี่ยวข้องเพื่อวิเคราะห์หาปัจจัย

เมื่อคัดเลือกผลิตภัณฑ์ที่จะศึกษาได้เรียบร้อยแล้วพร้อมทั้งรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ที่ศึกษาจึงนัดหมายผู้เชี่ยวชาญและพนักงานที่มีความเกี่ยวข้องในการผลิตผลิตภัณฑ์ เพื่อร่วมกันวิเคราะห์และค้นหาปัญหาสำคัญ ที่ส่งผลต่อค่าความเผื่อหน้าหนกผงเคมีที่ใช้ในการผลิตผ้าเบรก เพื่อนำไปดำเนินการหาแนวทางการปรับปรุงแก้ไข

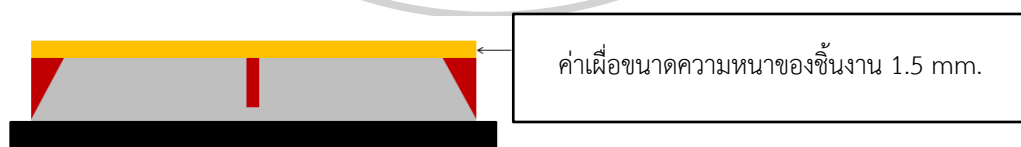


รูปที่ 27 การประชุมเพื่อระดมความคิดกับผู้เชี่ยวชาญและพนักงาน

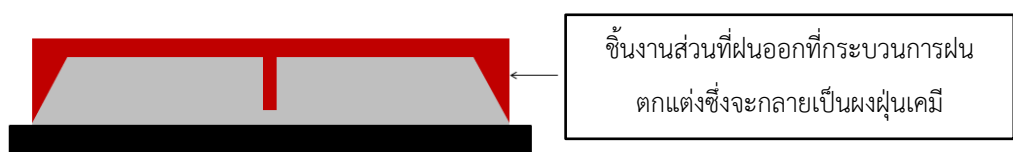
จากการระดมความคิดร่วมกับผู้เชี่ยวชาญและพนักงานที่เกี่ยวข้อง จากปริมาณผงฝุ่นที่เกิดจากกระบวนการผลิตมีเป็นจำนวนมากนั้น พบว่าปัจจุบันมีความจำเป็นต้องเผื่อค่าน้ำหนักผงเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิต เนื่องจากในกระบวนการผลิตดีสก์เบรกจะต้องมีการเผื่อขนาดสำหรับการผ่าร่อง (Slotting Process) และการลบมุม (Chamfering Process) และยังต้องมีการเผื่อขนาดชิ้นงานจากกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนโดยมีข้อกำหนดต้องเผื่อขนาดความหนาเพิ่มขึ้นให้มากกว่าหรือเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร จากข้อกำหนดความหนาผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป เพื่อให้ได้ขนาดชิ้นงานที่เหมาะสมเพียงพอสำหรับกระบวนการฝนตกแต่ง เพื่อให้การฝนตกแต่งชิ้นงานนั้นได้ขนาดและรูปร่างตามข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ ซึ่งความหนาของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ศึกษามีเกณฑ์การยอมรับเท่ากับ  $15.7 \pm 0.3$  มิลลิเมตร โดยหลังจากกระบวนการฝนตกแต่งจะได้ชิ้นงานตามข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ และผงเคมีที่ฝ่นออกจากชิ้นงานที่มาจากการเผื่อขนาดของชิ้นงาน แต่ขนาดความหนาชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนนั้นมีความแปรปรวนสูง เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีความหนาเพิ่มขึ้นไม่ต่ำกว่า 0.5 มิลลิเมตรนั้น จึงจำเป็นต้องกำหนดค่าความหนาในการคำนวณเผื่อน้ำหนักผงเคมีไว้ 1.5 มิลลิเมตร



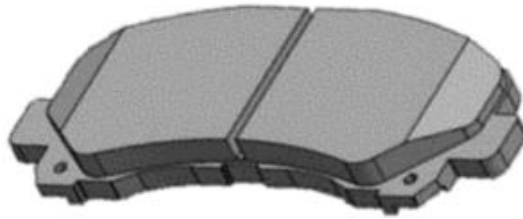
รูปที่ 28 สาเหตุการเกิดผงฝุ่นเคมี



รูปที่ 29 การเผื่อขนาดความหนาของชิ้นงาน



รูปที่ 30 ชิ้นส่วนที่ฝ่นออกที่กระบวนการฝนตกแต่ง



รูปที่ 31 ชิ้นงานดิสก์เบรกที่มีขนาดและรูปร่างตามข้อกำหนด

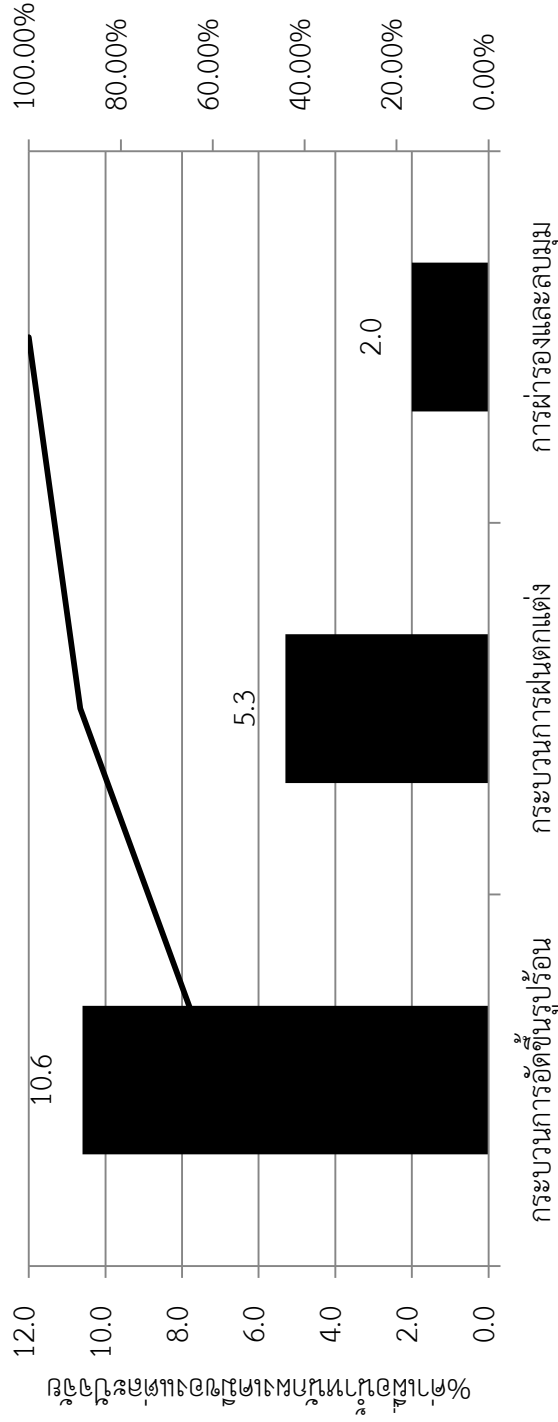
โดยค่าความเผื่อของของน้ำหนักผงเคมีผลิตภัณฑ์ดิสก์เบรก รุ่น A สูตรเคมี A ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ได้แก่ ค่าความเผื่อของกระบวนการฝนตกแต่ง ค่าความเผื่อของกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อน และค่าความเผื่อสำหรับการผ่าร่อง (Slotting Process) และการลบมุม (Chamfering Process) โดยน้ำหนักผงเคมีสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.1

$$\text{น้ำหนักผงเคมี (g)} = \frac{\text{ปริมาตร (mm}^3\text{)} * \text{ความถ่วงจำเพาะ}}{1000} \quad (4.1)$$



ตารางที่ 4 เพื่อน้ำหนักเคมีผลิตภัณฑ์เบรกรุ่น A สูตรเคมี A

SG	ขนาดพื้นที่ผิว เบรก (mm <sup>2</sup> )	ความหนาผ้า เบรก STD (mm)	ปริมาณผ้า Chamfer (mm <sup>3</sup> )	ปริมาตร Chamfer (mm <sup>3</sup> )	ปริมาตรหลังหัก Chamfer (mm <sup>3</sup> )	น้ำหนักเคมี STD (g)	ค่าเพื่อน้ำหนักเคมี(g)									
							ชิ้นงานปัจจุบัน (STD+1.5 mm)	กระบวนการฝนตกแต่ง (STD+0.5 mm)		กระบวนการอัดขึ้นรูปร้อน (1mm)		ฝาร่องและ ลบมุม		รวมค่าเผื่อทั้งหมด		
							g	%	g	%	g	%	g	%	g	%
2.4	5949	9.7	57705.3	1154.11	56551.19	135.72	160	7.14	5.3%	14.37	10.6%	2.77	2.0%	24.28	17.9%	

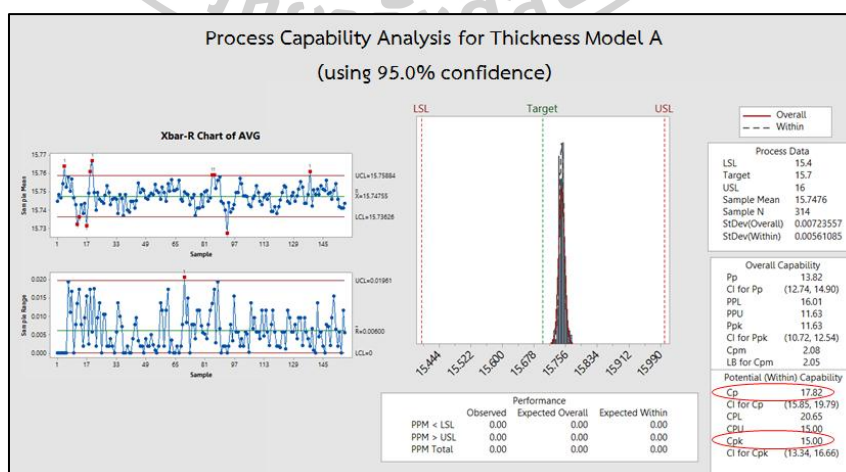


รูปที่ 32 สัดส่วนค่าเพื่อน้ำหนักเคมีแต่ละปัจจัยต่อค่าน้ำหนักมาตรฐาน

จากตารางที่ 4 ค่าเพื่อน้ำหนักเคมีผลิตภัณฑ์ดิสก์เบรกรุ่น A สูตรเคมี A พบว่า น้ำหนักเคมีมาตรฐานจากการคำนวณมีค่าเท่ากับ 135.72 กรัม แต่ในปัจจุบันการผลิตใช้น้ำหนักเคมีเท่ากับ 160 กรัม โดยมีค่าความเพื่อน้ำหนักเคมีเท่ากับ 24.28 กรัม หรือคิดเป็น 17.9% ของน้ำหนักมาตรฐานจากการคำนวณ (ความหนาที่ใช้ในการคำนวณค่าความเพื่อน้ำหนักเท่ากับ 1.5 มิลลิเมตร) ซึ่งแบ่งเป็นค่าความเพื่อน้ำหนักสำหรับความผันแปรของกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนเท่ากับ 14.37 กรัม หรือคิดเป็น 10.6% (ความหนาที่ใช้ในการคำนวณค่าความเพื่อน้ำหนักเท่ากับ 1.0 มิลลิเมตร) ค่าความเพื่อน้ำหนักสำหรับความผันแปรของกระบวนการฝนตกแต่งเท่ากับ 7.14 กรัม หรือคิดเป็น 5.3% (ความหนาที่ใช้ในการคำนวณค่าความเพื่อน้ำหนักเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร) และค่าความเพื่อน้ำหนักสำหรับการผ่าร่องและลบมุมเท่ากับ 2.77 กรัม หรือคิดเป็น 2.0% ซึ่งค่าความเพื่อน้ำหนักเคมีสำหรับการผ่าร่องและลบมุม ไม่สามารถปรับลดลงได้เนื่องจากรูปแบบแม่พิมพ์ไม่มีการสร้างเพื่อรองรับการผ่าร่องและการลบมุม ดังนั้นสาเหตุการเพื่อน้ำหนักขึ้นงานสำหรับกระบวนการฝนตกแต่งที่สามารถปรับลดค่าความเพื่อน้ำหนักได้จาก 2 สาเหตุหลัก ได้แก่ ความผันแปรของความหนาขึ้นงาน ในกระบวนการฝนตกแต่งและความผันแปรของความหนาขึ้นงาน ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อน

#### 4.4.1 ความผันแปรของความหนาขึ้นงานในกระบวนการฝนตกแต่ง

จากการศึกษาวิเคราะห์กระบวนการฝนตกแต่งดิสก์เบรกในปัจจุบันพบว่า ทางบริษัท ทัศนศึกษาได้ปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการฝนตกแต่งให้ดีขึ้นแล้วโดยการเปลี่ยนรูปแบบของเครื่องจักรใหม่ที่มีมาตรฐานทำให้สามารถลดความแปรปรวนของกระบวนการฝนตกแต่งลงได้ซึ่งความสามารถของกระบวนการ  $C_{pk}$  และ  $C_p$  ในกระบวนการฝนตกแต่งที่ทำการศึกษา โดยต้องการความหนาของขึ้นงาน 15.7 มิลลิเมตร จำนวน 300 ชิ้น ขอบเขตของการยอมรับได้คือ  $15.7 \pm 0.3$  มิลลิเมตร (15.4 มม. ถึง 16.0 มม.) โดยใช้โปรแกรม Minitab ได้ผลเป็นดังนี้



รูปที่ 33 ความสามารถของกระบวนการฝนตกแต่งในการผลิตขึ้นงานรุ่น A

ขนาดความหนา 15.7 มม.

จากรูปที่ 33 จะเห็นว่าความสามารถของกระบวนการผลิตแต่งที่ทำการศึกษามีค่าค่อนข้างสูงโดยพิจารณาจากดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการ  $C_p$  ซึ่งเท่ากับ 17.82 และค่า  $C_{pk}$  ซึ่งเท่ากับ 15.00 ซึ่งมีค่ามากกว่าเกณฑ์ยอมรับของ IATF 16949 ที่ 1.33 ทำให้สรุปได้ว่าค่าความผันแปรของกระบวนการผลิตแต่งมีค่าน้อยมาก ดังนั้นจึงไม่มีความจำเป็นที่ต้องเผื่อค่าความผันแปรของขนาดความหนาชิ้นงานในกระบวนการผลิตเพิ่มขึ้นอีก 0.5 มิลลิเมตร จากมาตรฐานขนาดความหนาผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปซึ่งอาจจะทำให้สูญเสียผงฝุ่นเคมีจากกระบวนการผลิตเกินความจำเป็น สรุปเห็นควรให้ลดค่าเผื่อความผันแปรของขนาดความหนาชิ้นงานจากกระบวนการผลิตแต่งลง จากเดิมที่เผื่อไว้ 0.5 มิลลิเมตร ให้ลดลงเหลือ 0.1 มิลลิเมตร เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป



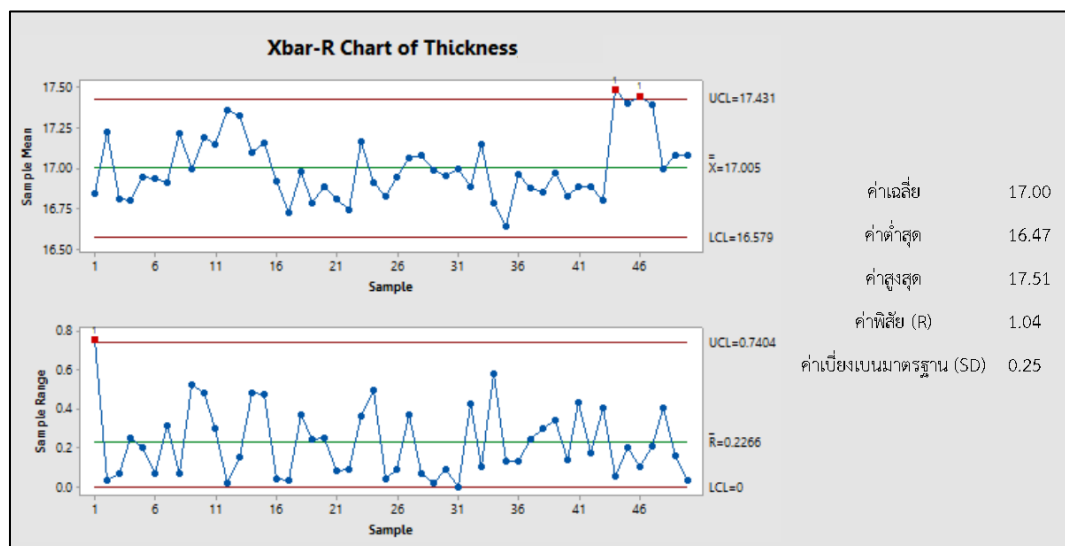
รูปที่ 34 เครื่องฝนตแต่งดิสก์เบรกในกระบวนการฝนตแต่ง

#### 4.4.2 ความผันแปรของขนาดความหนาชิ้นงานในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อน

จากการศึกษาวิเคราะห์กระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนในปัจจุบันพบว่า ขนาดความหนาของชิ้นงานที่ได้มีความผันแปรค่อนข้างสูง เพื่อให้ได้ขนาดความหนาชิ้นงานมากกว่าหรือเท่ากับ  $15.7+0.5$  หรือ 16.2 มิลลิเมตร นั้น ในกระบวนการผลิตจึงมีการกำหนดค่าความเผื่อขนาดความหนาของชิ้นงานเพื่อรองรับความแปรปรวนของกระบวนการไว้อีก 1.0 มิลลิเมตร รวมกับค่าเผื่อความผันแปรของขนาดความหนาในกระบวนการผลิตแต่ง 0.5 มิลลิเมตร ซึ่งรวมค่าความหนาที่เผื่อไว้เป็น 1.5 มิลลิเมตร เพื่อใช้ในการคำนวณค่าน้ำหนักผงเคมีที่ต้องใช้ในการผลิตต่อชิ้นในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อน

ดังนั้นสำหรับผลิตภัณฑ์ A จึงควรมีขนาดความหนาชิ้นงานมากกว่าหรือเท่ากับ  $15.7+0.5$  หรือ 16.2 มิลลิเมตร แต่จากข้อมูลขนาดความหนาชิ้นงานจำนวน 100 ชิ้น ที่ได้จากกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนนั้น พบว่าค่าเฉลี่ยของขนาดความหนาชิ้นงานมีค่าเท่ากับ 17.00 มิลลิเมตร ค่า

ต่ำสุดของความหนาชิ้นงานมีค่าเท่ากับ 16.47 มิลลิเมตร ค่าสูงสุดของความหนาชิ้นงานมีค่าเท่ากับ 17.51 มิลลิเมตร ค่าพิสัย (R) มีค่าเท่ากับ 1.04 มิลลิเมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลความหนาชิ้นงาน (SD) มีค่าเท่ากับ 0.25



รูปที่ 35 Control Chart ของความหนาชิ้นงานจากกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อน

จากรูปที่ 35 จะเห็นว่าค่าความหนาของชิ้นงานจากกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าขนาดความหนาที่ต้องการ ดังนั้นผู้วิจัยจึงต้องการหาค่าการปรับตั้งพารามิเตอร์ของกระบวนการอัดขึ้นรูปที่เหมาะสม เพื่อให้ขนาดความหนาของชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนมีความผันแปรลดลงและมีความหนาที่เหมาะสมกับกระบวนการฝนตกแต่งและสามารถลดการสูญเสียผงเคมีได้ ซึ่งทางทีมงานเห็นสรุปร่วมกันว่า ค่าเผื่อขนาดความหนาที่ใช้ในการคำนวณน้ำหนักผงเคมีที่จะใช้สำหรับการทดลองในกระบวนการอัดขึ้นรูปนั้น ให้ลดการเผื่อขนาดความหนาจาก 1.5 มิลลิเมตร เหลือ 0.5 มิลลิเมตร (เผื่อความแปรปรวนของกระบวนการฝนตกแต่ง 0.1 มิลลิเมตร และความผันแปรของกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อน 0.4 มิลลิเมตร) เพื่อให้ได้ขนาดความหนาชิ้นงานมีขนาดความหนาไม่ต่ำกว่า 15.8 มิลลิเมตร ( $15.7 + 0.1$  มิลลิเมตร) โดยให้กำหนดค่ามาตรฐานชิ้นงานที่ต้องการเท่ากับ  $16.2 \pm 0.4$  มิลลิเมตร



รูปที่ 36 เครื่องอัดขึ้นรูปร้อน ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อน

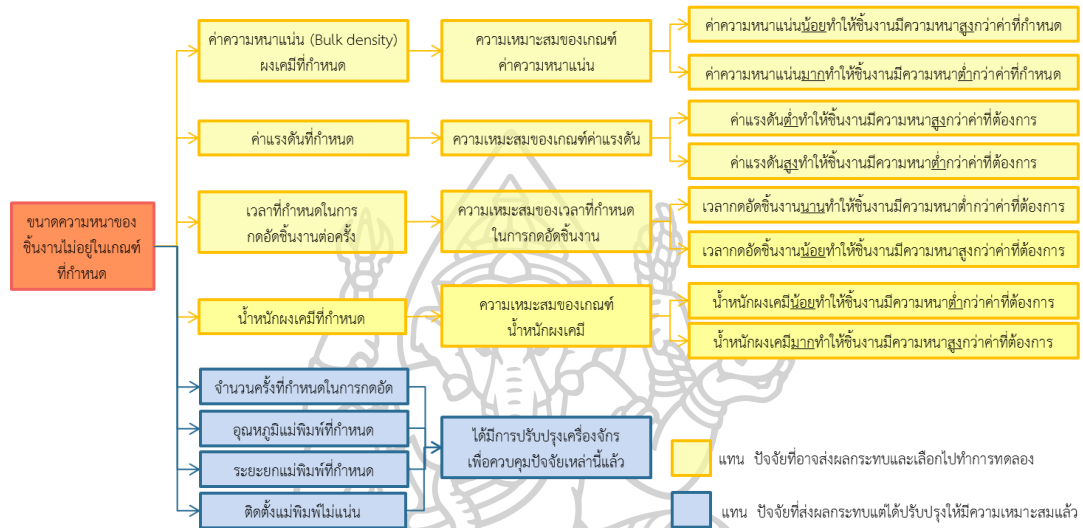
#### 4.4.3 วิเคราะห์ปัญหาความผันแปรของขนาดความหนาของชิ้นงาน

จากการนำความผันแปรของความหนาชิ้นงาน ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนมาวิเคราะห์ปัญหาความผันแปรของขนาดความหนา เพื่อหาปัจจัยที่เป็นต้นเหตุให้เกิดปัญหาโดยเครื่องมือในการวิเคราะห์ปัญหา Why - Why Analysis ซึ่งจากปัญหาดังกล่าวมีปัจจัยที่อาจทำให้ขนาดความหนาของชิ้นงานไม่อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดแบ่งเป็น 2 ประเภทได้แก่ ปัจจัยที่อาจส่งผลกระทบต่อและเลือกไปทำการทดลอง และปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อแต่ได้ปรับปรุงให้มีความเหมาะสมแล้ว

โดยปัจจัยที่อาจส่งผลกระทบต่อและเลือกไปทำการทดลองประกอบด้วย 4 ปัจจัย ได้แก่ ค่าความหนาแน่น (Bulk density) ค่าแรงดันที่กำหนด และเวลาที่กำหนดในการกดอัดชิ้นงานต่อครั้ง สำหรับปัจจัยค่าความหนาแน่น (Bulk density) ผงเคมีที่กำหนด พบว่าความเหมาะสมของเกณฑ์ค่าความหนาแน่นมีผลกระทบต่อความหนาของชิ้นงานซึ่งหากค่าความหนาแน่นน้อยอาจทำให้ชิ้นงานมีความหนาสูงกว่าค่าที่กำหนด และถ้าค่าความหนาแน่นมากอาจทำให้ชิ้นงานมีความหนาดำกว่าค่าที่กำหนด สำหรับปัจจัยค่าแรงดันที่กำหนด พบว่าความเหมาะสมของเกณฑ์ค่าแรงดันมีผลกระทบต่อความหนาของชิ้นงานซึ่งหากค่าแรงดันต่ำอาจทำให้ชิ้นงานมีความหนาสูงกว่าค่าที่ต้องการ และถ้าค่าแรงดันสูงอาจทำให้ชิ้นงานมีความหนาดำกว่าค่าที่ต้องการ สำหรับปัจจัยเวลาที่กำหนดในการกดอัดชิ้นงานต่อครั้ง พบว่าความเหมาะสมของเวลาที่กำหนดในการกดอัดชิ้นงานต่อครั้งมีผลกระทบต่อความหนาของชิ้นงานซึ่งหากเวลากดอัดชิ้นงานต่อครั้งนานอาจทำให้ชิ้นงานมีความหนาดำกว่าค่าที่ต้องการ และถ้าเวลากดอัดชิ้นงานต่อครั้งน้อยอาจทำให้ชิ้นงานมีความหนาสูงกว่าค่าที่ต้องการ น้ำหนักผงเคมีที่กำหนด สำหรับปัจจัยน้ำหนักผงเคมีที่กำหนด พบว่าความเหมาะสมของเกณฑ์น้ำหนักผงเคมีมีผลกระทบต่อความหนาของชิ้นงานซึ่งหากน้ำหนักผงเคมีน้อยทำให้ชิ้นงานมีความหนาดำกว่าค่าที่ต้องการ และถ้าน้ำหนักผงเคมีมากทำให้ชิ้นงานมีความหนาสูงกว่าค่าที่ต้องการ



ส่วนปัจจัยที่ส่งผลกระทบแต่ได้ปรับปรุงให้มีความเหมาะสมแล้วประกอบด้วย 4 ปัจจัย ได้แก่ จำนวนครั้งที่กำหนดในการกดอัด อุณหภูมิแม่พิมพ์ที่กำหนด ระยะยกแม่พิมพ์ที่กำหนด การติดตั้งแม่พิมพ์ไม่แน่น ซึ่งปัจจัยดังกล่าวได้มีการปรับปรุงเครื่องจักรเพื่อควบคุมปัจจัยเหล่านี้เรียบร้อยแล้วจึงถือได้ว่าเป็นปัจจัยที่ไม่มีผลกระทบกับความหนาของชิ้นงานซึ่งการวิเคราะห์ปัญหาแสดงในรูปที่ 37



รูปที่ 37 Why – Why Analysis วิเคราะห์ปัญหาขนาดความหนาของชิ้นงานไม่อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด

#### 4.5 วิเคราะห์ระบบการวัด

เนื่องจากบริษัทกรณีศึกษาได้รับรองระบบคุณภาพ ISO 9001/IATF 16949 จึงได้มีการสอบเทียบเครื่องมือวัดเป็นประจำ จึงอนุมานได้ว่า คุณสมบัติด้านความถูกต้องของเครื่องมือวัดดีแล้ว งานวิจัย นี้จึงทำการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความแม่นยำของระบบการวัดเพียงอย่างเดียว โดยใช้การประเมินค่า Repeatability และ Reproducibility ( Gage R&R ) โดยผู้วิจัยได้ทดสอบระบบการวัดเพื่อวิเคราะห์ความสามารถของการเก็บข้อมูลได้อย่างความถูกต้อง โดยมีรายละเอียดดังนี้

- 1) กำหนดผู้วัดที่ผ่านการฝึกอบรมมาเป็นอย่างดีและมีหน้าที่ในการวัดเพื่อยอมรับหรือปฏิเสธชิ้นงานโดยตรง จำนวน 4 คน
- 2) เครื่องมือที่ใช้ในการวัดเพื่อเก็บข้อมูล จะใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ที่ผ่านการสอบเทียบแล้วอันเดียวกันสำหรับผู้วัดทั้ง 4 คน
- 3) กำหนดจำนวนชิ้นงานที่จะวัดเพื่อศึกษา จำนวน 20 ชิ้น

4) จำนวนการวัดซ้ำสำหรับชิ้นงานแต่ละชิ้น กำหนดให้วัดซ้ำ 3 ตำแหน่งของชิ้นงานและเลือกบันทึกค่าที่ต่ำสุดของชิ้นงานเนื่องจากเป็นค่าที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการฝนตกแต่งมากที่สุด ซึ่งได้ผลดังนี้



พนักงาน A

พนักงาน B

พนักงาน C

พนักงาน D

รูปที่ 38 พนักงานผู้วัดความหนาชิ้นงาน



รูปที่ 39 ตำแหน่งวัดความหนาของชิ้นงาน

ตารางที่ 5 ผลการวัดความหนาชิ้นงานของพนักงาน A B C และ D

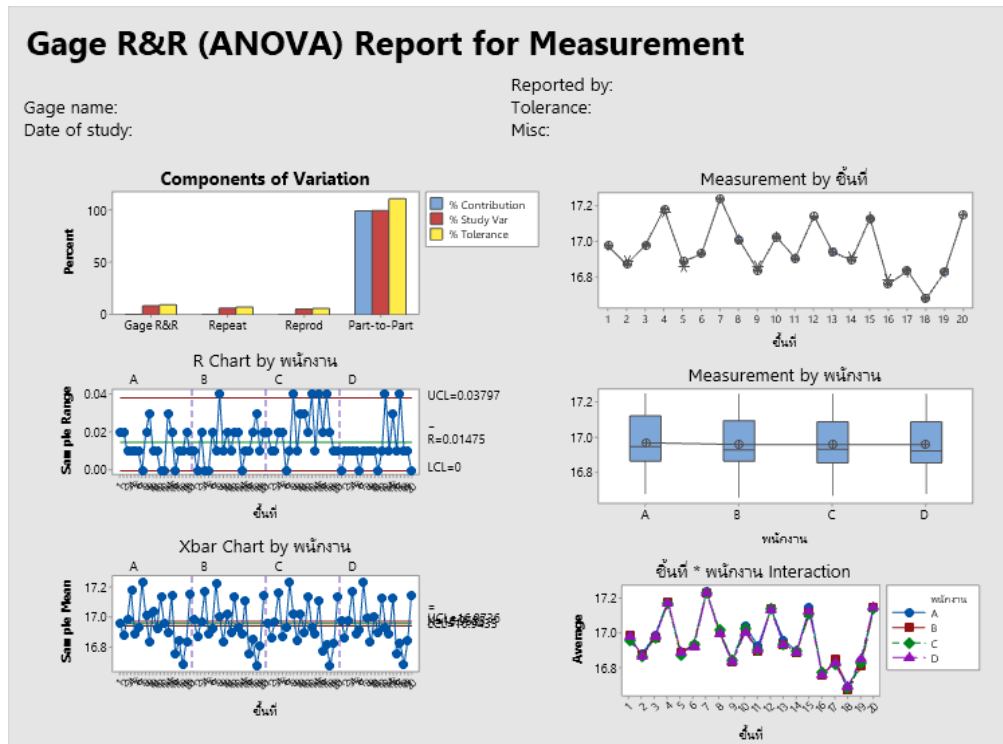
ชิ้นที่	พนักงาน A			พนักงาน B			พนักงาน C			พนักงาน D		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	16.97	16.95	16.97	16.99	16.98	16.99	16.95	16.97	16.96	16.98	16.98	16.98
2	16.87	16.88	16.89	16.87	16.87	16.87	16.87	16.86	16.87	16.86	16.87	16.86
3	16.99	16.99	16.98	16.98	16.96	16.97	16.98	16.97	16.97	16.98	16.99	16.98
4	17.18	17.19	17.18	17.18	17.18	17.18	17.18	17.17	17.16	17.18	17.17	17.18
5	16.89	16.88	16.89	16.89	16.89	16.89	16.88	16.88	16.86	16.89	16.88	16.89
6	16.94	16.94	16.93	16.92	16.92	16.94	16.93	16.93	16.93	16.92	16.92	16.92
7	17.24	17.24	17.24	17.23	17.23	17.24	17.24	17.23	17.24	17.24	17.23	17.24
8	17.00	17.02	17.02	16.99	17.03	16.99	17.02	17.04	17.00	17.00	16.99	16.99

ตารางที่ 5 ผลการวัดความหนาขึ้นงานของพนักงาน A B C และ D (ต่อ)

ชั้นที่	พนักงาน A			พนักงาน B			พนักงาน C			พนักงาน D		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
9	16.86	16.83	16.83	16.90	16.89	16.90	16.85	16.84	16.84	16.84	16.83	16.83
10	17.05	17.04	17.04	17.03	17.01	17.02	17.04	17.03	17.01	17.00	17.01	17.00
11	16.93	16.92	16.92	16.90	16.87	16.90	16.92	16.89	16.89	16.90	16.90	16.90
12	17.14	17.14	17.14	17.13	17.14	17.15	17.15	17.13	17.14	17.13	17.13	17.14
13	16.96	16.96	16.96	16.94	16.93	16.92	16.96	16.92	16.93	16.96	16.92	16.93
14	16.88	16.90	16.91	16.89	16.89	16.89	16.90	16.89	16.89	16.88	16.89	16.89
15	17.14	17.16	17.14	17.11	17.12	17.12	17.10	17.14	17.10	17.11	17.14	17.14
16	16.76	16.76	16.76	16.75	16.76	16.75	16.78	16.76	16.77	16.75	16.76	16.76
17	16.85	16.84	16.84	16.86	16.85	16.84	16.80	16.84	16.82	16.80	16.84	16.83
18	16.69	16.69	16.68	16.69	16.66	16.67	16.69	16.67	16.67	16.69	16.68	16.68
19	16.85	16.83	16.84	16.81	16.81	16.80	16.82	16.83	16.82	16.85	16.85	16.84
20	17.15	17.16	17.15	17.15	17.16	17.14	17.14	17.15	17.14	17.15	17.15	17.15

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการวัดชิ้นงานของพนักงาน A B C และ D

<b>Gage R&amp;R</b>					
<b>Variance Components</b>					
<b>Source</b>	<b>VarComp</b>	<b>95% CI</b>	<b>%Contribution (of VarComp)</b>	<b>95% CI</b>	
Total Gage R&R	0.0001708	(0.000, 0.001)	0.78	(0.36, 2.42)	
Repeatability	0.0000996	(0.000, 0.000)	0.45	(0.21, 0.82)	
Reproducibility	0.0000712	(0.000, 0.000)	0.32	(0.12, 1.88)	
พนักงาน	0.0000217	(0.000, 0.000)	0.10	(0.02, 1.62)	
พนักงาน*ชิ้นที่	0.0000495	(0.000, 0.000)	0.22	(0.08, 0.51)	
Part-To-Part	0.0218322	(0.013, 0.047)	99.22	(97.58, 99.64)	
Total Variation	0.0220030	(0.013, 0.047)	100.00		
Process tolerance = 0.8					
<b>Gage Evaluation</b>					
<b>Source</b>	<b>StdDev (SD)</b>	<b>95% CI</b>	<b>Study Var (6 × SD)</b>	<b>%Study Var (%SV)</b>	
Total Gage R&R	0.013069	(0.012, 0.023)	0.078411	(0.071, 0.135)	
Repeatability	0.009979	(0.009, 0.011)	0.059875	(0.054, 0.067)	
Reproducibility	0.008438	(0.006, 0.020)	0.050629	(0.037, 0.121)	
พนักงาน	0.004661	(0.002, 0.019)	0.027966	(0.012, 0.113)	
พนักงาน*ชิ้นที่	0.007034	(0.005, 0.010)	0.042205	(0.030, 0.057)	
Part-To-Part	0.147757	(0.112, 0.216)	0.886544	(0.674, 1.295)	
Total Variation	0.148334	(0.113, 0.216)	0.890005	(0.679, 1.298)	
<b>Source</b>	<b>95% CI</b>		<b>%Tolerance (SV/Toler)</b>	<b>95% CI</b>	
Total Gage R&R	(5.96, 15.56)		9.80	(8.87, 16.89)	
Repeatability	(4.56, 9.04)		7.48	(6.75, 8.40)	
Reproducibility	(3.51, 13.73)		6.33	(4.66, 15.12)	
พนักงาน	(1.25, 12.72)		3.50	(1.49, 14.14)	
พนักงาน*ชิ้นที่	(2.86, 7.17)		5.28	(3.69, 7.16)	
Part-To-Part	(98.78, 99.82)		110.82	(84.25, 161.90)	
Total Variation			111.25	(84.82, 162.20)	
Number of Distinct Categories = 15					
95% CI = (8.97630, 23.6868)					



รูปที่ 40 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัด (GR&R) จากโปรแกรม Minitab

จากผลการวิเคราะห์ระบบการวัด (GR&R) ด้วยโปรแกรม Minitab ซึ่งจากการพิจารณาค่า Number of Distinct Categories = 15 แสดงว่าระบบการวัดสามารถแยกข้อมูลที่วัดได้ออกเป็น 15 ประเภทที่แตกต่างกัน ดังนั้นข้อมูลความหนาที่ได้สามารถใช้ในการประมาณค่าความผันแปรของระบบการวัดได้

ความผันแปรของตัวอย่างจากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลในการทดลองเมื่อประเมินผลความผันแปรของระบบการวัดเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ พบว่า ถ้าความผันแปรของกระบวนการผลิตที่ประเมินได้จากค่าวัดทั้งหมด (Total Variation) มีค่าเท่ากับ 100 หน่วย จะเป็นความผันแปรจากสาเหตุของกระบวนการผลิตเท่ากับ 99.22 หน่วย และเป็นความผันแปรจากระบบการวัดเท่ากับ 0.78 หน่วย จากค่า “VarComp” แสดงความแปรปรวนของการทดลองแบบสุ่ม ซึ่งจะพบความแปรปรวนจากข้อมูลทั้งหมดมีค่า 0.0220030 หน่วย<sup>2</sup> โดยจะมาจากความแปรปรวนจากกระบวนการผลิต 0.0218322 หน่วย<sup>2</sup> และความแปรปรวนจากระบบการวัด 0.0001708 หน่วย<sup>2</sup>

สรุปจากการทดสอบพบว่า %Precision to total variation = 8.81% และ %Precision to tolerance = 9.80 % ซึ่งถือว่าระบบการวัดผ่านและเป็นที่ยอมรับ (IATF 16949) ระบุค่าที่ยอมรับได้ของ Total G R&R ต้องไม่เกิน 10%

ดังนั้น จากการวิเคราะห์การวัดค่าความหนาของชิ้นงานผลลัพธ์จากโปรแกรม Minitab สามารถสรุปได้ว่าความแม่นยำของระบบการวัดที่ใช้ในการวัดความหนาของชิ้นงานดีสก์เบรกรุ่น A มีความเหมาะสมและอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถใช้งานในระบบการวัดได้ และผู้วิจัยได้เลือกพนักงานจำนวน 1 คน จากผู้ทดสอบทั้งหมด 4 คน มาทำการวัดผลการทดลองต่อไป

#### 4.6 การทดลองแบบ $2^k$ Full Factorial Design

จากการวิเคราะห์ปัญหาความผันแปรของขนาดความหนาของชิ้นงานด้วย Why – Why Analysis พบว่าสาเหตุที่อาจจะส่งผลกระทบต่อปัญหาที่ศึกษามีจำนวน 4 สาเหตุ ได้แก่

- 1) ค่าความหนาแน่น (Bulk Density) ผงเคมีที่กำหนด
- 2) ค่าแรงดันที่กำหนด
- 3) เวลาที่กำหนดในการอัดชิ้นงานต่อครั้ง
- 4) น้ำหนักผงเคมีที่กำหนด

โดยข้อกำหนดปัจจุบันของแต่ละปัจจัยที่เลือกนำมาทดลองมีค่าดังนี้

ตารางที่ 7 ข้อกำหนดปัจจุบันของแต่ละปัจจัย

ปัจจัย	ข้อกำหนด	หน่วย
1) ค่าความหนาแน่น (Bulk Density) ผงเคมีที่กำหนด	0.50	g/cc
2) ค่าแรงดันที่กำหนด	300	kg/cm <sup>2</sup>
3) เวลาที่กำหนดในการอัดชิ้นงานต่อครั้ง	5	วินาที
4) น้ำหนักผงเคมีที่กำหนด	160	กรัม

ดังนั้นจึงเลือกทำการทดลองตรวจสอบดูว่าปัจจัยใดที่ส่งผลกระทบต่อและปัจจัยใดที่ไม่ส่งผลกระทบต่อปัญหาดังกล่าว โดยในการออกแบบการทดลองแบบ  $2^k$  Full Factorial Design สามารถแบ่งระดับปัจจัยเป็น 2 ระดับ คือ ระดับสูง และระดับต่ำ

ตารางที่ 8 การแบ่งระดับปัจจัย

ปัจจัย	สัญลักษณ์	ระดับของปัจจัย		หน่วย
		ระดับต่ำ (-)	ระดับสูง (+)	
1) ค่าความหนาแน่น (Bulk Density) ผงเคมีที่กำหนด	A	0.40	0.60	g/cc
2) ค่าแรงดันที่กำหนด	B	295	305	kg/cm <sup>2</sup>
3) เวลาที่กำหนดในการอัดชิ้นงานต่อครั้ง	C	3	7	วินาที
4) น้ำหนักผงเคมีที่กำหนด	D	155	165	กรัม

## 4.6.1 จำนวนตัวอย่างที่ใช้ทำการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการคำนวณจำนวนตัวอย่างที่ใช้ทำการทดลองจากการคำนวณด้วยโปรแกรม Minitab ซึ่งกำหนดค่าต่างๆ ในการคำนวณดังนี้

1) ระดับนัยสำคัญ ( $\alpha$ ) เท่ากับ 0.05

2) กำหนดค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $\sigma$ ) เท่ากับ 0.25 เนื่องจากเป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความหนาแน่นของชิ้นงานหลังกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนในปัจจุบัน

ตารางที่ 9 ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน

Power and Sample Size					
2-Level Factorial Design					
$\alpha = 0.05$ Assumed standard deviation = 0.25					
Factors: 4 Base Design: 4, 16					
Blocks: none					
Center Points	Effect	Reps	Total Runs	Target Power	Actual Power
0	0.25	3	48	0.90	0.919009
0	0.25	4	64	0.92	0.974932
0	0.25	4	64	0.95	0.974932
0	0.25	5	80	0.98	0.992740
0	0.25	5	80	0.99	0.992740

การทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสมบูรณ์จะต้องทำการทดลองเท่ากับ  $2^4 = 16$  การทดลองและในการวิเคราะห์จำนวนการทำซ้ำ (Replication) ของจำนวนปัจจัยนำเข้า จำนวน 4 ปัจจัยจะใช้ Effect เท่ากับ 0.25 เนื่องจากเป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการผลิตในปัจจุบัน โดยสามารถคำนวณจำนวนการทำซ้ำจากโปรแกรม Minitab ได้จำนวนการทดลองซ้ำไม่ต่ำกว่า 4 ครั้ง ตารางที่ 9 เพื่อให้ระดับความเชื่อมั่นไม่ต่ำกว่า 95% แต่เนื่องจาก 1 โม้การผสมผงเคมีนั้น สามารถทำการทดลองซ้ำในครั้งนี้ได้ถึง 7 ครั้ง ทางผู้เชี่ยวชาญของบริษัทการศึกษา จึงให้ผู้วิจัยทำการทดลองซ้ำ 7 ครั้ง เพื่อเพิ่มระดับความเชื่อมั่น ดังนั้นการทดลองครั้งนี้รวมเป็น 112 การทดลอง โดยจัดลำดับการทดลองแบบสุ่มเพื่อลดความผิดพลาดของการวิเคราะห์ผล

ตารางที่ 10 จำนวนชิ้นงานในการทดลองแบบ  $2^k$  Full Factorial Design

จำนวนชิ้นงานทดลองต่อครั้ง (ชิ้น)	จำนวนการทดลอง (ครั้ง)	จำนวนชิ้นงานในการทดลองทั้งหมด (ชิ้น)
4	112	448

<b>Full Factorial Design</b>			
<b>Factors:</b>	4	<b>Base Design:</b>	4, 16
<b>Runs:</b>	112	<b>Replicates:</b>	7
<b>Blocks:</b>	1	<b>Center pts (total):</b>	0
<b>All terms are free from aliasing.</b>			

รูปที่ 41  $2^k$  Full Factorial Design

#### 4.6.2 การออกแบบและผลการทดลองแบบ $2^k$ Full Factorial Design

ออกแบบการทดลองแบบ  $2^k$  Full Factorial Design เพื่อตรวจสอบดูว่าปัจจัยใดที่ส่งผลกระทบต่อและปัจจัยใดที่ไม่ส่งผลกระทบต่อปัญหาขนาดความหนาของชิ้นงาน โดยจะต้องทำการทดลองให้ครบทุกเงื่อนไข ซึ่งในงานวิจัยนี้พบว่าปัจจัยที่อาจจะส่งผลกระทบต่อ 4 ปัจจัย แต่ละปัจจัยประกอบไปด้วย 2 ระดับ ซึ่งการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสมบูรณ์จะต้องทำการทดลองเท่ากับ  $2^4 = 16$  ทำการทดลองซ้ำ 7 ครั้ง รวมเป็น 112 การทดลอง โดยจัดลำดับการทดลองแบบสุ่มเพื่อลดความผิดพลาดของการวิเคราะห์ผล ซึ่งผลจากการทดลองแสดงดังตารางที่ 11



ตารางที่ 11 บันทึกผลการทดลอง แบบ  $2^k$  Full Factorial Design

StdOrder	RunOrder	Bulk Density (g/cc)	Pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	Time (วินาที)	Weight (กรัม)	ค่าเฉลี่ยความหนาของ ชิ้นงาน (มิลลิเมตร)
1	67	0.4	295	3	155	17.27
2	83	0.6	295	3	155	17.31
3	5	0.4	305	3	155	16.94
4	92	0.6	305	3	155	17.00
5	34	0.4	295	5	155	17.23
6	48	0.6	295	5	155	17.19
7	28	0.4	305	5	155	16.31
8	94	0.6	305	5	155	16.57
9	38	0.4	295	3	165	18.09
10	89	0.6	295	3	165	17.83
11	87	0.4	305	3	165	17.03
12	60	0.6	305	3	165	17.07
13	98	0.4	295	5	165	17.51
14	103	0.6	295	5	165	17.45
15	12	0.4	305	5	165	17.11
16	1	0.6	305	5	165	17.08
17	69	0.4	295	3	155	17.34
18	44	0.6	295	3	155	17.28
19	105	0.4	305	3	155	16.85
20	93	0.6	305	3	155	16.83
21	14	0.4	295	5	155	17.19
22	95	0.6	295	5	155	17.18
23	107	0.4	305	5	155	16.74
24	85	0.6	305	5	155	16.61
25	37	0.4	295	3	165	17.72

ตารางที่ 11 บันทึกผลการทดลอง แบบ  $2^k$  Full Factorial Design (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	Bulk Density (g/cc)	Pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	Time (วินาที)	Weight (กรัม)	ค่าเฉลี่ยความหนาของ ชิ้นงาน (มิลลิเมตร)
26	56	0.6	295	3	165	17.56
27	43	0.4	305	3	165	17.01
28	13	0.6	305	3	165	17.05
29	77	0.4	295	5	165	17.41
30	112	0.6	295	5	165	17.41
31	27	0.4	305	5	165	17.07
32	30	0.6	305	5	165	17.07
33	59	0.4	295	3	155	17.30
34	79	0.6	295	3	155	17.30
35	15	0.4	305	3	155	16.83
36	74	0.6	305	3	155	16.88
37	101	0.4	295	5	155	17.20
38	7	0.6	295	5	155	17.25
39	50	0.4	305	5	155	16.55
40	58	0.6	305	5	155	16.69
41	96	0.4	295	3	165	17.63
42	42	0.6	295	3	165	17.75
43	32	0.4	305	3	165	17.04
44	66	0.6	305	3	165	17.00
45	29	0.4	295	5	165	17.46
46	86	0.6	295	5	165	17.37
47	25	0.4	305	5	165	17.08
48	39	0.6	305	5	165	17.14
49	47	0.4	295	3	155	17.31
50	2	0.6	295	3	155	17.34

ตารางที่ 11 บันทึกผลการทดลอง แบบ  $2^k$  Full Factorial Design (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	Bulk Density (g/cc)	Pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	Time (วินาที)	Weight (กรัม)	ค่าเฉลี่ยความหนาของ ชิ้นงาน (มิลลิเมตร)
51	24	0.4	305	3	155	16.77
52	63	0.6	305	3	155	16.85
53	51	0.4	295	5	155	17.23
54	71	0.6	295	5	155	17.20
55	33	0.4	305	5	155	16.37
56	108	0.6	305	5	155	16.76
57	16	0.4	295	3	165	17.62
58	90	0.6	295	3	165	17.58
59	99	0.4	305	3	165	17.06
60	36	0.6	305	3	165	17.02
61	80	0.4	295	5	165	17.51
62	19	0.6	295	5	165	17.47
63	35	0.4	305	5	165	17.11
64	46	0.6	305	5	165	17.09
65	72	0.4	295	3	155	17.31
66	4	0.6	295	3	155	17.29
67	106	0.4	305	3	155	16.82
68	54	0.6	305	3	155	16.92
69	18	0.4	295	5	155	17.26
70	68	0.6	295	5	155	17.17
71	109	0.4	305	5	155	16.53
72	82	0.6	305	5	155	16.77
73	73	0.4	295	3	165	17.65
74	76	0.6	295	3	165	17.74
75	26	0.4	305	3	165	17.00

ตารางที่ 11 บันทึกผลการทดลอง แบบ  $2^k$  Full Factorial Design (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	Bulk Density (g/cc)	Pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	Time (วินาที)	Weight (กรัม)	ค่าเฉลี่ยความหนาของ ชิ้นงาน (มิลลิเมตร)
76	53	0.6	305	3	165	17.06
77	57	0.4	295	5	165	17.43
78	49	0.6	295	5	165	17.39
79	3	0.4	305	5	165	17.09
80	75	0.6	305	5	165	17.15
81	64	0.4	295	3	155	17.28
82	78	0.6	295	3	155	17.32
83	81	0.4	305	3	155	16.87
84	102	0.6	305	3	155	16.98
85	84	0.4	295	5	155	17.21
86	65	0.6	295	5	155	17.16
87	111	0.4	305	5	155	16.73
88	22	0.6	305	5	155	16.49
89	61	0.4	295	3	165	17.61
90	62	0.6	295	3	165	17.81
91	70	0.4	305	3	165	17.06
92	31	0.6	305	3	165	17.01
93	45	0.4	295	5	165	17.43
94	11	0.6	295	5	165	17.49
95	55	0.4	305	5	165	17.11
96	88	0.6	305	5	165	17.12
97	100	0.4	295	3	155	17.30
98	41	0.6	295	3	155	17.32
99	10	0.4	305	3	155	16.83
100	104	0.6	305	3	155	16.89

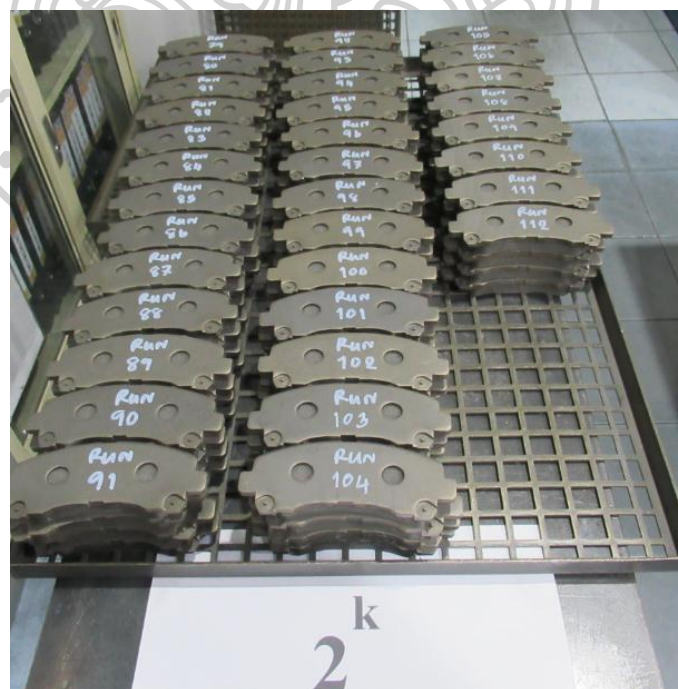
ตารางที่ 11 บันทึกผลการทดลอง แบบ  $2^k$  Full Factorial Design (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	Bulk Density (g/cc)	Pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	Time (วินาที)	Weight (กรัม)	ค่าเฉลี่ยความหนาของ ชิ้นงาน (มิลลิเมตร)
101	8	0.4	295	5	155	17.26
102	17	0.6	295	5	155	17.22
103	91	0.4	305	5	155	16.69
104	23	0.6	305	5	155	16.66
105	9	0.4	295	3	165	17.91
106	52	0.6	295	3	165	17.53
107	21	0.4	305	3	165	17.02
108	97	0.6	305	3	165	17.06
109	20	0.4	295	5	165	17.47
110	6	0.6	295	5	165	17.51
111	40	0.4	305	5	165	17.14
112	110	0.6	305	5	165	17.11

รูปที่ 42 ชิ้นงานจากการทดลอง  $2^k$  Full Factorial Design (Run 1-39)



รูปที่ 43 ชิ้นงานจากการทดลอง  $2^k$  Full Factorial Design (Run 40-78)



รูปที่ 44 ชิ้นงานจากการทดลอง  $2^k$  Full Factorial Design (Run 79-112)

#### 4.6.3 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง

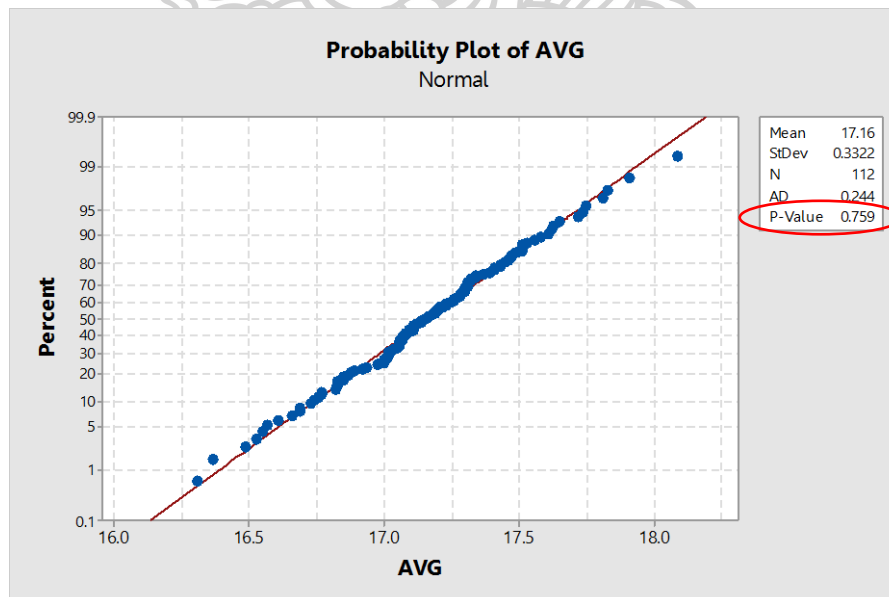
ก่อนจะทำการวิเคราะห์ผลการทดลองต้องทำการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลองจากผลการทดลองในตารางที่ 11 โดยนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Minitab เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง

##### 4.6.3.1 การตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution)

การตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติสามารถตรวจสอบจากการพิจารณาการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง (Residual) ของผลขนาดความหนาของชิ้นงานโดยการทดสอบความเป็นปกติ (Normality Test) จะมีค่า P-Value มากกว่า 0.05

กรณีนี้  $H_0$  : ข้อมูลเป็นการกระจายแบบปกติ  
 $H_1$  : ข้อมูลเป็นการกระจายแบบไม่ปกติ  
 จะปฏิเสธ  $H_0$  เมื่อ P-Value  $\geq 0.05$

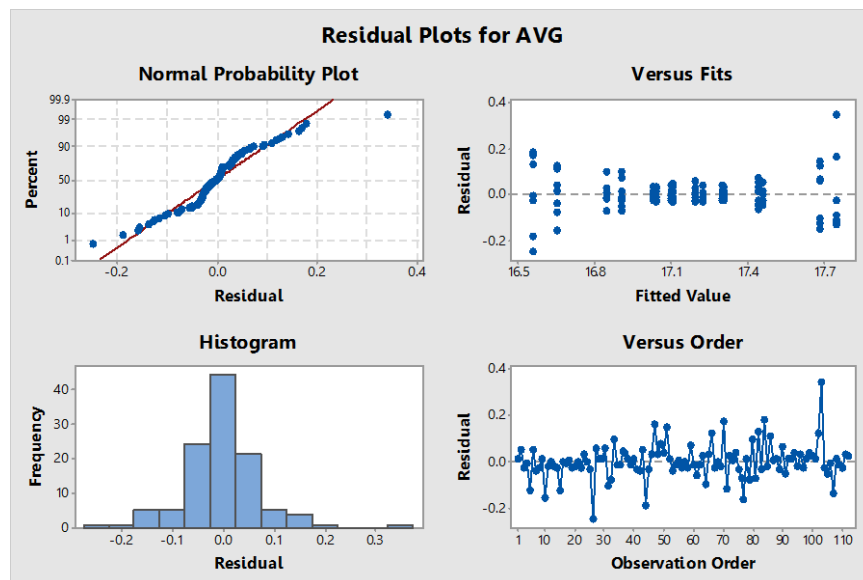
โดยผลการทำ Normality Test ดังรูปที่ 45 ซึ่งจากการทำ Normality Test พบว่า ค่า P-Value เท่ากับ 0.759 ซึ่งมีความมากกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ดังนั้นไม่ปฏิเสธ  $H_0$  สรุปได้ว่า ข้อมูลความหนาที่ได้จากการทดลองมีการกระจายตัวแบบปกติ



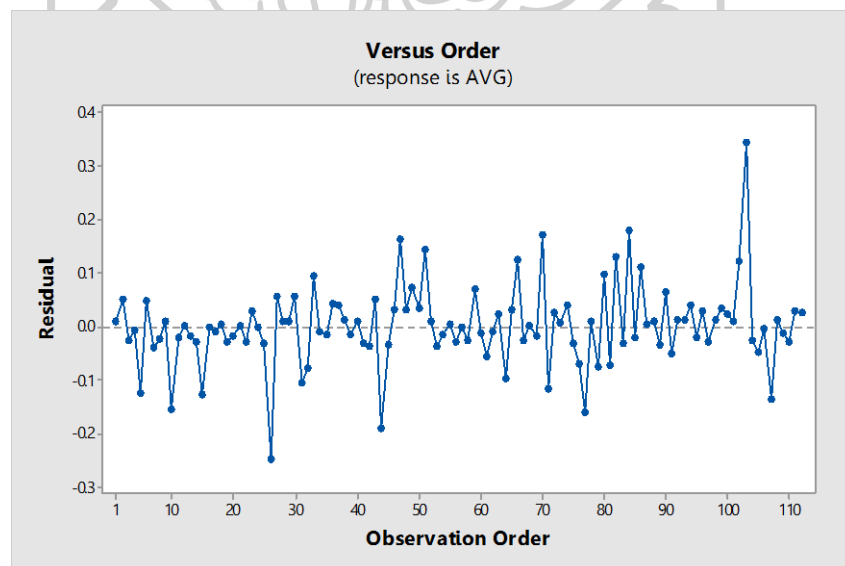
รูปที่ 45 Normality Test สำหรับขนาดความหนาของชิ้นงาน

#### 4.6.3.2 การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ (Independence)

จากนั้นตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) ของค่าส่วนตกค้าง (Residual) โดยพิจารณาจากแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับ ลำดับของการเก็บข้อมูล (Order of the data) โดยควรมีการกระจายตัวที่เป็นอิสระต่อกันไม่ควรมี ลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้มหรือมีรูปแบบของข้อมูลที่แน่นอน



รูปที่ 46 Residual Plots



รูปที่ 47 การกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง (Residual) เทียบกับ Observation Order

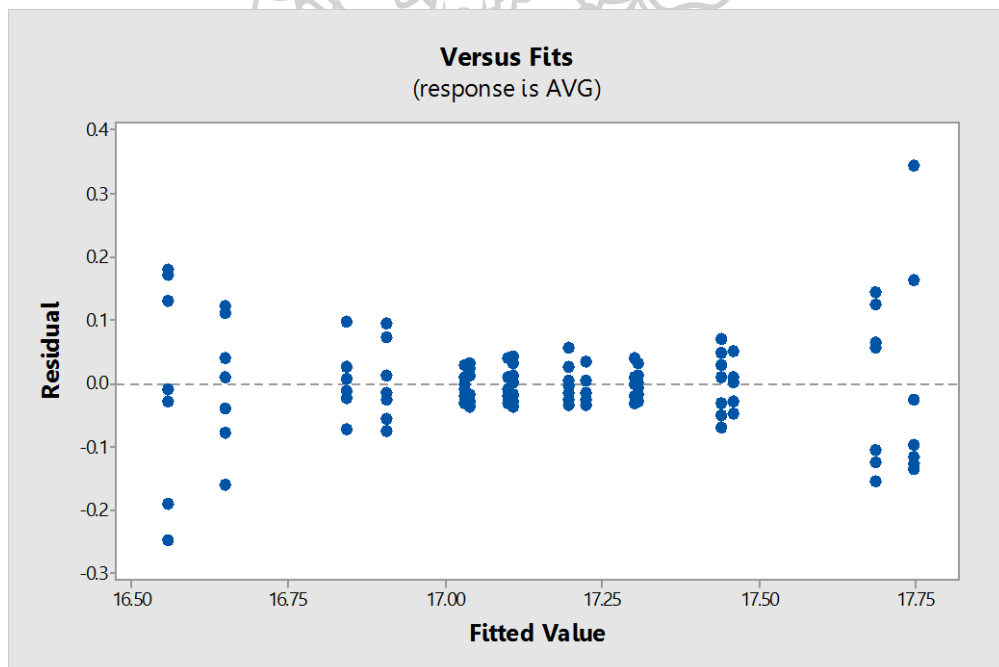


จากแผนภูมิการกระจาย (Scatter Plot) ดังรูปที่ 47 พบว่า ค่าของส่วนตกค้างมีรูปแบบการกระจายตัวที่เป็นอิสระต่อกัน และการกระจายตัวไม่มีรูปแบบที่แน่นอน ไม่สามารถประมาณรูปแบบของข้อมูลที่แน่นอนได้ จึงสามารถสรุปได้ว่า ค่าส่วนตกค้าง (Residual) เป็นอิสระต่อกัน (Independent)

#### 4.6.3.3 การตรวจสอบความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability)

ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) สามารถตรวจสอบได้โดย การสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกฟิตของข้อมูลผลการวัดขนาดความหนา (Fitted Value) ซึ่งแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม แต่ควรที่จะมีการกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบที่แน่นอน

จากรูปที่ 48 จะเห็นได้ว่าการกระจายตัวค่าส่วนตกค้าง พบว่าข้อมูลไม่มีลักษณะที่มีรูปแบบเป็นแนวโน้ม จึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเสถียร

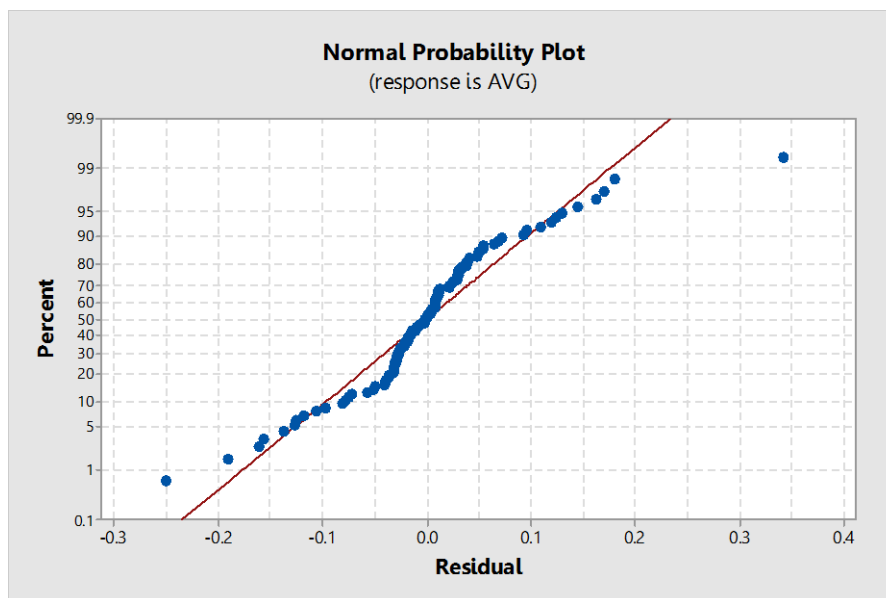


รูปที่ 48 การกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง (Residual) เทียบกับ Fits Value

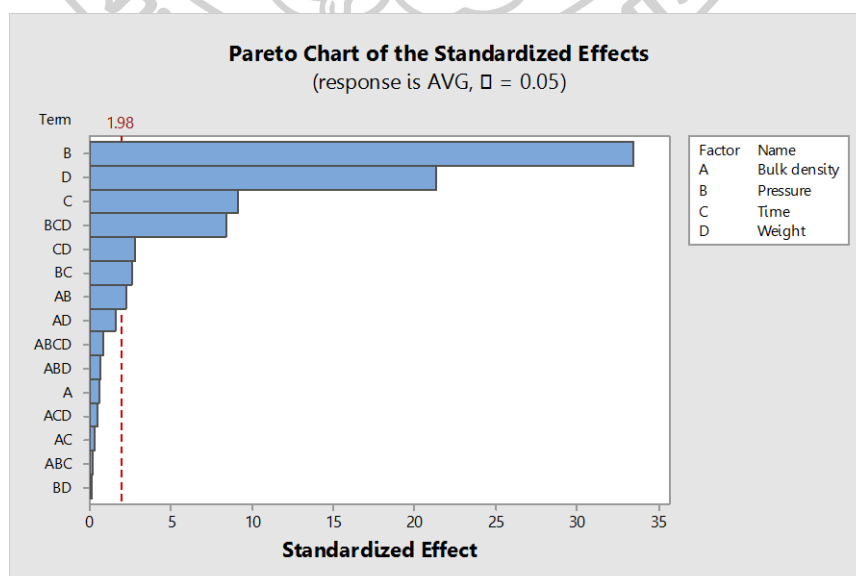
จากผลการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง สรุปได้ว่าข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองเป็นไปตามสมมติฐานที่กำหนดทั้ง 3 ประการ คือมีการกระจายตัวแบบปกติ มีความเป็นอิสระต่อกัน และมีความเสถียรของข้อมูล จึงเป็นไปตามเงื่อนไข  $e_{ij} \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$  ทุกประการ จึงสามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปทำการวิเคราะห์ผลการทดลองได้

#### 4.6.4 การวิเคราะห์ผลจากการทดลองแบบ $2^k$ Full Factorial Design

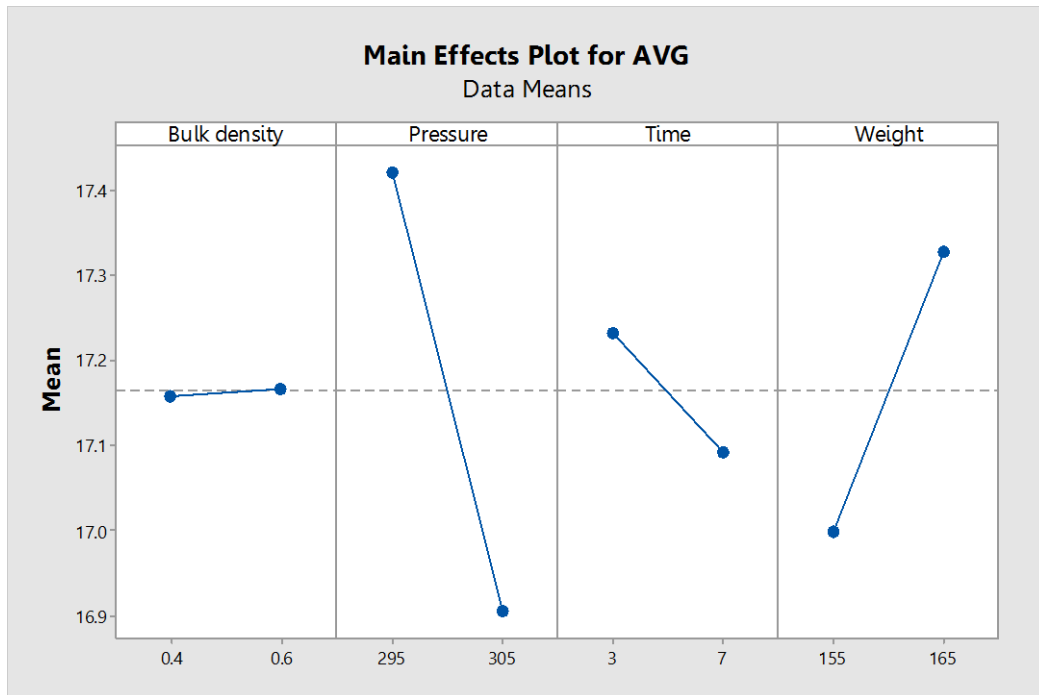
หลังทำการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลองเรียบร้อยแล้วจากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ผลของการออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab สามารถแสดงผลของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่นัยสำคัญออกมาในรูปแบบของ Normal Probability Plot ดังรูปที่ 49 และกราฟพาเรโต้ ดังรูปที่ 50 รวมถึงแสดงผลของการออกแบบการทดลองของผลหลักของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง ดังรูปที่ 51 และผลของอันตรกิริยาของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง ดังรูปที่ 52



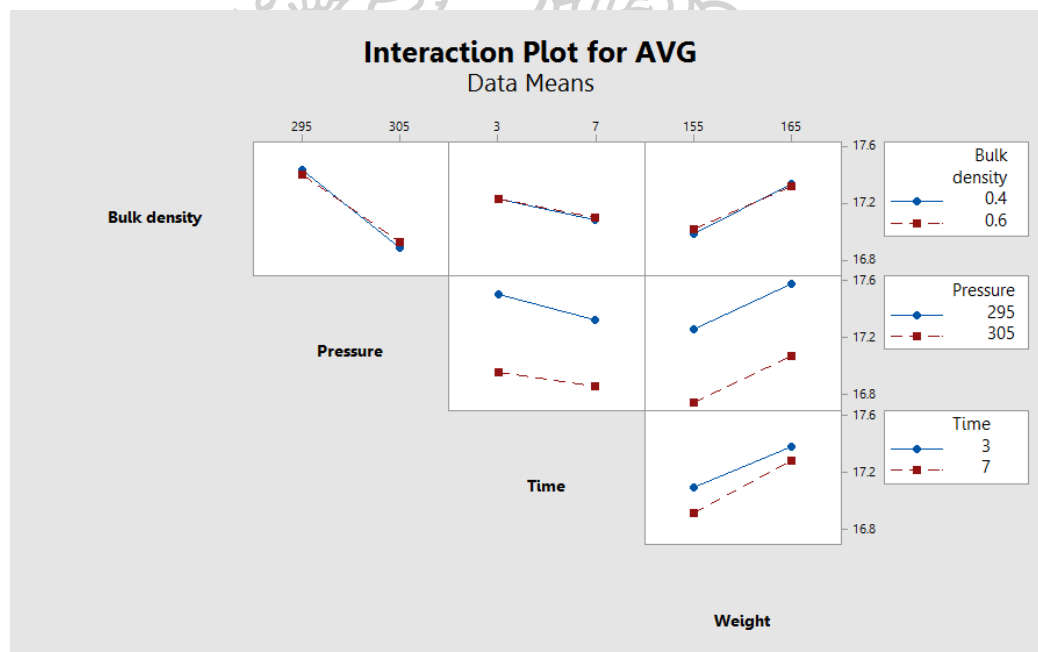
รูปที่ 49 กราฟ Normal Plot ของค่าเฉลี่ยขนาดความหนาของชิ้นงาน



รูปที่ 50 กราฟพาเรโต้แสดงปัจจัยหลักที่มีผลกับค่าเฉลี่ยขนาดความหนาของชิ้นงาน



รูปที่ 51 ผลหลักของปัจจัยที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยขนาดความหนาของชิ้นงาน



รูปที่ 52 อันตรกิริยาของปัจจัยที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยขนาดความหนาของชิ้นงาน

ตารางที่ 12 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง

Factorial Regression: AVG versus Bulk Density, Pressure, Time, Weight						
Analysis of Variance						
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	
Model	15	11.6124	0.77416	116.75	0.000	
Linear	4	11.0002	2.75005	414.73	0.000	
Bulk Density	1	0.0018	0.00181	0.27	0.603	
Pressure	1	7.4418	7.44176	1122.28	0.000	
Time	1	0.5502	0.55020	82.97	0.000	
Weight	1	3.0065	3.00645	453.40	0.000	
2-Way Interactions	6	0.1438	0.02396	3.61	0.003	
Bulk Density*Pressure	1	0.0319	0.03189	4.81	0.031	
Bulk Density*Time	1	0.0005	0.00047	0.07	0.790	
Bulk Density*Weight	1	0.0168	0.01676	2.53	0.115	
Pressure*Time	1	0.0444	0.04440	6.70	0.011	
Pressure*Weight	1	0.0001	0.00011	0.02	0.899	
Time*Weight	1	0.0502	0.05015	7.56	0.007	
3-Way Interactions	4	0.4633	0.11583	17.47	0.000	
Bulk Density*Pressure*Time	1	0.0002	0.00020	0.03	0.862	
Bulk Density*Pressure*Weight	1	0.0029	0.00290	0.44	0.510	
Bulk Density*Time*Weight	1	0.0012	0.00122	0.18	0.669	
Pressure*Time*Weight	1	0.4590	0.45901	69.22	0.000	
4-Way Interactions	1	0.0050	0.00502	0.76	0.386	
Bulk Density*Pressure*Time*Weight	1	0.0050	0.00502	0.76	0.386	
Error	96	0.6366	0.00663			
Total	111	12.2489				
Model Summary						
	S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)		
	0.0814307	94.80%	93.99%	92.93%		
Coded Coefficients						
Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		17.1629	0.0077	2230.55	0.000	
Bulk Density	0.00804	0.00402	0.00769	0.52	0.603	1.00
Pressure	-0.51554	-0.25777	0.00769	-33.50	0.000	1.00
Time	-0.14018	-0.07009	0.00769	-9.11	0.000	1.00
Weight	0.32768	0.16384	0.00769	21.29	0.000	1.00
Bulk Density*Pressure	0.03375	0.01688	0.00769	2.19	0.031	1.00
Bulk Density*Time	0.00411	0.00205	0.00769	0.27	0.790	1.00
Bulk Density*Weight	-0.02446	-0.01223	0.00769	-1.59	0.115	1.00
Pressure*Time	0.03982	0.01991	0.00769	2.59	0.011	1.00
Pressure*Weight	0.00196	0.00098	0.00769	0.13	0.899	1.00
Time*Weight	0.04232	0.02116	0.00769	2.75	0.007	1.00
Bulk Density*Pressure*Time	0.00268	0.00134	0.00769	0.17	0.862	1.00
Bulk Density*Pressure*Weight	-0.01018	-0.00509	0.00769	-0.66	0.510	1.00
Bulk Density*Time*Weight	0.00661	0.00330	0.00769	0.43	0.669	1.00
Pressure*Time*Weight	0.12804	0.06402	0.00769	8.32	0.000	1.00
Bulk Density*Pressure*Time*Weight	-0.01339	-0.00670	0.00769	-0.87	0.386	1.00
Regression Equation in Uncoded Unit						

จากการวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองเบื้องต้นจากโปรแกรม Minitab เพื่อพิจารณาปัจจัยนำเข้าที่มีผลกับค่าเฉลี่ยขนาดความหนาของชิ้นงาน ที่แสดงในตารางที่ 4.9 พบว่า ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 มีปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองซึ่งคือปัจจัยที่มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 โดยพิจารณาที่ค่า P-Value น้อยมากๆ จนมีค่าเท่ากับ 0 ให้เป็นปัจจัยหลัก (Main Effect) จำนวน 3 ปัจจัย ได้แก่ ค่าแรงดันที่กำหนด (Pressure) เวลาที่กำหนดในการอัดชิ้นงานต่อครั้ง (Time) และ น้ำหนักเคมีที่กำหนด (Weight) ตามลำดับ

#### 4.7 ออกแบบการทดลองแบบ $3^k$ Full Factorial Design

หลังจากทำการทดลองเพื่อให้ทราบว่าปัจจัยใดมีผลกับขนาดความหนาของชิ้นงานซึ่งจากการทดลองพบว่า ค่าแรงดันที่กำหนด (Pressure) เวลาที่กำหนดในการอัดชิ้นงาน (Time) และน้ำหนักเคมีที่กำหนด (Weight) เป็นปัจจัยที่มีผลกับขนาดความหนาของชิ้นงาน และในขั้นตอนต่อไปจะเป็นการนำปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญมาหาระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยเพื่อกำหนดเป็นค่าที่เหมาะสมกับการทำงานในปัจจุบัน ด้วยการทดลองแบบ  $3^k$  Full Factorial Design เพื่อให้ได้ขนาดความหนาชิ้นงานมีขนาดความหนาไม่ต่ำกว่า 15.8 มิลลิเมตร ( $15.7 + 0.1$  มิลลิเมตร) โดยจะกำหนดค่ามาตรฐานของชิ้นงานที่ต้องการเท่ากับ  $16.2 \pm 0.4$  มิลลิเมตร

ตารางที่ 13 ปัจจัยนำเข้าและการแบ่งระดับปัจจัย

ปัจจัย	สัญลักษณ์	ระดับของปัจจัย			หน่วย
		ระดับต่ำ (-)	จุดกึ่งกลาง (0)	ระดับสูง (+)	
1) ค่าแรงดันที่กำหนด	A	295	300	305	kg/cm <sup>2</sup>
2) เวลาที่กำหนดในการอัดชิ้นงานต่อครั้ง	B	3	5	7	วินาที
3) น้ำหนักเคมีที่กำหนด	C	140	146	152	กรัม

เนื่องจากทั้ง 3 ปัจจัยที่ส่งผลกับขนาดความหนาของชิ้นงานซึ่งแต่ละปัจจัยประกอบไปด้วย 3 ระดับ ซึ่งการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสมบูรณ์จะต้องทำการทดลองเท่ากับ  $3^3 = 27$  ทำการทดลองซ้ำ 7 ครั้ง รวมเป็น 189 การทดลอง โดยจัดลำดับการทดลองแบบสุ่มเพื่อลดความผิดพลาดของการวิเคราะห์ผล ซึ่งจำนวนชิ้นงานในการทดลองแสดงดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 จำนวนชิ้นงานในการทดลองแบบ  $3^k$  Full Factorial Design

จำนวนชิ้นงานทดลองต่อครั้ง (ชิ้น)	จำนวนการทดลอง (ครั้ง)	จำนวนชิ้นงานในการทดลองทั้งหมด (ชิ้น)
4	189	756

### Multilevel Factorial Design

Factors: 3      Replicates: 7  
 Base runs: 27      Total runs: 189  
 Base blocks: 1      Total blocks: 1  
 Number of levels: 3, 3, 3

รูปที่ 53  $3^k$  Full Factorial Design

#### 4.7.1 การออกแบบและผลการทดลองแบบ $3^k$ Full Factorial Design

ออกแบบการทดลองแบบ  $3^k$  Full Factorial Design เพื่อหาระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยเพื่อกำหนดเป็นค่าที่เหมาะสมกับการทำงานในปัจจุบัน โดยจัดลำดับการทดลองแบบสุ่มเพื่อลดความผิดพลาดของการวิเคราะห์ผล ซึ่งผลจากการทดลองแสดงดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 บันทึกผลการทดลอง แบบ  $3^k$  Full Factorial Design

StdOrder	RunOrder	Pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	Time (วินาที)	Weight (กรัม)	ค่าเฉลี่ยความหนาของ ชิ้นงาน (มิลลิเมตร)
1	131	295	3	140	16.10
2	99	295	3	146	16.25
3	35	295	3	152	16.77
4	79	295	5	140	16.08
5	159	295	5	146	16.22
6	105	295	5	152	16.56
7	96	295	7	140	16.05
8	115	295	7	146	16.20

ตารางที่ 15 บันทึกผลการทดลอง แบบ  $3^k$  Full Factorial Design (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	Pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	Time (วินาที)	Weight (กรัม)	ค่าเฉลี่ยความหนาของ ชิ้นงาน (มิลลิเมตร)
9	29	295	7	152	16.46
10	113	300	3	140	16.03
11	40	300	3	146	16.19
12	88	300	3	152	16.42
13	31	300	5	140	16.02
14	73	300	5	146	16.17
15	5	300	5	152	16.40
16	127	300	7	140	15.98
17	71	300	7	146	16.15
18	154	300	7	152	16.35
19	74	305	3	140	15.88
20	147	305	3	146	16.14
21	104	305	3	152	16.32
22	26	305	5	140	15.84
23	64	305	5	146	16.13
24	133	305	5	152	16.29
25	23	305	7	140	15.78
26	123	305	7	146	16.10
27	109	305	7	152	16.28
28	103	295	3	140	16.10
29	38	295	3	146	16.24
30	84	295	3	152	16.71
31	173	295	5	140	16.07
32	107	295	5	146	16.22
33	25	295	5	152	16.49

ตารางที่ 15 บันทึกผลการทดลอง แบบ  $3^k$  Full Factorial Design (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	Pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	Time (วินาที)	Weight (กรัม)	ค่าเฉลี่ยความหนาของ ชิ้นงาน (มิลลิเมตร)
34	4	295	7	140	16.05
35	44	295	7	146	16.21
36	12	295	7	152	16.47
37	97	300	3	140	16.02
38	111	300	3	146	16.19
39	184	300	3	152	16.42
40	14	300	5	140	16.01
41	132	300	5	146	16.17
42	121	300	5	152	16.36
43	148	300	7	140	15.98
44	101	300	7	146	16.15
45	135	300	7	152	16.35
46	2	305	3	140	15.96
47	60	305	3	146	16.14
48	165	305	3	152	16.30
49	48	305	5	140	15.86
50	174	305	5	146	16.13
51	179	305	5	152	16.28
52	169	305	7	140	15.75
53	145	305	7	146	16.11
54	62	305	7	152	16.26
55	163	295	3	140	16.09
56	157	295	3	146	16.24
57	75	295	3	152	16.57
58	166	295	5	140	16.07



ตารางที่ 15 บันทึกผลการทดลอง แบบ  $3^k$  Full Factorial Design (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	Pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	Time (วินาที)	Weight (กรัม)	ค่าเฉลี่ยความหนาของ ชิ้นงาน (มิลลิเมตร)
59	58	295	5	146	16.21
60	50	295	5	152	16.51
61	139	295	7	140	16.05
62	164	295	7	146	16.21
63	56	295	7	152	16.43
64	33	300	3	140	16.02
65	51	300	3	146	16.19
66	19	300	3	152	16.40
67	9	300	5	140	16.01
68	175	300	5	146	16.18
69	7	300	5	152	16.35
70	28	300	7	140	15.98
71	59	300	7	146	16.15
72	42	300	7	152	16.33
73	22	305	3	140	15.89
74	94	305	3	146	16.14
75	162	305	3	152	16.32
76	81	305	5	140	15.85
77	13	305	5	146	16.12
78	57	305	5	152	16.28
79	46	305	7	140	15.83
80	54	305	7	146	16.11
81	186	305	7	152	16.26
82	76	295	3	140	16.09
83	65	295	3	146	16.25

ตารางที่ 15 บันทึกผลการทดลอง แบบ  $3^k$  Full Factorial Design (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	Pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	Time (วินาที)	Weight (กรัม)	ค่าเฉลี่ยความหนาของ ชิ้นงาน (มิลลิเมตร)
84	80	295	3	152	16.75
85	37	295	5	140	16.07
86	34	295	5	146	16.22
87	156	295	5	152	16.47
88	72	295	7	140	16.04
89	125	295	7	146	16.20
90	11	295	7	152	16.46
91	1	300	3	140	16.02
92	161	300	3	146	16.19
93	16	300	3	152	16.40
94	146	300	5	140	16.02
95	6	300	5	146	16.16
96	128	300	5	152	16.37
97	160	300	7	140	15.96
98	122	300	7	146	16.15
99	108	300	7	152	16.34
100	181	305	3	140	15.92
101	70	305	3	146	16.14
102	53	305	3	152	16.30
103	36	305	5	140	15.87
104	189	305	5	146	16.13
105	45	305	5	152	16.28
106	130	305	7	140	15.75
107	138	305	7	146	16.11
108	92	305	7	152	16.28

ตารางที่ 15 บันทึกผลการทดลอง แบบ  $3^k$  Full Factorial Design (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	Pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	Time (วินาที)	Weight (กรัม)	ค่าเฉลี่ยความหนาของ ชิ้นงาน (มิลลิเมตร)
109	32	295	3	140	16.08
110	124	295	3	146	16.24
111	167	295	3	152	16.60
112	61	295	5	140	16.08
113	142	295	5	146	16.22
114	187	295	5	152	16.52
115	10	295	7	140	16.05
116	8	295	7	146	16.20
117	188	295	7	152	16.43
118	78	300	3	140	16.04
119	83	300	3	146	16.19
120	87	300	3	152	16.41
121	158	300	5	140	16.00
122	30	300	5	146	16.18
123	120	300	5	152	16.39
124	106	300	7	140	15.99
125	41	300	7	146	16.15
126	63	300	7	152	16.32
127	134	305	3	140	15.90
128	118	305	3	146	16.14
129	67	305	3	152	16.31
130	98	305	5	140	15.84
131	149	305	5	146	16.11
132	172	305	5	152	16.28
133	82	305	7	140	15.78

ตารางที่ 15 บันทึกผลการทดลอง แบบ  $3^k$  Full Factorial Design (ต่อ)

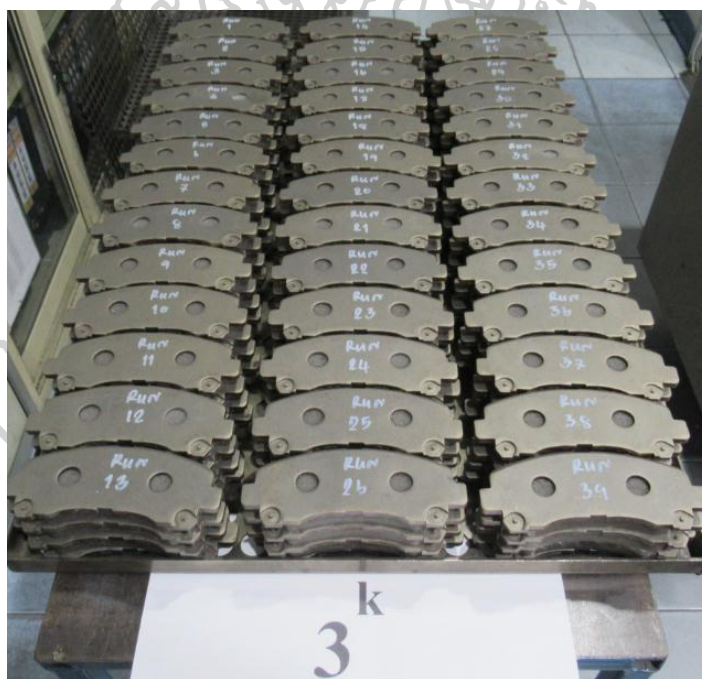
StdOrder	RunOrder	Pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	Time (วินาที)	Weight (กรัม)	ค่าเฉลี่ยความหนาของ ชิ้นงาน (มิลลิเมตร)
134	91	305	7	146	16.10
135	153	305	7	152	16.25
136	90	295	3	140	16.09
137	126	295	3	146	16.22
138	69	295	3	152	16.67
139	86	295	5	140	16.06
140	100	295	5	146	16.21
141	171	295	5	152	16.49
142	112	295	7	140	16.06
143	15	295	7	146	16.20
144	168	295	7	152	16.42
145	117	300	3	140	16.03
146	55	300	3	146	16.19
147	176	300	3	152	16.42
148	183	300	5	140	15.99
149	182	300	5	146	16.16
150	119	300	5	152	16.39
151	143	300	7	140	15.96
152	144	300	7	146	16.15
153	47	300	7	152	16.32
154	93	305	3	140	15.95
155	39	305	3	146	16.14
156	141	305	3	152	16.31
157	140	305	5	140	15.87
158	49	305	5	146	16.12

ตารางที่ 15 บันทึกผลการทดลอง แบบ 3<sup>k</sup> Full Factorial Design (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	Pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	Time (วินาที)	Weight (กรัม)	ค่าเฉลี่ยความหนาของ ชิ้นงาน (มิลลิเมตร)
159	178	305	5	152	16.28
160	170	305	7	140	15.73
161	151	305	7	146	16.10
162	21	305	7	152	16.25
163	116	295	3	140	16.08
164	3	295	3	146	16.23
165	85	295	3	152	16.60
166	110	295	5	140	16.07
167	114	295	5	146	16.21
168	136	295	5	152	16.47
169	102	295	7	140	16.05
170	43	295	7	146	16.19
171	180	295	7	152	16.44
172	18	300	3	140	16.03
173	24	300	3	146	16.19
174	27	300	3	152	16.42
175	155	300	5	140	15.99
176	52	300	5	146	16.17
177	66	300	5	152	16.36
178	20	300	7	140	15.99
179	177	300	7	146	16.15
180	77	300	7	152	16.32
181	129	305	3	140	15.95
182	152	305	3	146	16.14
183	137	305	3	152	16.32

ตารางที่ 15 บันทึกผลการทดลอง แบบ  $3^k$  Full Factorial Design (ต่อ)

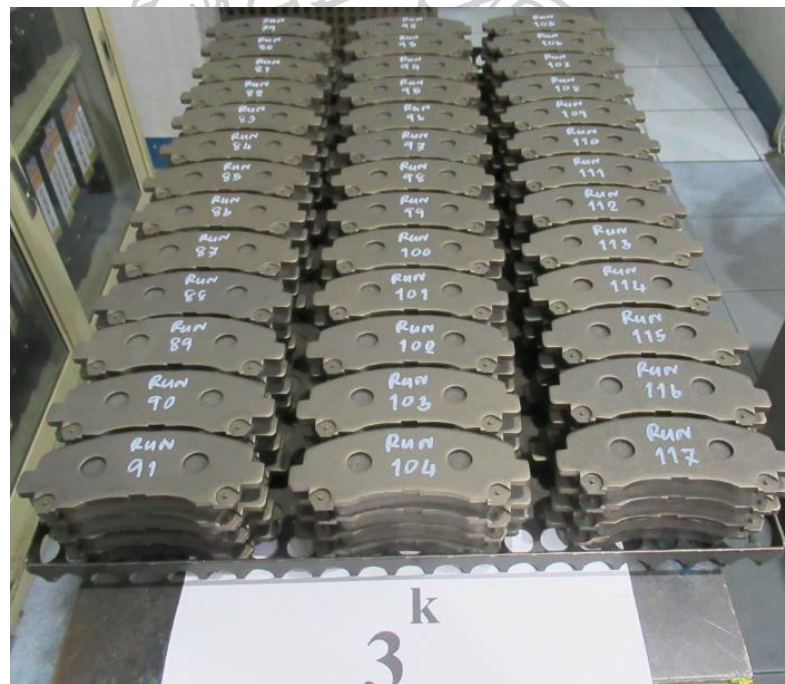
StdOrder	RunOrder	Pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	Time (วินาที)	Weight (กรัม)	ค่าเฉลี่ยความหนาของ ชิ้นงาน (มิลลิเมตร)
184	17	305	5	140	15.85
185	95	305	5	146	16.11
186	89	305	5	152	16.29
187	185	305	7	140	15.83
188	150	305	7	146	16.10
189	68	305	7	152	16.27



รูปที่ 54 ชิ้นงานจากการทดลอง  $3^k$  Full Factorial Design (Run 1-39)



รูปที่ 55 ชิ้นงานจากการทดลอง  $3^k$  Full Factorial Design (Run 40-78)



รูปที่ 56 ชิ้นงานจากการทดลอง  $3^k$  Full Factorial Design (Run 79-117)



รูปที่ 57 ชิ้นงานจากการทดลอง  $3^k$  Full Factorial Design (Run 118-156)



รูปที่ 58 ชิ้นงานจากการทดลอง  $3^k$  Full Factorial Design (Run 157-189)



#### 4.7.2 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง

##### 4.7.2.1 การตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution)

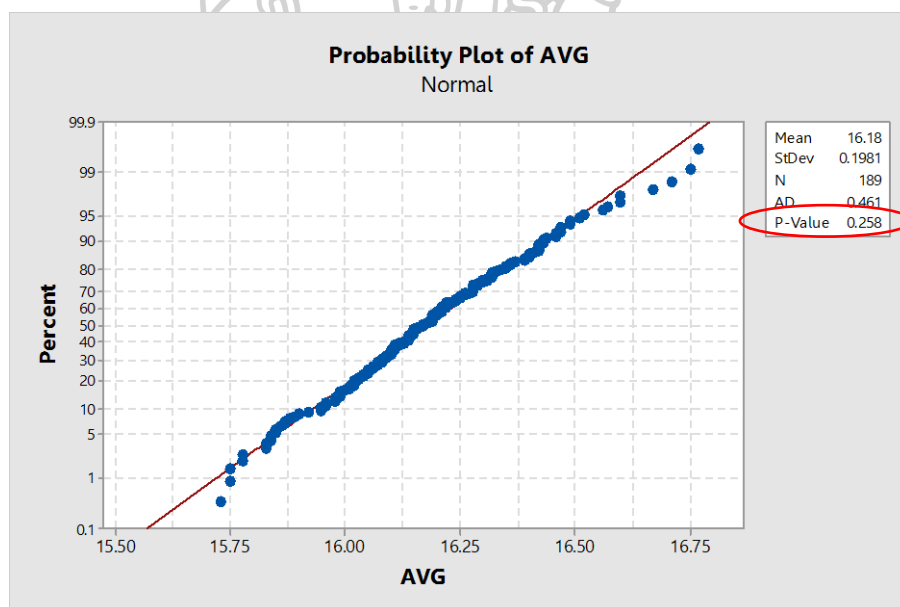
การตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติสามารถตรวจสอบจากการพิจารณาการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง (Residual) ของผลขนาดความหนาของชิ้นงานโดยการทดสอบความเป็นปกติ (Normality Test) จะมีค่า P-Value มากกว่า 0.05

กรณีนี้  $H_0$  : ข้อมูลเป็นการกระจายแบบปกติ

$H_1$  : ข้อมูลเป็นการกระจายแบบไม่ปกติ

จะปฏิเสธ  $H_0$  เมื่อ P-Value  $\geq 0.05$

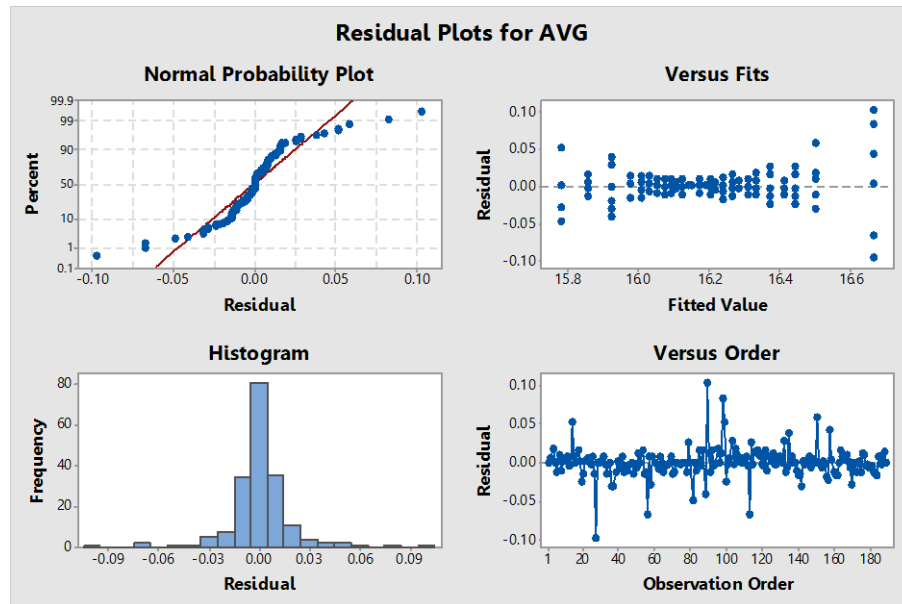
โดยผลการทำ Normality Test ดังรูปที่ 59 ซึ่งจากการทำ Normality Test พบว่า ค่า P-Value เท่ากับ 0.258 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ดังนั้นไม่ปฏิเสธ  $H_0$  สรุปได้ว่า ข้อมูลความหนาที่ได้จากการทดลองมีการกระจายตัวแบบปกติ



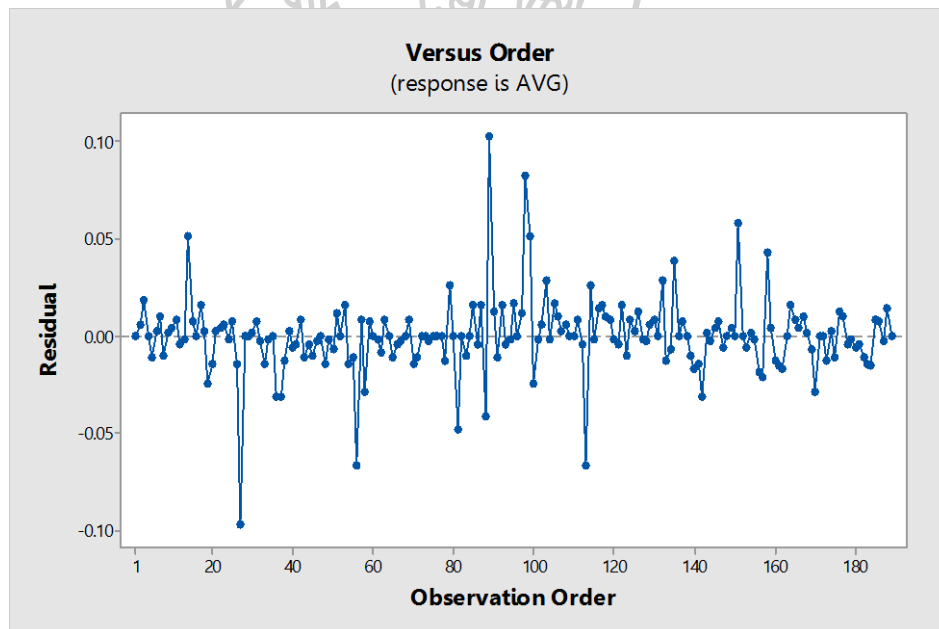
รูปที่ 59 Normality Test สำหรับขนาดความหนาของชิ้นงาน

##### 4.7.2.2 การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ (Independence)

จากนั้นตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) ของค่าส่วนตกค้าง (Residual) โดยพิจารณาจากแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับ ลำดับของการเก็บข้อมูล (Order of the data) โดยควรมีการกระจายตัวที่เป็นอิสระต่อกันไม่ควรจะมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้มหรือมีรูปแบบของข้อมูลที่แน่นอน



รูปที่ 60 Residual Plots



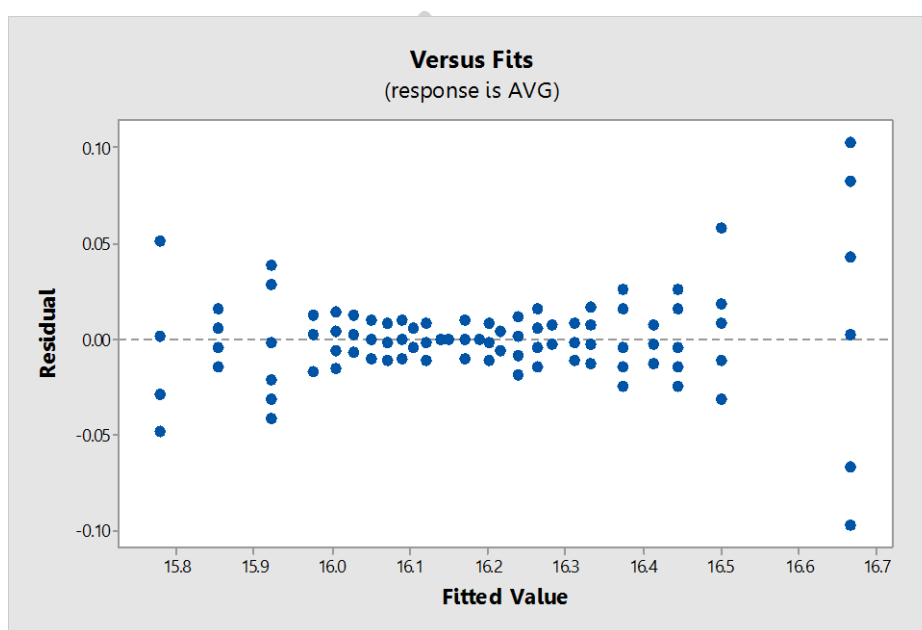
รูปที่ 61 การกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง (Residual) เทียบกับ Observation Order

จากแผนภูมิการกระจาย (Scatter Plot) ดังรูปที่ 61 พบว่า ค่าของส่วนตกค้างมีรูปแบบการกระจายตัวที่เป็นอิสระต่อกัน และการกระจายตัวไม่มีรูปแบบที่แน่นอน ไม่สามารถประมาณรูปแบบของข้อมูลที่แน่นอนได้ จึงสามารถสรุปได้ว่า ค่าส่วนตกค้าง (Residual) เป็นอิสระต่อกัน (Independent)

#### 4.7.2.3 การตรวจสอบความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability)

ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) สามารถตรวจสอบได้โดย การสร้างแผนภาพการกระจาย ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกฟิตของข้อมูลผลการวัดขนาดความหนา(Fitted Value) ซึ่งแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม แต่ควรที่จะมีการกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบที่แน่นอน

จากรูปที่ 62 จะเห็นได้ว่าการกระจายตัวค่าส่วนตกค้าง พบว่าข้อมูลไม่มีลักษณะที่มีรูปแบบเป็นแนวโน้ม จึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเสถียร



รูปที่ 62 การกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง (Residual) เทียบกับ Fits Value

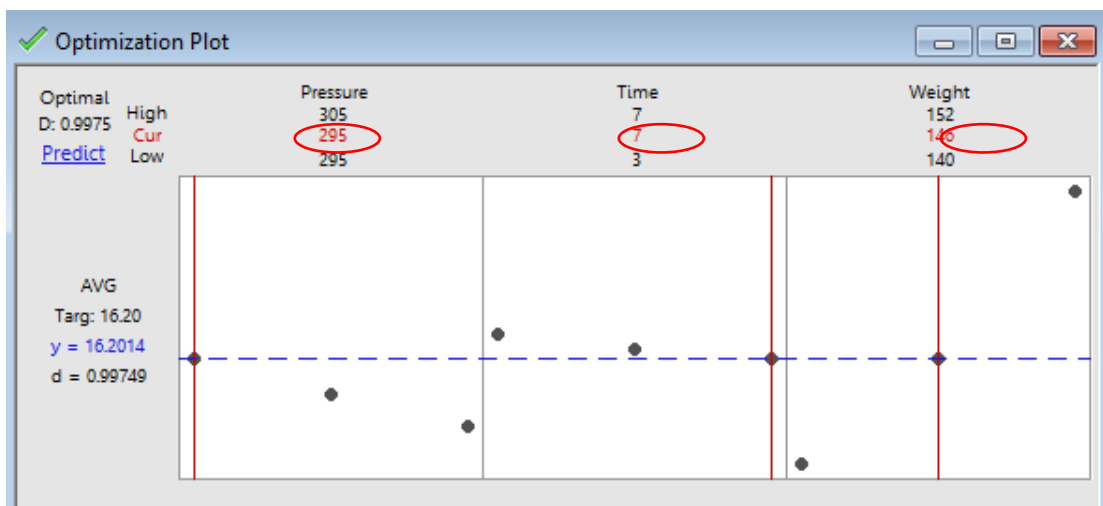
จากผลการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง สรุปได้ว่าข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองเป็นไปตามสมมติฐานที่กำหนดทั้ง 3 ประการ คือมีการกระจายตัวแบบปกติ มีความเป็นอิสระต่อกัน และมีความเสถียรของข้อมูล จึงเป็นไปตามเงื่อนไข  $\epsilon_{ij} \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$  ทุกประการ จึงสามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปทำการวิเคราะห์ผลการทดลองได้

#### 4.7.3 การวิเคราะห์ผลจากการทดลองแบบ $3^k$ Full Factorial Design

ผลการทดลองจากรูปที่ 63 พบว่า ทั้ง 3 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อขนาดความหนาของชิ้นงานมีค่าระดับของแต่ละปัจจัยดังนี้ ค่าแรงดันที่กำหนด (Pressure) มีค่าระดับที่เหมาะสมเท่ากับ  $295 \text{ kg/cm}^2$  เวลาที่กำหนดในการอัดชิ้นงานต่อครั้ง (Time) มีค่าระดับที่เหมาะสมเท่ากับ 7 วินาที และน้ำหนักผงเคมีที่กำหนด (Weight) มีค่าระดับที่เหมาะสมเท่ากับ 146 กรัม ดังแสดงในตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ค่าระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย

Factor	ค่าระดับที่เหมาะสม	หน่วย
1) ค่าแรงดันที่กำหนด (Pressure)	295	kg/cm <sup>2</sup>
2) เวลาที่กำหนดในการอัดชิ้นงาน (Time)	7	วินาที
3) น้ำหนักผงเคมีที่กำหนด (Weight)	146	กรัม



รูปที่ 63 Optimization Plot

ตารางที่ 17 ผลการหาค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Response Optimization)

Response Optimization: AVG						
Parameters						
Response	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Importance
AVG	Target	15.73	16.2	16.77	1	1
Solution						
Solution	Pressure	Time	Weight	AVG Fit	Composite Desirability	
1	295	7	146	16.2014	0.997494	
Multiple Response Prediction						
Variable	Setting					
Pressure	295					
Time	7					
Weight	146					
Response	Fit	SE Fit	95% CI		95% PI	
AVG	16.2014	0.0080	(16.1855, 16.2173)		(16.1565, 16.2463)	

#### 4.8 ทดลองผลิตชิ้นงานตามผลที่ได้

เมื่อได้ค่าระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยเรียบร้อยแล้วจึงนำค่าที่ได้มาดำเนินการทดลองผลิตและติดตามผลการผลิตเพื่อยืนยันผลการทดลอง โดยใช้ทีมของพนักงานและเครื่องจักรชุดเดียวกับที่ทำการทดลองก่อนปรับปรุง เพื่อวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการหลังการปรับปรุงโดยเก็บข้อมูลติดตามผลการปรับปรุงจากชิ้นงานผลิตภัณฑ์รุ่น A สูตรเคมี A จำนวน 100 ชิ้น โดยผลวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 18 บันทึกผลการทดลองชิ้นงานตามค่าระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย

ชิ้นที่	ค่าเฉลี่ยความหนาของชิ้นงาน (มิลลิเมตร)	ชิ้นที่	ค่าเฉลี่ยความหนาของชิ้นงาน (มิลลิเมตร)
1	16.23	21	16.14
2	16.44	22	16.16
3	16.07	23	16.21
4	16.14	24	16.14
5	16.17	25	16.25
6	16.32	26	16.27
7	16.33	27	16.16
8	16.23	28	16.19
9	16.33	29	16.24
10	16.31	30	16.17
11	16.28	31	16.05
12	16.26	32	16.34
13	16.17	33	16.24
14	16.13	34	16.03
15	16.24	35	16.49
16	16.26	36	16.24
17	16.26	37	16.12
18	16.25	38	16.30
19	16.05	39	16.30
20	16.06	40	15.94

ตารางที่ 18 บันทึกผลการทดลองชิ้นงานตามค่าระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย (ต่อ)

ชิ้นที่	ค่าเฉลี่ยความหนาของ ชิ้นงาน (มิลลิเมตร)	ชิ้นที่	ค่าเฉลี่ยความหนาของ ชิ้นงาน (มิลลิเมตร)
41	16.25	61	16.28
42	16.22	62	16.10
43	16.19	63	16.20
44	16.06	64	16.17
45	16.13	65	16.26
46	16.09	66	16.17
47	16.02	67	16.31
48	16.21	68	16.20
49	16.19	69	16.21
50	16.30	70	16.25
51	16.29	71	16.19
52	16.18	72	16.09
53	16.24	73	16.26
54	16.16	74	16.27
55	16.25	75	16.11
56	16.28	76	16.31
57	16.27	77	16.22
58	16.17	78	16.33
59	16.14	79	16.27
60	16.10	80	16.15
81	16.01	91	16.16
82	16.25	92	16.27
83	16.18	93	16.14
84	16.11	94	16.33
85	16.26	95	16.07
86	16.21	96	16.11
87	16.27	97	16.26

ตารางที่ 18 บันทึกผลการทดลองชิ้นงานตามค่าระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย (ต่อ)

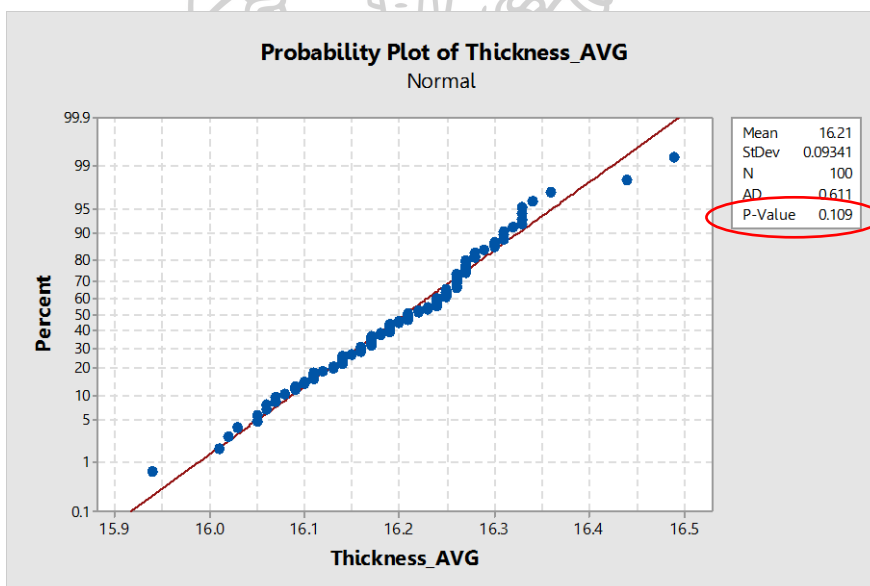
ชั้นที่	ค่าเฉลี่ยความหนาของชิ้นงาน (มิลลิเมตร)	ชั้นที่	ค่าเฉลี่ยความหนาของชิ้นงาน (มิลลิเมตร)
88	16.36	98	16.21
89	16.26	99	16.19
90	16.08	100	16.27

การตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติสามารถตรวจสอบจากการพิจารณาการกระจายตัวของข้อมูล โดยการทดสอบความเป็นปกติ (Normality Test) จะมีค่า P-Value มากกว่า 0.05

กรณีนี้  $H_0$  : ข้อมูลเป็นการกระจายแบบปกติ

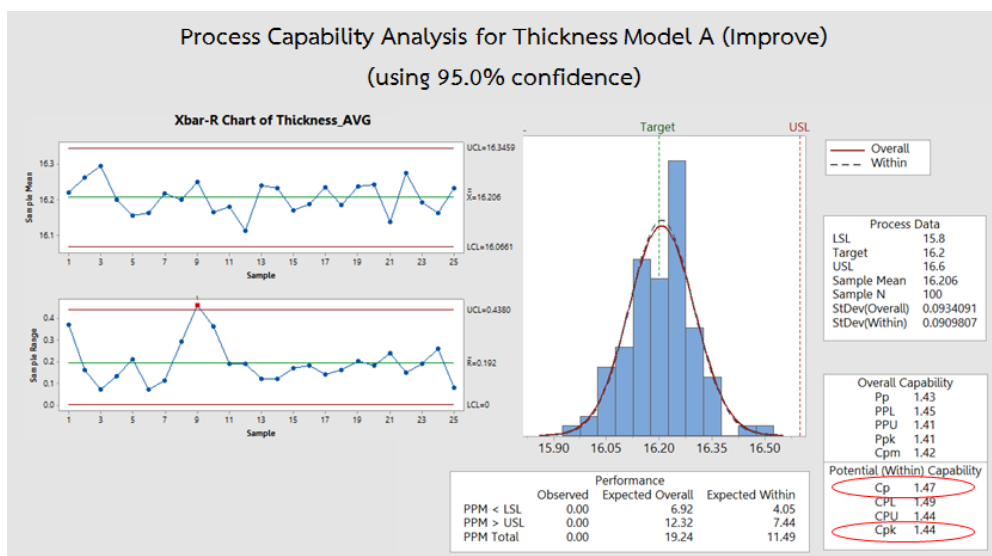
$H_1$  : ข้อมูลเป็นการกระจายแบบไม่ปกติ

จะปฏิเสธ  $H_0$  เมื่อ P-Value  $\geq 0.05$



รูปที่ 64 Probability Plot สำหรับขนาดความหนาของชิ้นงาน

โดยผลการทำ Normality Test ดังรูปที่ 64 ซึ่งจากการทำ Normality Test พบว่า ค่า P-Value เท่ากับ 0.109 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ดังนั้นไม่ปฏิเสธ  $H_0$  สรุปได้ว่า ข้อมูลความหนาที่ได้จากการทดลองมีการกระจายตัวแบบปกติ โดยสามารถวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการจากโปรแกรม Minitab ดังรูปที่ 65



รูปที่ 65 ผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการด้วยโปรแกรม Minitab

จากรูปที่ 65 ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Analysis) จะเห็นว่าความสามารถของกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนหลังทดลองผลิตชิ้นงานตามผลที่ได้จากชิ้นงานจำนวน 100 ชิ้น พบว่าขนาดความหนาของชิ้นงานมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 16.21 มิลลิเมตร และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.09 และดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการ  $C_p$  ซึ่งเท่ากับ 1.47 และค่า  $C_{pk}$  ซึ่งเท่ากับ 1.44 ซึ่งมีค่ามากกว่าเกณฑ์ยอมรับของ IATF 16949 ที่ 1.33 ทำให้สรุปได้ว่าค่าความผันแปรของของความหนาชิ้นงานในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนมีค่ามากกว่าเกณฑ์ยอมรับ ซึ่งสรุปได้ว่าความสามารถของกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนหลังทดลองผลิตชิ้นงานตามผลที่ได้มีความสามารถของกระบวนการที่ดีขึ้น และจากการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ตามรายการอื่น ๆ ที่กำหนดไว้เป็นมาตรฐานที่ใช้ในการยอมรับชิ้นงานในกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน ผลการตรวจสอบคุณภาพผ่านตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ทุกรายการ

#### 4.9 เปรียบเทียบผลการดำเนินงานก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

##### 4.9.1 วิเคราะห์ผลและตรวจสอบยืนยันผลจากการผลิตจริง

เมื่อได้ค่าระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยเรียบร้อยแล้วหลังจากนั้นนำค่าที่ได้มาดำเนินการทดลองผลิตและติดตามผลการผลิตเพื่อยืนยันผลการทดลองเรียบร้อยแล้ว ในขั้นตอนต่อไปจึงนำค่าระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยมาใช้กับกระบวนการผลิตจริง โดยสุ่มตรวจชิ้นงานผลิตภัณฑ์รุ่น A สูตรเคมี A จากจำนวน 10 ใบสั่งงาน รวมจำนวนชิ้นงานทั้งหมดเท่ากับ 100 ชิ้น เป็นระยะเวลา 1 เดือน เพื่อวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการหลังการปรับปรุง



ตารางที่ 19 บันทึกผลขนาดความหนาของชิ้นงานจากการผลิตจริง

ชั้นที่	ค่าเฉลี่ยความหนาของชิ้นงาน (มิลลิเมตร)	ชั้นที่	ค่าเฉลี่ยความหนาของชิ้นงาน (มิลลิเมตร)	ชั้นที่	ค่าเฉลี่ยความหนาของชิ้นงาน (มิลลิเมตร)
1	16.49	11	16.19	21	16.20
2	16.14	12	16.1	22	16.21
3	16.13	13	16.21	23	16.19
4	16.25	14	16.26	24	16.14
5	16.13	15	16.13	25	15.97
6	16.25	16	16.08	26	16.08
7	16.11	17	16.16	27	16.29
8	16.29	18	16.16	28	16.15
9	16.11	19	16.29	29	16.16
10	16.24	20	16.21	30	16.00
31	16.20	56	16.14	81	16.31
32	16.14	57	16.27	82	16.31
33	16.15	58	16.17	83	16.03
34	16.16	59	16.10	84	16.22
35	16.18	60	16.16	85	16.29
36	16.30	61	16.17	86	16.18
37	16.14	62	16.18	87	16.07
38	16.25	63	16.45	88	16.22
39	16.23	64	16.21	89	16.24
40	16.16	65	16.27	90	16.06
41	16.29	66	16.21	91	16.14
42	16.07	67	16.30	92	16.35
43	16.11	68	16.23	93	16.29
44	16.32	69	16.20	94	16.22
45	16.39	70	16.41	95	16.17

ตารางที่ 19 บันทึกผลขนาดความหนาของชิ้นงานจากการผลิตจริง (ต่อ)

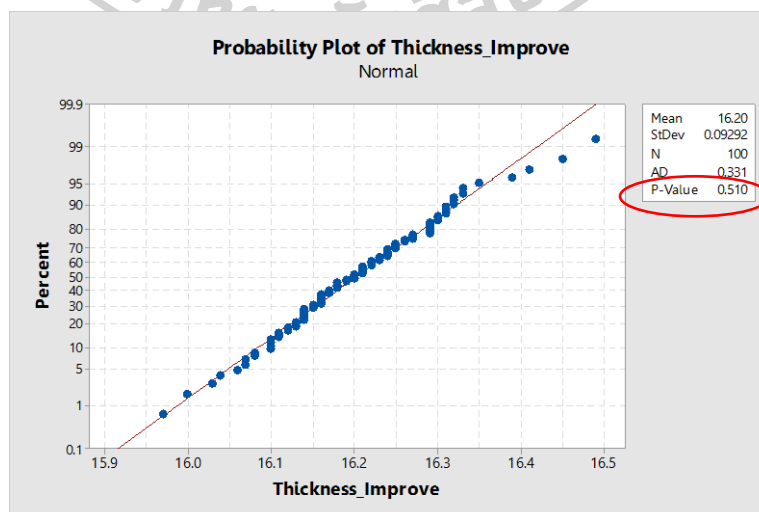
ชั้นที่	ค่าเฉลี่ยความหนาของชิ้นงาน (มิลลิเมตร)	ชั้นที่	ค่าเฉลี่ยความหนาของชิ้นงาน (มิลลิเมตร)	ชั้นที่	ค่าเฉลี่ยความหนาของชิ้นงาน (มิลลิเมตร)
46	16.24	71	16.04	96	16.24
47	16.15	72	16.33	97	16.10
48	16.10	73	16.27	98	16.25
49	16.26	74	16.14	99	16.12
50	16.31	75	16.32	100	16.12
51	16.20	76	16.18		
52	16.24	77	16.18		
53	16.21	78	16.16		
54	16.33	79	16.23		
55	16.30	80	16.32		

การตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติสามารถตรวจสอบจากการพิจารณาการกระจายตัวของข้อมูล โดยการทดสอบความเป็นปกติ (Normality Test) จะมีค่า P-Value มากกว่า 0.05

กรณีนี้  $H_0$  : ข้อมูลเป็นการกระจายแบบปกติ

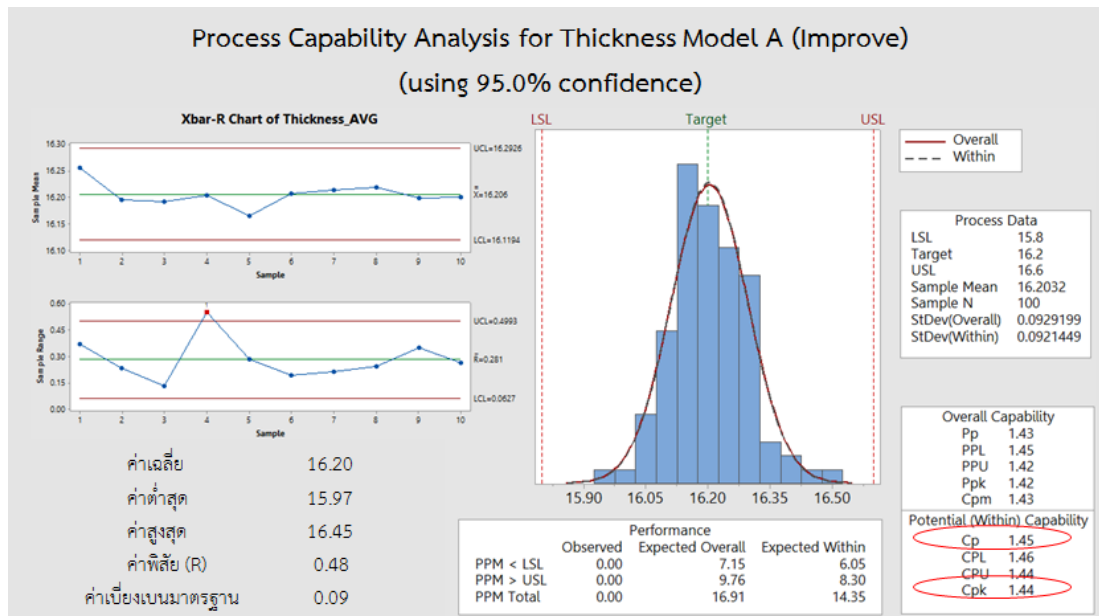
$H_1$  : ข้อมูลเป็นการกระจายแบบไม่ปกติ

จะปฏิเสธ  $H_0$  เมื่อ  $P\text{-Value} \geq 0.05$



รูปที่ 66 Probability Plot สำหรับขนาดความหนาของชิ้นงาน

โดยผลการทำ Normality Test ดังรูปที่ 66 ซึ่งจากการทำ Normality Test พบว่า ค่า P-Value เท่ากับ 0.510 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ดังนั้นไม่ปฏิเสธ  $H_0$  สรุปได้ว่า ข้อมูลความหนาที่ได้จากการทดลองมีการกระจายตัวแบบปกติ โดยสามารถวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการจากโปรแกรม Minitab ดังรูปที่ 67



รูปที่ 67 ผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการด้วยโปรแกรม Minitab

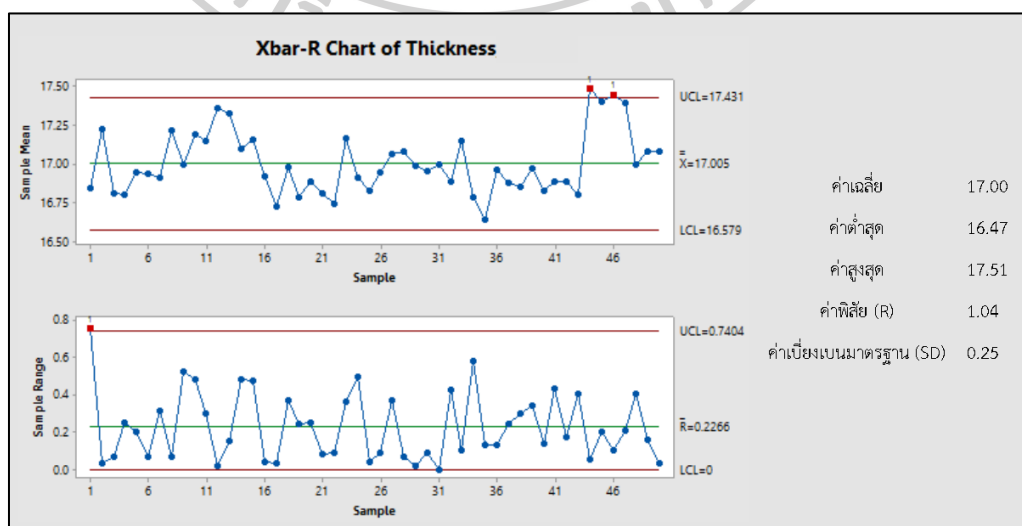
จากรูปที่ 67 ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Analysis) จะเห็นว่าความสามารถของกระบวนการดีขึ้นรูปร้อนหลังจากนำค่าระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยมาใช้ในการผลิตจริง โดยสุ่มตรวจจากจำนวน 10 ใบสั่งงาน รวมจำนวนชิ้นงานทั้งหมดเท่ากับ 100 ชิ้น พบว่าขนาดความหนาของชิ้นงานมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 16.20 มิลลิเมตร ค่าความหนาต่ำสุดเท่ากับ 15.97 มิลลิเมตร ค่าความหนาสูงสุดเท่ากับ 16.45 มิลลิเมตร ค่าพิสัย (R) เท่ากับ 0.48 มิลลิเมตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เท่ากับ 0.09 และดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการ  $C_p$  ซึ่งเท่ากับ 1.45 และค่า  $C_{pk}$  ซึ่งเท่ากับ 1.44 ซึ่งมีค่ามากกว่าเกณฑ์ยอมรับของ IATF 16949 ที่ 1.33 ทำให้สรุปได้ว่าค่าความผันแปรของกระบวนการดีขึ้นรูปร้อนมีค่ามากกว่าเกณฑ์ยอมรับ ซึ่งสรุปได้ว่าความสามารถของกระบวนการดีขึ้นรูปร้อนหลังการปรับปรุงมีความสามารถของกระบวนการที่ดีขึ้น

หลังจากการกำหนดค่าระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยและทำการทดลองผลิตรวมถึงติดตามผลจากการผลิตจริงของผลิตภัณฑ์รุ่น A สูตรเคมี A เรียบร้อยแล้วจึงขยายผลไปยังผลิตภัณฑ์รุ่นอื่นที่มีการผลิตของสูตรเคมี A เพื่อดูผลกระทบของการกำหนดค่าระดับของแต่ละปัจจัยโดยจากการ

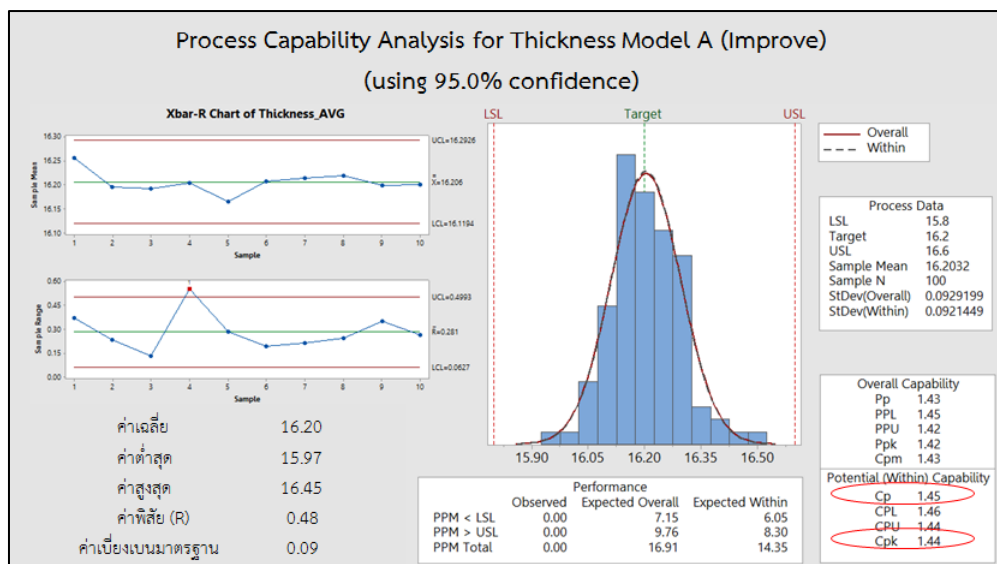
ติดตามผลการผลิตจริงของผลิตภัณฑ์รุ่นอื่นๆ พบว่า มีค่าขนาดความหนาของชิ้นงานอยู่ในเกณฑ์ค่ามาตรฐานที่กำหนดของแต่ละผลิตภัณฑ์ จึงทำให้สามารถปรับลดน้ำหนักเคมีที่กำหนดของแต่ละผลิตภัณฑ์ได้และสามารถลดต้นทุนการผลิตได้

#### 4.9.2 เปรียบเทียบความสามารถของกระบวนการก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

หลังจากนำค่าระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยมาใช้กับกระบวนการผลิตจริงและวิเคราะห์ผลความสามารถของกระบวนการเรียบร้อยแล้วจึงนำผลการวิเคราะห์ดังกล่าวมาเปรียบเทียบผลก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง โดยจากรูปที่ 68 Control Chart ของความหนาชิ้นงานจากกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อน พบว่าก่อนปรับปรุงยังไม่มีกำหนดค่ามาตรฐานของความหนาชิ้นงานในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อน ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปัญหาดังกล่าว และกำหนดค่ามาตรฐานของชิ้นงานที่ต้องการเท่ากับ  $16.2 \pm 0.4$  มิลลิเมตร หลังจากจึงได้กำหนดค่าระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยจึงส่งผลให้มีความสามารถของกระบวนการที่ดีขึ้น โดยมีค่าเฉลี่ยความหนาของชิ้นงานก่อนปรับปรุงเท่ากับ 17.00 มิลลิเมตร หลังปรับปรุงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 16.20 มิลลิเมตร ค่าต่ำสุดของความหนาชิ้นงานก่อนปรับปรุงเท่ากับ 16.47 มิลลิเมตร หลังปรับปรุงมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 15.97 มิลลิเมตร ค่าสูงสุดของความหนาชิ้นงานก่อนปรับปรุงเท่ากับ 17.51 มิลลิเมตร หลังปรับปรุงมีค่าสูงสุดเท่ากับ 16.45 มิลลิเมตร ค่าพิสัย (R) ก่อนปรับปรุงเท่ากับ 1.04 มิลลิเมตร หลังปรับปรุงมีค่าพิสัย (R) เท่ากับ 0.48 มิลลิเมตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ก่อนปรับปรุงเท่ากับ 0.25 หลังปรับปรุงมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เท่ากับ 0.09 และดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการหลังปรับปรุง  $C_p$  เท่ากับ 1.45 และค่า  $C_{pk}$  เท่ากับ 1.44 ซึ่งมีค่ามากกว่าเกณฑ์ยอมรับของ IATF 16949 ที่ 1.33



รูปที่ 68 Control Chart ของความหนาชิ้นงานจากกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนก่อนปรับปรุง



รูปที่ 69 ผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการหลังปรับปรุง

ตารางที่ 20 เปรียบเทียบผลของความสามารถของกระบวนการก่อนและหลังการปรับปรุง

รายการ	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	หน่วย
1) ค่าเฉลี่ยความหนาของชิ้นงาน	17.00	16.20	มิลลิเมตร
2) ค่าต่ำสุดความหนาของชิ้นงาน	16.47	15.97	มิลลิเมตร
3) ค่าสูงสุดความหนาของชิ้นงาน	17.51	16.45	มิลลิเมตร
4) ค่าพิสัย (R)	1.04	0.48	มิลลิเมตร
5) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	0.25	0.09	-

#### 4.9.3 เปรียบเทียบค่าความเผื่อของขนาดชิ้นงานก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

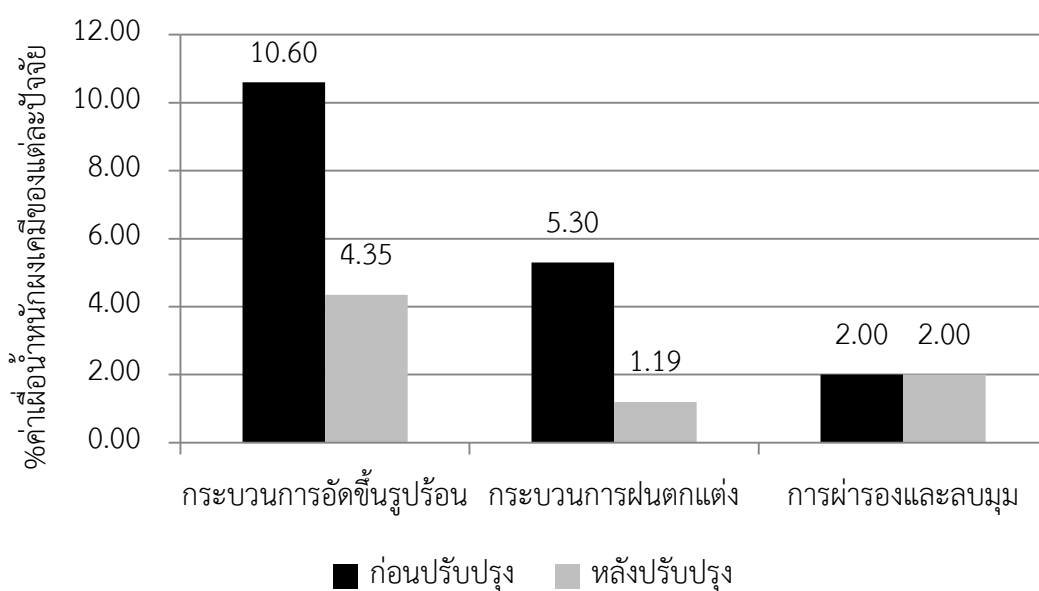
ในกระบวนการผลิตชิ้นงานดิสก์เบรกมีความจำเป็นที่จะต้องเผื่อขนาดความหนาของชิ้นงานสำหรับความผันแปรของกระบวนการผลิต ความผันแปรของกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อน และการผาร่องและลบมุมของชิ้นงานตามข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ โดยความผันแปรของกระบวนการผลิตก่อนปรับปรุงมีการกำหนดค่าความเผื่อของขนาดความหนาของชิ้นงานไว้เท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร หรือเท่ากับค่าเผื่อน้ำหนักเคมี 7.14 กรัม คิดเป็น 5.30% หลังปรับปรุงสามารถลดค่าความเผื่อของขนาดความหนาของชิ้นงานได้เท่ากับ 0.1 มิลลิเมตร หรือเท่ากับค่าเผื่อน้ำหนักเคมี 1.62 กรัม คิดเป็น 1.19% สำหรับความผันแปรของกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนก่อนปรับปรุงมีการกำหนดค่า

ความเผื่อของขนาดความหนาของชิ้นงานไว้เท่ากับ 1.0 มิลลิเมตร หรือเท่ากับค่าเผื่อน้ำหนักเคมี 14.37 กรัม คิดเป็น 10.60% หลังปรับปรุงสามารถลดค่าความเผื่อของขนาดความหนาของชิ้นงานได้เท่ากับ 0.4 มิลลิเมตร หรือเท่ากับค่าเผื่อน้ำหนักเคมี 5.90 กรัม คิดเป็น 4.35% และสำหรับค่าเผื่อน้ำหนักเคมีสำหรับชิ้นงานสำหรับการผ่าร่องและลบมุมนั้น ไม่สามารถปรับลดลงได้เนื่องจากรูปแบบแม่พิมพ์ไม่สามารถสร้างเพื่อรองรับการผ่าร่องและการลบมุมได้

สรุปให้ลดค่าเผื่อขนาดความหนาที่จะใช้ในการคำนวณค่าเผื่อน้ำหนักผงเคมีก่อนปรับปรุงที่เผื่อขนาดความหนารวมไว้เท่ากับ 1.5 มิลลิเมตร โดยหลังปรับปรุงให้ลดลงเหลือรวมเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร ซึ่งทำให้ค่าเผื่อน้ำหนักผงเคมีที่ใช้ในการผลิตเดิมที่เผื่อไว้ 17.90 % หลังการปรับปรุงจะเหลือค่าเผื่อน้ำหนักผงเคมีเพียง 7.57 %

ตารางที่ 21 เปรียบเทียบผลของค่าเผื่อน้ำหนักเคมีก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

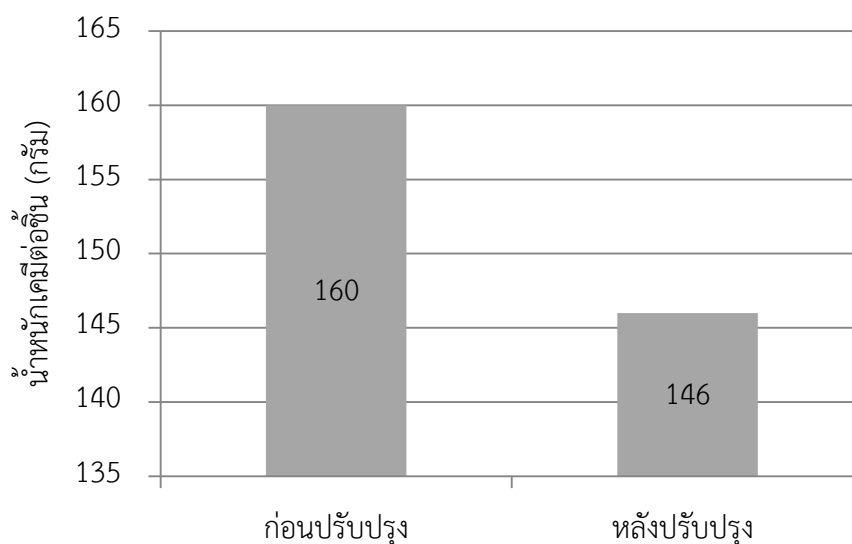
กระบวนการ	ค่าเผื่อน้ำหนักเคมี(g)								
	น้ำหนักเคมีที่กำหนด (g)	กระบวนการฝนตกแต่ง		กระบวนการอัดขึ้นรูปร้อน		ผ่าร่องและลบมุม		รวมค่าเผื่อทั้งหมด	
		g	%	g	%	g	%	g	%
ก่อนปรับปรุง	160	7.14	5.30%	14.37	10.60%	2.77	2.00%	24.28	17.90%
หลังปรับปรุง	146	1.62	1.19%	5.90	4.35%	2.77	2.00%	10.28	7.57%



รูปที่ 70 สัดส่วนค่าเผื่อน้ำหนักเคมีของก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

#### 4.9.4 ปริมาณเคมีที่ใช้ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

จากการเก็บข้อมูลของผลิตภัณฑ์รุ่น A สูตรเคมี A ที่เลือกทำการศึกษาพบว่า ปริมาณการใช้วัตถุเคมีสูตร A ก่อนปรับปรุงใช้น้ำหนักเคมีต่อชิ้นเท่ากับ 160 กรัม และหลังปรับปรุงสามารถลดน้ำหนักเคมีต่อชิ้นได้เท่ากับ 146 กรัม คิดเป็นน้ำหนักที่ลดลงต่อชิ้นเท่ากับ 14 กรัม หรือคิดเป็นน้ำหนักที่ลดลง 9%

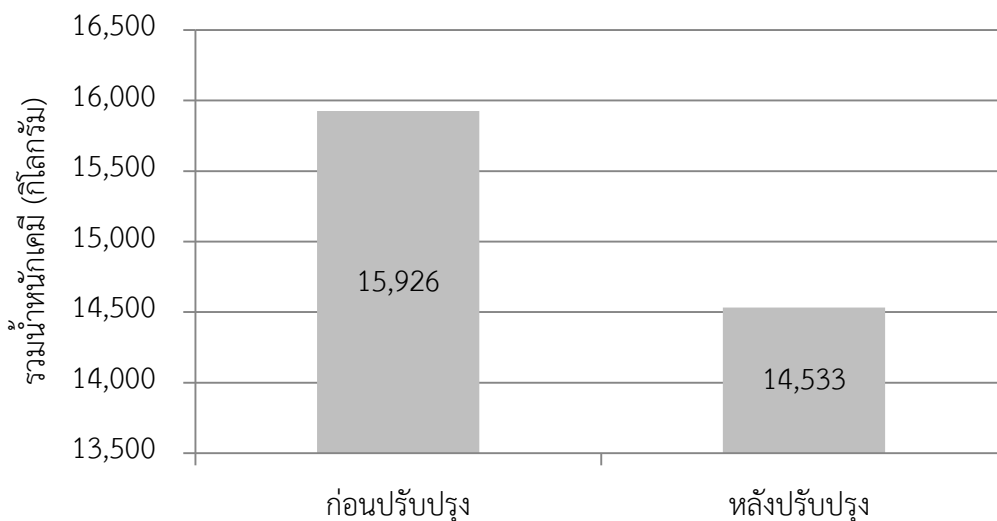


รูปที่ 71 น้ำหนักเคมีต่อชิ้นก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

และเมื่อนำน้ำหนักเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตมาเปรียบเทียบกับก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงของผลิตภัณฑ์รุ่น A สูตรเคมี A โดยอนุมานอ้างอิงจากยอดผลิตปี 2562 พบว่า ก่อนปรับปรุงมียอดผลิตเท่ากับ 99,540 ชิ้น ซึ่งใช้น้ำหนักเคมีต่อชิ้นเท่ากับ 160 กรัม รวมเป็นน้ำหนักเคมีเท่ากับ 15,926 กิโลกรัม หากปรับปรุงใช้น้ำหนักเคมีต่อชิ้นเท่ากับ 146 กรัม รวมเป็นน้ำหนักเคมีเท่ากับ 14,533 กิโลกรัม คิดเป็นน้ำหนักเคมีที่ลดลง 1,394 กิโลกรัม หรือลดลง 9% ซึ่งต้นทุนเคมีต่อกิโลกรัมเท่ากับ 80 บาท ทำให้สามารถลดต้นทุนลงได้เป็นจำนวนเงิน 111,485 บาท

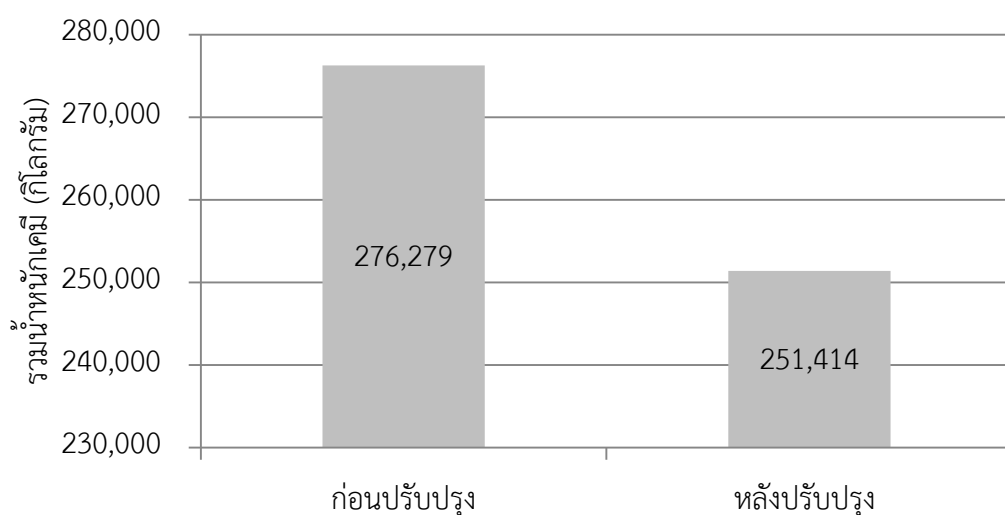
ตารางที่ 22 เปรียบเทียบปริมาณเคมีในกระบวนการผลิตก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

กระบวนการ	ยอดผลิตชิ้นงาน (ชิ้น)	น้ำหนักต่อชิ้น (กรัม)	รวมน้ำหนักเคมี (กิโลกรัม)
ก่อนปรับปรุง	99,540	160	15,926
หลังปรับปรุง	99,540	146	14,533



รูปที่ 72 ปริมาณเคมีในกระบวนการผลิตก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

จากการขยายผลการปรับปรุงไปยังผลิตภัณฑ์รุ่นอื่นๆ ของสูตรเคมี A โดยใช้การปรับลดน้ำหนักเคมีที่กำหนดลง 9% ซึ่งอนุมานได้ว่าในปี 2562 มีปริมาณการใช้วัตถุดิบเคมีสูตร A เท่ากับ 276,279 กิโลกรัม หากมีการปรับปรุงจะมีปริมาณการใช้น้ำหนักเคมีเพียง 251,414 กิโลกรัม คิดเป็นน้ำหนักเคมีที่ลดลงเท่ากับ 24,865 กิโลกรัม ซึ่งต้นทุนเคมีต่อกิโลกรัมเท่ากับ 80 บาท ทำให้สามารถลดต้นทุนลงได้เป็นจำนวนเงิน 1,989,212 บาท



รูปที่ 73 น้ำหนักเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตก่อนและหลังปรับปรุงของทุกผลิตภัณฑ์ในสูตรเคมี A



## บทที่ 5

### สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ เพื่อค้นหาปัจจัยปัญหาสำคัญที่เป็นเหตุต่อการกำหนดค่าเผื่อน้ำหนักผงเคมีในการผลิตผ้าเบรกของบริษัททกรณศึกษา และหาเกณฑ์ค่าเผื่อน้ำหนักผงเคมีในการผลิตผ้าเบรกของบริษัททกรณศึกษาที่เหมาะสม เพื่อสามารถลดต้นทุนการใช้ผงเคมีในการผลิตผ้าเบรกของบริษัททกรณศึกษา โดยเลือกทำการศึกษาค้นคว้าที่รุ่น A สูตรเคมี A ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณการใช้วัตถุดิบเคมีสูงที่สุดในกระบวนการผลิตดีสก์เบรก ผู้วิจัยเริ่มทำการศึกษาจากการระดมความคิด (Brainstorming) ร่วมกับผู้เชี่ยวชาญเพื่อค้นหาปัจจัยสำคัญที่เป็นเหตุต่อการกำหนดค่าเผื่อน้ำหนักผงเคมีโดยปัจจัยสำคัญที่เป็นเหตุต่อการกำหนดค่าเผื่อของของน้ำหนักผงเคมีผลิตภัณฑ์ดีสก์เบรก รุ่น A สูตรเคมี A ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ ค่าความเผื่อความผันแปรของความหนาชิ้นงานในกระบวนการฝนตกแต่ง ค่าความเผื่อความผันแปรของความหนาชิ้นงานในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อน และค่าความเผื่อเนื้อชิ้นงานสำหรับการผ่าร่อง (Slotting Process) และการลบมุม (Chamfering Process) และจากการร่วมกันระดมความคิดเพื่อวิเคราะห์จาก 3 ปัจจัยหลักที่เป็นเหตุต่อการกำหนดค่าเผื่อน้ำหนักผงเคมีนั้นพบว่า

ค่าความเผื่อความผันแปรของชิ้นงานในกระบวนการฝนตกแต่งที่ 0.5 มิลลิเมตรนั้นมากเกินไป ความจำเป็น เนื่องจากความสามารถของกระบวนการฝนตกแต่งที่ทำการศึกษามีค่าค่อนข้างสูงโดยพิจารณาจากดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการ  $C_p$  ซึ่งเท่ากับ 17.82 และค่า  $C_{pk}$  ซึ่งเท่ากับ 15.00 ซึ่งมีค่ามากกว่าเกณฑ์ยอมรับของ IATF 16949 ที่ 1.33 ทำให้ค่าความผันแปรของกระบวนการฝนตกแต่งมีค่าน้อยมาก ดังนั้นจึงอาจจะไม่มีความจำเป็นที่ต้องเผื่อขนาดความหนาของชิ้นงานจากกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนที่ขนาดความหนามากกว่าหรือเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร ซึ่งจะทำให้สูญเสียผงเคมีจากกระบวนการผลิตเกินความจำเป็น จึงทำการกำหนดค่าเผื่อความผันแปรของความหนาชิ้นงานในกระบวนการฝนตกแต่งใหม่ โดยเผื่อความหนาไว้เพียง 0.1 มิลลิเมตร

ส่วนค่าเผื่อเนื้อชิ้นงานสำหรับการผ่าร่องและลบมุมนั้น ไม่สามารถปรับลดลงได้เนื่องจาก รูปแบบแม่พิมพ์ไม่สามารถสร้างเพื่อรองรับการผ่าร่องและการลบมุมได้

สำหรับค่าความเผื่อความผันแปรของความหนาชิ้นงานในกระบวนการอัดขึ้นรูปนั้นพบว่ามีการเผื่อค่าความหนาของชิ้นงานจากกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนไว้ถึง 1 มิลลิเมตร เพื่อใช้ในการคำนวณค่าเผื่อน้ำหนักผงเคมีที่ใช้ในการผลิต และค่าเฉลี่ยความหนาที่ได้จากกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนนั้น มีค่าสูงกว่าขนาดความหนาที่ต้องการมาก และจากการระดมความคิดโดยผู้เชี่ยวชาญนั้นสรุปมีความเห็นร่วมกันให้ลดค่าความเผื่อความผันแปรของความหนาชิ้นงานในกระบวนการอัดขึ้นรูปที่ใช้ในการคำนวณน้ำหนักผงเคมีที่ใช้ในการผลิตจากเดิมที่เผื่อไว้ 1 มิลลิเมตร โดยกำหนดให้เผื่อขนาดความหนาไว้ 0.4 มิลลิเมตร ซึ่งเมื่อรวมกับค่าเผื่อความหนาเพื่อรองรับความแปรปรวนของกระบวนการผันตงต่าง 0.1 มิลลิเมตร รวมความหนาที่เผื่อไว้ทั้งหมดจากเดิม 1.5 มิลลิเมตร เหลือเพียง 0.5 มิลลิเมตร เพื่อใช้ในการคำนวณน้ำหนักผงเคมีใหม่

จากการกำหนดให้การเผื่อขนาดความหนามีค่าที่ลดลงนั้น จึงต้องหาค่าการปรับตั้งพารามิเตอร์ของกระบวนการอัดขึ้นรูปใหม่ที่เหมาะสม เพื่อให้ขนาดความหนาของชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนมีความผันแปรลดลง เพื่อให้ได้ขนาดความหนาชิ้นงานมีค่าไม่ต่ำกว่า ค่ามาตรฐานความหนาชิ้นงานสำเร็จรูป + 0.1 มิลลิเมตร โดยให้กำหนดค่ามาตรฐานความหนาชิ้นงานที่ต้องการในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนใหม่เท่ากับ ค่ามาตรฐานความหนาชิ้นงานสำเร็จรูป + 0.5 มิลลิเมตร  $\pm$  0.4 มิลลิเมตร จากเดิมที่กำหนดมาตรฐานไว้ให้มีขนาดความหนาเพิ่มจากมาตรฐานความหนาผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปไม่ต่ำกว่า 0.5 มิลลิเมตร

ซึ่งการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาความผันแปรของขนาดความหนาชิ้นงานและมีค่าเฉลี่ยความหนามากกว่าที่ต้องการค่อนข้างสูงนั้น โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ปัญหา Why – Why Analysis จากนั้นนำปัจจัยมาวิเคราะห์เพื่อตัดสินใจว่าปัจจัยใดส่งผลกระทบต่อปัญหาดังกล่าวโดยการออกแบบการทดลองแบบ  $2^k$  Full Factorial Design ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ( $\alpha=0.05$ ) และเมื่อทราบปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปัญหาเรียบร้อยแล้ว จึงนำปัจจัยดังกล่าวมาทำการออกแบบการทดลองแบบ  $3^k$  Full Factorial Design ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ( $\alpha =0.05$ ) เพื่อหาค่าระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยและทดลองผลิตชิ้นงานตามผลที่ได้ หลังจากนั้นสุ่มตรวจชิ้นงานจากการผลิตจริง พบว่าความสามารถของกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนหลังการปรับปรุงมีความสามารถของกระบวนการที่ดีขึ้น

### 5.1.1 ระดับปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อใช้ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อน

ในการออกแบบการทดลองแบบ  $3^k$  Full Factorial Design ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ( $\alpha = 0.05$ ) เพื่อหาค่าระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย พบว่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัยในการผลิตดีสก์เบรกสูตรการผลิต A คือ ค่าแรงดันที่กำหนด (Pressure) มีค่าระดับที่เหมาะสมเท่ากับ  $295 \text{ kg/cm}^2$  เวลาที่กำหนดในการอัดขึ้นงานต่อครั้ง (Time) มีค่าระดับที่เหมาะสมเท่ากับ 7 วินาที และน้ำหนักผงเคมีที่กำหนด (Weight) ให้คิดคำนวณจากขนาดความหนาของมาตรฐานผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปบวกเพิ่มอีก 0.5 มิลลิเมตร (รุ่น A มีค่าระดับที่เหมาะสมเท่ากับ 146 กรัม โดยคิดคำนวณจากความหนาผลิตภัณฑ์เท่ากับ  $15.7 + 0.5$  มิลลิเมตร)

### 5.1.2 ผลที่ได้หลังการปรับปรุง

หลังจากได้ค่าระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยเรียบร้อยแล้วจึงนำค่าที่ได้ไปใช้ในการผลิตจริงและติดตามผลหลังการปรับปรุง โดยกำหนดค่ามาตรฐานของชิ้นงานที่ต้องการเท่ากับ  $16.2 \pm 0.4$  มิลลิเมตร พบว่า มีค่าเฉลี่ยความหนาของชิ้นงานก่อนปรับปรุงเท่ากับ 17.00 มิลลิเมตร หลังปรับปรุงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 16.20 มิลลิเมตร ค่าต่ำสุดของความหนาชิ้นงานก่อนปรับปรุงเท่ากับ 16.47 มิลลิเมตร หลังปรับปรุงมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 15.97 มิลลิเมตร ค่าสูงสุดของความหนาชิ้นงานก่อนปรับปรุงเท่ากับ 17.51 มิลลิเมตร หลังปรับปรุงมีค่าสูงสุดเท่ากับ 16.945 มิลลิเมตร ค่าพิสัย (R) ก่อนปรับปรุงเท่ากับ 1.04 มิลลิเมตร หลังปรับปรุงมีค่าพิสัย (R) เท่ากับ 0.48 มิลลิเมตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ก่อนปรับปรุงเท่ากับ 0.25 หลังปรับปรุงมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เท่ากับ 0.09 และดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการหลังปรับปรุง  $C_p$  เท่ากับ 1.45 และค่า  $C_{pk}$  เท่ากับ 1.44 ซึ่งมีความมากกว่าเกณฑ์ยอมรับของ IATF 16949 ที่ 1.33

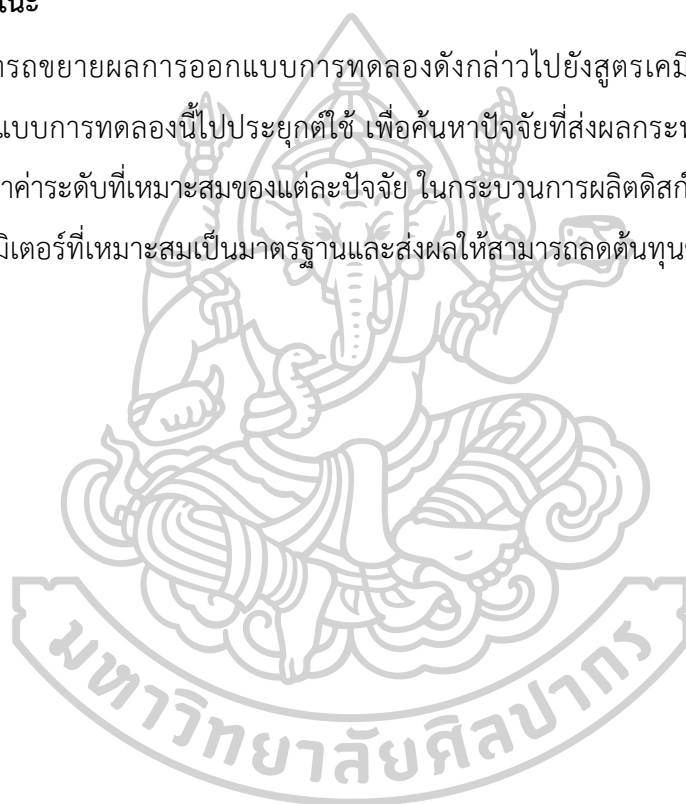
ปริมาณเคมีที่ใช้ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง จากการเก็บข้อมูลของผลิตภัณฑ์รุ่น A สูตรเคมี A ที่เลือกทำการศึกษาพบว่า ปริมาณการใช้วัตถุดิบเคมีสูตร A ก่อนปรับปรุงใช้น้ำหนักเคมีต่อชิ้นเท่ากับ 160 กรัม และหลังปรับปรุงสามารถลดน้ำหนักเคมีต่อชิ้นได้เท่ากับ 146 กรัม คิดเป็นน้ำหนักที่ลดลงต่อชิ้นเท่ากับ 14 กรัม หรือคิดเป็นน้ำหนักที่ลดลง 9%

และเมื่อนำน้ำหนักเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตมาเปรียบเทียบก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงของผลิตภัณฑ์รุ่น A สูตรเคมี A โดยอนุมานอ้างอิงจากยอดผลิตปี 2562 พบว่า ก่อนปรับปรุงมียอดผลิตเท่ากับ 99,540 ชิ้น ซึ่งใช้น้ำหนักเคมีต่อชิ้นเท่ากับ 160 กรัม รวมเป็นน้ำหนักเคมีเท่ากับ 15,926 กิโลกรัม หากปรับปรุงใช้น้ำหนักเคมีต่อชิ้นเท่ากับ 146 กรัม รวมเป็นน้ำหนักเคมีเท่ากับ 14,533 กิโลกรัม คิดเป็นน้ำหนักเคมีที่ลดลง 1,394 กิโลกรัม หรือลดลง 9% ซึ่งต้นทุนเคมีต่อกิโลกรัมเท่ากับ 80 บาท ทำให้สามารถลดต้นทุนลงได้เป็นจำนวนเงิน 111,484.80 บาท

และจากการขยายผลไปยังผลิตภัณฑ์รุ่นอื่น ๆ สูตรเคมี A โดยใช้ระดับปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อใช้ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนจากข้อ 5.1.1 พบว่ามีค่าขนาดความหนาของชิ้นงานอยู่ในเกณฑ์ค่ามาตรฐานที่กำหนดของแต่ละรุ่นผลิตภัณฑ์ ซึ่งอนุมานได้ว่าในปี 2562 มีปริมาณการใช้วัตถุดิบเคมีสูตร A เท่ากับ 276,279 กิโลกรัม หากมีการปรับปรุงจะมีปริมาณการใช้น้ำหนักเคมีเพียง 251,414 กิโลกรัมหรือลดลง 9% คิดเป็นน้ำหนักเคมีที่ลดลงเท่ากับ 24,865 กิโลกรัม ซึ่งต้นทุนเคมีต่อกิโลกรัมเท่ากับ 80 บาท ทำให้สามารถลดต้นทุนลงได้เป็นจำนวนเงิน 1,989,212 บาท

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

สามารถขยายผลการออกแบบการทดลองดังกล่าวไปยังสูตรเคมีอื่น ๆ และสามารถนำหลักการออกแบบการทดลองนี้ไปประยุกต์ใช้ เพื่อค้นหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิต และสามารถหาค่าระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย ในกระบวนการผลิตดีสก์เบรกที่เหมือนกัน ซึ่งทำให้ได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเป็นมาตรฐานและส่งผลให้สามารถลดต้นทุนของกระบวนการผลิตได้



## รายการอ้างอิง

- Hron, J., & Macák, T. (2013). Application of design of experiments to welding process of food packaging. *ACTA UNIVERSITATIS AGRICULTURAE ET SILVICULTURAE MENDELIANAE BRUNENSIS, LXI*(Number 4, 2013), 909-915.
- López, A., Aisa, J., Martínez, A., & Mercado, D. (2016). Injection moulding parameters influence on weight quality of complex parts by means of DOE application: Case study. *Measurement*, 90. doi:10.1016/j.measurement.2016.04.072
- ชีวิน จันทรสุนทร. (2553). การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของการพิมพ์ กรณีศึกษาการทดสอบขั้นสุดท้ายของการผลิตเครื่องพิมพ์อิงค์เจ็ท. (วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- ปาริชาติ นาทะสัน. (2553). การออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยในกระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก. (วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปาริชาติ บุญเกลี้ยง. (2552). การลดความผันแปรของขนาดหน้ากว้างของเทปโฟมอะคริลิกในกระบวนการตัด โดยใช้แนวคิดซิกซ์ซิกมา. (วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พศุทธิ์ พรหมสุวรรณ, & พิษณุตม์ เทพอารักษ์. (2561). การปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการวางสินค้าลงใน ถาด. ( วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- มะลิ แซ่อึ้ง. (2544). การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความหนาของผิวเคลือบในกระบวนการเคลือบผิวไฟฟ้า. (วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ยุทธณรงค์ จงจันทร์. (2554). การเพิ่มผลผลิตสายการผลิตเตาเหล็กหล่อ กรณีศึกษา บริษัท ที เอ็ม เอ็นแมชชีนแอนด์ฟราวน์ดรี จำกัด. (วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- วรรณษา ยงพิศาลภพ. (2560). อุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์. *Krungsri Research*, 1-8.
- วัลย์พร เหมโส. (2556). การลดของเสียจากกระบวนการผลิตผ้าเบรครถยนต์ โดยประยุกต์ใช้วิธีการ DMAIC. (ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- วัชรศักดิ์ ทวีสุข. (2546). การศึกษาปัจจัยในกระบวนการประกอบชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูล ฮาร์ดดิสก์ที่มีผลกระทบต่อการทำงานของหัวเขียนอ่านข้อมูลโดยใช้การออกแบบการทดลอง. (ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วีรชน บาดตาสา, ศรีัญญา นุรา, กิตติพัฒน์ ศรีหนองห้าง, ธนวัฒน์ จันทรวงศ์, & กรกฎ ศิริสุข. (2555). การเรียนรู้แบบระดมสมอง Brainstorming Techniques.
- ศศิมา สุขสว่าง. การระดมความคิด. Retrieved from <https://www.sasimasuk.com/15842591/brainstorm>
- ศุภชัย นาทะพันธ์. (2551). การควบคุมคุณภาพ. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น.

- ศูนย์วิจัยกสิกรไทย. (2560). SME ไทยก้าวทันกระแสยานยนต์ ยุค 4.0 แล้วหรือยัง. *K SME ANALYSIS*, 1-10.
- อชริยา เก็งวินิจ. (2544). การประยุกต์การออกแบบการตลาดเพื่อการปรับปรุงดัชนีคุณภาพการผลิตของ มุมที่  
กระทำระหว่างตัวงานกับฮาร์ดิสก์ในอุตสาหกรรมแขนจับยึดหัวอ่านเขียน. (ปริญญาวิศวกรรมศาสตร  
มหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.





ภาคผนวก



ภาคผนวก ก การเก็บข้อมูลการทดลอง



ตารางที่ 23 ข้อมูลความหนาของชั้นงานก่อนปรับปรุง

ชั้นที่	ค่าเฉลี่ยความหนาของ ชั้นงาน (มิลลิเมตร)	ชั้นที่	ค่าเฉลี่ยความหนาของ ชั้นงาน (มิลลิเมตร)
1	17.22	26	17.40
2	16.47	27	16.86
3	17.21	28	17.34
4	17.24	29	16.92
5	16.78	30	17.39
6	16.85	31	16.90
7	16.93	32	16.94
8	16.68	33	16.71
9	17.05	34	16.74
10	16.85	35	17.17
11	16.90	36	16.80
12	16.97	37	16.67
13	17.07	38	16.91
14	16.76	39	16.76
15	17.18	40	17.01
16	17.25	41	16.77
17	17.26	42	16.85
18	16.74	43	16.70
19	17.43	44	16.79
20	16.95	45	17.35
21	17.00	46	16.99
22	17.30	47	16.67
23	17.37	48	17.16
24	17.35	49	16.85
25	17.25	50	16.81

ตารางที่ 23 ข้อมูลความหนาของชั้นงานก่อนปรับปรุง (ต่อ)

ชั้นที่	ค่าเฉลี่ยความหนาของ ชั้นงาน (มิลลิเมตร)	ชั้นที่	ค่าเฉลี่ยความหนาของ ชั้นงาน (มิลลิเมตร)
51	16.90	76	16.70
52	16.99	77	16.80
53	17.25	78	17.14
54	16.88	79	16.90
55	17.12	80	16.76
56	17.05	81	17.10
57	16.98	82	16.67
58	17.00	83	16.80
59	16.91	84	16.97
60	17.00	85	16.60
61	17.00	86	17.00
62	17.00	87	17.46
63	16.68	88	17.51
64	17.10	89	17.30
65	17.20	90	17.50
66	17.10	91	17.40
67	17.08	92	17.50
68	16.50	93	17.29
69	16.58	94	17.50
70	16.71	95	16.80
71	17.03	96	17.20
72	16.90	97	17.16
73	16.76	98	17.00
74	17.00	99	17.10
75	17.00	100	17.07

ตารางที่ 24 ค่าต่างๆ ทางสถิติของความหนาขึ้นงานก่อนปรับปรุง

ลำดับ	รายการ	ค่า
1	ค่าสูงสุด	17.51
2	ค่าเฉลี่ย	17.00
3	ค่าต่ำสุด	16.47
4	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	0.25

ตารางที่ 25 บันทึกผลการทดลอง แบบ 2<sup>k</sup> Full Factorial Design

StdOrder	RunOrder	ความหนาของขึ้นงานแต่ละชั้นใน 1 พิมพ์				ค่าเฉลี่ยความหนาของ ขึ้นงาน (มิลลิเมตร)
		ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 4	
1	67	17.27	17.28	17.27	17.27	17.27
2	83	17.30	17.31	17.31	17.31	17.31
3	5	16.94	16.95	16.94	16.93	16.94
4	92	17.01	17.00	16.99	17.00	17.00
5	34	17.22	17.23	17.23	17.22	17.23
6	48	17.19	17.18	17.20	17.19	17.19
7	28	16.31	16.30	16.30	16.32	16.31
8	94	16.58	16.57	16.57	16.57	16.57
9	38	18.09	18.09	18.09	18.09	18.09
10	89	17.83	17.82	17.83	17.83	17.83
11	87	17.03	17.03	17.03	17.02	17.03
12	60	17.06	17.06	17.07	17.07	17.07
13	98	17.51	17.50	17.50	17.51	17.51
14	103	17.45	17.45	17.45	17.44	17.45
15	12	17.11	17.12	17.11	17.11	17.11
16	1	17.07	17.07	17.08	17.08	17.08
17	69	17.33	17.34	17.35	17.34	17.34
18	44	17.28	17.27	17.29	17.28	17.28
19	105	16.85	16.84	16.85	16.84	16.85
20	93	16.83	16.83	16.84	16.84	16.83

ตารางที่ 25 บันทึกผลการทดลอง แบบ  $2^k$  Full Factorial Design (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	ความหนาของชิ้นงานแต่ละชั้นใน 1 พิมพ์				ค่าเฉลี่ยความหนาของ ชิ้นงาน (มิลลิเมตร)
		ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 4	
21	14	17.19	17.19	17.18	17.19	17.19
22	95	17.17	17.19	17.18	17.18	17.18
23	107	16.74	16.74	16.73	16.74	16.74
24	85	16.61	16.60	16.61	16.60	16.61
25	37	17.72	17.72	17.71	17.71	17.72
26	56	17.56	17.55	17.55	17.56	17.56
27	43	17.01	17.01	17.01	17.01	17.01
28	13	17.05	17.04	17.05	17.04	17.05
29	77	17.41	17.41	17.40	17.42	17.41
30	112	17.40	17.41	17.41	17.41	17.41
31	27	17.08	17.07	17.07	17.06	17.07
32	30	17.07	17.07	17.06	17.06	17.07
33	59	17.30	17.31	17.30	17.29	17.30
34	79	17.30	17.30	17.30	17.30	17.30
35	15	16.84	16.83	16.83	16.83	16.83
36	74	16.88	16.88	16.87	16.87	16.88
37	101	17.21	17.20	17.20	17.20	17.20
38	7	17.25	17.24	17.25	17.25	17.25
39	50	16.54	16.54	16.55	16.55	16.55
40	58	16.69	16.69	16.70	16.67	16.69
41	96	17.63	17.62	17.63	17.62	17.63
42	42	17.75	17.75	17.75	17.75	17.75
43	32	17.04	17.04	17.05	17.03	17.04
44	66	17.01	17.00	17.00	17.00	17.00
45	29	17.47	17.46	17.45	17.46	17.46
46	86	17.37	17.38	17.38	17.36	17.37
47	25	17.09	17.08	17.08	17.08	17.08

ตารางที่ 25 บันทึกผลการทดลอง แบบ  $2^k$  Full Factorial Design (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	ความหนาของชิ้นงานแต่ละชั้นใน 1 พิมพ์				ค่าเฉลี่ยความหนาของ ชิ้นงาน (มิลลิเมตร)
		ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 4	
48	39	17.14	17.14	17.13	17.14	17.14
49	47	17.30	17.32	17.32	17.31	17.31
50	2	17.34	17.34	17.34	17.34	17.34
51	24	16.77	16.76	16.77	16.76	16.77
52	63	16.85	16.84	16.85	16.84	16.85
53	51	17.22	17.23	17.23	17.22	17.23
54	71	17.20	17.21	17.20	17.20	17.20
55	33	16.37	16.37	16.36	16.36	16.37
56	108	16.75	16.77	16.76	16.77	16.76
57	16	17.62	17.62	17.61	17.62	17.62
58	90	17.58	17.58	17.58	17.58	17.58
59	99	17.06	17.05	17.05	17.06	17.06
60	36	17.02	17.02	17.01	17.02	17.02
61	80	17.50	17.52	17.52	17.51	17.51
62	19	17.46	17.47	17.46	17.47	17.47
63	35	17.10	17.11	17.11	17.12	17.11
64	46	17.09	17.09	17.09	17.09	17.09
65	72	17.31	17.30	17.31	17.30	17.31
66	4	17.29	17.28	17.28	17.29	17.29
67	106	16.82	16.81	16.83	16.82	16.82
68	54	16.92	16.91	16.92	16.91	16.92
69	18	17.26	17.25	17.26	17.26	17.26
70	68	17.17	17.17	17.17	17.18	17.17
71	109	16.54	16.53	16.53	16.53	16.53
72	82	16.77	16.77	16.78	16.77	16.77
73	73	17.65	17.65	17.65	17.65	17.65
74	76	17.74	17.74	17.74	17.74	17.74

ตารางที่ 25 บันทึกผลการทดลอง แบบ  $2^k$  Full Factorial Design (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	ความหนาของชิ้นงานแต่ละชั้นใน 1 พิมพ์				ค่าเฉลี่ยความหนาของ ชิ้นงาน (มิลลิเมตร)
		ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 4	
75	26	17.01	17.01	17.00	16.99	17.00
76	53	17.06	17.05	17.05	17.06	17.06
77	57	17.43	17.44	17.42	17.44	17.43
78	49	17.39	17.38	17.39	17.39	17.39
79	3	17.09	17.09	17.09	17.08	17.09
80	75	17.15	17.15	17.15	17.16	17.15
81	64	17.28	17.28	17.29	17.28	17.28
82	78	17.33	17.32	17.32	17.32	17.32
83	81	16.87	16.87	16.87	16.87	16.87
84	102	16.98	16.98	16.98	16.99	16.98
85	84	17.21	17.20	17.21	17.22	17.21
86	65	17.17	17.16	17.16	17.15	17.16
87	111	16.73	16.74	16.73	16.73	16.73
88	22	16.49	16.48	16.48	16.49	16.49
89	61	17.61	17.61	17.62	17.61	17.61
90	62	17.82	17.80	17.81	17.81	17.81
91	70	17.05	17.07	17.06	17.07	17.06
92	31	17.02	17.01	17.01	17.01	17.01
93	45	17.43	17.43	17.44	17.43	17.43
94	11	17.49	17.49	17.49	17.49	17.49
95	55	17.11	17.11	17.11	17.11	17.11
96	88	17.12	17.12	17.12	17.13	17.12
97	100	17.30	17.31	17.30	17.30	17.30
98	41	17.31	17.33	17.32	17.32	17.32
99	10	16.83	16.83	16.84	16.83	16.83
100	104	16.89	16.89	16.89	16.88	16.89
101	8	17.25	17.26	17.26	17.26	17.26

ตารางที่ 25 บันทึกผลการทดลอง แบบ  $2^k$  Full Factorial Design (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	ความหนาของชิ้นงานแต่ละชั้นใน 1 พิมพ์				ค่าเฉลี่ยความหนาของ ชิ้นงาน (มิลลิเมตร)
		ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 4	
102	17	17.22	17.22	17.22	17.22	17.22
103	91	16.69	16.68	16.68	16.69	16.69
104	23	16.66	16.65	16.66	16.66	16.66
105	9	17.91	17.91	17.91	17.91	17.91
106	52	17.53	17.53	17.54	17.53	17.53
107	21	17.01	17.02	17.01	17.02	17.02
108	97	17.06	17.06	17.05	17.05	17.06
109	20	17.47	17.47	17.48	17.47	17.47
110	6	17.51	17.52	17.52	17.50	17.51
111	40	17.14	17.14	17.15	17.14	17.14
112	110	17.11	17.10	17.10	17.11	17.11

ตารางที่ 26 บันทึกผลการทดลอง แบบ  $3^k$  Full Factorial Design

StdOrder	RunOrder	ความหนาของชิ้นงานแต่ละชั้นใน 1 พิมพ์				ค่าเฉลี่ยความหนาของ ชิ้นงาน (มิลลิเมตร)
		ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 4	
1	62	16.10	16.09	16.11	16.11	16.10
2	36	16.25	16.24	16.24	16.25	16.25
3	184	16.77	16.77	16.77	16.78	16.77
4	128	16.08	16.07	16.08	16.07	16.08
5	156	16.22	16.21	16.23	16.22	16.22
6	90	16.56	16.56	16.56	16.57	16.56
7	188	16.05	16.06	16.04	16.06	16.05
8	97	16.20	16.21	16.21	16.19	16.20
9	29	16.46	16.46	16.46	16.45	16.46
10	31	16.03	16.03	16.03	16.03	16.03
11	134	16.19	16.19	16.18	16.19	16.19
12	89	16.42	16.42	16.42	16.43	16.42

ตารางที่ 26 บันทึกผลการทดลอง แบบ  $3^k$  Full Factorial Design (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	ความหนาของชิ้นงานแต่ละชั้นใน 1 พิมพ์				ค่าเฉลี่ยความหนาของ ชิ้นงาน (มิลลิเมตร)
		ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 4	
13	37	16.01	16.01	16.02	16.02	16.02
14	182	16.17	16.18	16.17	16.17	16.17
15	153	16.40	16.41	16.40	16.40	16.40
16	179	15.98	15.98	15.98	15.97	15.98
17	113	16.15	16.15	16.15	16.14	16.15
18	115	16.35	16.36	16.35	16.35	16.35
19	158	15.88	15.89	15.88	15.88	15.88
20	86	16.14	16.13	16.14	16.13	16.14
21	82	16.31	16.32	16.31	16.32	16.32
22	61	15.84	15.83	15.83	15.84	15.84
23	119	16.13	16.12	16.13	16.13	16.13
24	159	16.28	16.29	16.29	16.29	16.29
25	174	15.78	15.78	15.77	15.77	15.78
26	63	16.10	16.10	16.11	16.10	16.10
27	74	16.28	16.28	16.28	16.28	16.28
28	53	16.11	16.11	16.10	16.09	16.10
29	68	16.24	16.24	16.23	16.23	16.24
30	92	16.71	16.71	16.72	16.71	16.71
31	55	16.06	16.08	16.08	16.07	16.07
32	176	16.21	16.22	16.21	16.22	16.22
33	135	16.49	16.49	16.49	16.49	16.49
34	93	16.05	16.05	16.05	16.05	16.05
35	95	16.21	16.22	16.20	16.21	16.21
36	38	16.46	16.46	16.47	16.47	16.47
37	139	16.02	16.02	16.02	16.01	16.02
38	8	16.19	16.19	16.19	16.19	16.19
39	67	16.41	16.41	16.42	16.42	16.42



ตารางที่ 26 บันทึกผลการทดลอง แบบ  $3^k$  Full Factorial Design (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	ความหนาของชิ้นงานแต่ละชั้นใน 1 พิมพ์				ค่าเฉลี่ยความหนาของ ชิ้นงาน (มิลลิเมตร)
		ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 4	
40	43	16.01	16.01	16.01	16.01	16.01
41	138	16.18	16.18	16.17	16.17	16.17
42	150	16.35	16.36	16.37	16.37	16.36
43	143	15.98	15.99	15.98	15.98	15.98
44	98	16.15	16.15	16.14	16.15	16.15
45	35	16.36	16.35	16.35	16.35	16.35
46	152	15.95	15.96	15.96	15.95	15.96
47	71	16.14	16.14	16.13	16.14	16.14
48	44	16.30	16.30	16.30	16.30	16.30
49	48	15.86	15.87	15.86	15.86	15.86
50	79	16.13	16.12	16.13	16.13	16.13
51	32	16.27	16.28	16.28	16.28	16.28
52	164	15.75	15.75	15.76	15.75	15.75
53	2	16.12	16.11	16.11	16.11	16.11
54	16	16.26	16.25	16.26	16.26	16.26
55	17	16.09	16.08	16.09	16.09	16.09
56	58	16.23	16.24	16.24	16.24	16.24
57	60	16.57	16.57	16.57	16.57	16.57
58	127	16.07	16.07	16.08	16.07	16.07
59	105	16.20	16.21	16.21	16.21	16.21
60	66	16.51	16.51	16.52	16.51	16.51
61	73	16.06	16.04	16.05	16.05	16.05
62	33	16.20	16.20	16.21	16.21	16.21
63	28	16.44	16.44	16.42	16.43	16.43
64	100	16.02	16.02	16.02	16.02	16.02
65	131	16.19	16.18	16.19	16.19	16.19
66	147	16.41	16.40	16.40	16.40	16.40

ตารางที่ 26 บันทึกผลการทดลอง แบบ  $3^k$  Full Factorial Design (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	ความหนาของชิ้นงานแต่ละชั้นใน 1 พิมพ์				ค่าเฉลี่ยความหนาของ ชิ้นงาน (มิลลิเมตร)
		ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 4	
67	26	16.01	16.02	16.01	16.01	16.01
68	133	16.18	16.18	16.18	16.19	16.18
69	87	16.35	16.35	16.35	16.36	16.35
70	165	15.98	15.98	15.99	15.98	15.98
71	41	16.16	16.15	16.15	16.15	16.15
72	78	16.33	16.34	16.33	16.32	16.33
73	107	15.89	15.89	15.89	15.89	15.89
74	20	16.13	16.14	16.14	16.13	16.14
75	15	16.32	16.32	16.33	16.32	16.32
76	166	15.85	15.85	15.84	15.85	15.85
77	72	16.11	16.12	16.12	16.12	16.12
78	102	16.28	16.28	16.28	16.29	16.28
79	103	15.83	15.82	15.83	15.83	15.83
80	146	16.11	16.11	16.11	16.11	16.11
81	106	16.26	16.25	16.26	16.26	16.26
82	170	16.09	16.08	16.09	16.08	16.09
83	7	16.24	16.25	16.25	16.25	16.25
84	151	16.75	16.76	16.74	16.75	16.75
85	114	16.08	16.07	16.06	16.07	16.07
86	181	16.22	16.21	16.22	16.22	16.22
87	175	16.47	16.47	16.47	16.47	16.47
88	88	16.04	16.04	16.04	16.04	16.04
89	25	16.20	16.21	16.21	16.19	16.20
90	11	16.46	16.47	16.47	16.46	16.46
91	1	16.02	16.02	16.02	16.02	16.02
92	180	16.19	16.19	16.19	16.18	16.19
93	171	16.40	16.41	16.40	16.40	16.40

ตารางที่ 26 บันทึกผลการทดลอง แบบ  $3^k$  Full Factorial Design (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	ความหนาของชิ้นงานแต่ละชั้นใน 1 พิมพ์				ค่าเฉลี่ยความหนาของ ชิ้นงาน (มิลลิเมตร)
		ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 4	
94	52	16.03	16.02	16.02	16.02	16.02
95	84	16.16	16.15	16.15	16.16	16.16
96	59	16.37	16.37	16.37	16.38	16.37
97	109	15.96	15.95	15.96	15.96	15.96
98	9	16.15	16.14	16.15	16.15	16.15
99	75	16.34	16.34	16.34	16.34	16.34
100	183	15.91	15.93	15.92	15.92	15.92
101	160	16.14	16.15	16.14	16.14	16.14
102	120	16.30	16.30	16.30	16.31	16.30
103	157	15.87	15.87	15.88	15.87	15.87
104	168	16.13	16.12	16.13	16.13	16.13
105	118	16.28	16.27	16.28	16.28	16.28
106	155	15.75	15.74	15.75	15.75	15.75
107	24	16.11	16.12	16.11	16.11	16.11
108	5	16.28	16.28	16.27	16.28	16.28
109	57	16.08	16.07	16.08	16.08	16.08
110	81	16.24	16.24	16.24	16.23	16.24
111	76	16.60	16.60	16.60	16.60	16.60
112	185	16.08	16.08	16.08	16.08	16.08
113	112	16.22	16.22	16.22	16.22	16.22
114	27	16.52	16.51	16.53	16.52	16.52
115	189	16.05	16.04	16.05	16.05	16.05
116	108	16.21	16.20	16.20	16.20	16.20
117	4	16.44	16.43	16.43	16.43	16.43
118	46	16.04	16.04	16.05	16.04	16.04
119	19	16.19	16.19	16.19	16.20	16.19
120	99	16.41	16.41	16.42	16.41	16.41

ตารางที่ 26 บันทึกผลการทดลอง แบบ  $3^k$  Full Factorial Design (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	ความหนาของชิ้นงานแต่ละชั้นใน 1 พิมพ์				ค่าเฉลี่ยความหนาของ ชิ้นงาน (มิลลิเมตร)
		ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 4	
121	30	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00
122	10	16.18	16.18	16.19	16.18	16.18
123	101	16.39	16.38	16.39	16.39	16.39
124	173	15.99	15.99	15.98	15.99	15.99
125	83	16.15	16.15	16.16	16.15	16.15
126	148	16.32	16.33	16.32	16.32	16.32
127	22	15.90	15.90	15.91	15.90	15.90
128	51	16.14	16.14	16.14	16.14	16.14
129	163	16.31	16.32	16.31	16.31	16.31
130	23	15.83	15.84	15.84	15.84	15.84
131	177	16.11	16.10	16.10	16.11	16.11
132	145	16.28	16.28	16.27	16.28	16.28
133	42	15.78	15.79	15.78	15.78	15.78
134	94	16.10	16.11	16.10	16.10	16.10
135	124	16.24	16.25	16.25	16.25	16.25
136	187	16.09	16.09	16.10	16.09	16.09
137	122	16.22	16.22	16.22	16.23	16.22
138	172	16.66	16.68	16.67	16.68	16.67
139	104	16.06	16.05	16.06	16.06	16.06
140	126	16.21	16.20	16.21	16.20	16.21
141	70	16.48	16.48	16.49	16.49	16.49
142	65	16.06	16.06	16.05	16.05	16.06
143	13	16.20	16.20	16.21	16.20	16.20
144	136	16.42	16.42	16.42	16.43	16.42
145	111	16.03	16.03	16.02	16.03	16.03
146	121	16.19	16.19	16.19	16.19	16.19
147	50	16.42	16.42	16.42	16.42	16.42

ตารางที่ 26 บันทึกผลการทดลอง แบบ  $3^k$  Full Factorial Design (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	ความหนาของชิ้นงานแต่ละชั้นใน 1 พิมพ์				ค่าเฉลี่ยความหนาของ ชิ้นงาน (มิลลิเมตร)
		ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 4	
148	69	15.99	15.99	15.98	15.99	15.99
149	40	16.16	16.16	16.16	16.17	16.16
150	144	16.39	16.38	16.39	16.38	16.39
151	80	15.96	15.97	15.96	15.96	15.96
152	162	16.16	16.15	16.15	16.15	16.15
153	167	16.33	16.32	16.32	16.32	16.32
154	186	15.94	15.95	15.95	15.95	15.95
155	96	16.14	16.14	16.14	16.13	16.14
156	91	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31
157	169	15.87	15.87	15.87	15.88	15.87
158	161	16.12	16.13	16.12	16.12	16.12
159	125	16.29	16.28	16.28	16.28	16.28
160	85	15.74	15.73	15.73	15.73	15.73
161	12	16.10	16.10	16.11	16.10	16.10
162	154	16.25	16.25	16.24	16.25	16.25
163	64	16.08	16.08	16.08	16.08	16.08
164	110	16.23	16.24	16.23	16.23	16.23
165	123	16.60	16.61	16.61	16.59	16.60
166	6	16.06	16.07	16.08	16.08	16.07
167	140	16.21	16.20	16.21	16.20	16.21
168	21	16.48	16.47	16.48	16.47	16.47
169	77	16.05	16.05	16.04	16.04	16.05
170	178	16.19	16.18	16.18	16.19	16.19
171	129	16.44	16.43	16.44	16.43	16.44
172	14	16.03	16.02	16.02	16.03	16.03
173	39	16.18	16.18	16.19	16.19	16.19
174	54	16.41	16.41	16.42	16.42	16.42

ตารางที่ 26 บันทึกผลการทดลอง แบบ  $3^k$  Full Factorial Design (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	ความหนาของชิ้นงานแต่ละชั้นใน 1 พิมพ์				ค่าเฉลี่ยความหนาของ ชิ้นงาน (มิลลิเมตร)
		ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 4	
175	49	15.99	15.98	15.98	15.99	15.99
176	3	16.17	16.16	16.17	16.16	16.17
177	34	16.36	16.35	16.35	16.36	16.36
178	137	15.99	15.98	15.98	15.99	15.99
179	45	16.15	16.16	16.15	16.14	16.15
180	132	16.32	16.32	16.31	16.32	16.32
181	56	15.95	15.95	15.95	15.95	15.95
182	47	16.14	16.13	16.14	16.13	16.14
183	116	16.32	16.33	16.32	16.33	16.32
184	141	15.85	15.84	15.84	15.85	15.85
185	149	16.11	16.11	16.11	16.10	16.11
186	130	16.29	16.29	16.29	16.29	16.29
187	18	15.83	15.84	15.83	15.83	15.83
188	117	16.10	16.10	16.11	16.10	16.10
189	142	16.26	16.28	16.28	16.27	16.27





รูปที่ 74 เครื่องอัดขึ้นรูปร้อน



รูปที่ 75 เครื่องชั่งน้ำหนักเคมี



รูปที่ 76 เครื่องมือที่ใช้ในการวัดความหนาของชิ้นงาน (เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์)



## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	สรวิชญ์ สุวรรณอักษร
วัน เดือน ปี เกิด	25 ตุลาคม 2516
สถานที่เกิด	จังหวัดชัยภูมิ
วุฒิการศึกษา	ปริญญาบริหารธุรกิจบัณฑิต (บธ.บ.) สาขาวิชาการจัดการทั่วไป
ที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 123/52 หมู่ที่ 3 ตำบลห้วยโรง อำเภอเขาย้อย จังหวัดเพชรบุรี 76140

