

การลดของเสียในกระบวนการผลิตกระจกโครเมียมโดยใช้เทคนิค
การออกแบบการทดลอง

A DEFECT REDUCTION IN CHROME-COATED MIRROR
PROCESS BY DESIGN OF EXPERIMENT TECHNIQUE

ปิยพงษ์ รัตเขียว

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การลดของเสียในกระบวนการผลิตกระจกโครเมียมโดยใช้เทคนิค
การออกแบบการทดลอง

ปิยพงษ์ ริดเจียว

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2555
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การลดของเสียในกระบวนการผลิตกระจกโครเมียมโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง
ชื่อ-นามสกุล	นายปิยพงษ์ ริดเจียว
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ณัฐา คุปต์ยงเกียรติ, Ph.D.
ปีการศึกษา	2555

บทคัดย่อ

กระบวนการผลิตกระจกโครเมียมในชิ้นส่วนยานยนต์ ณ บริษัทกรณีศึกษา พบปัญหาการเกิดของเสียปริมาณมากในกระบวนการผลิตกระจกโครเมียมสูงถึงร้อยละ 23 โดยพบของเสียในลักษณะเกิดรอยขีดบนผิวกระจก การผิดเพี้ยนของภาพ เกิดจุดบนผิวกระจก เป็นต้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดของเสียและปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการผลิตกระจกโครเมียม โดยนำเทคนิคการออกแบบการทดลอง ในการหาปัจจัยและระดับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดของเสีย และคุณภาพต่อกระบวนการผลิตกระจกโครเมียม

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย คือชิ้นงานกระจกโครเมียม ซึ่งมีการเก็บข้อมูลเชิงผันแปร และเชิงแอตทริบิวต์ จำนวน 40 ตัวอย่างของแต่ละเงื่อนไขการทดลองตามแบบการทดลอง $L_8 2^6$ โดยวิธีทากูชิ ซึ่งเป็นการออกแบบการทดลองทางเลือก มาช่วยทำการกรองปัจจัย เพื่อลดจำนวนการทดลองสถิติที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลคือกรณีค่ายิ่งมากยิ่งดี และกรณีค่าตรงเป้าหมายดีที่สุด ต่อจากนั้น นำปัจจัยที่ถูกกรองแล้ว เพื่อความเชื่อมั่นการทดลองโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว ซึ่งเป็นการทดลองคลาสสิก ลักษณะข้อมูลเป็นเชิงผันแปร จำนวน 58 ตัวอย่าง โดยตั้งสมมติฐานงานวิจัย ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของการสะท้อนแสงที่เกิดจากการใช้เวลาในการเคลือบโครเมียมทั้ง 4 ค่าไม่มีความแตกต่างกัน

ผลการวิจัยพบว่าเงื่อนไขที่ดีที่สุดทั้งด้านการลดของเสียและปรับปรุงคุณภาพที่ดีที่สุดคือ ปัจจัยอุณหภูมิอบที่ 690 องศาเซลเซียส ความเร็วสายพานที่ 15 เมตรต่อนาที รูปแบบรถเข็นแบบมีร่อง ระบบเครื่องฝนขอบกระจกแบบใช้น้ำป้องกันเศษกระจก ระบบป้องกันฝุ่นบนสายพานแบบใช้แรงดันลม และเวลาในการเคลือบโครเมียมที่ 8 วินาที โดยสามารถลดของเสียเหลือร้อยละ 9.3

คำสำคัญ : การผลิตกระจกโครเมียม การปรับปรุงคุณภาพ วิธีการของทากูชิ

Thesis Title	A Defect Reduction in Chrome-Coated Mirror Process by Design of Experiment Technique
Name-Surname	Mr. Piyapong Ridkheaw
Study Program	Industrial Engineering
Thesis Advisor	Associate Professor Natha Kuptasthien, Ph.D.
Academic year	2012

ABSTRACT

The Chrome-Coated Mirror, an automotive part, manufacturing process at a case studied company showed a high defective rate of 23 %. The defective parts were scratches on the glass surface, distortion of the image and dots on the surface. The research objectives were to reduce defects and improve production quality by using an experimental design technique in order to identify main influencing factors.

The samples used in this study were 40 chrome-coated mirror pieces per experiments using $L_8 2^6$ of Taguchi method to reduce numbers of experiments. The analysis was the larger the better and target the better. Next step was to apply a classic design of experiment technique to 58 samples to increase the experimental confidence.

The results showed that the best manufacturing conditions were baking temperature of 690°C, conveyor speed of 15 meters per minute, using a cart track, using water to prevent rubbing glass, using pressure on anti-dust belts, and croming time of 8 seconds. The defects were reduced to 9.3 %

Keywords: chrome-coated mirror process, quality improvement, Taguchi's method

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยต้องขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ณฐา คุปต์ยงเกียรติ ที่กรุณาได้ให้คำปรึกษา การเอาใจใส่ติดตามและคำแนะนำอันเป็นประโยชน์มาโดยตลอด รวมทั้งอาจารย์ทุกท่านในภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ หลักสูตรปริญญาโท ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ และเสนอแนะแนวทาง ต่างๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ อีกทั้งคณะกรรมการสอบหัวข้อวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้ ข้อเสนอแนะต่างๆ ในการนำไปปรับปรุงกรอบแนวคิดงานวิจัย ผู้วิจัยขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณผู้เชี่ยวชาญทุกท่าน โดยเฉพาะผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศรีโร จารุกัญญา ที่ให้ความ อนุเคราะห์ตรวจสอบเนื้อหาผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์จากโปรแกรม Minitab อันเป็นประโยชน์อย่าง มากต่อการวิจัยนี้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ หลักสูตรปริญญาโท ปี 52 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ ให้ความช่วยเหลือด้านข้อมูลต่างๆ และขอขอบพระคุณบุคลากรในสำนักงานบัณฑิตคณะ วิศวกรรมศาสตร์ ที่คอยให้ความอนุเคราะห์และการช่วยเหลือด้านข้อมูล การติดต่อประสานงาน และ อีกมากมายที่ผู้วิจัยไม่สามารถระบุได้ทั้งหมดในที่นี้

และสุดท้าย ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณพ่อหอม ริดเจียว คุณแม่บรรจง ริดเจียว ผู้เป็น กำลังสำคัญ และเป็นผู้ให้กำลังใจในการวิจัยครั้งนี้ ถึงแม้จะประสบปัญหาและอุปสรรคต่างๆ มากมาย แต่ด้วยความช่วยเหลือของทุกท่านที่กล่าวมานี้ทั้งหมด เป็นแรงผลักดันให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จ ลุล่วงไปได้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงใคร่ขอขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ปิยพงษ์ ริดเจียว

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ณ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	14
1.3 สมมุติฐานงานวิจัย.....	14
1.4 ขอบเขตงานวิจัย.....	14
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย.....	15
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	15
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16
2.1 การผลิตกระจกโครเมียม.....	16
2.2 ข้อมูลและประเภทของข้อมูล.....	18
2.3 การวิเคราะห์ระบบการวัด.....	20
2.4 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ.....	30
2.5 เครื่องมือควบคุมคุณภาพ.....	43
2.6 ความสำคัญของการออกแบบการทดลอง.....	52
2.7 การออกแบบการทดลองโดยวิธีทากูชิ.....	57
2.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA).....	63
2.9 ประเภทของการออกแบบการทดลอง.....	65
2.10 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	66

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	68
3.1 วิธีการดำเนินงานวิจัยของขั้นตอนการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาเพื่อกำหนด ปัจจัยที่นำมาพิจารณา.....	70
3.2 วิธีการดำเนินงานวิจัยของขั้นตอนการศึกษาความสามารถของระบบการวัด.....	71
3.3 วิธีการดำเนินงานวิจัยของขั้นตอนการศึกษาความสามารถของกระบวนการ.....	83
3.4 วิธีการดำเนินงานวิจัยของขั้นตอนการออกแบบการทดลองเบื้องต้น และดำเนินการ ทดลองโดยใช้การออกแบบการทดลองทากูจิ.....	84
3.5 วิธีการดำเนินงานวิจัยของขั้นตอนการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองเบื้องต้น.....	86
3.6 วิธีการดำเนินงานวิจัยของขั้นตอนการออกแบบการทดลองการวิเคราะห์ความ แปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว.....	86
3.7 วิธีการดำเนินงานวิจัยของขั้นตอนการนำผลที่ได้ไปใช้งานและสรุปผลจากการ ดำเนินการวิจัย.....	87
4 ผลการดำเนินการวิจัย.....	88
4.1 ผลการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาเพื่อกำหนดปัจจัยที่นำมาพิจารณา.....	88
4.2 ผลการศึกษาความสามารถของระบบการวัด.....	96
4.3 ผลการศึกษาความสามารถของกระบวนการ.....	112
4.4 ผลการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองเบื้องต้น.....	127
4.5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว.....	129
4.6 การนำผลที่ได้ไปใช้งานและสรุปผลจากการดำเนินการวิจัย.....	134
5 สรุป อภิปรายผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ.....	148
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน.....	148
5.2 อภิปรายผลการดำเนินงาน.....	149
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	150
รายการอ้างอิง.....	151

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
ภาคผนวก.....	155
ภาคผนวก ก ตารางการออกแบบการทดลองด้วยวิธีทากูชิ.....	156
ภาคผนวก ข ข้อกำหนดมาตรฐานเกณฑ์การยอมรับ.....	159
ภาคผนวก ค พื้นที่ได้เส้นโค้งแบบปกติมาตรฐาน.....	163
ภาคผนวก ง ข้อมูลการบันทึกผลการทดลอง.....	167
ภาคผนวก จ ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่.....	171
ประวัติผู้เขียน.....	188



สารบัญตาราง

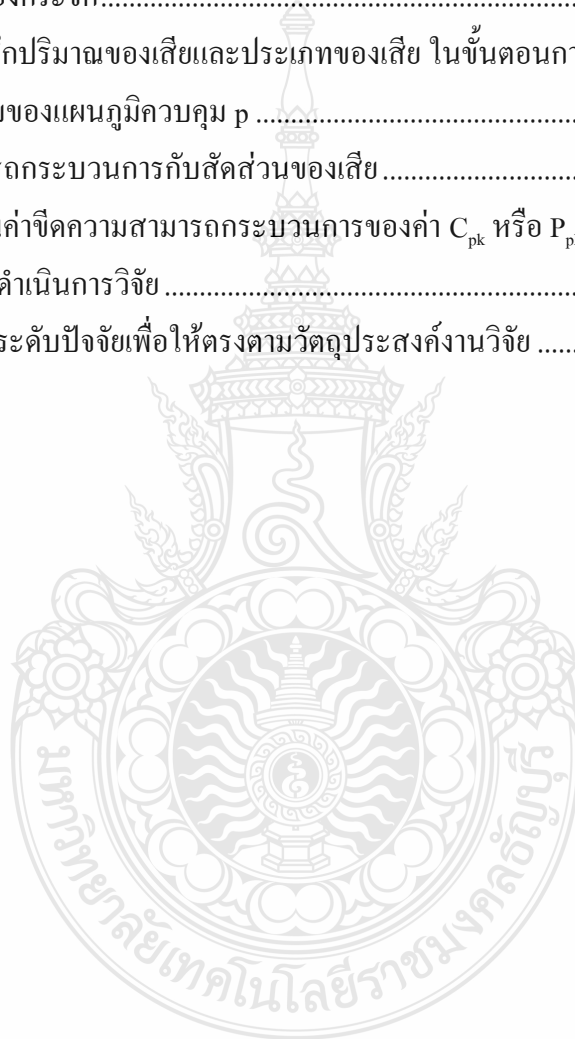
ตารางที่		หน้า
1.1	ข้อมูลการผลิตกระจก ในช่วงเดือนตุลาคม 2553 ถึง มกราคม 2554	2
1.2	สัดส่วนของผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านข้อกำหนดในระหว่างกระบวนการผลิต ในช่วงเดือนตุลาคม 2553 ถึง มกราคม 2554	4
1.3	สัดส่วนของลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านข้อกำหนดการตรวจสอบประเภทต่างๆ ในช่วงเดือนตุลาคม 2553 ถึง มกราคม 2554.....	5
1.4	ข้อมูลในการเก็บตัวอย่างเพื่อตรวจสอบความสามารถของกระบวนการของค่าความโค้งของกระจกแบบการศึกษาระยะสั้น	7
1.5	ข้อมูลในการเก็บตัวอย่างเพื่อตรวจสอบความสามารถของกระบวนการค่าความสะท้อนของกระจกเงาแบบการศึกษาระยะสั้น	9
1.6	ค่าขั้นต่ำของดัชนีความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ (C_p).....	11
1.7	ค่าอัตราส่วนความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ (C_R).....	11
1.8	ค่าขั้นต่ำของดัชนีความสามารถสมรรถนะของกระบวนการ (C_{pk}).....	12
1.9	สรุปผลค่าความสามารถของกระบวนการ	12
2.1	บทสรุปการศึกษาความสามารถของกระบวนการ	35
2.2	รายการประเภทของกราฟ.....	52
2.3	แผนการทดลองของทากูชิ	62
2.4	การวิเคราะห์ความแปรปรวน.....	65
3.1	ใบลงบันทึกข้อมูลการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านไบอัส	73
3.2	การลงบันทึกข้อมูลการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเชิงเส้นตรงของระบบการวัด	74
3.3	การลงบันทึกข้อมูลการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านรีพีทะบิลิตีและรีโพรดิวซิบิลิตีสำหรับข้อมูลผันแปรของระบบการวัด.....	77
3.4	ขนาดสิ่งตัวอย่างแนะนำในการประเมินผลระบบการตรวจสอบ	80
3.5	การลงบันทึกข้อมูลการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านรีพีทะบิลิตีสำหรับข้อมูลนับได้ของระบบการวัด	82
3.6	การเก็บข้อมูลสำหรับการศึกษาความสามารถของกระบวนการระยะสั้น	83
3.7	การเก็บข้อมูลสำหรับการศึกษาความสามารถของกระบวนการระยะยาว.....	84
3.8	รูปแบบแผนการทดลองทากูชิ.....	84

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
3.9 แผนการทดลองแบบ L_82^6 Orthogonal Array	85
3.10 แผนการทดลองการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว	87
4.1 การหาแนวทางปรับปรุง และพิจารณาเพื่อกำหนดปัจจัยที่อาจมีอิทธิพลต่อการเกิดของ เสียประเภทรอยขีดขูดที่เกิดบนผิวกระจก	89
4.2 การหาแนวทางปรับปรุง และพิจารณาเพื่อกำหนดปัจจัยที่อาจมีอิทธิพลต่อการเกิดของ เสียประเภทการเกิดจุดบนผิวกระจก	91
4.3 การหาแนวทางปรับปรุงและพิจารณาเพื่อกำหนดปัจจัยที่อาจมีอิทธิพลต่อลักษณะ คุณภาพซึ่งทำให้เกิดการผิวนูนของภาพ	92
4.4 ปัจจัยและระดับปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาเพื่อทำการทดลองวิธีการทาถูชิว	94
4.5 ผลการบันทึกข้อมูลการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านไบอัส	96
4.6 ผลการทดลองการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเชิงเส้นตรงของระบบการวัด	99
4.7 ผลการทดลองการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านรีพีทะบิลิตีและรีโพรดิวซิบิลิตี สำหรับ ข้อมูลผันแปรโดยวิธีอาศัยการวิเคราะห์ความแปรปรวน	102
4.8 ผลการทดลองการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านรีพีทะบิลิตีสำหรับข้อมูลนับ	109
4.9 สรุปผลการศึกษาความสามารถของระบบการวัด	111
4.10 สรุปค่าความสามารถของกระบวนการในการศึกษาระยะสั้น และแนวทางการแก้ไข กระบวนการ	114
4.11 แบบแผนการทดลองของทาถูชิวที่นิยมใช้	115
4.12 การออกแบบการทดลองทาถูชิว สำหรับออร์ทอกอนัลแอร์เรย์ชนิดแอล 8.....	116
4.13 ผลกระทบร่วมสองปัจจัยของการออกแบบการทดลองทาถูชิว สำหรับออร์ทอกอนัลแอร์ เรย์ชนิดแอล 8.....	116
4.14 ผลการออกแบบการทดลองเบื้องต้นโดยใช้แผนการทดลองแบบ L_82^6 Orthogonal Array.....	117
4.15 ผลการทดลองแบบ L_82^6 Orthogonal Array	118
4.16 การเปรียบเทียบประเภทการทดลองแบบต่างๆ กับการทดลองวิธีทาถูชิว.....	127
4.17 ผลการทดลองการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว.....	130
4.18 การกำหนดระดับปัจจัยเพื่อให้ตรงตามวัตถุประสงค์งานวิจัย	135

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.19 ผลการเก็บข้อมูลสำหรับการศึกษาความสามารถของกระบวนการระยะยาว สำหรับค่าการสะท้อนแสง	136
4.20 ผลการเก็บข้อมูลสำหรับการศึกษาความสามารถของกระบวนการระยะยาว สำหรับค่าความโค้งของกระจก.....	138
4.21 ผลการบันทึกปริมาณของเสียและประเภทของเสีย ในขั้นตอนการขึ้นชั้นผลการทดลอง	140
4.22 พิกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุม p	141
4.23 ความสามารถกระบวนการกับสัดส่วนของเสีย	144
4.24 การประเมินค่าขีดความสามารถกระบวนการของค่า C_{pk} หรือ P_{pk}	144
4.25 สรุปผลการดำเนินการวิจัย	146
5.1 การกำหนดระดับปัจจัยเพื่อให้ตรงตามวัตถุประสงค์งานวิจัย	149



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 แผนภูมิกระบวนการผลิตโดยสังเขปของการผลิตกระจก โครเมียมและการตรวจสอบคุณภาพ	3
1.2 แผนภูมิพาเรโตแสดงสัดส่วนของลักษณะผลิตภัณฑ์ไม่ผ่านข้อกำหนดการตรวจสอบประเภทต่างๆ ในช่วงเดือนตุลาคม 2553 ถึง มกราคม 2554.....	5
1.3 ค่าความสามารถของกระบวนการด้านค่าความโค้งของกระจก	8
1.4 ค่าความสามารถของกระบวนการด้านค่าการสะท้อนของแสง	10
1.5 แนวทางการแก้ปัญหากระบวนการที่ไม่มีความสามารถ กรณีศึกษาระยะสั้น.....	13
2.1 การใช้เครื่อง Shape Marking เพื่อระบุรูปทรงกระจก	17
2.2 การฝนขอบกระจกโดยเครื่อง Chamfering Machine	17
2.3 การอบโค้งกระจก.....	18
2.4 การเคลือบโครเมียม	18
2.5 ประเภทของข้อมูลและความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์	19
2.6 องค์ประกอบความผันแปรของระบบการวัด	21
2.7 คุณลักษณะความผันแปรของระบบการวัด.....	21
2.8 คุณสมบัติด้านไบอัส	22
2.9 คุณสมบัติด้านความเสถียร	23
2.10 คุณสมบัติด้านเชิงเส้นตรง.....	24
2.11 คุณสมบัติเชิงเส้นตรงที่แสดงกรณีค่าไบอัสคงที่และไม่คงที่	24
2.12 คุณสมบัติด้านรีพีทะบิลิตี้ของระบบการวัด.....	26
2.13 คุณสมบัติด้านรีโพรดูซิบิลิตี้ของระบบการวัด.....	27
2.14 การแจกแจงความถี่ของเส้นผ่านศูนย์กลาง	30
2.15 กระบวนการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ	31
2.16 ขั้นตอนการศึกษาความสามารถของกระบวนการ	33
2.17 แนวทางการแก้ปัญหากระบวนการที่ไม่มีความสามารถ.....	36
2.18 เหตุผลของความสามารถกระบวนการที่มีค่ามากกว่า 1 แต่ยังคงผลิตของเสีย.....	38
2.19 การเก็บข้อมูลของการศึกษาความสามารถกระบวนการระยะสั้นและระยะยาว.....	41
2.20 แนวความคิดของการเทียบเคียงค่า Z	42

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า	
2.21	ใบตรวจสอบวัดค่าความเค้นดึงของเส้นใยโพลีเอสเตอร์	44
2.22	ใบตรวจสอบรอยตำหนิของหีบห่อกระดาษ A4	44
2.23	ใบตรวจสอบของเสียจากการหีบห่อกระดาษ A4 ด้วยพลาสติก	45
2.24	ใบตรวจสอบสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่อง	46
2.25	ใบตรวจสอบความพร้อมก่อนการทดสอบความต้านทานแรงดึง	47
2.26	ซีดีโตแกรม	48
2.27	สาเหตุต่างๆ ของงานหล่อกระบอบอกสูบลม	49
2.28	แผนผังก้างปลา	49
2.29	แผนภูมิควบคุม	50
2.30	ผลการทดสอบพลาสติก ที่ใช้ห่อกระดาษ 5 รีม	51
2.31	แนวคิดทางวิศวกรรมคุณภาพ	53
2.32	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ในกระบวนการหรือระบบที่สนใจ	54
2.33	หลักการสำคัญในการออกแบบการทดลอง	55
2.34	ฟังก์ชันการสูญเสียด้านคุณภาพ	59
2.35	การการออกแบบการทดลองและวิเคราะห์การทดลองในอุตสาหกรรม	66
3.1	ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	69
3.2	แผนผังก้างปลาแสดงสาเหตุของปัญหาของเสียประเภทรอยขีดข่วนที่เกิดบนผิวกระจก การเกิดจุดบนผิวกระจก และการผิวนูนของภาพ	70
3.3	ลักษณะของเงากระจกที่ผ่านและไม่ผ่านข้อกำหนดมาตรฐาน ด้านเงาสะท้อน	80
3.4	ลักษณะของเงากระจกที่ผ่านและไม่ผ่านข้อกำหนดมาตรฐาน ด้านรอยบิ่นและรอยไต่ ..	81
3.5	ลักษณะของเงากระจกที่ผ่านและไม่ผ่านข้อกำหนดมาตรฐาน ด้านรอยขีดข่วน	81
3.6	ลักษณะของเงากระจกที่ผ่านและไม่ผ่านข้อกำหนดมาตรฐาน ด้านจุดดำ จุดขาว และ รอยสกปรกต่างๆ	81
4.1	แผนผังก้างปลาแสดงสาเหตุของปัญหาการเกิดของเสียประเภทรอยขีดข่วนที่เกิดบนผิว กระจก	88
4.2	แผนผังก้างปลาแสดงสาเหตุของปัญหาการเกิดของเสียประเภทการเกิดจุดบนผิว กระจก	90

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.3	แผนผังก้างปลาแสดงสาเหตุของปัญหาที่อาจมีอิทธิพลต่อลักษณะคุณภาพซึ่งทำให้เกิดการผิดเพี้ยนของภาพ	92
4.4	รูปแบบรถเข็นก่อนปรับปรุงและรูปแบบรถเข็นหลังปรับปรุง.....	95
4.5	รูปแบบระบบเครื่องฝนขอบกระจกในกระบวนการฝนขอบกระจกก่อนและหลังปรับปรุง.....	95
4.6	รูปแบบระบบป้องกันฝุ่นบนสายพานลำเลียงกระจกก่อนและหลังปรับปรุง.....	96
4.7	ผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์ของการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านไปอัสของระบบการวัดของการวัดค่าความโค้งกระจก.....	97
4.8	ผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์ของการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านไปอัสของระบบการวัดของการวัดค่าการสะท้อนแสงของกระจก	98
4.9	ผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์ของการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเชิงเส้นตรงของระบบการวัดของการวัดค่าการสะท้อนแสงของกระจก.....	100
4.10	ผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์ของการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเชิงเส้นตรงของระบบการวัดของการวัดค่าความโค้งของกระจก	101
4.11	ผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์ของการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านด้านรีฟิททะเลบิลิตี้และรีโปรคิวซิบิลิตี้ สำหรับข้อมูลผันแปรโดยวิธีอาศัยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ค่าความโค้งกระจก)	103
4.12	ผลลัพธ์ Session ของการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านด้านรีฟิททะเลบิลิตี้และรีโปรคิวซิบิลิตี้ สำหรับข้อมูลผันแปรโดยวิธีอาศัยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ค่าความโค้งกระจก)..	104
4.13	ผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์ของการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านด้านรีฟิททะเลบิลิตี้และรีโปรคิวซิบิลิตี้ สำหรับข้อมูลผันแปรโดยวิธีอาศัยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ค่าการสะท้อนแสง).....	106
4.14	ผลลัพธ์ Session ของการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านด้านรีฟิททะเลบิลิตี้และรีโปรคิวซิบิลิตี้ สำหรับข้อมูลผันแปรโดยวิธีอาศัยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ค่าการสะท้อนกระจก)	107
4.15	ผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์ของการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านรีฟิททะเลบิลิตี้สำหรับข้อมูลนับ	110

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.16 ผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์ความสามารถของกระบวนการของค่าความโค้งของกระจกแบบการศึกษาระยะสั้น	112
4.17 ผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์ความสามารถของกระบวนการของค่าการสะท้อนแสงของกระจกแบบการศึกษาระยะสั้น.....	113
4.18 ผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์การทดลองหาปัจจัยและระดับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดของเสีย	119
4.19 ค่าเฉลี่ยของปัจจัย A, B, C, D, E และ F	119
4.20 ผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์การทดลองหาปัจจัยและระดับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ด้านการสะท้อนของแสง โดยวิธีทาทุชิ	120
4.21 ค่าเฉลี่ย S/N Ratio ของปัจจัย A, B, C, D, E, F และ Interaction AB	122
4.22 ผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์โดยวิธีการลองผิด-ถูก เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม.....	123
4.23 ผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์การทดลองหาปัจจัยและระดับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ด้านค่าความโค้งของกระจก โดยวิธีทาทุชิ	124
4.24 กราฟ Interaction AB.....	125
4.25 ผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์ในการออกแบบจำนวนการทดลองซ้ำ	129
4.26 ความพอเพียงของแบบจำลอง	132
4.27 ผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว.....	133
4.28 ค่าความสามารถของกระบวนการกรณีศึกษาระยะยาวสำหรับค่าการสะท้อนแสง	137
4.29 ค่าความสามารถของกระบวนการกรณีศึกษาระยะยาวสำหรับค่าความโค้งของกระจก ..	139
4.30 แผนภูมิควบคุม p ข้อมูลของเสียในกระบวนการผลิตกระจกโครเมียม	142
4.31 ค่าเทียบเคียงของค่า Z กรณีการประเมินความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ ...	142
4.32 ค่าเทียบเคียงของค่า Z กรณีการประเมินความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ.	143

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

MSA: Measurement System Analysis	การวิเคราะห์ระบบการวัด
PDCA: Plan	เขียนแผนงาน
Do	ปฏิบัติตามแผนที่วางไว้
Check	ตรวจสอบสิ่งที่ได้ทำไปแล้ว
Action	การปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง
Process Capability	ความสามารถกระบวนการ
QCC: Quality Control Circle	กิจกรรมกลุ่มคุณภาพ
SPC: Statistical Process Control	การใช้สถิติในการควบคุมกระบวนการ
TQM: Total Quality Management	ระบบการบริหารคุณภาพทั่วทั้งองค์กร
7 QC Tools:	เครื่องมือคุณภาพ 7 อย่าง
Graph	กราฟ
Check Sheet	แผ่นตรวจสอบ
Histogram	ฮิสโตแกรม
Pareto Chart	แผนภูมิพาเรโต
Scatter Diagram	ผังแสดงการกระจาย
Control Chart	แผนภูมิควบคุม
Cause-and-effect Diagram	ผังก้างปลาหรือผังแสดงเหตุและผล

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการแข่งขันทางธุรกิจมีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้นทั้งภาคการผลิตและบริการมีความพยายามแข่งขันเพื่อความอยู่รอดของธุรกิจและเป็นผู้นำทางตลาดด้านการผลิตสินค้าและบริการ โดยปัจจัยหลักที่ส่งผลให้ธุรกิจและอุตสาหกรรมนั้นๆ ประสบความสำเร็จคือ การผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพเป็นที่เชื่อถือของผู้บริโภคและการบริการที่ดีและมีต้นทุนการผลิตที่เหมาะสมแข่งขันได้ ในเรื่องของนโยบายการลดต้นทุนตามปรัชญาของเคมมิ่ง ที่กล่าวถึงหลักการชนะทั้งคู่ เช่นการลดต้นทุนสินค้าได้ พร้อมกับคุณภาพสินค้าที่ดีขึ้น การลดต้นทุนโดยไม่ทำให้ความพึงพอใจของลูกค้าที่มีต่อสินค้า หรือบริการลดลง การลดต้นทุนโดยเน้นระดับการบริการที่พอเหมาะพอดีกับความพึงพอใจลูกค้า [1]

อุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วนประกอบยานยนต์จัดเป็นอุตสาหกรรมสำคัญของประเทศไทย ซึ่งปัจจุบันภาครัฐจัดให้อุตสาหกรรมยานยนต์เป็น 1 ในยุทธศาสตร์ของประเทศ มีการแสดงปาฐกถาพิเศษ ในหัวข้อ “นโยบายภาครัฐต่อการพัฒนาของอุตสาหกรรมยานยนต์ไทย” โดยตอนหนึ่งของปาฐกถาพิเศษ ได้กล่าวถึงความสำเร็จแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของอุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วนยานยนต์ของไทย รวมถึงการตอกย้ำเป้าหมายในการที่ประเทศไทยจะเป็นฐานการผลิตรถยนต์ในภูมิภาคอาเซียน เพราะมีค่าขรถยนต์ชั้นนำของโลกเข้ามาตั้งโรงงานประกอบยานยนต์ และมีอุตสาหกรรมเครือข่ายที่มีความแข็งแกร่งมีบุคลากรที่มีคุณภาพ มีความเชี่ยวชาญในห่วงโซ่การผลิต และรัฐบาลยืนยันจะให้การสนับสนุนในการพัฒนาอุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วนยานยนต์ไทยให้ก้าวหน้าขึ้นไป โดยตั้งเป้าที่จะผลักดันให้อุตสาหกรรมยานยนต์ไทยก้าวสู่ผู้ผลิตรายใหญ่ติด 10 อันดับแรกของโลก และเชื่อว่าอุตสาหกรรมยานยนต์ในประเทศจะขยายตัวอย่างต่อเนื่อง [2]

โรงงานกรณีศึกษาถือเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมการผลิตกระจกมองข้างสำหรับยานยนต์ ที่ทำการผลิตและจำหน่ายให้กับอุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วนยานยนต์ ทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ ซึ่งขณะนี้โรงงานกรณีศึกษามีสถานะในการแข่งขันเชิงคุณภาพสูง ดังนั้นจึงต้องแสวงหาวิธี หรือแนวทางเพื่อพัฒนาตนเองเพื่อการจำหน่ายทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ และตอบสนองความต้องการของลูกค้าให้ได้รับความพึงพอใจสูงสุด ฉะนั้นการพัฒนากระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ได้มาซึ่งความเป็นเลิศของความสามารถของกระบวนการผลิตจึงเป็นแนวทาง ให้ได้มาซึ่งความสำเร็จในทุกอุตสาหกรรม

ในปัจจุบัน โรงงานที่เป็นกรณีศึกษาที่กำลังประสบปัญหาเรื่องการผลิตผลิตภัณฑ์ไม่ผ่านข้อกำหนดการตรวจสอบ ซึ่งถือว่าเป็นปัญหาที่สำคัญ จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการตรวจสอบสาเหตุและดำเนินการแก้ไข เพราะส่งผลให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้น และถ้าหากว่ามีผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้คุณภาพถูกส่งออกไปถึงมือลูกค้า จะทำให้ลูกค้าขาดความเชื่อถือ

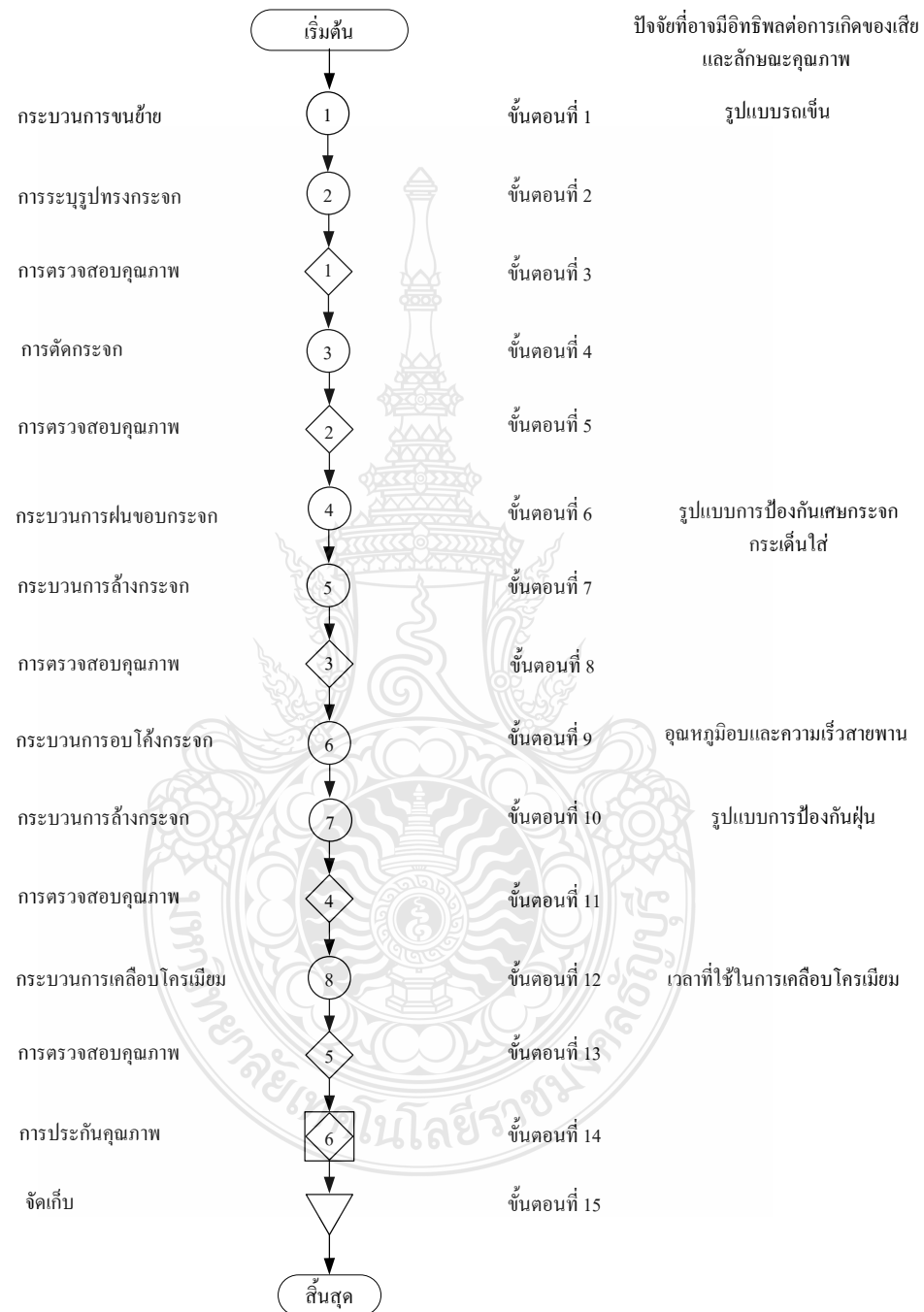
สำหรับงานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาเฉพาะกระจกเงาโค้งประเภทกระจกโครเมียม อันเนื่องมาจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณการผลิตจำนวนมากและประสบปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์สูงสุด จากข้อมูลการผลิตตั้งแต่เดือนตุลาคม 2553 ถึง มกราคม 2554 พบว่าผลิตภัณฑ์ไม่ผ่านข้อกำหนดการตรวจสอบ เกิดขึ้นจำนวนรวม 103,929 ชิ้น จากจำนวนการผลิตทั้งสิ้นรวม 451,090 ชิ้น คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 23 ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ข้อมูลการผลิตกระจก ในช่วงเดือนตุลาคม 2553 ถึง มกราคม 2554

ลำดับ	รายการ	ตุลาคม 2553	พฤศจิกายน 2553	ธันวาคม 2553	มกราคม 2554	ยอดสะสม (หน่วย:ชิ้น)
1	กระจกใส					
	จำนวนที่ผลิต (ชิ้น)	7,911	4,274	2,130	7,301	21,616
	จำนวนของเสีย (ชิ้น)	368	209	130	588	1,295
	สัดส่วนของเสีย	4.65%	4.89%	6.10%	8.06%	6.0%
2	กระจกโครเมียม					
	จำนวนที่ผลิต (ชิ้น)	100,946	131,400	116,896	101,848	451,090
	จำนวนของเสีย (ชิ้น)	16,395	41,823	28,513	17,198	103,929
	สัดส่วนของเสีย	18.30%	29.42%	24.22%	16.85%	23.0%
3	กระจกอลูมิเนียม					
	จำนวนที่ผลิต (ชิ้น)	173,180	155,490	174,600	209,522	712,792
	จำนวนของเสีย (ชิ้น)	11,029	20,966	28,310	19,305	79,610
	สัดส่วนของเสีย	5.77%	13.85%	16.19%	9.27%	11.2%

จากตารางที่ 1.1 แสดงข้อมูลการผลิตกระจกในช่วงเดือนตุลาคม 2553 ถึง มกราคม 2554 ซึ่งแสดงข้อมูลการผลิตกระจก 3 ประเภท คือ กระจกใส กระจกโครเมียม และกระจกอลูมิเนียม แสดงจำนวนที่ผลิต จำนวนของเสีย และสัดส่วนของเสีย ในแต่ละรายการการผลิตกระจก ซึ่งพบว่าประเภทการผลิตกระจกโครเมียม นั้นมีปริมาณสัดส่วนของเสียสูงที่สุด ซึ่งเป็นประเภทที่ผู้วิจัยนำมาศึกษาคั้งที่กล่าวมาแล้วข้างต้น หลังจากที่เลือกประเภทที่นำมาศึกษาแล้ว ผู้วิจัยได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตกระจกโครเมียม และได้แสดงแผนภูมิกระบวนการผลิตโดยสังเขปของการผลิตกระจกโครเมียมและ

การตรวจสอบคุณภาพ ดังภาพที่ 1.1 และมีสัดส่วนผลิตภัณฑ์ไม่ผ่านข้อกำหนดการตรวจสอบที่ตรวจสอบพบในแต่ละขั้นตอนการผลิต ดังตารางที่ 1.2



ภาพที่ 1.1 แผนภูมิกระบวนการผลิตโดยสังเขปของการผลิตกระจกโครเมียมและการตรวจสอบคุณภาพ

ตารางที่ 1.2 สัดส่วนของผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านข้อกำหนดในระหว่างกระบวนการผลิต ในช่วงเดือน ตุลาคม 2553 ถึง มกราคม 2554

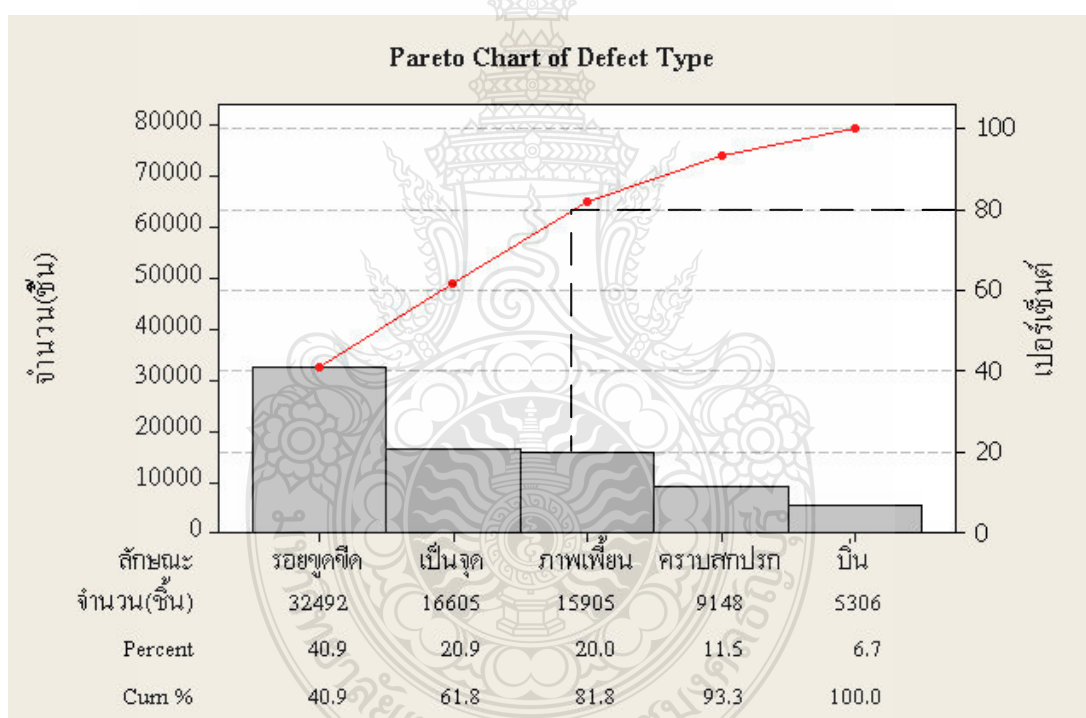
จุดตรวจสอบผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนการผลิต	จำนวนของเสีย (ชิ้น)	สัดส่วนของเสีย
ขั้นตอนที่ 14 ประกันคุณภาพ	47,927	46.11%
ขั้นตอนที่ 8 ตรวจสอบคุณภาพ	37,205	35.79%
ขั้นตอนที่ 7 ล้างกระจก	16,992	16.34%
ขั้นตอนที่ 3 ตัดกระจก	1,760	1.69%
ขั้นตอนที่ 2 ระบุรูปทรงกระจก	45	0.04%
รวม	103,929	100%

จากข้อมูลในตารางที่ 1.2 แสดงการตรวจพบผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านข้อกำหนดในระหว่างกระบวนการผลิตมากที่สุดคือ ขั้นตอนที่ 14 ประกันคุณภาพ ขั้นตอนที่ 8 ตรวจสอบคุณภาพและขั้นตอนที่ 7 ล้างกระจก ส่วนขั้นตอนที่ 3 ตัดกระจก และขั้นตอนที่ 2 ระบุรูปทรงกระจก มีปริมาณสัดส่วนของเสียต่ำกว่า 10% ซึ่งเป็นสัดส่วนของเสียในกระบวนการผลิตที่ยอมรับได้จากเป้าหมายการผลิตที่ยอมรับสัดส่วนของเสียที่ไม่เกิน 10% ซึ่งจากแผนภูมิกระบวนการผลิตจะเห็นได้ว่าความสามารถในการตรวจจับของเสียนั้นเกิดขึ้นที่ขั้นตอนที่ 14 (ประกันคุณภาพ) เนื่องจากกระบวนการผลิตกระจกโครเมียมนั้น จะสามารถแยกแยะของเสียได้ชัดเจนก็ต่อเมื่อ ผลิตภัณฑ์กระจกโครเมียมนั้นถูกดำเนินการผ่านขั้นตอนการเคลือบโครเมียมแล้วจึงจะสามารถตรวจสอบได้ง่ายและชัดเจน จึงทำให้เห็นได้ว่าข้อมูลการตรวจพบสัดส่วนของเสียที่จุดตรวจสอบขั้นตอนที่ 14 (ประกันคุณภาพ) นั้นเกิดสัดส่วนของเสียที่มากที่สุด แต่ไม่ได้หมายถึง ขั้นตอนการประกันคุณภาพนั้นทำให้เกิดของเสีย แต่เป็นขั้นตอนที่สามารถตรวจสอบพบได้มากที่สุด และสาเหตุของการเกิดของเสียนั้นอาจเกิดจากกระบวนการก่อนหน้า

จากนั้นทำการแยกประเภทของเสีย และแสดงข้อมูลปริมาณจำนวนของเสีย สัดส่วนของเสียในแต่ละประเภท ดังตารางที่ 1.3 และจากข้อมูลในตารางที่ 1.3 ผู้วิจัยนำแผนภาพพารेटโต มาใช้ในการแสดงผลข้อมูลในลักษณะที่เป็นกราฟแท่ง และแบ่งแยกข้อมูล ให้เป็นช่วงๆ จากมากไปน้อย เพื่อใช้ในการชี้ประเภทของปัญหาที่จะต้องทำการเลือกแก้เฉพาะสาเหตุที่สำคัญก่อน โดยใช้หลักการ 80-20 ของพารेटโต ซึ่งจะพิจารณาการแก้ไขปัญหาที่มีความถี่สูงๆ ก่อน เพราะถ้าหากสามารถแก้ไขได้แล้วก็จะทำให้ประสิทธิภาพดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ [3] แผนภูมิพารेटโตแสดงได้ดังภาพที่ 1.2

ตารางที่ 1.3 สัดส่วนของลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านข้อกำหนดการตรวจสอบประเภทต่างๆ ในช่วงเดือนตุลาคม 2553 ถึง มกราคม 2554

ลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านข้อกำหนดการตรวจสอบ	จำนวนของเสีย (ชิ้น)	สัดส่วนของเสีย
รอยขีดขูด	32,942	40.9%
เป็นจุด	16,605	20.9%
การผิดเพี้ยนของภาพ	15,905	20.0%
คราบสกปรก	9,148	11.5%
บิ่น	5,306	6.7%
รวม	79,456	100%



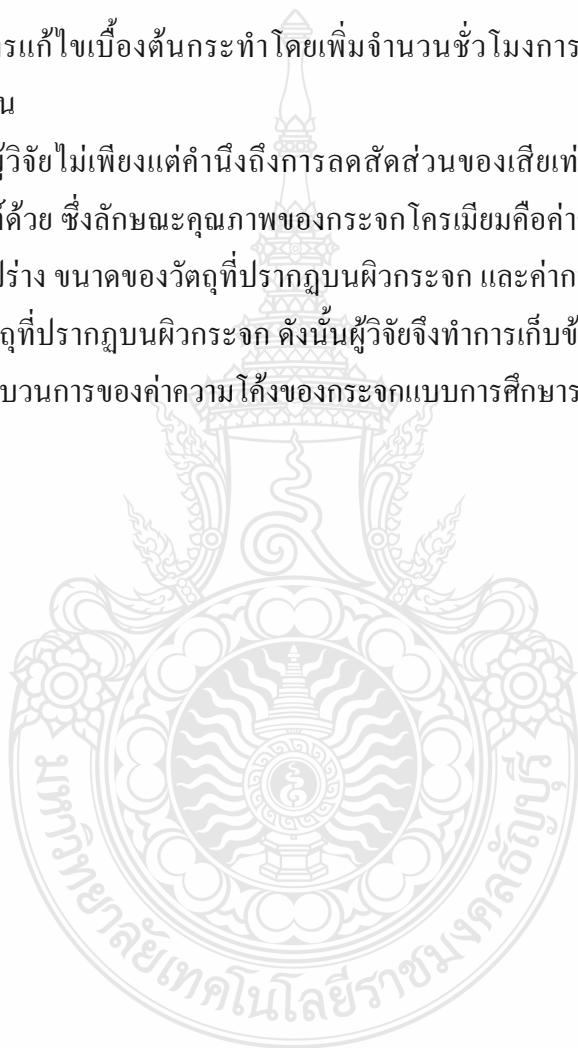
ภาพที่ 1.2 แผนภูมิพารโตแสดงสัดส่วนของลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านข้อกำหนดการตรวจสอบประเภทต่างๆ ในช่วงเดือนตุลาคม 2553 ถึง มกราคม 2554

จากภาพที่ 1.2 ผู้วิจัยนำแผนภาพพารโตมาใช้ในการเลือกที่จะแก้ปัญหา โดยข้อมูลทางสถิติจะเป็นตัวตัดสินใจให้เลือกแก้ปัญหาทั้งหมดที่อยู่ในช่วงเปอร์เซ็นต์สะสมประมาณ 80% ดังนั้นจากภาพที่ 1.2 ผู้วิจัยจะพิจารณาเลือกแก้ไขปัญหาที่ ปัญหาการเกิดรอยขีดขูดที่เกิดขึ้นบนผิวกระจก

ปัญหาการเกิดจุดบนผิวกระจก และปัญหาการผิ่ขุ่นของภาพ ซึ่งเป็นทฤษฎีการตัดสินใจในหลักการพาเรโต 80-20 มีความหมายว่า “ปัญหาหรือความสูญเสียที่มีความสำคัญมากจำนวน 80% มักจะมีสาเหตุมาจากประมาณ 20% ของสาเหตุทั้งหมด ในขณะที่อีกประมาณ 80% ของสาเหตุจะมีผลต่อปัญหาที่มีความสำคัญเพียงเล็กน้อยอีกจำนวน 20% ของปัญหาเท่านั้น [4]

ซึ่งปัจจุบัน โรงงานกรณีศึกษาเกิดปัญหาในเรื่องการส่งมอบผลิตภัณฑ์ไม่ทันต่อความต้องการของลูกค้า อันเนื่องด้วยผลผลิตออกมาแล้วเกิดของเสียจำนวนมาก อีกทั้งยังทำให้เกิดต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้น ดังนั้นการแก้ไขเบื้องต้นกระทำโดยเพิ่มจำนวนชั่วโมงการผลิตเพิ่มขึ้นเพื่อชดเชยกับจำนวนของเสียที่เกิดขึ้น

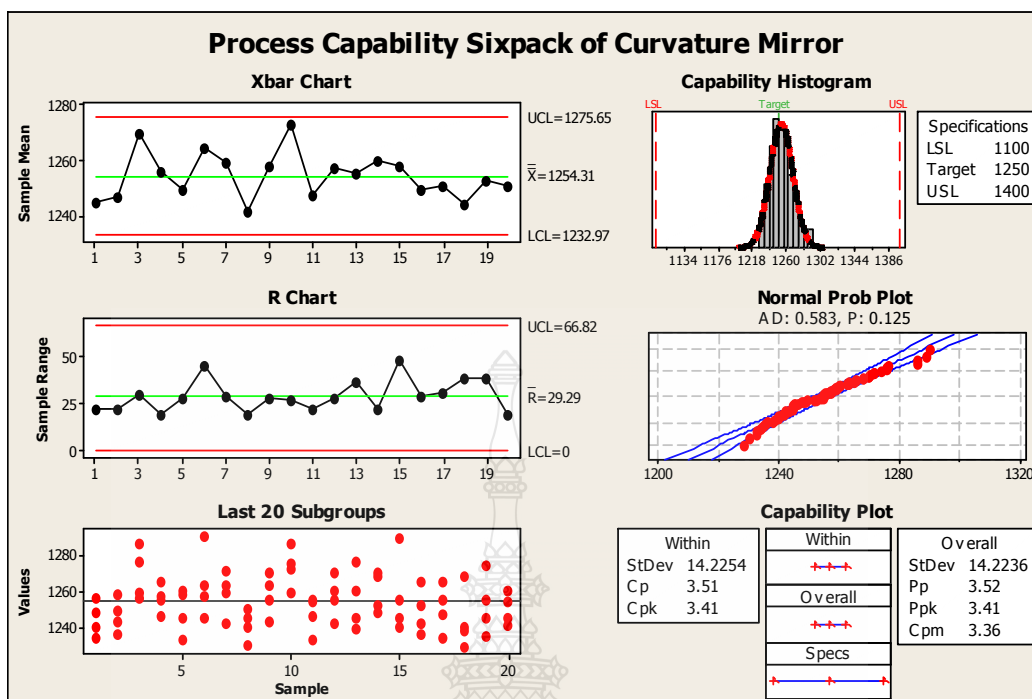
งานวิจัยนี้ผู้วิจัยไม่เพียงแต่คำนึงถึงการลดสัดส่วนของเสียเท่านั้น แต่ยังรวมถึงถึงลักษณะคุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้วย ซึ่งลักษณะคุณภาพของกระจกโครเมียมคือค่าความโค้งของกระจก ซึ่งค่าความโค้งนี้มีผลต่อ รูปร่าง ขนาดของวัตถุที่ปรากฏบนผิวกระจก และค่าการสะท้อนแสงกระจก มีผลต่อความคมชัดของวัตถุที่ปรากฏบนผิวกระจก ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการเก็บข้อมูลตัวอย่างเพื่อตรวจสอบความสามารถของกระบวนการของค่าความโค้งของกระจกแบบการศึกษาระยะสั้น ดังตารางที่ 1.4



ตารางที่ 1.4 ข้อมูลในการเก็บตัวอย่างเพื่อตรวจสอบความสามารถของกระบวนการของค่าความโค้งของกระจกแบบการศึกษาระยะสั้น

ชื่อชิ้นงาน: กระจกโครเมียม ข้อกำหนด: R1250 ±R150							กระบวนการ: QA Final								แผนภูมิที่ 1/1						
พารามิเตอร์: ค่าความโค้ง, ค่าการสะท้อนแสง							ฝ่าย: ประกันคุณภาพ								พนักงาน: พนักงาน 1, พนักงาน 2						
เวลา	09:00	09:30	10:00	10:30	11:00	11:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00	19:00	19:30	20:00	
ค่าที่วัด (ชั้นที่)	1	1248.5	1243.6	1276.5	1257.8	1245.5	1257.6	1242.3	1250.1	1270.5	1286.0	1255.4	1270.1	1239.3	1248.3	1245.3	1252.6	1255.4	1229.1	1274.5	1245.3
	2	1240.2	1236.4	1286.1	1255.0	1232.9	1263.5	1271.8	1240.2	1242.9	1275.8	1233.1	1260.3	1245.2	1251.9	1255.8	1242.7	1265.7	1238.2	1245.1	1241.3
	3	1255.9	1258.6	1256.1	1265.7	1258.0	1245.1	1259.1	1245.2	1263.8	1259.3	1254.3	1242.5	1260.2	1270.2	1289.1	1235.9	1234.8	1268.2	1235.3	1260.8
	4	1234.1	1249.5	1259.0	1245.9	1260.8	1290.6	1263.1	1230.8	1255.4	1272.0	1245.9	1255.1	1276.2	1268.3	1240.5	1265.4	1246.9	1240.3	1255.1	1254.2
ผลรวม	4978.7	4988.1	5077.7	5024.4	4997.2	5056.8	5036.3	4966.3	5032.6	5093.1	4988.7	5028	5020.9	5038.7	5030.7	4996.6	5002.8	4975.8	5010.0	5001.6	
ค่าเฉลี่ย (\bar{X})	1244.7	1247.0	1269.4	1256.1	1249.3	1264.2	1259.1	1241.6	1258.2	1273.3	1247.2	1257.0	1255.2	1259.7	1257.7	1249.2	1250.7	1244.0	1252.5	1250.4	
พิสัย (R)	21.8	22.2	30.0	19.8	27.9	45.5	29.5	19.3	27.6	26.7	22.3	27.6	36.9	21.9	48.6	29.5	30.9	39.1	39.2	19.5	

จากข้อมูลในการเก็บตัวอย่างเพื่อตรวจสอบความสามารถของกระบวนการของค่าความโค้งของกระจกแบบการศึกษาระยะสั้น ในตารางที่ 1.4 เป็นการสุ่มเก็บตัวอย่าง ครั้งละ 4 ชั้น ทุก 30 นาที เริ่มตั้งแต่เวลา 09:00 น. ถึง 20:00 น. โดยพนักงาน 1 นำมาวัดค่าความโค้งของกระจกและบันทึกค่าลงในตารางที่ 1.4 และทำการประมวลผลเบื้องต้น โดยใช้โปรแกรม Minitab ได้ผลลัพธ์เบื้องต้น ดังภาพที่ 1.3



ภาพที่ 1.3 ค่าความสามารถของกระบวนการด้านค่าความโค้งของกระจก

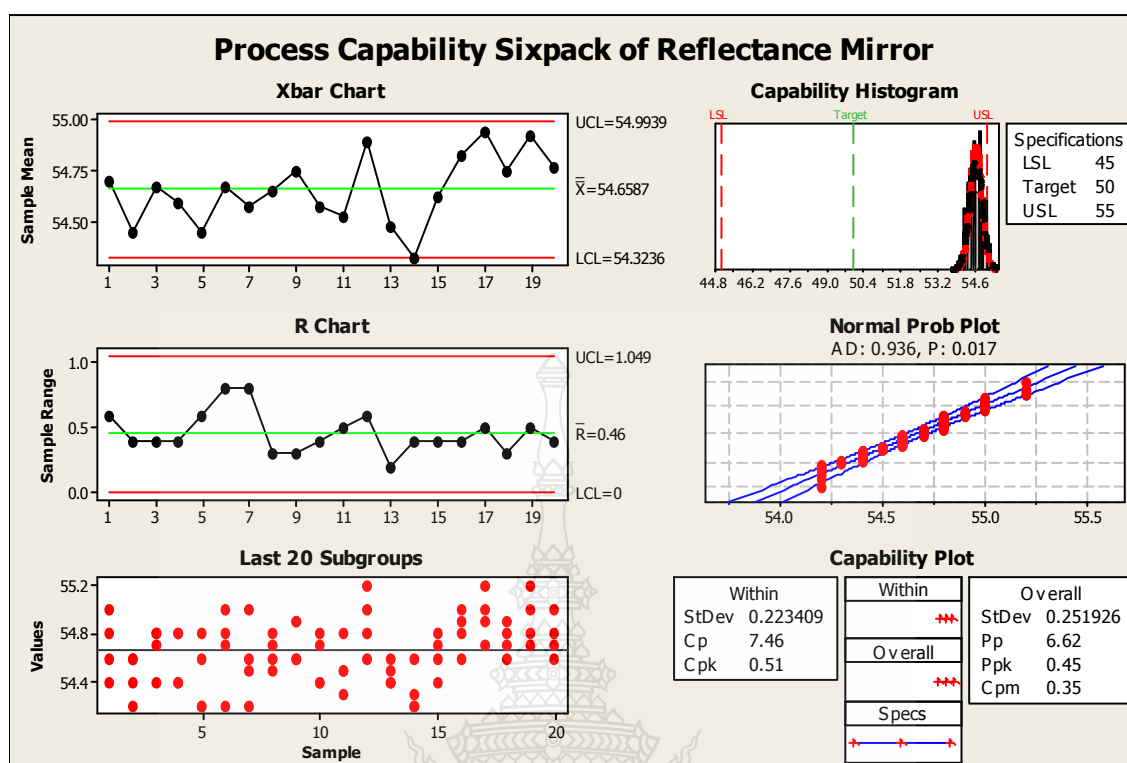
จากภาพที่ 1.3 ผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์ความสามารถของกระบวนการด้านค่าความโค้งของกระจกกรณีศึกษาระยะสั้น ซึ่งพบว่าสิ่งที่กระบวนการควรจะได้หรือมีดัชนีศักยภาพ ($C_p = 3.51$) ในขณะที่สิ่งที่กระบวนการทำได้จริงหรือมีดัชนีสมรรถนะ ($C_{pk} = 3.41$)

และการตรวจสอบลักษณะคุณภาพด้านการสะท้อนของแสงผู้วิจัยทำการเก็บข้อมูลตัวอย่างเพื่อตรวจสอบความสามารถของกระบวนการด้านการสะท้อนของแสงแบบการศึกษาระยะสั้น ดังตารางที่ 1.5

ตารางที่ 1.5 ข้อมูลในการเก็บตัวอย่างเพื่อตรวจสอบความสามารถของกระบวนการค่าความสะท้อนของกระจกเงาแบบการศึกษาาระยะสั้น

ชื่อชิ้นงาน:กระจกโครเมียม ข้อกำหนด: 50% ± 5%								กระบวนการ: QA Final								แผนภูมิที่ 1/1					
พารามิเตอร์:ค่าความโค้ง, <u>ค่าการสะท้อนแสง</u>								ฝ่าย: ประกันคุณภาพ								พนักงาน:พนักงาน 1, <u>พนักงาน 2</u>					
เวลา	09:00	09:30	10:00	10:30	11:00	11:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00	19:00	19:30	20:00	
ค่าที่วัด (ชิ้นที่)	1	54.4	54.6	54.8	54.8	54.2	55.0	54.6	54.7	54.9	54.4	54.3	54.6	54.6	54.2	54.4	54.6	54.9	54.8	55.0	54.6
	2	54.6	54.2	54.4	54.4	54.8	54.2	54.5	54.6	54.6	54.4	54.5	54.8	54.5	54.6	54.7	54.8	55.2	54.9	55.2	54.7
	3	54.8	54.4	54.8	54.8	54.6	54.8	54.2	54.8	54.9	54.8	54.5	55	54.4	54.2	54.6	54.9	55	54.6	54.8	54.8
	4	55.0	54.6	54.7	54.4	54.2	54.7	55.0	54.5	54.6	54.7	54.8	55.2	54.4	54.3	54.8	55	54.7	54.7	54.7	55.0
ผลรวม	218.8	217.8	218.7	218.4	217.8	218.7	218.3	218.6	219	218.3	218.1	219.6	217.9	217.3	218.5	219.3	219.8	219	219.7	219.1	
ค่าเฉลี่ย (\bar{X})	54.70	54.45	54.68	54.60	54.45	54.68	54.58	54.65	54.75	54.58	54.53	54.90	54.48	54.33	54.63	54.83	54.95	54.75	54.93	54.78	
พิสัย (R)	0.6	0.4	0.4	0.4	0.6	0.8	0.8	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.2	0.4	0.4	0.4	0.5	0.3	0.5	0.4	





ภาพที่ 1.4 ค่าความสามารถของกระบวนการด้านค่าการสะท้อนของแสง

จากภาพที่ 1.4 ผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์ความสามารถของกระบวนการด้านการสะท้อนของแสง กรณีศึกษาระยะสั้น ซึ่งพบว่าสิ่งที่กระบวนการควรจะทำได้หรือมีดัชนีศักยภาพ ($C_p = 7.46$) ในขณะที่ สิ่งที่กระบวนการทำได้จริงหรือมีดัชนีสมรรถนะ ($C_{pk} = 0.51$)

ในข้อมูลผลสรุปเบื้องต้นของค่าความสามารถกระบวนการทั้งค่าความโค้งงอของกระจก และค่าการสะท้อนแสงของกระจก ผู้วิจัยมีเกณฑ์ในการกำหนดค่าความสามารถของกระบวนการดังนี้ หากค่าความสามารถของกระบวนการต่ำกว่า ค่าขั้นต่ำของดัชนีความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ (C_p) และดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะ (C_{pk}) กำหนดให้มีค่าต่ำ และหากค่าความสามารถของกระบวนการสูงกว่า ค่าขั้นต่ำของดัชนีความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ (C_p) และดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะ (C_{pk}) กำหนดให้มีค่าสูง โดยค่าขั้นต่ำของดัชนีความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ (C_p) แสดงได้ดังตารางที่ 1.6 และค่าขั้นต่ำของดัชนีความสามารถสมรรถนะของกระบวนการ (C_{pk}) แสดงได้ดังตารางที่ 1.8

ตารางที่ 1.6 ค่าขั้นต่ำของดัชนีความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ (C_p)

กระบวนการ	กรณีพิภักข์กำหนดเฉพาะ	
	แบบสองด้าน	แบบด้านเดียว
กระบวนการที่ใช้งานอยู่	1.33	1.13
กระบวนการใหม่	1.50	1.20

โดยในการกำหนดเกณฑ์การตัดสินใจสำหรับดัชนีความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ (C_p) ได้มาจากสมการ

$$C_p = \frac{1}{C_R} \quad (1.1)$$

กิตติศักดิ์ (2551) กล่าวว่า Fasser และ Brettne ได้อ้างถึง Juran's Quality Control Handbook (3rd Edition) ที่กำหนดให้อัตราส่วนของความสามารถของกระบวนการ ควรมีค่าไม่มากกว่า 75% ของความคลาดเคลื่อนอนุโลมแบบสองด้าน และควรมีค่าไม่มากกว่า 88% ของความคลาดเคลื่อนอนุโลมแบบด้านเดียว [5] ดังตารางที่ 1.8 และเมื่อนำสมการที่ 1.1 นำมาแทนค่าในตารางที่ 1.8 จะได้ค่าขั้นต่ำของดัชนีความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ (C_p) ดังตารางที่ 1.7

ตารางที่ 1.7 ค่าอัตราส่วนความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ (C_R)

กระบวนการ	กรณีพิภักข์กำหนดเฉพาะ	
	แบบสองด้าน	แบบด้านเดียว
กระบวนการที่ใช้งานอยู่	75%	88%
กระบวนการใหม่	67%	83%

ดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ (C_{pk}) กิตติศักดิ์ (2551) ได้กล่าวไว้ว่า Montgomery ได้กำหนดค่าดัชนี C_{pk} ที่เหมาะสมต่อกระบวนการแบบต่างๆ ดังตารางที่ 1.8

ตารางที่ 1.8 ค่าขั้นต่ำของดัชนีความสามารถสมรรถนะของกระบวนการ (C_{pk})

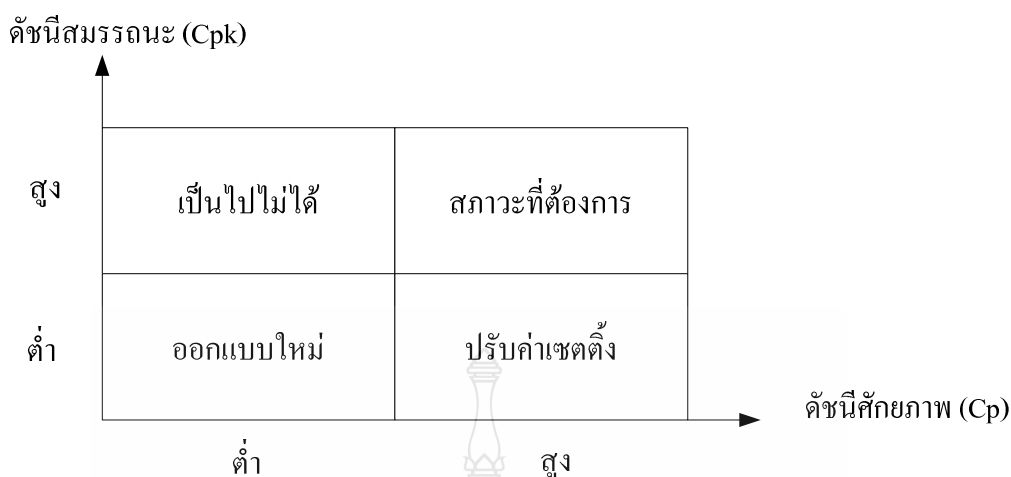
ประเภทของ กระบวนการ	ค่าดัชนีที่ต่ำที่สุดสำหรับ C_{pk}	
	ข้อกำหนดเฉพาะ แบบด้านเดียว	ข้อกำหนดเฉพาะ แบบสองด้าน
กระบวนการทั่วไป (ใช้งานอยู่)	1.25	1.33
กระบวนการทั่วไป (ใหม่)	1.45	1.50
กระบวนการที่เกี่ยวกับความปลอดภัย (ใช้งานอยู่)	1.45	1.50
กระบวนการที่เกี่ยวกับความปลอดภัย (ใหม่)	1.60	1.67

เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นกระบวนการทั่วไปที่ใช้งานอยู่แล้วและมีข้อกำหนดเฉพาะแบบสองด้าน ผู้วิจัยจึงสรุปความสามารถของกระบวนการได้ดัง ตารางที่ 1.9 โดยอ้างอิงจากตารางที่ 1.6 และ ตารางที่ 1.8

ตารางที่ 1.9 สรุปผลค่าความสามารถของกระบวนการ

ความสามารถของกระบวนการ	C_p	C_{pk}
ค่าความโค้งของกระบอก	3.51 (สูง)	3.41 (สูง)
ค่าการสะท้อนแสงของกระบอก	7.46 (สูง)	0.51 (ต่ำ)

เมื่อได้ข้อสรุปของค่าความสามารถของกระบวนการแล้ว ผู้วิจัยนำแนวทางการแก้ปัญหากระบวนการที่ไม่มีความสามารถ กรณีศึกษาระยะสั้น ดังภาพที่ 1.5 มาพิจารณาเพื่อหาแนวทางการแก้ไข



ภาพที่ 1.5 แนวทางการแก้ปัญหากระบวนการที่ไม่มีความสามารถ กรณีศึกษาระยะสั้น [5]

จากผลสรุปค่าความสามารถของกระบวนการในตารางที่ 1.10 และแนวทางการแก้ปัญหากระบวนการที่ไม่มีความสามารถ กรณีศึกษาระยะสั้น ในภาพที่ 1.5 ทำให้ทราบได้ว่าความสามารถของกระบวนการด้านค่าความโค้งของกระจกอยู่ในสถานะที่ต้องการในกระบวนการผลิต และความสามารถของกระบวนการด้านการสะท้อนแสงของกระจกควรดำเนินการปรับค่าเซตตั้งของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อค่าการสะท้อนแสงของกระจก

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะลดจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านข้อกำหนดการตรวจสอบของกระจกโครเมียมประเภทรอยขีดข่วนที่เกิดขึ้นบนผิวกระจก การเกิดจุดบนผิวกระจกและการผิดเพี้ยนของภาพ อีกทั้งรักษาความสามารถของกระบวนการผลิตด้านค่าความโค้งของกระจก และปรับปรุงสมรรถนะของกระบวนการผลิตด้านการสะท้อนของกระจกเงา

และจากลักษณะข้อมูลของกระบวนการที่ผู้วิจัยสนใจคือ กระบวนการผลิตกระจกโครเมียม นั้นมีตัวแปรนำเข้า (Input) และผลลัพธ์ที่ได้ (Output) มีทั้งข้อมูลที่เป็นข้อมูลเชิงผันแปรและข้อมูลเชิงแอตทริบิวต์ หลักการออกแบบการทดลองโดยวิธีการทางสถิติ ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อหาปัจจัยและระดับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดของเสียในกระบวนการผลิตกระจกโครเมียม และด้วยหลักการออกแบบการทดลองโดยวิธีการทางสถิติ นั้นเป็นการออกแบบการทดลองทางเลือก (Alternative DOE) ซึ่งมีลักษณะเด่นในการกรองปัจจัย การลดจำนวนการทดลอง แต่มีลักษณะด้อยคือ มีความเชื่อมั่นการทดลองที่ประมาณ 80% หากเทียบกับของหลักการทดลองพื้นฐาน (Classic DOE) ซึ่งมีความเชื่อมั่นที่สูงกว่า ผู้วิจัยจึงนำปัจจัยที่ถูกกรองปัจจัยมาทำการทดลองต่อในขั้นตอนการหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม

ด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน ซึ่งเป็นหนึ่งในหลักการออกแบบการทดลองพื้นฐานเพื่อเพิ่มความเชื่อมั่นของการทดลอง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อหาปัจจัยในกระบวนการขึ้นรูปกระจกโครเมียมที่มีผลหรือมีอิทธิพลต่อการเกิดของเสีย และลักษณะคุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้านค่าความโค้งของกระจก และค่าการสะท้อนแสงโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง

1.2.2 เพื่อลดสัดส่วนของเสียในกระบวนการผลิตขึ้นรูปกระจกโครเมียม โดยมีเป้าหมายการยอมรับที่เกิดสัดส่วนของเสียไม่เกิน 10%

1.2.3 เพื่อเพิ่มความสามารถของกระบวนการด้านศักยภาพ และความสามารถด้านสมรรถนะของลักษณะคุณภาพด้านค่าความโค้งของกระจก และค่าการสะท้อนแสง โดยมีเป้าหมายการยอมรับที่มีค่าสูงกว่า 1.33 โดยที่ค่าความโค้งของกระจกมีพิสัยข้อกำหนด: $R1250 \pm R150$ และค่าการสะท้อนแสงมีพิสัยข้อกำหนด: $50\% \pm 5\%$

1.3 สมมุติฐานงานวิจัย

การใช้หลักการทางวิศวกรรมอุตสาหกรรม ในการศึกษากระบวนการผลิตกระจกโครเมียม เพื่อหาปัจจัยและระดับปัจจัยที่ทำให้เกิดของเสีย รวมทั้งลักษณะคุณภาพต่อผลิตภัณฑ์กระจกโครเมียม โดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง เพื่อให้สามารถลดสัดส่วนของเสียในการผลิตขึ้นรูปกระจกโครเมียม และปรับปรุงความสามารถของกระบวนการในกระบวนการผลิต

1.4 ขอบเขตงานวิจัย

การวิจัยนี้ศึกษาการกระบวนการผลิตขึ้นรูปกระจกโครเมียม โดยใช้เครื่องขึ้นรูปกระจก (Mirror Glass Convexing Machine) เพื่อศึกษาหาระดับปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดของเสียในการกระบวนการผลิตขึ้นรูปกระจกโครเมียม และระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ส่งผลต่อคุณภาพในการผลิตให้ดียิ่งขึ้น ด้วยวิธีการออกแบบการทดลองโดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง และนำการออกแบบการทดลองทางเลือก (Alternative DOE) มาทำการกรองปัจจัย จากนั้นนำปัจจัยที่ถูกกรองแล้ว มาทำการทดลองต่อโดยการออกแบบการทดลองคลาสสิก (Classic DOE) เพื่อเพิ่มความเชื่อมั่นในการทดลอง และทำการทดลองโดยใช้สภาวะการปฏิบัติจริงโดยดำเนินการวิจัย ณ โรงงานตัวอย่างเป็นระยะเวลา 9 เดือน ตั้งแต่ ตุลาคม 2553 ถึง มิถุนายน 2554

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัยประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

1.5.1 ศึกษาขั้นตอนการผลิตและขึ้นรูปกระจกโครเมียม

1.5.2 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.5.3 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการผลิตและความสามารถของกระบวนการโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง

1.5.4 ปรับปรุงแก้ไขกระบวนการผลิตให้เป็นไปตามมาตรฐาน

1.5.5 เก็บข้อมูลหลังการปรับปรุง วิเคราะห์และอภิปรายผล

1.5.6 การประชุมวิชาการรายงานวิทยุสภกรรมการ ประจำปี 2554

1.5.7 สรุปผลการทำวิจัยและจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ทราบถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการผลิตขึ้นรูปกระจกโครเมียม โดยเครื่อง Mirror Glass Conveying Machine

1.6.2 สามารถลดจำนวนของเสีย และปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิตขึ้นรูปกระจกโครเมียม

1.6.3 ผลจากการทำงานวิจัยอุตสาหกรรมอาจเป็นแนวทางในการแก้ปัญหกระบวนการผลิตขึ้นรูปกระจกโครเมียม ที่อาจเกิดขึ้นได้กับอุตสาหกรรมอื่นได้

1.6.4 สามารถนำกระบวนการศึกษาการผลิตขึ้นรูปกระจกโครเมียม มาประยุกต์ใช้กับการผลิตกระจกประเภทอื่นของโรงงานตัวอย่างได้เพื่อเป็นแนวทางในการลดต้นทุนในการผลิต

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากที่กล่าวไว้ในบทที่ 1 แล้วว่า การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการทำให้เกิดรอยขีดบนผิวกระจก การเกิดจุดบนผิวกระจกและการผิขุ่นของภาพ พร้อมทั้งหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม เพื่อให้กระจกไม่เกิดรอยขีด ขูดบนผิวกระจกและภาพสะท้อนในกระจกไม่ผิขุ่น รวมทั้งความสามารถในกระบวนการผลิตกระจกต้องอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับ โดยผู้วิจัยได้มีแนวความคิดที่จะประยุกต์ใช้หลักการทาคุชิ (Taguchi Method) เพื่อลดปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านข้อกำหนดการตรวจสอบ และปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ ดังนั้นทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วยความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการผลิตกระจก โครเมียม ข้อมูลและประเภทของข้อมูล การวิเคราะห์ระบบการวัด การประเมินความสามารถของกระบวนการ ทฤษฎีเครื่องมือควบคุมคุณภาพ ความสำคัญของการออกแบบการทดลอง แนวคิดและหลักการทาคุชิ รวมถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การผลิตกระจกโครเมียม

พื้นฐานการผลิตกระจกโครเมียมนั้น ประกอบไปด้วยการตัดกระจกในรูปทรงที่ต้องการ จากนั้นเป็นการลบคมกระจก หรือการฝนขอบกระจกเพื่อไม่ให้เกิดอันตรายจากคมกระจก การตัดโค้งกระจกด้วยความร้อน และสุดท้ายการเคลือบกระจกด้วยโครเมียม เพื่อให้ได้กระจกโค้งเงาตามที่ต้องการ โดยมีรายละเอียดตามกระบวนการดังนี้

2.1.1 กระบวนการระบุรูปทรงกระจก

ในกระบวนการนี้จะเป็นการนำกระจกใส่นามาวางลงบนแบบ ที่ต้องการจากนั้นใช้เครื่องมือที่เรียกว่า “Shape Marking” ทำการขีดลงบนแผ่นกระจกเพื่อแนว หรือนำร่องในการตัดกระจก เพื่อที่จะให้ได้กระจกตามรูปแบบที่ต้องการ ดังแสดงในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 การใช้เครื่อง Shape Marking เพื่อระบุรูปทรงกระจก

2.1.2 กระบวนการฝนขอบกระจก

ในกระบวนการนี้จะทำการลบคมกระจกทางด้านข้างของกระจก หรือขอบกระจก โดยใช้เครื่องจักรที่เรียกว่า “Chamfering Machine” ดังแสดงในภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 การฝนขอบกระจกโดยเครื่อง Chamfering Machine

2.1.3 กระบวนการอบโค้งกระจก

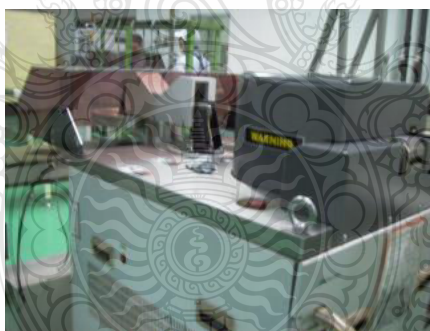
กระบวนการนี้เป็นกระบวนการอบกระจกเพื่อให้กระจกมีความโค้ง โดยมีการใช้แบบซึ่งมีค่าความโค้งตามที่ต้องการ ซึ่งเรียกว่า “Brick” มีคุณสมบัติในเรื่องมีความทนทานต่ออุณหภูมิสูง โดยจะถูกวางบนสายพานลำเลียงเข้าสู่ตู้อบความร้อน โดยกระจกจะถูกวางบน Brick จากนั้นสายพานจะลำเลียงกระจกผ่านเข้าสู่ตู้อบความร้อน และความร้อนนี้เองจะทำให้กระจกอ่อนตัวลงและแนบตัวลงบนแบบ ซึ่งมีค่าความโค้ง และเมื่อกระจกเย็นตัวลงเราจะได้กระจกโค้งตามแบบที่ต้องการ ดังแสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 การอบโค้งกระจก

2.1.4 กระบวนการเคลือบโครเมียม

กระจกที่ผ่านการตัดโค้งด้วยความร้อนจะถูกนำมาเคลือบโครเมียมเพื่อให้เกิดการสะท้อนของแสง โดยทำการเคลือบโครเมียมด้านใดด้านหนึ่งของแผ่นกระจกใสดังแสดงในภาพที่ 2.4 แต่ในที่นี้เราจะทำการเคลือบจากด้านหลังของแผ่นกระจก และภาพที่ถูกสะท้อนออกมาเราจะเห็นได้จากด้านหลังของกระจก วิธีการเคลือบด้านหลังกระจกมีข้อดีคือ กระจกจะคงทนต่อการขัดแฉกของโครเมียมมากกว่าเนื่องจากไม่ถูกสัมผัสโดยตรงกับวัตถุใดๆ เนื่องจากการใช้งานจากด้านหลังกระจก



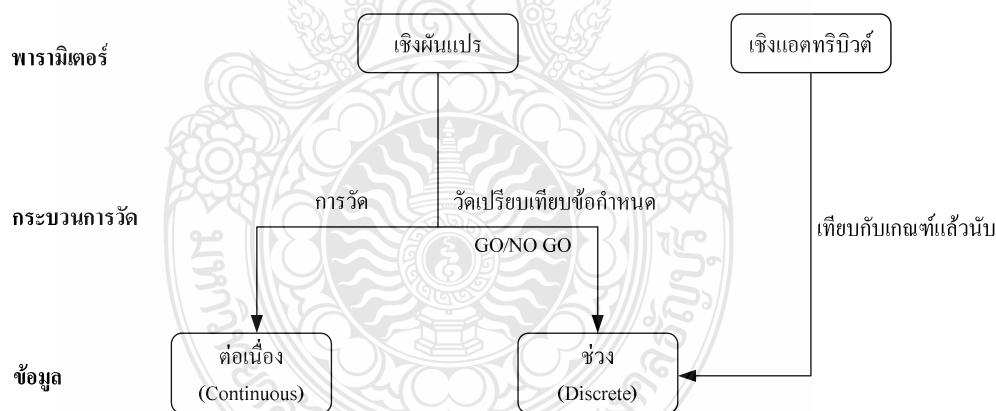
ภาพที่ 2.4 การเคลือบโครเมียม

2.2 ข้อมูลและประเภทของข้อมูล

ในการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการตลอดจนการวิเคราะห์ผลทางสถิติอื่นๆ มีความจำเป็นต้องมีการประเมินผลและวิเคราะห์ผลจากข้อมูลนับ (Data) ที่ได้จากการกำหนดตัวเลขให้กับสิ่งตัวอย่างที่ได้จากประชากรหรือกระบวนการ ดังนั้น อัจฉริยภาพความหมายของข้อมูลได้อย่างง่ายๆ ว่าคือ ตัวเลขที่ใช้แสดงถึงข้อเท็จจริง ซึ่งในเชิงสถิตินั้นจะมีการกำหนดข้อเท็จจริงในเทอมของพารามิเตอร์ (Parameter) ที่หมายถึง คุณสมบัติเชิงตัวเลขของกระบวนการหรือประชากร โดยทั่วไปจะ

มีการแบ่งพารามิเตอร์ออกเป็น 2 ประเภท คือ เชิงผันแปร (Variable) และเชิงแอตทริบิวต์ (Attribute) โดยที่พารามิเตอร์เชิงผันแปรจะเป็นพารามิเตอร์ที่สามารถกำหนดค่าตัวเลขที่เป็นค่าต่อเนื่องได้ (แม้ว่า ในทางปฏิบัติจะไม่สามารถกำหนดค่าตัวเลขต่อเนื่องได้ อันเนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องมือวัดก็ตาม) เช่น น้ำหนัก ความยาว ความสูง แรงดึง ฯลฯ แต่สำหรับพารามิเตอร์เชิงแอตทริบิวต์จะเป็นพารามิเตอร์ที่ไม่สามารถกำหนดค่าตัวเลขที่ต่อเนื่องได้ นอกจากการกำหนดตัวเลข 1 หรือ 0 ให้กับสิ่งที่สนใจ (Success) หรือสิ่งที่ไม่สนใจ (Failure) โดยลำดับ เช่น รสชาติ เพศ ข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ ความผิดพลาดของรายงาน ความสวยงาม ฯลฯ หรืออาจจะกำหนดในรูปของข้อมูลแบบจำแนกประเภท (Categorical Data) ก็ได้

ในการกำหนดตัวเลขให้กับสิ่งตัวอย่างที่ให้ความสนใจต่อพารามิเตอร์แบบผันแปรนั้น สามารถกระทำได้ทั้งกำหนดตัวเลขแบบต่อเนื่องด้วยเครื่องมือวัดและกำหนดให้เป็นตัวเลข 0, 1 ด้วยการ ใช้ GO และ NO-go Gauge แต่สำหรับสิ่งตัวอย่างที่ให้ความสนใจต่อพารามิเตอร์แบบแอตทริบิวต์แล้ว จะสามารถกำหนดตัวเลขเพียงแค่ 0 หรือ 1 ให้กับสิ่งตัวอย่างนั้นเท่านั้น ดังนั้น ในทางสถิติจะ จำแนกประเภทของข้อมูลเชิงตัวเลขออกได้เป็น 2 ประเภทคือ ข้อมูลแบบช่วง (Discrete) และข้อมูลแบบต่อเนื่อง (Continuous) ดังแสดงในภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 ประเภทของข้อมูลและความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์

เนื่องจากการวิเคราะห์ข้อมูลในทางสถิตินี้มีความจำเป็นต้องค้นหาสารสนเทศจากข้อมูล เพื่อประกอบการตัดสินใจ จึงมีความจำเป็นต้องพยายามเก็บรวบรวมข้อมูลให้มีสารสนเทศสำหรับการตัดสินใจให้มากที่สุด ซึ่งมีข้อควรคำนึงถึงในการเก็บข้อมูล 3 ประการ คือ

1) ต้องทำความเข้าใจกับจุดประสงค์อย่างชัดเจนว่าจะเก็บข้อมูลเพื่ออะไร โดยจะต้องให้ความสนใจต่อจุดประสงค์ตามเป้าหมายวัตถุประสงค์การดำเนินการ โดยอย่าเก็บข้อมูลเพื่อจะมุ่งใช้วิธีทางสถิติที่อยากใช้ในการวิเคราะห์ผล

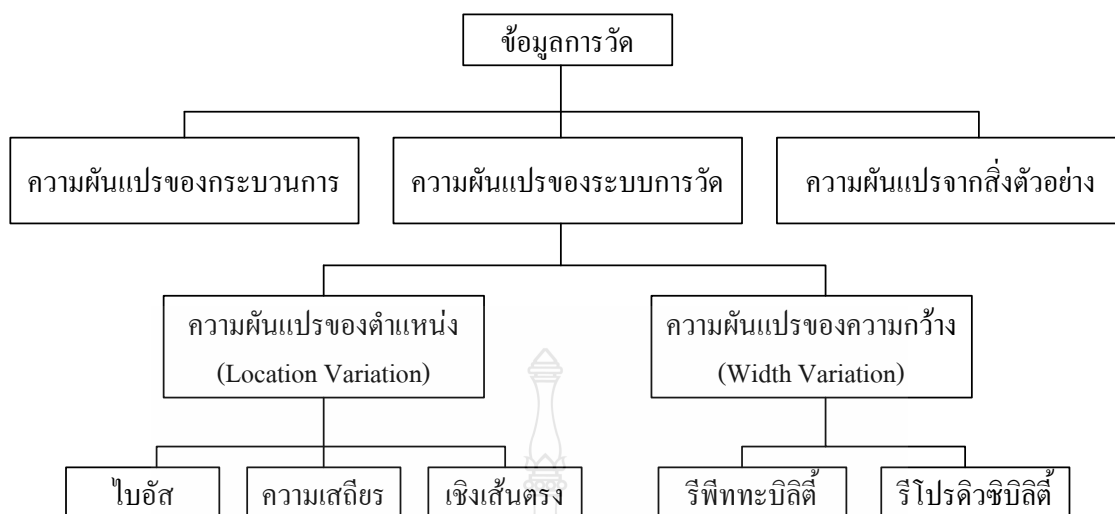
2) ต้องมีการจำแนกประเภท (Stratification) ของข้อมูลให้แจ่มชัด ด้วยการทำความเข้าใจกับกระบวนการที่ศึกษา และควรมีการทวนสอบด้วยแผนภาพพาราโต หรือแผนภาพการกระจาย โดยการจำแนกประเภทของข้อมูลนี้อาจจำแนกตามสถานที่ เวลา รุ่นของผลิตภัณฑ์ สายการผลิต ฯลฯ

3) ต้องให้ความสนใจในคุณสมบัติด้านความสามารถในการแยกความแตกต่าง (Resolution) ของข้อมูล ทั้งนี้เพราะถ้าข้อมูลไม่สามารถแยกความแตกต่างได้แล้วก็ไม่อาจจะวิเคราะห์เพื่อหาสารสนเทศจากข้อมูลได้ เนื่องจากมีความจำเป็นต้องวิเคราะห์ความผันแปรในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยปกติจะพิจารณาคุณสมบัติของการแยกความแตกต่างของข้อมูลได้จากแผนภูมิควบคุมพิสัย (Range-R) และพิจารณาว่ามีค่า R ที่เป็นไปได้ 1 ค่า หรือ 2 ค่า หรือ 3 ค่า หรือ 4 ค่า ที่อยู่ภายในพิสัยควบคุมของแผนภูมิหรือไม่ โดยกรณีที่มีค่า R จำนวน 4 ค่าจะต้องมีค่า R เท่ากับศูนย์จำนวนประมาณ 1 ใน 4 [5]

2.3 การวิเคราะห์ระบบการวัด

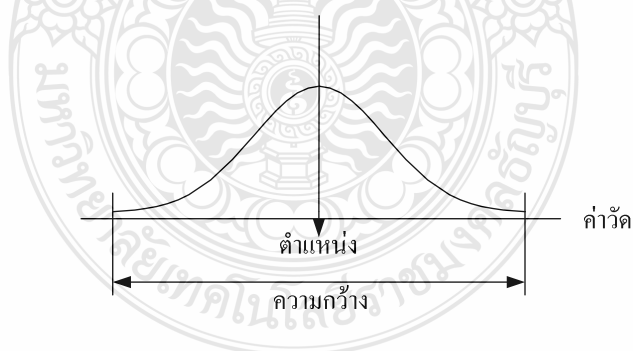
2.3.1 ประเภทของความผันแปรของระบบการวัด

การกำหนดระบบการวัดให้อยู่ในรูปแบบของกระบวนการ มีความจำเป็นต้องทำความเข้าใจถึงประเภทของความผันแปรก่อน รวมถึงความสัมพันธ์กับความผันแปรของกระบวนการผลิต ดังแสดงในภาพที่ 2.6 ซึ่งจะพบว่าความผันแปรในระบบการวัดจะเป็นส่วนหนึ่งของความผันแปรในข้อมูลที่ใช้ตัดสินใจเกี่ยวกับกระบวนการ



ภาพที่ 2.6 องค์ประกอบความผันแปรของระบบการวัด

ในกรณีที่คุณลักษณะที่ทำการวัดมีค่าคงที่เสมอ (Static Characteristic) ความผันแปรจากระบบการวัดจะมีการแจกแจงแบบปกติ ดังแสดงในภาพที่ 2.7 แต่ถ้าหากคุณลักษณะที่ทำการวัดมีค่าเปลี่ยนแปลงตามสภาวะ (Dynamic Characteristic) ความผันแปรจากระบบการวัดอาจไม่มีการแจกแจงแบบปกติ และในกรณีนี้ถ้าหากทำการประมาณความคลาดเคลื่อนจากระบบการวัดด้วยการแจกแจงแบบปกติจะทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ประมาณค่าได้มีปริมาณเกินความจริง (Over Estimate)

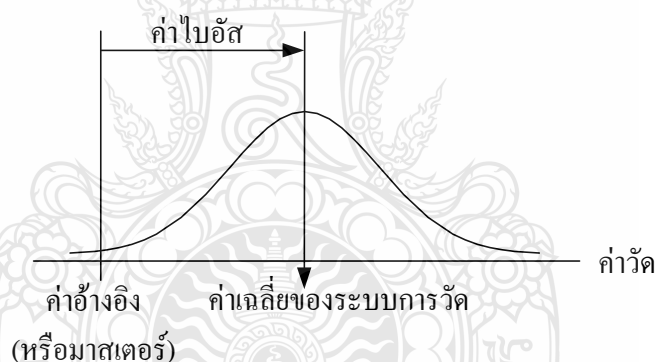


ภาพที่ 2.7 คุณลักษณะความผันแปรของระบบการวัด

1) ความผันแปรของตำแหน่ง หมายถึงคุณสมบัติของการ “เข้าใกล้” ของค่าเฉลี่ยจากผลจากการวัดหลายๆ ครั้ง เมื่อเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง (Reference Value) และจะกำหนดด้วยปริมาณความเอนเอียงหรือไบอัส (Bias) คือ ความแตกต่างระหว่างค่าจริง (หรือค่าอ้างอิง) กับค่าเฉลี่ยของค่า

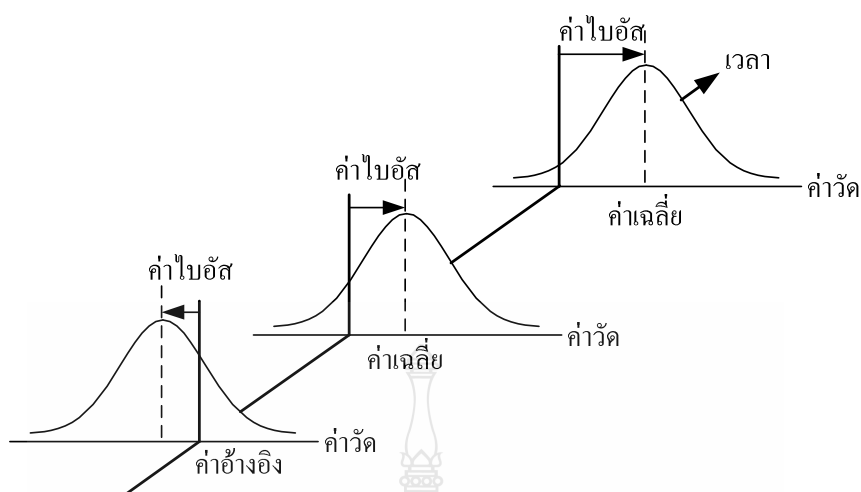
วัดได้บนคุณลักษณะและชิ้นงานวัดเดียวกัน ดังภาพที่ 2.8 โดยคุณสมบัติด้านไบอัสนี้เป็นตัววัดความคลาดเคลื่อนเชิงระบบของระบบการวัด และอาจมีสาเหตุมาจากสิ่งต่างๆ อาทิ

1. อุปกรณ์วัด เกจวัด หรืออุปกรณ์จับยึดงานมีความสึกหรอ
2. ความคลาดเคลื่อนหรือสึกหรอของชิ้นงานมาตรฐาน หรือมาตรฐาน
3. การสอบเทียบอุปกรณ์วัด หรือเกจวัดไม่ถูกต้อง
4. อุปกรณ์วัด หรือเกจวัดได้รับการออกแบบอย่างไม่ถูกต้อง
5. มีการใช้เกจวัดในการวัดงานอย่างไม่ถูกต้อง
6. มีการใช้วิธีการวัดที่แตกต่างกัน เช่น การเตรียมการ การใส่ชิ้นงาน การจับยึดงาน
7. การวัดคุณลักษณะที่ไม่ถูกต้อง
8. เกจวัดหรือชิ้นงานวัดมีลักษณะผิดปกติ
9. ปัจจัยแวดล้อมต่างๆ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ความสะอาด เป็นต้น
10. การใช้งาน อาทิ ขนาดของชิ้นงาน ตำแหน่งที่วัด ทักษะของคนใช้เครื่องมือ



ภาพที่ 2.8 คุณสมบัติด้านไบอัส

ความผันแปรของตำแหน่งประเภทที่สองคือ “ความเสถียร (Stability)” หรือการเลื่อนออกไปแบบค่อยเป็นค่อยไป (Drift) ของค่าเฉลี่ยของค่าวัดจากระบบการวัด หรืออาจกล่าวสั้นๆ ว่าค่าความเสถียร คือการเปลี่ยนแปลงของค่าไบอัสตลอดช่วงเวลานั้นเองดังแสดงในภาพที่ 2.9 และอาจสรุปสาเหตุต่างๆ ของไม่เสถียรได้ดังนี้



ภาพที่ 2.9 คุณสมบัติด้านความเสถียร

1. ช่วงเวลาในการสอบเทียบ (Calibration Period) ยาวเกินไป
2. อุปกรณ์วัด เกจวัด หรืออุปกรณ์จับยึดงานมีความสึกหรอ
3. การเสื่อมสภาพ (Obsolescence) ของอุปกรณ์วัด และอุปกรณ์จับยึด
4. การบำรุงรักษาที่ไม่ดี อาทิ อากาศ กำลัง (Power) ไซตรอลิกส์ ตัวกรอง (Filter)

ความผูกพัน ความสะอาด ฯลฯ

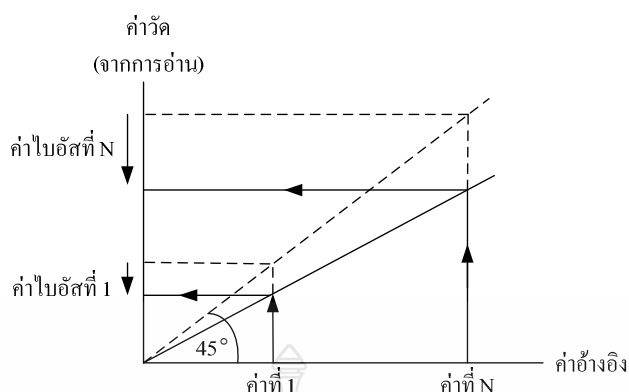
5. มีความคลาดเคลื่อนหรือสึกหรอกับชิ้นงานมาตรฐานหรือมาตรฐาน
6. มีการสอบเทียบอุปกรณ์วัด เกจวัดอย่างไม่ถูกต้อง
7. อุปกรณ์วัดหรือการใช้วิธีการวัดมีความไว (Lack of Robustness) กับปัจจัยแวดล้อมของระบบการวัด

8. เกจวัดหรือชิ้นงานมีลักษณะผิดปกติ

9. สิ่งแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลงไปแบบค่อยเป็นค่อยไป อาทิ อุณหภูมิ ความชื้น การสั่นสะเทือนความสะอาด

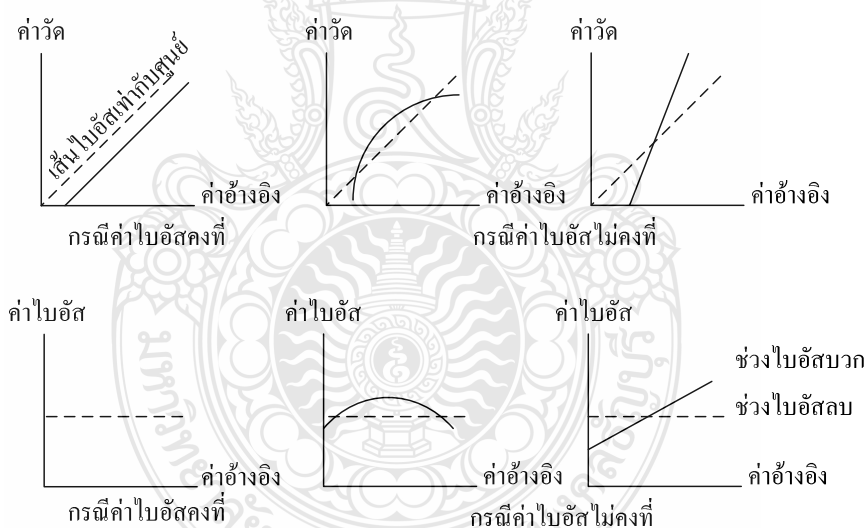
10. การใช้งาน อาทิ ขนาดของชิ้นงาน ตำแหน่งที่วัด ทักษะของคนใช้เครื่องมือ ความถี่ ความคลาดเคลื่อนในการอ่านค่าวัด ฯลฯ

ความผันแปรของตำแหน่งประการสุดท้ายคือ “เชิงเส้นตรง (Linearity)” ซึ่งหมายถึง ค่าความแตกต่างของค่าไปอัสเมื่อมีการเปลี่ยนย่านวัดไป ดังแสดงในภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 คุณสมบัติด้านเชิงเส้นตรง

คุณสมบัติเชิงเส้นตรงของระบบการวัดที่ไม่สามารถยอมรับได้จะมีความหลากหลายโดยไม่จำเป็นต้องมีค่าไบอัสคงที่ดังแสดงในภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 คุณสมบัติเชิงเส้นตรงที่แสดงกรณีค่าไบอัสคงที่และไม่คงที่

คุณสมบัติด้านเชิงเส้นตรงของระบบการวัดนี้เป็นคุณสมบัติที่เกิดจากมีการเปลี่ยนแปลงค่าวัดภายในย่านวัดที่กำหนด จึงอาจจะยกเว้นการวิเคราะห์ได้ถ้าหากมีการกำหนดการใช้งานระบบการวัดที่ค่าวัดเพียงค่าเดียว และในกรณีนี้อาจจะสรุปสาเหตุต่างๆ ของการขาดคุณสมบัติเชิงเส้นตรงได้ดังนี้

1. ช่วงเวลาในการสอบเทียบ (Calibration Period) ยาวเกินไป
2. อุปกรณ์วัด เกจวัด หรืออุปกรณ์จับยึดงานมีความสึกหรอ
3. การบำรุงรักษาที่ไม่ดี อาทิ อากาศ กำลัง (Power) ไซตรोलิกส์ ตัวกรอง (Filter)

ความสุ่ม ความสะอาด ฯลฯ

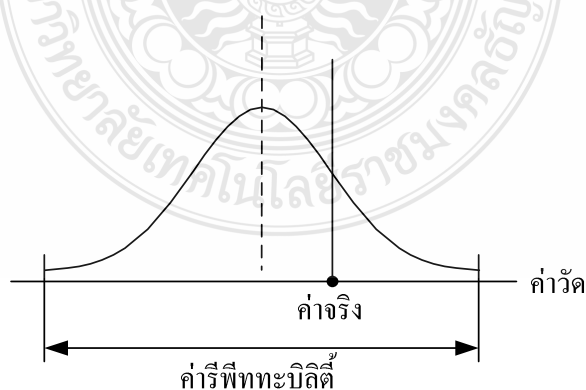
4. งานมาตรฐานมีความสึกหรอหรือถูกทำลาย
5. มีความคลาดเคลื่อนที่ตัวมาตรฐานที่แสดงค่าสูงสุดและค่าต่ำที่สุด
6. มีการสอบเทียบไม่ถูกต้อง คือไม่ครอบคลุมตลอดช่วงการใช้งานของระบบการวัด
7. อุปกรณ์วัดหรือเกจวัดได้รับการออกแบบอย่างไม่ถูกต้อง
8. มีการใช้งานเกจวัดอย่างไม่ถูกต้อง
9. เกจวัดหรือชิ้นงานมีการเปลี่ยนรูปเกี่ยวกับขนาดของชิ้นงาน
10. สิ่งแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลงไปแบบค่อยเป็นค่อยไป อาทิ อุณหภูมิ ความชื้น การ

สั่นสะเทือน ความสะอาด

11. การใช้งานอาทิขนาดของชิ้นงานตำแหน่งที่วัดทักษะของคนใช้เครื่องมือ ความล้ำ ความคลาดเคลื่อนในการอ่านค่าวัด ฯลฯ

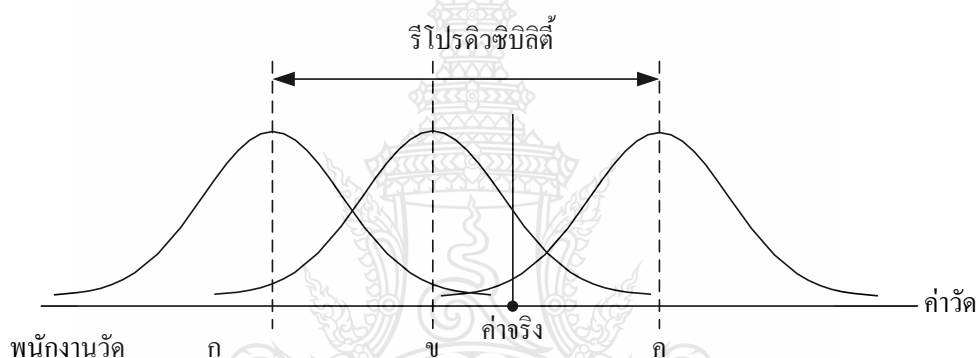
2) ความผันแปรของความกว้าง โดยทั่วไปแล้วจะเรียกความผันแปรของความกว้าง (Width Variation) ของระบบการวัดว่า “ความแม่นยำ (Precision)” ซึ่งหมายถึงอิทธิพลโดยรวมของความสามารถในการแยกความแตกต่าง (Discrimination) ความไว (Sensitivity) และความสามารถในการทำซ้ำ หรือรีพีทาทะบิลิตี้ (Repeatability) ตลอดช่วงการใช้งาน (อาจจะเป็นขนาด หรือเวลา) ของระบบการวัด ซึ่งค่าของความแม่นยำนี้ จะเป็นตัววัดความผันแปรของระบบการวัดในรูปความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มของระบบการวัด และจะแบ่งออกเป็นความผันแปรภายในเงื่อนไข และความผันแปรระหว่างเงื่อนไขของระบบการวัด ความผันแปรภายในเงื่อนไขของระบบการวัด หรือรีพีทาทะบิลิตี้ จะหมายถึงความผันแปรของค่าวัดรอบค่าที่ควรจะเป็น (Expected Value) ของระบบการวัดที่ทำการวัดโดยการใช้พนักงานวัดคนเดียว อุปกรณ์วัดเดียวกันในการวัดงานชิ้นเดียวกันซ้ำๆ ซึ่งโดยทั่วไปในอุตสาหกรรมมักจะหมายถึงความผันแปรของอุปกรณ์ (Equipment Variation (EV)) ทั้งนี้เพราะโดยส่วนใหญ่ ความผันแปรภายในเงื่อนไขเดียวกันของระบบการวัดมักจะมีผลมาจากตัวอุปกรณ์เอง แต่อย่างไรก็ตาม ผู้วิเคราะห์ไม่ควรจะสรุปทันที เพราะว่าในบางครั้งค่าความผันแปรอาจจะมาจากสาเหตุหลักอื่นๆ ที่มีใช้อุปกรณ์ก็ได้ อาทิ ทักษะของพนักงาน หรือปัจจัยแวดล้อม ฯลฯ คุณสมบัติของความผันแปรประเภทรีพีทาทะบิลิตี้ แสดงในภาพที่ 2.12 และในกรณีที่ค่ารีพีทาทะบิลิตี้มีมากเกินไป อาจจะมาจากสาเหตุต่างๆ หลายประการด้วยกัน ได้แก่

1. ความผันแปรภายในชิ้นงาน (สิ่งตัวอย่าง) ได้แก่ ฟอรั่ม ตำแหน่ง พื้นผิว ความสม่ำเสมอของชิ้นงาน
2. ความผันแปรภายในอุปกรณ์วัด ได้แก่ การซ่อมแซม การสึกหรอ การพังของอุปกรณ์วัด หรือตัวปฏิบัติงาน งานบำรุงรักษาที่ไม่ดี ฯลฯ
3. ความผันแปรภายในชิ้นงานมาตรฐาน ได้แก่ คุณภาพ เกรด การสึกหรอ ฯลฯ
4. ความผันแปรภายในวิธีการทดสอบ ได้แก่ การเตรียมการ (Setup) การปรับค่าศูนย์ การจับยึดงาน การใส่งาน ฯลฯ
5. ความผันแปรภายในตัวพนักงานวัด ได้แก่ เทคนิคเฉพาะ ประสบการณ์ ทักษะ ความรู้สึก ความล้า ฯลฯ
6. ความผันแปรจากปัจจัยแวดล้อม ได้แก่ ความผันแปรช่วงสั้นๆ (Short-Cycle Fluctuations) ในอุณหภูมิ ความชื้น ความสั่นสะเทือน แสงสว่าง ความสะอาด ฯลฯ
7. ความผันแปรเนื่องจากการออกแบบอุปกรณ์วัด
8. ความผันแปรเนื่องจากการออกแบบอุปกรณ์วัด
9. ความผันแปรเนื่องจากวิธีการทดสอบมีความไว (Lack of Robustness) ต่อปัจจัยแวดล้อม
10. มีการใช้เกจวัดอย่างไม่ถูกต้อง
11. เกจวัดหรือชิ้นงานวัดมีการเปลี่ยนรูปร่าง หรือมีความยืดหยุ่น (Lack of Rigidity) เกินไป ฯลฯ
12. การใช้งาน อาทิ ขนาดชิ้นงาน ตำแหน่งที่วัด ความคลาดเคลื่อนในการอ่านค่าวัด



ภาพที่ 2.12 คุณสมบัติด้านรีพีทอะบิลิตีของระบบการวัด

ความผันแปรของความกว้างของระบบการวัดอีกประการหนึ่ง คือ รีโพรดูซิบิลิตี้ (Reproducibility) หรือความผันแปรระหว่างเงื่อนไขของระบบการวัด ซึ่งหมายถึงความผันแปรที่แสดงถึงค่าเฉลี่ยของค่าวัดจากการใช้อุปกรณ์วัดเดียวกันในการวัดชิ้นงานเดียวกันด้วยเงื่อนไขที่แตกต่างกัน ซึ่งในอุตสาหกรรมทั่วไปมักจะหมายถึงความแตกต่างระหว่างพนักงานวัด (โดยถือว่าพนักงานวัดคือปัจจัยสำคัญของความผันแปรในการอธิบายในแต่ละเงื่อนไข) จึงจะเรียกว่าความผันแปรระหว่างพนักงานวัด (Appraiser Variation (AV)) แต่อย่างไรก็ตาม ผู้วิเคราะห์ไม่ควรจะสรุปในทันที เพราะในบางครั้งความผันแปรอาจจะมีสาเหตุหลักจากปัจจัยอื่นที่มีใช้พนักงานวัดก็ได้ อาทิ ปัจจัยระหว่างกะงาน ฯลฯ คุณลักษณะของความผันแปรประเภทรีโพรดูซิบิลิตี้ แสดงในภาพที่ 2.13 และในกรณีที่ค่ารีโพรดูซิบิลิตี้มากเกินไป อาจจะมีสาเหตุจากองค์ประกอบต่างๆ ดังนี้



ภาพที่ 2.13 คุณสมบัติด้านรีโพรดูซิบิลิตี้ของระบบการวัด

1. ความผันแปรระหว่างชิ้นงาน (สิ่งตัวอย่าง) ได้แก่ ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเมื่อมีการใช้ระบบการวัดกับชิ้นงานที่แตกต่างกัน โดยใช้อุปกรณ์วัดเดียวกัน พนักงานวัด และวิธีการวัดเดียวกัน
2. ความผันแปรระหว่างอุปกรณ์วัด ได้แก่ ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเมื่อมีการใช้อุปกรณ์วัดที่แตกต่างกันในการวัดชิ้นงานเดียวกันภายใต้ปัจจัยแวดล้อมเดียวกัน โดยพนักงานวัดคนเดียวกัน
3. ความผันแปรระหว่างมาตรฐาน ได้แก่ อิทธิพลจากมาตรฐานการเซตติ้ง (Setting Standard) ที่แตกต่างกันในกระบวนการวัดเดียวกัน
4. ความผันแปรระหว่างวิธีการวัด ได้แก่ ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่มีสาเหตุมาจากการใช้วิธีการที่แตกต่างกัน อาทิ การตั้งศูนย์ของเครื่องมือวัด การจับยึดชิ้นงาน ฯลฯ

6. ความผันแปรระหว่างพนักงานวัด ได้แก่ ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างพนักงานวัดที่แตกต่างกันในการวัดงานเดียวกัน ด้วยอุปกรณ์วัดเดียวกันภายใต้ปัจจัยแวดล้อมเดียวกัน โดยความแตกต่างดังกล่าวนี้มักมีสาเหตุมาจากการฝึกอบรม ทักษะเฉพาะ และประสบการณ์ ฯลฯ

7. ความผันแปรระหว่างปัจจัยแวดล้อม ได้แก่ ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาที่มียปัจจัยแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไป

8. ความผันแปรเนื่องจากการออกแบบอุปกรณ์การวัด

9. ความผันแปรเนื่องจากวิธีการทดสอบมีความไว (Lack of Robustness) ต่อปัจจัยแวดล้อม

10. ความมีประสิทธิผลในการฝึกอบรมพนักงานวัด

11. การใช้งาน อาทิ ขนาดชิ้นงาน ตำแหน่งที่วัด ความคลาดเคลื่อนในการอ่านค่าวัด

2.3.2 การวางแผนศึกษารีฟิเทซบิลิตีและรีโพรดิวซิบิลิตีของระบบการวัด

ในการศึกษาความผันแปรของระบบการวัดในรูปของรีฟิเทซบิลิตีและรีโพรดิวซิบิลิตีนั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่งต้องเริ่มต้นจากขั้นตอนการวางแผนการศึกษา โดยมีประเด็นพิจารณาดังนี้

1) วิธีการและเวลาที่จะมีการสอบเทียบเครื่องมือวัด การสอบเทียบเครื่องมือวัดถือเป็นการดำเนินการที่มีความสำคัญมากต่อการพิจารณาถึงความคลาดเคลื่อนด้านความถูกต้องในระบบการวัด โดยปกติแล้วจะต้องมีการสอบเทียบก่อนการศึกษารีฟิเทซบิลิตีและรีโพรดิวซิบิลิตีจะเริ่มต้น และไม่ควรมีการสอบเทียบใหม่ถ้าหากการศึกษายังไม่สิ้นสุดลง เพราะถ้ามีการสอบเทียบใหม่ในระหว่างการศึกษาก็จะทำให้เกิดความผันแปรจากการสอบเทียบรวมอยู่กับค่ารีฟิเทซบิลิตีของระบบการวัดด้วย จึงต้อง พยายามลดค่าความผันแปร โดยความพยายามให้พนักงานวัดทุกคนมีความเข้าใจในกระบวนการวิธีการสอบเทียบและดำเนินการอย่างสม่ำเสมอ

2) จำนวนพนักงานวัดที่ใช้สำหรับการศึกษา GR&R ในการกำหนดจำนวนพนักงานวัดที่เหมาะสมสำหรับการศึกษานั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพิจารณาก่อนว่าในระบบการผลิตมีพนักงานวัด (คือ ผู้ใช้เครื่องมือวัดในการกำหนดค่าตัวเลขกับชิ้นงานเพื่อการตัดสินใจ) มีจำนวนเท่าใด ถ้าหากเครื่องมือวัดดังกล่าวไม่ใช่พนักงานในการดำเนินการวัดเลย (เครื่องมือวัดอัตโนมัติ) หรือมีการใช้พนักงานวัดเพียงคนเดียวก็แสดงว่าค่าความผันแปรในระบบการวัดมิได้มีผลจากสาเหตุด้านพนักงานวัดเลย และในกรณีที่ระบบการวัดมีพนักงานวัดจำนวนหลายคน ให้ทำการสุ่มพนักงานวัดมาทำการศึกษาอย่างน้อย 2 คน โดยพนักงานวัดทุกคนที่กล่าวถึงนี้จะต้องเป็นพนักงานที่ผ่านการฝึกอบรมอย่างดีมาแล้ว และปฏิบัติงานเกี่ยวกับงานวัดในอุปกรณ์วัดที่ทำการศึกษสำหรับงานประจำ

3) จำนวนสิ่งตัวอย่างที่ใช้วัดในการศึกษา GR&R จำนวนสิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษานั้น โดยปกติจะแนะนำไว้ที่ 10 สิ่งตัวอย่าง ถ้าไม่สามารถดำเนินการได้ จะต้องพยายามให้ (จำนวนของสิ่งตัวอย่าง) \times (จำนวนของพนักงานวัด) มากกว่า 15 และถ้าไม่สามารถดำเนินการตามกรณีนี้ได้ก็ ให้เพิ่มจำนวนซ้ำของการวัดในแต่ละสิ่งตัวอย่าง และสิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการวัดนี้ต้องเป็นสิ่งตัวอย่างที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ถ้าหากใช้สิ่งตัวอย่างที่มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญแล้ว จะมีความหมายเท่ากับการใช้สิ่งตัวอย่างเดียวด้วยจำนวนวัดซ้ำมากๆ) และในกรณีที่จะทำให้ระบบการวัดมีคุณภาพด้านความผันแปรเพียงพอต่อการตรวจจับความผันแปรของชิ้นงานในกระบวนการแล้ว จะต้องทำให้ข้อมูลมีความแตกต่างกันไม่ต่ำกว่า 5 ประเภท ในกรณีที่มีการตรวจสอบแบบทำลาย จะต้องกำหนดให้ “ล็อต (Lot)” หมายถึงสิ่งตัวอย่าง สำหรับการศึกษ GR&R

4) จำนวนครั้งในการวัดซ้ำสำหรับสิ่งตัวอย่างแต่ละชิ้น โดยปกติแนะนำให้ทำการวัดซ้ำที่แต่ละสิ่งตัวอย่างด้วยจำนวนซ้ำเท่าๆ กัน (เรียกการทดลองแบบนี้ว่า Balance Design) ซึ่งโดยทั่วไป กำหนดให้มีการวัดซ้ำสำหรับพนักงานวัดแต่ละคนด้วยจำนวน 2-3 ครั้งต่อชิ้นงานแต่ละชิ้น

5) วิธีการลดความผันแปรภายในสิ่งตัวอย่างของการศึกษา GR&R ในการศึกษา GR&R บางกรณีนั้น จะไม่สามารถกำจัดความผันแปรภายในสิ่งตัวอย่างออกจากการวัดซ้ำ (หรือการประเมินรีพีทเทเบิลได้) เช่น ในกรณีการตรวจสอบแบบทำลายที่จะมีความผันแปรภายในล็อตรวมอยู่กับรีพีทเทเบิลได้เสมอ จึงมีความจำเป็นต้องพยายามเลือกงานในล็อตให้มีความใกล้เคียงกันให้มากที่สุด

6) วิธีการประเมินผลรีพีทเทเบิลและรีโพรดิวซิเบิล เมื่อการทดลองสิ้นสุดลง ต้องมีการประเมินผลถึงคุณภาพของข้อมูลก่อน คือการประเมินผลความสามารถในการแยกความแตกต่างของค่าวัด ความเสถียร และความสม่ำเสมอของระบบการวัด จากนั้นจึงทำการประเมินผลรีพีทเทเบิลและรีโพรดิวซิเบิล ซึ่งมีทั้งหมด 3 วิธีคือ

1. วิธีอาศัยค่าพิสัย (Range Method) ซึ่งเหมาะสมกับกรณีการทดลองในช่วง สั้นๆ และไม่มี การวัดซ้ำ ดังนั้น วิธีการดังกล่าวนี้แม้ว่าจะมีข้อดีคือประเมินผลได้ง่าย แต่มีข้อเสียที่สำคัญคือ ไม่สามารถแยกกรีพีทเทเบิลออกจากรีโพรดิวซิเบิลได้

2. วิธีอาศัยค่าเฉลี่ยและพิสัย (Average and Range Method) ซึ่งเหมาะสมกับการทดลองซ้ำในแต่ละสิ่งตัวอย่างของพนักงานวัดแต่ละคน ซึ่งวิธีการนี้ทำให้สามารถแยกกรีพีทเทเบิลออกจากรีโพรดิวซิเบิลได้ แต่ไม่สามารถแยกความผันแปรจากสาเหตุร่วมระหว่างชิ้นงานและพนักงานวัดออกจากกรีพีทเทเบิลได้

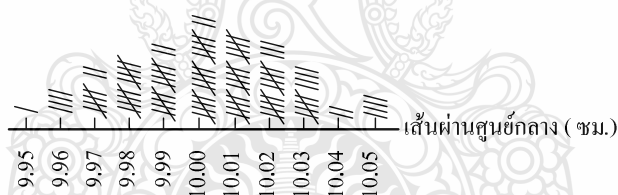
3. วิธีอาศัยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ซึ่งเหมาะกับการวิเคราะห์ผลการศึกษาที่ได้มาจากการออกแบบการทดลองเพื่อพิจารณาว่าพนักงาน และชิ้นงานเป็นสาเหตุความ

ผันแปรอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ และวิธีการนี้จะสามารถแยกความผันแปรจากสาเหตุร่วมระหว่าง ชิ้นงานและพนักงานวัดออกจากค่ารีพีทเทเบิลได้ แต่อย่างไรก็ดี วิธีการนี้มีข้อเสียตรงที่ความยุ่งยาก ในการคำนวณ จึงแนะนำให้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ [6]

2.4 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ

2.4.1 แนวความคิดของการประเมินผลความสามารถของกระบวนการ

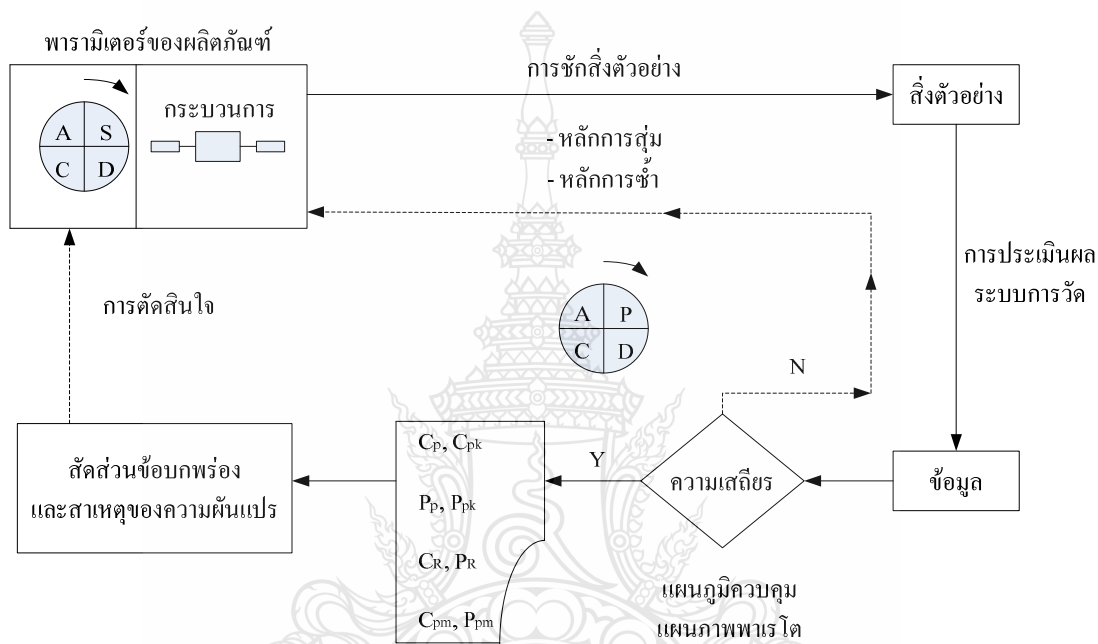
แนวความคิดพื้นฐานของการประเมินค่าความสามารถของกระบวนการจะพิจารณาในรูป สัดส่วนของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น หรือสัดส่วนของผลิตภัณฑ์บกพร่องที่เกิดขึ้น อย่างไรก็ตาม การ ประเมินผลในรูปสัดส่วนของความบกพร่องนี้จะให้สารสนเทศเกี่ยวกับข้อมูลอยู่ในเทอมของ 0, 1 คือ ผ่าน หรือ ไม่ผ่าน เท่านั้น ดังนั้นในระยะหลังจึงมีแนวโน้มที่จะประเมินผลค่าความสามารถของ กระบวนการในรูปของข้อมูลวัดหรือข้อมูลเชิงผันแปร (Variable Data) ของข้อมูล เพราะภายใต้ข้อมูล ดังกล่าว จะทำให้ผู้วิเคราะห์รับทราบถึงลักษณะของรูปทรงการกระจายตัวของข้อมูลและทำให้ ประเมินถึงค่าแนวโน้มสู่ศูนย์กลาง (Central Tendency) และการกระจายตัว (Dispersion) ของข้อมูล ได้ ดังแสดงในภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.14 การแจกแจงความถี่ของเส้นผ่านศูนย์กลาง

จากภาพที่ 2.14 จะพบว่า เส้นผ่านศูนย์กลางมีรูปทรงของการแจกแจงคล้ายรูปทรงระฆังคว่ำ มีความหมายว่า ความผันแปรของเส้นผ่านศูนย์กลางเกิดมาจากสาเหตุโดยปกติ ที่สามารถใช้ อธิบายได้ทั้งความสามารถของกระบวนการ และสมรรถนะของกระบวนการ อย่างไรก็ตาม ถ้าจะ ประเมินค่าความสามารถของกระบวนการด้วยการประเมินค่าความผันแปรของกระบวนการผ่านการ แจกแจงความถี่ดังภาพที่ 2.14 นี้ จะต้องมีจำนวนของข้อมูลที่มากพอ (โดยทั่วไปแนะนำให้ใช้ข้อมูล ไม่ต่ำกว่า 30 ตัว) โดยผ่านฮิสโตแกรม แต่กรณีที่มีจำนวนข้อมูลมีน้อย จะต้องดำเนินการผ่านการ อนุมานทางสถิติโดยอาศัยการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution)

ดังนั้น ในการประเมินผลความสามารถของกระบวนการ จะขึ้นอยู่กับแนวความคิด 2 ประการ คือ 1) แนวความคิดของความผันแปร รวมถึงวิธีการประเมินความผันแปร และ 2) ความหมายที่แตกต่างกันระหว่างความสามารถของกระบวนการและสมรรถนะของกระบวนการทั้งนี้ แนวความคิดทั้งสองประการจะมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ ดังภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.15 กระบวนการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ

ในการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการจะต้องเริ่มต้นจากการนิยามกระบวนการ โดยการพิจารณาว่า ปัญหาที่ต้องการจะปรับปรุงคุณภาพคืออะไร และปัญหาคุณภาพดังกล่าวมีสาเหตุเบื้องต้นจากอะไร โดยจะนิยามระบบของสาเหตุดังกล่าวว่า กระบวนการ จากนั้นจะต้องดำเนินการทำกระบวนการดังกล่าวให้เป็นมาตรฐาน ด้วยการจัดทำมาตรฐานการทำงาน (S-Standard) การปฏิบัติตามมาตรฐาน (D-Do) การตรวจสอบผลการทำ (C-Check) เพื่อตรวจสอบว่าผลงานตรงตามเป้าหมายของมาตรฐานหรือไม่สำหรับการนิยามปัญหา จากนั้นจะดำเนินการแก้ปัญหาด้วยการปฏิบัติการแก้ไข (A-Action)

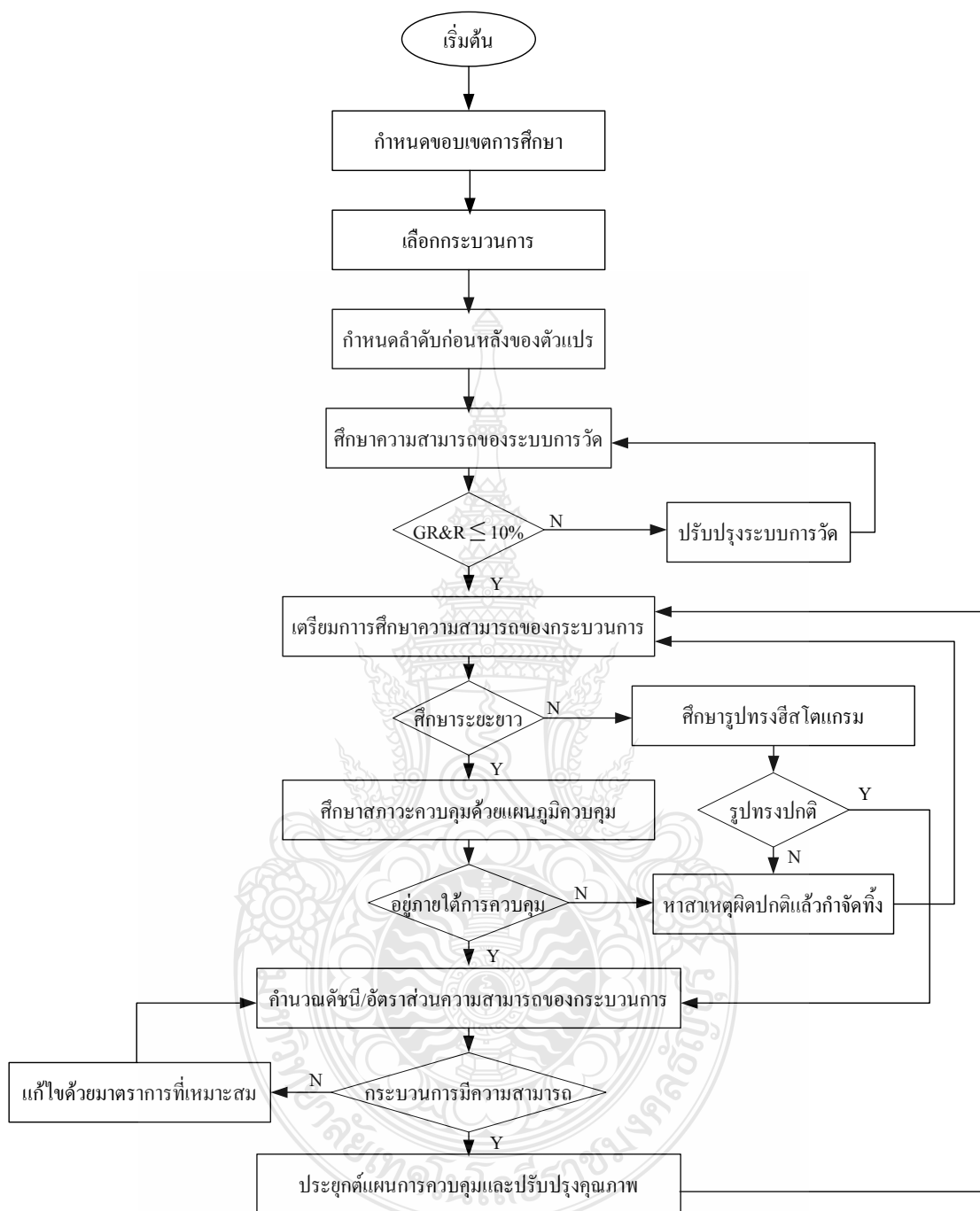
ภายใต้กระบวนการที่เชื่อได้ว่าได้รับการทำให้เป็นมาตรฐาน จะทำการชักสิ่งตัวอย่างออกมาด้วยหลักการสุ่ม (Randomization) และหลักการซ้ำ (Replication) สำหรับการนิยามความผัน

แปรจากกระบวนการ โดยสิ่งตัวอย่างที่ได้จากการชักสิ่งตัวอย่างนี้จะได้รับการกำหนดค่าตัวเลขผ่านระบบการวัด หรือการนับ แล้วจึงทำการทวนสอบความมีเสถียรภาพของกระบวนการด้วยแผนภูมิควบคุม หรือแผนภาพพารेटโต สำหรับข้อมูลที่ไม่ได้รับการจำแนกประเภท หรือข้อมูลที่มีการจำแนกประเภท โดยลำดับถ้าพบว่ากระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุมหรือสถานะเสถียรภาพ ก็จะดำเนินการประเมินผลค่าความสามารถของกระบวนการต่อไปได้

2.4.2 ขั้นตอนการศึกษาความสามารถของกระบวนการ

การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการนี้ถือว่ามีส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่อโครงการปรับปรุงคุณภาพ ซึ่งการเก็บข้อมูลและประเมินผลค่าความสามารถของกระบวนการนี้จะให้ประโยชน์หลายประการต่อการปรับปรุงคุณภาพเช่น

- 1) การใช้คาดการณ์ว่ากระบวนการมีความสามารถในการผลิตได้ตามข้อกำหนดเฉพาะที่กำหนดได้ดีเพียงไร
 - 2) การช่วยเหลือนักออกแบบหรือนักวิจัยพัฒนาในการตัดสินใจเลือกหรือการปรับเปลี่ยนกระบวนการ
 - 3) การกำหนดความถี่ของการชักสิ่งตัวอย่างเพื่อจุดประสงค์ในการเฝ้าพิทักษ์กระบวนการ
 - 4) การกำหนดความต้องการด้านสมรรถนะสำหรับอุปกรณ์ใหม่
 - 5) การเลือกผู้ส่งมอบตามโซ่ห่วงอุปทาน ตลอดจนการใช้ข้อมูลในการควบคุมผู้ส่งมอบ
 - 6) การวางแผนกำหนดลำดับขั้นตอนของกระบวนการผลิต
 - 7) การลดความผันแปรสำหรับกระบวนการผลิต
 - 8) การลดต้นทุนคุณภาพ (Cost of Quality) ด้วยการลดต้นทุนของข้อบกพร่องด้านคุณภาพ
- เนื่องจากการลดปริมาณข้อบกพร่องของกระบวนการ



ภาพที่ 2.16 ขั้นตอนการศึกษาความสามารถของกระบวนการ

ขั้นตอนการศึกษาความสามารถของกระบวนการ มีรายละเอียดดังนี้

- 1) การเลือกกระบวนการ ในการเลือกกระบวนการต้องเริ่มจากการกำหนดปัญหาคุณภาพ สำหรับปรับปรุง แล้วพิจารณาว่าปัญหาดังกล่าวมีสาเหตุเบื้องต้นจากอะไร สำหรับการนิยาม

“กระบวนการ” ที่ต้องการปรับปรุงคุณภาพ โดยกระบวนการที่เลือกได้นี้จะต้องได้รับการศึกษาถึงคุณสมบัติเฉพาะและกำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับศึกษา โดยพิจารณาว่าพารามิเตอร์ใดที่แสดงถึงพารามิเตอร์วิกฤตของผลิตภัณฑ์จากกระบวนการที่ควรเลือกมาศึกษา

2) การจัดลำดับสำคัญก่อนหลังของตัวแปร เมื่อกำหนดพารามิเตอร์ได้แล้ว จะทำการวิเคราะห์หาสาเหตุเบื้องต้นเพื่อกำหนดรายการของตัวแปรหรือรายการแสดงพารามิเตอร์ของกระบวนการที่มีผลต่อพารามิเตอร์วิกฤตของผลิตภัณฑ์ แล้วทำการเลือกพารามิเตอร์ที่มีผลมากที่สุดมาศึกษา

3) ศึกษาความสามารถของกระบวนการวัด เมื่อกำหนดพารามิเตอร์ที่จะศึกษาได้แล้ว ให้กำหนดถึงเกจ (Gauge) หรือระบบการวัดที่ใช้ในการเปลี่ยนสิ่งที่สนใจให้เป็นตัวเลข เพื่อพิจารณาความผันแปรของข้อมูลที่ได้จากสาเหตุของระบบการวัด สำหรับพิจารณาว่าระบบการวัดมีความสามารถ (Capability) หรือไม่ และถ้าไม่มีความสามารถแล้ว จะวิเคราะห์หาสาเหตุได้อย่างไร เพื่อดำเนินการกำจัดทั้งสาเหตุของความผันแปรต่อไป

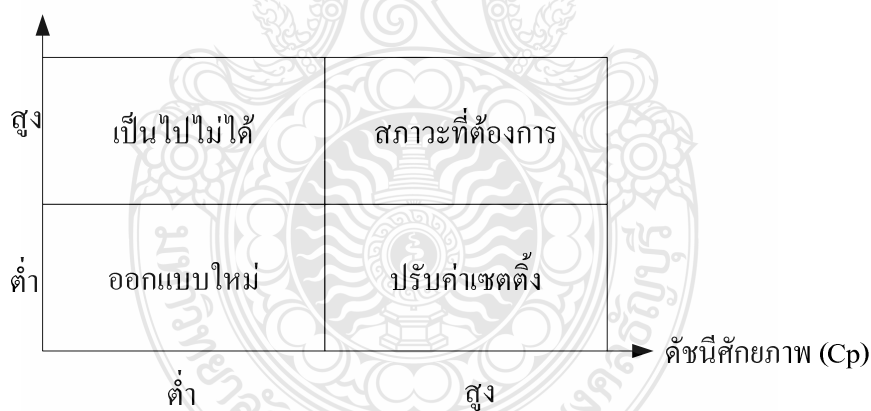
4) การเตรียมการศึกษาความสามารถของกระบวนการ ในขั้นตอนนี้จำเป็นต้องกำหนดถึงจุดประสงค์ของการศึกษาว่าจะทำการศึกษาถึงความสามารถเชิงศักยภาพหรือความสามารถเชิงสมรรถนะของกระบวนการ รวมถึงการศึกษาแบบระยะสั้นหรือ ระยะยาว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของการศึกษา เช่น ถ้าต้องการตั้งเป้าหมายสำหรับโครงการปรับปรุงคุณภาพจะศึกษาจากความสามารถเชิงศักยภาพ (C_p, P_p) หากต้องการรายงานผลการปฏิบัติการจริงของกระบวนการให้กับลูกค้าจะต้องทำการศึกษาถึงความสามารถเชิงสมรรถนะ (C_{pk}, P_{pk})

5) การศึกษาความสามารถของกระบวนการ ในการศึกษาความสามารถของกระบวนการจะต้องเริ่มต้นจากการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยดำเนินการตามขนาดของสิ่งตัวอย่างที่ได้รับการออกแบบไว้ ซึ่งข้อมูลที่รวบรวมได้จะต้องได้รับการทวนสอบก่อนว่า มีความผันแปรภายใต้สาเหตุโดยธรรมชาติหรือไม่ ก่อนที่จะประมวลผลดัชนีและอัตราส่วนแสดงความสามารถของกระบวนการ ดังสรุปในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 บทสรุปการศึกษาความสามารถของกระบวนการ

กระบวนการ	ระยะเวลาที่ศึกษา	จำนวนข้อมูล	เทคนิควิเคราะห์
ที่ใช้งานอยู่แล้ว	ระยะสั้น	ไม่ต่ำกว่า 30 ตัว	ฮิสโตแกรม
		ประมาณ 10-30 ตัว	Box Plot
	ระยะยาว	25 กลุ่มย่อย	แผนภูมิควบคุม
ใหม่	เงื่อนไขเดียวกันภายใต้การ ออกแบบการทดลอง	ขึ้นอยู่กับค่าความเสี่ยง ของการตัดสินใจ	ทดสอบไคสแควร์

6) สรุปผลการศึกษา เมื่อดำเนินการศึกษาเรียบร้อยแล้ว ให้พิจารณาโดยการศึกษาความสามารถของกระบวนการผ่านอัตราส่วนหรือดัชนีแสดงความสามารถของกระบวนการเพื่อพิจารณาว่า กระบวนการที่ศึกษามีความสามารถหรือไม่ โดยการเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด และในกรณีที่กระบวนการไม่มีความสามารถแล้ว จะต้องดำเนินการวิเคราะห์หาสาเหตุของความผันแปรของกระบวนการที่ทำให้กระบวนการไม่มีความสามารถ ดังสรุปถึงแนวทางตามภาพที่ 2.17



(ก) การศึกษาระยะสั้น



(ข) การศึกษาสมรรถนะระยะสั้นและยาว

ภาพที่ 2.17 แนวทางการแก้ปัญหากระบวนการที่ไม่มีความสามารถ

7) ดำเนินการปรับปรุง เมื่อดำเนินการปรับปรุงด้วยการแก้ไขมาตรฐานของระบบแล้ว ให้ติดตามผลว่ากระบวนการมีความสามารถตามที่กำหนดหรือไม่ จากนั้นให้ดำเนินการทำกระบวนการดังกล่าวให้เป็นมาตรฐาน โดยการทบทวนทั้งมาตรฐานการปฏิบัติงานของกระบวนการ และมาตรฐานการควบคุมกระบวนการ [6]

2.4.3 การประเมินความสามารถของกระบวนการในระยะสั้นและระยะยาว

การประเมินความสามารถของกระบวนการในระยะสั้น เป็นการประเมินความสามารถของกระบวนการภายใต้สถานะเงื่อนไขเดียวกัน หรือช่วงระยะเวลาหนึ่งของกระบวนการ เป็นการเก็บข้อมูลในช่วงเวลาสั้นๆ การประเมินความสามารถเป็นการบอกได้ว่ากระบวนการนั้นมีขีดความสามารถอย่างไร หากการกระจายตัวของความแปรปรวนปกติ อยู่ในขอบเขตพิสัยการยอมรับของกระบวนการ จะมีค่าความสามารถของกระบวนการนั้น มากกว่า 1

$$C_p = \frac{USL - LSL}{UCL - LCL} \quad (2.1)$$

สมการควบคุมกระบวนการ

$$UCL = \bar{\bar{X}}_y + k\sigma_y \quad (2.2)$$

$$CL = \bar{\bar{X}}_y \quad (2.3)$$

$$LCL = \bar{X}_y - k\sigma_y \quad (2.4)$$

กำหนดให้ \bar{X}_y เป็นค่าเฉลี่ยของกระบวนการ σ_y เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ k มีค่าเท่ากับ 3 ขอบเขตการควบคุมจะเป็นความแตกต่างหรือระยะห่างของ UCL กับ LCL

$$UCL - LCL = (\bar{X}_y + 3\sigma_y) - (\bar{X}_y - 3\sigma_y) \quad (2.5)$$

$$UCL - LCL = \bar{X}_y + 3\sigma_y - \bar{X}_y + 3\sigma_y = 6\sigma_y \quad (2.6)$$

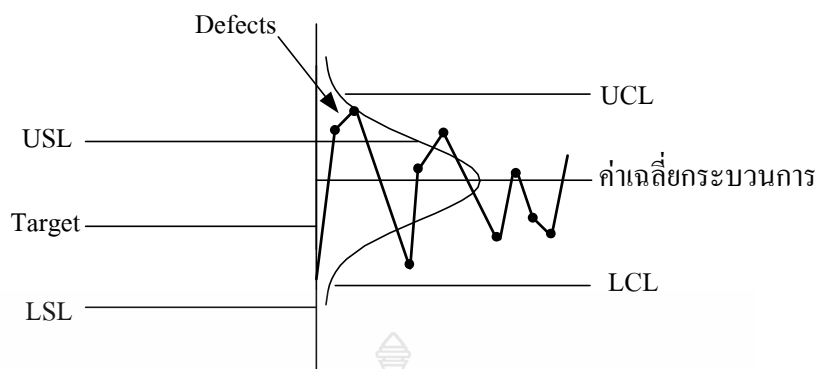
นำสมการที่ 2.5 และ 2.6 แทนใน สมการที่ 2.1 จะได้การประเมินความสามารถของกระบวนการดังสมการที่ 2.7

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (2.7)$$

ส่วนการประเมินความสามารถของกระบวนการระยะยาว จะคำนึงถึงความสามารถของกระบวนการที่มีสภาวะเงื่อนไขแตกต่างกัน ครอบคลุมช่วงเวลาที่ทำการศึกษา ฉะนั้นลักษณะการเก็บข้อมูลจะมีความแตกต่างกัน และจะมีความแตกต่างของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังสมการที่ 2.8

$$P_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma_{LT}} \quad (2.8)$$

เหตุผลที่ทำให้กระบวนการที่ความสามารถของกระบวนการ $C_p > 1$ แต่กระบวนการยังคงผลิตของเสียออกมาโดยพิจารณาจากภาพที่ 2.18



ภาพที่ 2.18 เหตุผลของความสามารถกระบวนการที่มีค่ามากกว่า 1 แต่ยังคงผลิตของเสีย [34]

จากภาพที่ 2.18 หากค่าเฉลี่ยกระบวนการไม่อยู่ในตำแหน่งของค่าเป้าหมายโดยขอบเขตของพิสัยของการยอมรับได้ของผลิตภัณฑ์ ด้านขอบเขตด้านใด ด้านหนึ่ง (ในที่นี้ด้านขอบเขตบน) จะอยู่นอกขอบเขตการยอมรับของผลิตภัณฑ์ กระบวนการนี้จึงผลิตของเสียออกมา ดังนั้นต้องมีตัวชี้วัดตำแหน่งค่าเฉลี่ยกระบวนการกับค่าเป้าหมายของผลิตภัณฑ์

C_{pk} จะเป็นตัวชี้วัดชี้วัดระหว่างกระบวนการผลิตกับพิสัยการยอมรับผลิตภัณฑ์ ค่า k ใน C_{pk} ถูกเรียกว่า k -Factor ซึ่งจะทำให้การวัดระดับของการเบี่ยงเบนของค่าเฉลี่ยกระบวนการจากค่าเป้าหมายของพิสัยผลิตภัณฑ์ [7-8]

$$C_{pk} = (1 + k)C_p \quad (2.3)$$

$$k = \frac{\left| \frac{(USL + LSL)/2 - \bar{X}}{(USL - LSL)/2} \right|}{1} \quad (2.4)$$

$(USL + LSL)/2$ คือค่าเป้าหมาย Target T

$$k = \frac{\left| T - \bar{X}_y \right|}{(USL - LSL)/2} \quad (2.5)$$

$$k = \frac{\left| \left(\frac{(USL + LSL)/2 - \bar{X}}{(USL - LSL)/2} \right) \right|}{1} \quad (2.6)$$

ดังนั้นถ้า $(USL + LSL)/2 > \bar{X}$ หรือ $T > \bar{X}$

จึงได้

$$k = \frac{((USL + LSL)/2) - \bar{X}}{(USL - LSL)/2} \quad (2.7)$$

ถ้า $(USL + LSL)/2 < \bar{X}$ หรือ $T < \bar{X}$

จึงได้

$$k = \frac{\bar{X} - (USL + LSL)/2}{(USL - LSL)/2} \quad (2.8)$$

แก้ไขสมการโดยพีชคณิต ให้ $C_{pk} = (1-k)C_p$;

ถ้า

$$k = \frac{((USL + LSL)/2) - \bar{X}}{(USL - LSL)/2} = \frac{USL + LSL}{UCL - LCL} - \frac{2\bar{X}}{USL - LSL} \quad (2.9)$$

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma}, \quad (1-k)C_p = \left(1 - \left(\frac{USL + LSL}{USL - LSL} - \frac{2\bar{X}}{USL - LSL}\right)\right) \times \left(\frac{USL - LSL}{6\sigma}\right) \quad (2.10)$$

$$C_{pk} = (1-k)C_p = \left(\frac{USL - LSL}{USL - LSL} - \frac{USL + LSL}{USL - LSL} + \frac{2\bar{X}}{USL - LSL}\right) \times \left(\frac{USL - LSL}{6\sigma}\right) \quad (2.11)$$

$$C_{pk} = (1-k)C_p = \left(\frac{USL - LSL}{6\sigma} - \frac{USL + LSL}{6\sigma} + \frac{2\bar{X}}{6\sigma}\right) \quad (2.12)$$

$$= \frac{2\bar{X} - 2LSL}{6\sigma} = \frac{\bar{X} - LSL}{3\sigma} \quad (2.13)$$

$$k = \frac{((USL + LSL)/2) - \bar{X}}{(USL - LSL)/2} \quad (2.14)$$

ถ้า $\frac{USL - LSL}{2} < \bar{X}$, ดังนั้น $k = \frac{\bar{X} - (USL + LSL)/2}{(USL + LSL)/2}$

$$C_{pk} = (1-k)C_p \text{ จะได้ } C_{pk} = \left(1 - \left(\frac{2\bar{X}}{USL - LSL} - \frac{USL + LSL}{USL - LSL} \right) \right) \times \left(\frac{USL - LSL}{6\sigma} \right) \quad (2.15)$$

$$C_{pk} = (1-k)C_p = \left(\frac{USL - LSL}{6\sigma} - \frac{2\bar{X}}{6\sigma} + \frac{USL + LSL}{6\sigma} \right) \quad (2.16)$$

$$= \frac{2(USL - \bar{X})}{6\sigma} = \frac{USL - \bar{X}}{3\sigma} \quad (2.17)$$

หาก $k = 0$ เราจะได้ค่าความสามารถกระบวนการที่ดีที่สุด; จะได้ $C_{pk} = C_p$

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

$$1-k = \frac{C_{pk}}{C_p} \quad (2.18)$$

ถ้า $C_{pk} = C_p$,

$$1-k = 0$$

$$k = 0$$

ถ้า $k \neq 0$,

$$3C_{pk} = \min\{Z_{ul}, Z_{ll}\} \text{ หรือ } C_{pk} = \min\left\{\frac{1}{3}Z_{ul}, \frac{1}{3}Z_{ll}\right\}$$

ด้วย

$$Z_{ul} = \frac{USL - \bar{X}}{\sigma} \quad (2.19)$$

และ

$$Z_{ll} = \frac{\bar{X} - LSL}{\sigma} \quad (2.20)$$

ให้ T เป็นค่าเป้าหมายพิกัดผลิตภัณฑ์

$$T = \frac{USL + LSL}{2} \quad (2.21)$$

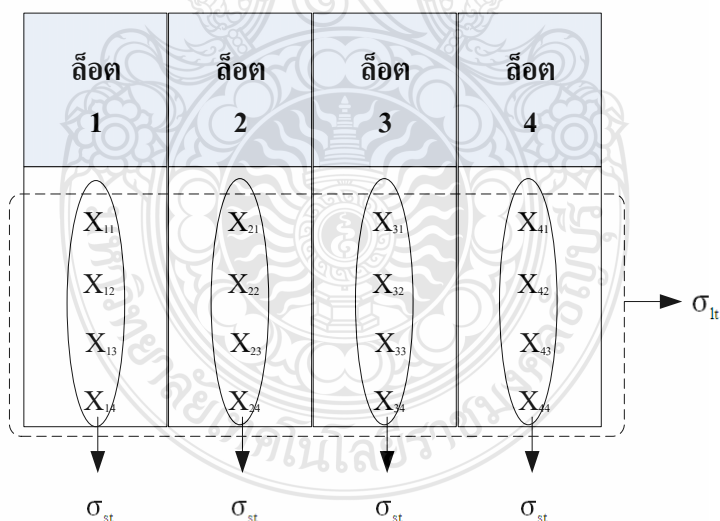
ถ้า $T < \bar{X}$ จะได้

$$C_{pk} = \frac{1}{3} Z_{ul} = \frac{USL - \bar{X}}{3\sigma} \quad (2.22)$$

ถ้า $T > \bar{X}$ จะได้

$$C_{pk} = \frac{1}{3} Z_{ll} = \frac{\bar{X} - LSL}{3\sigma} \quad (2.23)$$

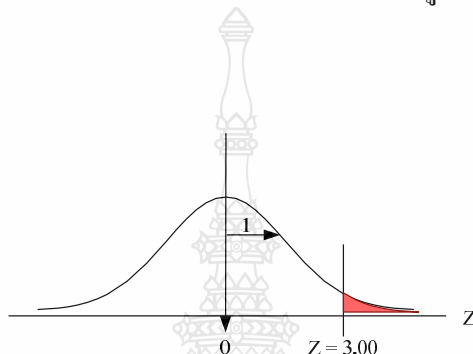
การประเมินความสามารถของกระบวนการควรพิจารณาก่อนว่า ข้อมูลมีการกระจายตัวเป็นปกติหรือไม่ [9] การประเมินความสามารถของกระบวนการระยะสั้นและระยะยาว สมการที่ใช้ในการคำนวณเหมือนกัน แต่จริงแล้วมีความแตกต่างอยู่ที่ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณค่า σ ซึ่งการคำนวณค่า σ ในการศึกษาระยะสั้น จะคำนวณมาจากข้อมูลภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน หรือ ข้อมูลที่มาจากช่วงเวลาเดียวกัน ส่วนในการศึกษาระยะยาว จะคำนวณมาจากข้อมูลที่มาจกคนละเงื่อนไข เพื่อให้ข้อมูลดังกล่าวรวมเอาความผันแปรจากการควบคุมกระบวนการเข้าไป เช่นการเก็บข้อมูลจากหลายๆ ล็อตการผลิต [10-11] ดังภาพที่ 2.19



ภาพที่ 2.19 การเก็บข้อมูลของการศึกษาความสามารถกระบวนการระยะสั้นและระยะยาว [10]

2.4.4 การประเมินความสามารถของกระบวนการสำหรับข้อมูลแบบนับ

การประเมินดัชนีความสามารถของกระบวนการด้วยข้อมูลแบบนับ มีแนวคิดเช่นเดียวกับการประเมินความสามารถของกระบวนการด้วยข้อมูลแบบผันแปร คือจะทำการประเมินความผันแปรของกระบวนการเปรียบเทียบกับความคลาดเคลื่อนอนุโลมของข้อกำหนดเฉพาะ เพื่อทำการกำหนดสัดส่วนของผลิตภัณฑ์บกพร่องจากกระบวนการที่ศึกษา แต่เนื่องจากข้อมูลแบบนับเป็นข้อมูลที่ไม่มีความสมบัตินิยามความผันแปร จึงมีความจำเป็นต้องกำหนดข้อมูลนับให้อยู่ในรูปของการแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน (Z)



ภาพที่ 2.20 แนวความคิดของการเทียบเคียงค่า Z

จากแนวความคิดการเทียบเคียงค่า Z แล้ว ถ้ากำหนดว่ากระบวนการที่ผลิตผลิตภัณฑ์ดังกล่าวอยู่ภายใต้การควบคุมที่มีคุณลักษณะคุณภาพเป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติแล้ว จะสามารถเทียบเคียงเป็นพิกัดข้อกำหนดเฉพาะ เรียกว่า Z_{bench} เท่ากับ 3.00 และสามารถหาค่าดัชนีความสามารถกระบวนการเทียบเท่า เรียกว่า $P_{pk\ bench}$ ได้ คือ $\frac{1}{3}(300)$ หรือ 1.00 และในการประเมินความสามารถของกระบวนการสำหรับข้อมูลแบบนับจะต้องหาค่า \bar{p} ก่อนโดยที่

$$\bar{P} = \frac{\text{จำนวนผลิตภัณฑ์บกพร่องโดยรวม } (\sum np)}{\text{จำนวนตรวจสอบโดยรวม } (\sum n)} \quad (2.24)$$

การประเมินความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการจะประเมินได้ดังสมการที่ 2.25

$$\bar{P}_{p\ bench} = \frac{1}{3} Z_{bench} \quad (2.25)$$

การประเมินความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการจะประเมินได้ดังสมการที่ 2.26

$$\bar{P}_{pk\ bench} = \frac{1}{3} Z_{bench} \quad (2.26)$$

และในการกำหนดค่า \bar{P} เพื่อหาค่า Z_{bench} จะต้องทำการประเมินถึงสถานะอยู่ใต้การควบคุมของกระบวนการก่อนด้วยการใช้แผนภูมิควบคุม [5]

2.5 เครื่องมือควบคุมคุณภาพ

ในการควบคุมคุณภาพ จะต้องอาศัยการควบคุมกระบวนการผลิตโดยใช้กลวิธีทางสถิติ (Statistical Process Control; SPC) เป็นเครื่องมือที่ใช้แก้ปัญหาอย่างต่อเนื่อง ให้กระบวนการผลิตไม่เปลี่ยนแปลงและมีสมรรถภาพสูงขึ้น [12] โดยเครื่องมือควบคุมคุณภาพมีหน้าที่คือ ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล และใช้ในการแสดงผลของข้อมูล

2.5.1 ใบตรวจสอบ

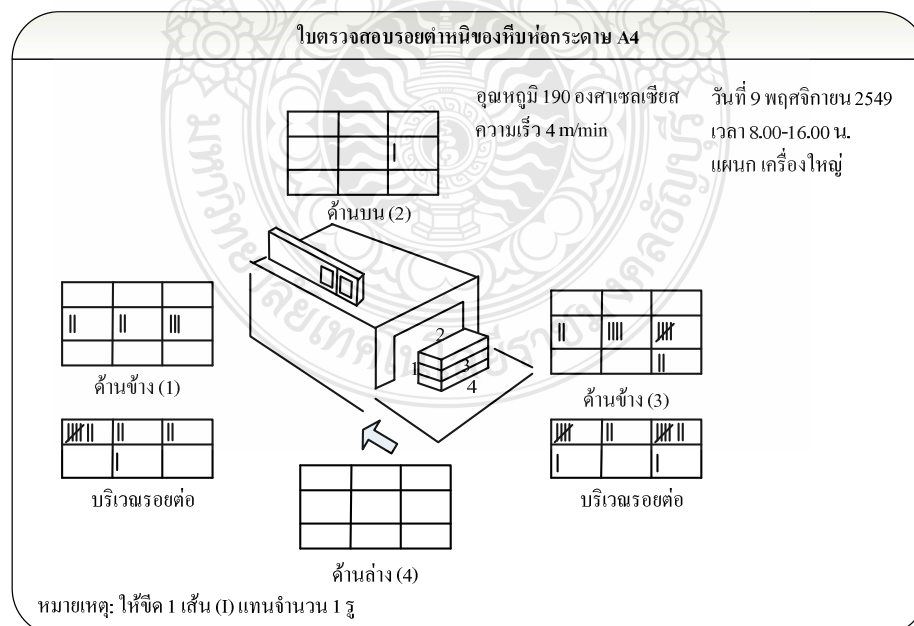
เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับการเก็บข้อมูลที่เกิดขึ้น ณ เวลาที่สนใจในสถานที่ที่ต้องการศึกษา โดยผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมกระบวนการผลิตจะเป็นผู้บันทึก ใบตรวจสอบข้อมูลมีหลายประเภท ทั้งนี้เพื่อความเหมาะสมกับงาน ตั้งแต่การตรวจสอบวัตถุดิบ กระบวนการผลิต ตลอดจนถึงผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป

1) ใบตรวจสอบการผลิต จะมีช่องให้ผู้ตรวจสอบบันทึกค่าต่างๆ ของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดที่สามารถนับจำนวนข้อบกพร่องหรือรอยตำหนิได้ หรือสามารถวัดออกมาเป็นตัวเลขได้ เพื่อพิจารณาคุณภาพของผลิตภัณฑ์นั้นๆ เช่น ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง น้ำหนัก ความแข็ง ความเหนียวและความเค้น เป็นต้น และตัวอย่างใบตรวจสอบวัดค่าความเค้นดึงของเส้นใยโพลีเอสเตอร์ ดังแสดงในภาพที่ 2.18

ความเค้นดึง	ตำแหน่ง			
	α_1	α_2	β_1	β_2
640-649				
630-639				
620-629				
610-619				
600-609				
590-599				
580-589				

ภาพที่ 2.21 ใบตรวจสอบวัดค่าความเค้นดึงของเส้นใยโพลีเอสเตอร์ [4]

2) ใบตรวจสอบตำแหน่งบัพร่อง จะเป็นภาพร่างหรือภาพวาดรายละเอียดของผลิตภัณฑ์หรือชิ้นงานนั้น เนื่องจากชิ้นงานบางอย่างมีข้อบกพร่องบริเวณภายนอก ใบตรวจสอบตำแหน่งบัพร่องใช้ชี้ตำแหน่งข้อบกพร่องชิ้นงาน เมื่อพบข้อบกพร่องก็จะทำตำหนิลงบนตำแหน่งที่พบข้อบกพร่องนั้น เช่น ใบตรวจสอบรอยตำหนิของการหีบห่อกระดาษ 5 รีม ด้วยพลาสติก ดังแสดงในภาพที่ 2.19



ภาพที่ 2.22 ใบตรวจสอบรอยตำหนิของหีบห่อกระดาษ A4

3) ไบโตรตรวจสอบของเสียหรือข้อบกพร่อง มักใช้กับการผลิตที่อาจเกิดของเสียหรือข้อบกพร่องขึ้นกับผลิตภัณฑ์ในลักษณะต่างๆ หลายๆ ลักษณะ ดังนั้นผู้ผลิตจึงอาศัยประสบการณ์ในการออกแบบ และกำหนดของเสีย และข้อบกพร่องต่างๆ ในไบโตรตรวจสอบ ดังแสดงในภาพที่ 2.20

แผนก ประกันคุณภาพ		ปีที่บันทึก 2548						
สาเหตุ เดือน	พลาสติก เกิดรู	พลาสติก ขาด	กระดาษ ห่อขาด	กระดาษ หักมุม	กระดาษ มีรอยดำ	กระดาษ มีลาย	รวม ของเสีย	เปอร์เซ็นต์ ของเสีย
ม.ค.	615	80	-	55	60	-	810	8.12
ก.พ.	485	-	10	18	72	15	600	6.02
มี.ค.	1,010	325	58	8	34	-	1,435	14.39
เม.ย.	700	110	-	40	50	36	936	9.39
พ.ค.	780	75	24	75	-	15	969	9.72
มี.ย.	550	-	-	43	58	14	665	6.67
ก.ค.	-	150	39	21	15	-	225	2.26
ส.ค.	825	225	-	29	50	9	1,138	11.41
ก.ย.	700	125	43	-	14	10	892	8.94
ต.ค.	800	150	-	-	-	-	950	9.53
พ.ย.	575	175	57	30	47	22	906	9.08
ธ.ค.	295	120	17	15	-	-	447	4.48
รวม	7,335	1,535	248	334	400	121	9,973	100.00
% ของเสีย	73.55	15.39	2.49	3.35	4.01	1.21	100.00	

ภาพที่ 2.23 ไบโตรตรวจสอบของเสียจากการหีบห่อกระดาษ A4 ด้วยพลาสติก [4]

4) ไบโตรตรวจสอบสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่อง ใช้บันทึกความสัมพันธ์ของพนักงาน เครื่องจักร วันทำการผลิต ช่วงเวลา และชนิดของข้อบกพร่อง ดังนั้นเมื่อมีข้อบกพร่องเกิดขึ้น ผู้ตรวจสอบสามารถเชื่อมโยงสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องได้จากการระจุกของสัญลักษณ์ ดังแสดงในภาพที่ 2.21

ใบตรวจสอบสาเหตุที่ทำให้เกิดรูพลาสติก												
แผนก ทึบห่อกระดาษแบบพลาสติก											ปีบัญชี 2549	
เครื่องจักร	พนักงาน	จันทร์		อังคาร		พุธ		พฤหัสบดี		ศุกร์		รวม
		07.01-16.00	16.01-01.00	07.01-16.00	16.01-01.00	07.01-16.00	16.01-01.00	07.01-16.00	16.01-01.00	07.01-16.00	16.01-01.00	
1. เครื่องห่อฟิล์มหัด (ใหญ่)	พนักงาน 1	000000 000000 00000x xxxxxx		000000 000000 0 xxx		000000 000000 000000 000xxx		000000 000000 000000 000xxx		000000 000000 000000 000xxx	000000 000000 00 xxxx	110
	พนักงาน 2		000000 000 xxx		00000 xxx		00000 000 xxx		000000 000000 0 xxxxxx		000000 000000 xx	59
รวม		24	12	16	8	24	12	28	19	18	8	169
2. เครื่องห่อฟิล์มหัด (เล็ก)	พนักงาน 3	0 xxxx		000 xxxxxx xx		00000 0 xxxx		0 xxxx		00 xxxxx xxxx		46
	พนักงาน 4		xxxxxx		xxx		xx				00000 xxx	19
รวม		5	6	11	3	11	2	7	0	12	8	65
รวมทั้งหมด		29	18	27	11	35	14	35	19	30	16	234

x แทนรูที่มีขนาดน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2 cm
0 แทนรูที่มีขนาดมากกว่า 2 cm

ภาพที่ 2.24 ใบตรวจสอบสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่อง [4]

5) ใบตรวจสอบความเรียบร้อย ใช้กับการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ที่มีรายการตรวจสอบหลายประการ เช่นการตรวจสอบความพร้อมก่อนการทดสอบ ดังแสดงในภาพที่ 2.22 โดยการวางรูปแบบของใบตรวจสอบ ต้องสอดคล้องกับขั้นตอนการตรวจสอบตามสภาพความเป็นจริง

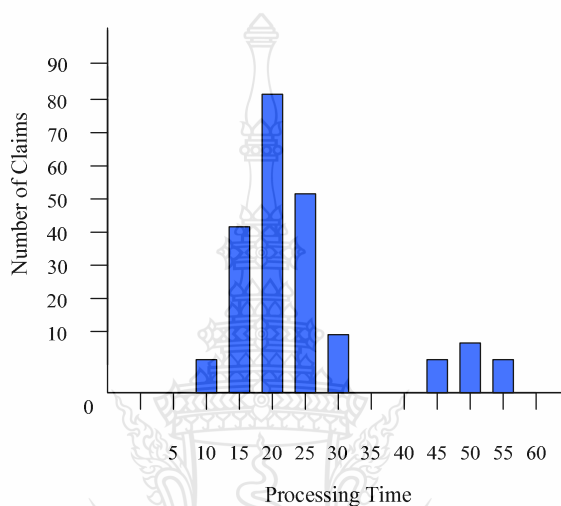
ใบตรวจสอบการใช้เครื่องวัดความต้านทานแรงดึง รุ่น INSTRON 5566						
ห้องทดลอง IE 226 ชนิดของชิ้นงาน พลาสติกท่อพีเอ็มดี						
ก่อนใช้งาน	วัน เดือน ปี					
	20/12/49	21/12/49	22/12/49	25/12/49	26/12/49	27/12/49
1. วัดอุณหภูมิภายในห้องทดลอง (23+/- 2 °C)	24.2	24.0	22.9	23.5	23.6	23.0
2. ตรวจสอบการเชื่อมโยงระหว่างเครื่องวัดความต้านทานแรงดึงกับเครื่องคอมพิวเตอร์						
2.1 สายเชื่อมต่อระหว่างเครื่องวัดความต้านทานแรงดึงกับเครื่องคอมพิวเตอร์	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2.2 การเชื่อมโยงระหว่างโปรแกรม Merin ของเครื่องคอมพิวเตอร์กับเครื่องวัดความต้านทานแรงดึง	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3. เลือกมาตรฐานการทดลองของ ASTM D882-95a	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4. กำหนดมาตรฐาน (Calibration) และตั้งสมดุล (Balance) เครื่องวัดความต้านทานแรงดึง	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5. ใส่หัวจับชิ้นงานด้านบน พร้อมตรวจสอบระยะห่าง ระหว่างหัวจับชิ้นงานบนและหัวจับชิ้นงานล่างให้มีระยะห่างเท่ากับ 65 mm	✓	✓	✓	✓	✓	✓
6. ตรวจสอบแรงดันของปั๊มลม (0.04-0.06 MPa)	0.058	0.060	0.055	0.056	0.049	0.060
7. ใส่สายลมบนและสายลมล่างที่หัวจับชิ้นงานด้านล่าง	✓	✓	✓	✓	✓	✓
8. และหัวจับชิ้นงานด้านบน และเปิดวาล์วลม						
9. นำพลาสติกที่มีความหนา 40 ไมครอน ทดสอบค่า	31.9	33.1	32.8	33.5	34.3	33.3
10. ความต้านทานแรงดึงว่ามีค่าเท่ากับ 33 +/- 2 MPa						
หลังการใช้งาน						
1. เปิดเครื่องวัดความต้านทานแรงดึงและคอมพิวเตอร์	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2. ถอดสายลมบนและสายลมล่างที่หัวจับชิ้นงานด้านบนและด้านล่างออก	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3. ถอดหัวจับชิ้นงานด้านบนออก	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4. ปิดวาล์วปั๊มลม	✓	✓	✓	✓	✓	✓

ภาพที่ 2.25 ใบตรวจสอบความพร้อมก่อนการทดสอบความต้านทานแรงดึง [4]

6) ใบตรวจสอบอื่นๆ นอกจากใบตรวจสอบทั้ง 5 แบบดังกล่าวแล้ว ในอุตสาหกรรมอาจจะพบใบตรวจสอบในลักษณะอื่นๆ ได้อีก ซึ่งใบตรวจสอบนั้นจะมีลักษณะเฉพาะของตัวเอง หรือมีลักษณะผสมกันระหว่างใบตรวจสอบทั้ง 5 แบบ เพราะต้องประยุกต์หรือดัดแปลงใบตรวจสอบให้เหมาะกับการใช้งานของแต่ละอุตสาหกรรม

2.5.2 ฮีสโตแกรม

เป็นแผนภูมิแท่งแสดงการแจกแจงความถี่ของข้อมูล หลักการในการสร้างอันตรภาคชั้น ต้องครอบคลุมจำนวนข้อมูลที่ทำการสังเกต ต้องหาจำนวนของอันตรภาคชั้นและความกว้างของแต่ละอันตรภาคชั้นจากนั้นก็นำข้อมูลมาพล็อต ฮีสโตแกรม เป็นเครื่องมือที่เหมาะสมที่สุด ที่ช่วยในการทำนายกลุ่มประชากรทั้งหมด

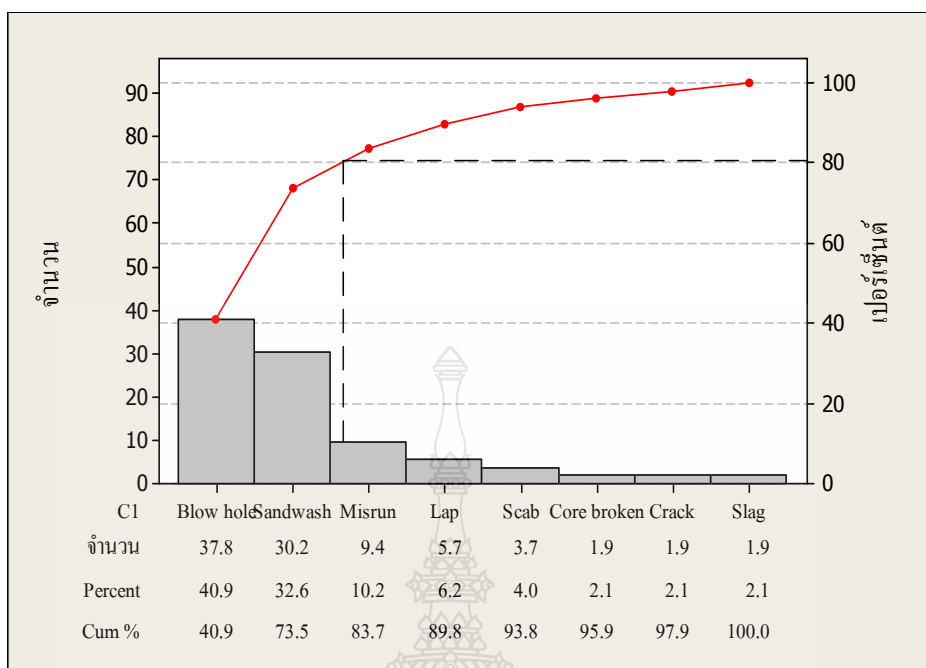


ภาพที่ 2.26 ฮีสโตแกรม [13]

2.5.3 แผนภาพพารेटโต

แผนภาพพารेटโต มีลักษณะเป็นกราฟแท่งที่แบ่งแยกข้อมูลเป็นช่วงๆ จากมากไปน้อย และจากซ้ายไปขวา โดยแกน y มี 2 แกน คือ แกนซ้ายมือแทนความถี่ (เช่น จำนวนจุดบกพร่อง จำนวนคำร้องเรียน หรือจำนวนอุบัติเหตุ เป็นต้น) และแกนขวามือแทนเปอร์เซ็นต์ แกน x แทนสาเหตุ (เช่น ในเรื่องปัญหาของจุดบกพร่อง อาจจำแนกสาเหตุได้จาก พนักงาน เครื่องจักรกล วิธีการทำงาน หรือ ชนิดของวัตถุดิบ เป็นต้น) แผนภูมิพารेटโตต่างจากฮีสโตแกรมที่แกนนอนของแผนภูมิพารेटโตเป็นประเภทของข้อมูล แต่แกนนอนของฮีสโตแกรมเป็นตัวเลข

แผนภาพพารेटโตเป็นเครื่องมือที่สำคัญในการปรับปรุงคุณภาพ ซึ่งเหมาะสมที่จะใช้ในการชี้เฉพาะสาเหตุแห่งปัญหา เช่น ปัญหาในงานหล่อกระบอกสูบรถบรรทุก เนื่องจากสาเหตุต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 2.24

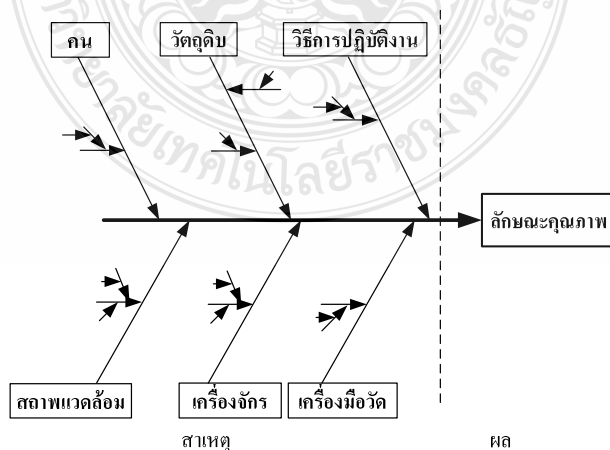


ภาพที่ 2.27 สาเหตุต่างๆ ของงานหล่อกระบอกลูกสูบรถบรรทุก [4]

จากภาพที่ 2.24 ควรค้นหาสาเหตุของการเกิดรูพรุน ผิวไม่เรียบ และเทไม่เต็ม เพื่อเป็นการปรับปรุงงานหล่อกระบอกลูกสูบ

2.5.4 แผนผังก้างปลา

เป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล โดยการพิจารณาสาเหตุ (Causes) ที่มีผล (Effect) โดยตรงกับลักษณะคุณภาพ (Quality Characteristic) ของปัญหาที่สนใจศึกษา [14]

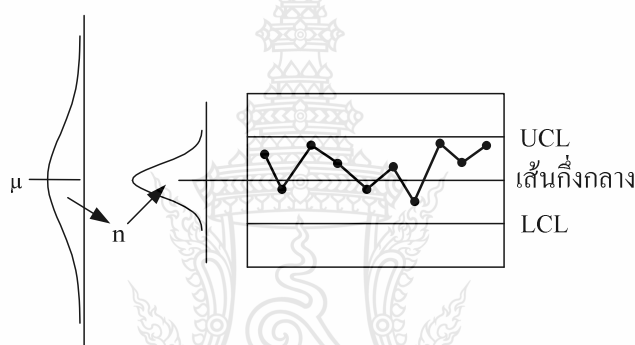


ภาพที่ 2.28 แผนผังก้างปลา

จากภาพที่ 2.25 แสดงถึงลักษณะคุณภาพที่ต้องการปรับปรุงอยู่ทางด้านขวา และสาเหตุที่ก่อให้เกิดลักษณะคุณภาพอยู่ทางด้านซ้าย สาเหตุหลัก (Major Causes) ที่นิยมวิเคราะห์ก็คือ คน (Man หรือ People) เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ (Machine or Equipment) วิธีการปฏิบัติงาน (Work Methods) วัสดุดิบ (Materials) และสภาพแวดล้อม (Environment) บางครั้งสาเหตุหลักอาจวิเคราะห์ถึงการบำรุงรักษา (Maintenance) และเครื่องมือวัด (Measurement) โดยที่ในแต่ละสาเหตุหลักก็อาจแบ่งเป็นสาเหตุย่อย (Minor Causes)

2.5.5 แผนภูมิควบคุม

ใช้ในการเฝ้าติดตามกระบวนการผลิตที่กำลังดำเนินการอยู่ (On-Line Process) ดังแสดงในภาพที่ 2.26



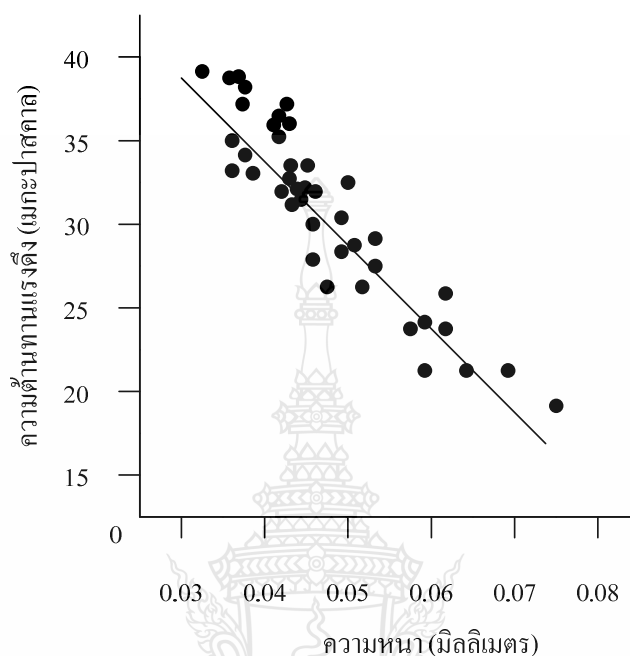
ภาพที่ 2.29 แผนภูมิควบคุม

จากภาพที่ 2.26 แสดงถึงแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยที่ใช้บันทึกความผันแปรจากค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง แกนนอน (Horizontal Axis) แทนกลุ่มตัวอย่างซึ่งถูกสุ่มด้วยจำนวนที่เท่ากัน และแกนตั้ง (Vertical Axis) แทนผลลัพธ์ เช่น น้ำหนักของคนที่มีหน่วยเป็นกรัม หรือความหนาของสังกะสีที่เคลือบผิวสายรัดโลหะ เป็นต้น จุดแต่ละจุด แทนค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มตัวอย่าง เส้นกึ่งกลาง (Center Line) แทนค่าเฉลี่ยของจุด หรือแทนค่าอ้างอิง (Reference Value) ของข้อมูลในอดีต หรือแทนค่าเป้าหมายของข้อกำหนดที่ลูกค้าต้องการ หรือแทนค่าเฉลี่ยประชากร (ถ้าทราบ) ส่วนเส้นขีดจำกัดควบคุม (Control Limits) ถูกสร้างเพื่อช่วยตัดสินใจว่า ความผันแปรระหว่างกลุ่มตัวอย่างที่เกิดขึ้นนั้นมีค่านัยสำคัญต่อคุณภาพหรือไม่ [15]

2.5.6 แผนภาพการกระจาย

ใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว โดยการวาดลงแผนภาพการกระจาย ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร เช่น ความหนักกับความต้านทานแรงดึงของพลาสติก ที่ใช้ห่อกระดาษ 5

ริม ดังแสดงในภาพที่ 2.27 การลดความเร็วรอบกับอายุการใช้งานของเครื่องมือ อุณหภูมิกับความแข็งของลีสติก เป็นต้น



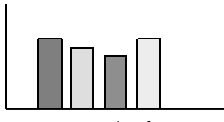

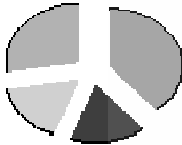
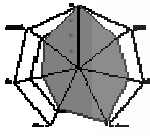
ภาพที่ 2.30 ผลการทดสอบพลาสติก ที่ใช้ห่อกระดาษ 5 ริม [4]

จากภาพที่ 2.27 ทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาและความต้านทานแรงดึงว่า เมื่อพลาสติกมีความหนาเพิ่มขึ้น กลับทำให้ความต้านทานแรงดึงลดลง

2.5.7 กราฟ

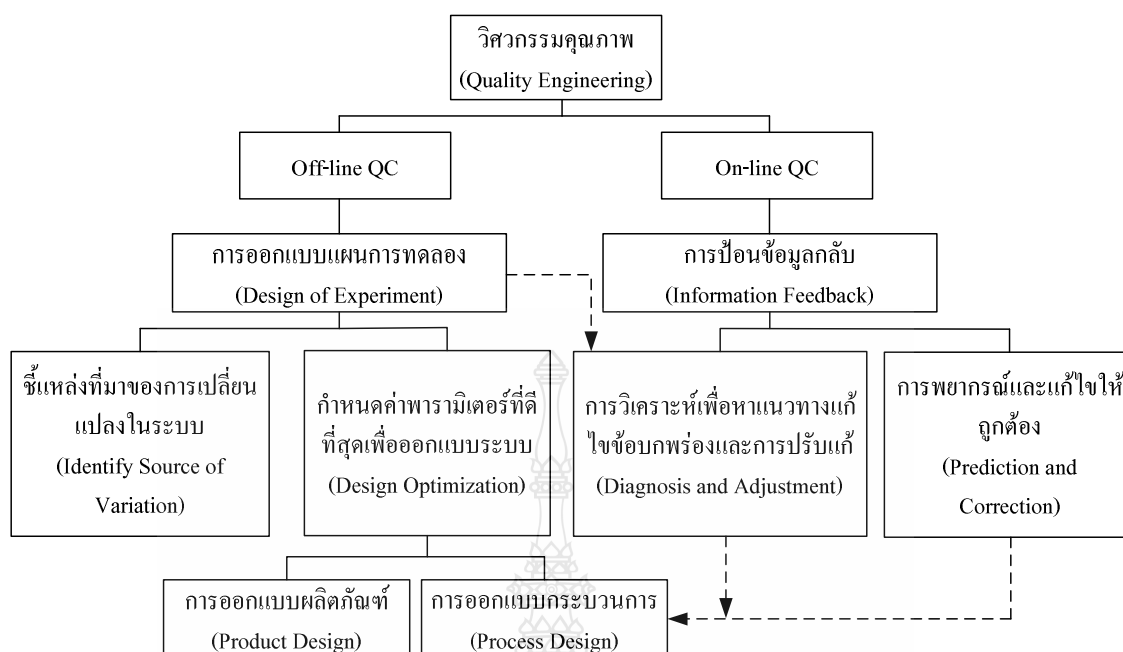
เป็นส่วนหนึ่งของรายงานต่างๆ ที่ใช้สำหรับนำเสนอข้อมูล ที่สามารถทำให้ผู้อ่านเข้าใจ ข้อมูลต่างๆ ได้ดี สะดวกต่อการแปรความหมาย และสามารถให้รายละเอียดของการเปรียบเทียบได้ดีกว่าการนำเสนอข้อมูลด้วยวิธีอื่น กราฟมีหลายประเภท ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 รายการประเภทของกราฟ [16]

ประเภทของกราฟ	ลักษณะเฉพาะ
 <p>กราฟแท่ง</p>	<ul style="list-style-type: none"> • ใช้เมื่อมีข้อมูลมากกว่าหรือเท่ากับ 2 ข้อมูล โดยใช้ในการเปรียบเทียบที่พื้นที่ของกราฟ • ไม่เหมาะสมที่จะใช้ดูแนวโน้มในระยะยาว แต่เหมาะสำหรับข้อมูลในแต่ละช่วงเวลา
 <p>กราฟเส้น</p>	<ul style="list-style-type: none"> • ใช้สำหรับดูแนวโน้ม การพยากรณ์ในอนาคต หรือทำนายผลจากข้อมูลในอดีตได้ • ใช้ในการควบคุมแผนงานให้ได้ตามเป้าหมายที่ตั้งไว้
 <p>กราฟวงกลม</p>	<ul style="list-style-type: none"> • พื้นที่ของกราฟเท่ากับ 100% แต่ละส่วนที่แบ่งออกมาจะแสดงให้เห็นถึงอัตราส่วนในแต่ละส่วนประกอบของข้อมูลว่าเป็นกี่ส่วนขององค์ประกอบทั้งหมด
 <p>กราฟใยแมงมุม</p>	<ul style="list-style-type: none"> • เป็นกราฟรูปหลายเหลี่ยม ซึ่งจะแสดงการเปรียบเทียบปริมาณความมากน้อยของแต่ละส่วน โดยกำหนดตำแหน่งจุดลงในแต่ละเส้นแกนของกราฟ ใช้เปรียบเทียบก่อน-หลังการปรับปรุง หรือเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป

2.6 ความสำคัญของการออกแบบการทดลอง

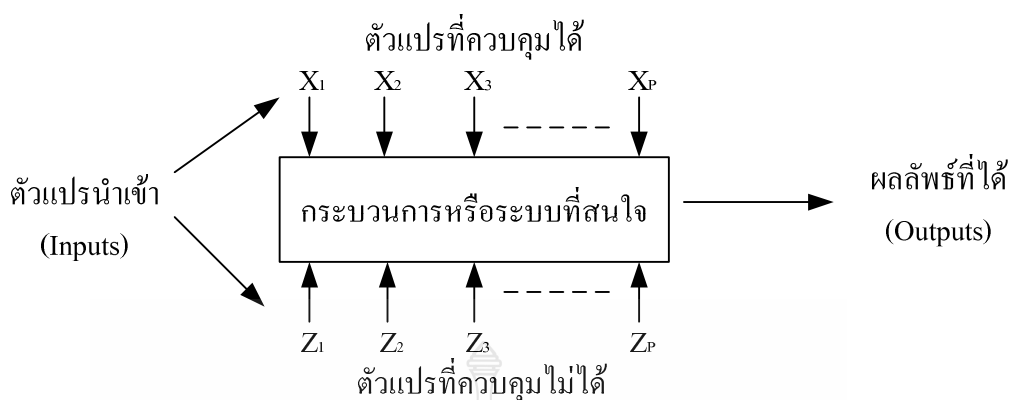
“คุณภาพ” ในปัจจุบันได้เป็นที่ยอมรับอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมทุกด้านว่าเป็นส่วนที่สำคัญ และผลักดันให้กลุ่มผู้ผลิตต่างๆ มีความสามารถในการแข่งขันทางการค้าในระดับสากลได้อย่างแพร่หลาย หลักการวิศวกรรมคุณภาพ ได้จัดแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ การควบคุมคุณภาพขณะที่ปิดสายการผลิตหรือก่อนการผลิต (Off-Line Quality Control) และการควบคุมคุณภาพเมื่อดำเนินการผลิตแล้ว (On-Line Quality Control) ซึ่งการออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลองจะเข้ามามีบทบาททั้งสองส่วน โดยเฉพาะในส่วนแรก ดังแสดงในภาพที่ 2.28



ภาพที่ 2.31 แนวคิดทางวิศวกรรมคุณภาพ [17]

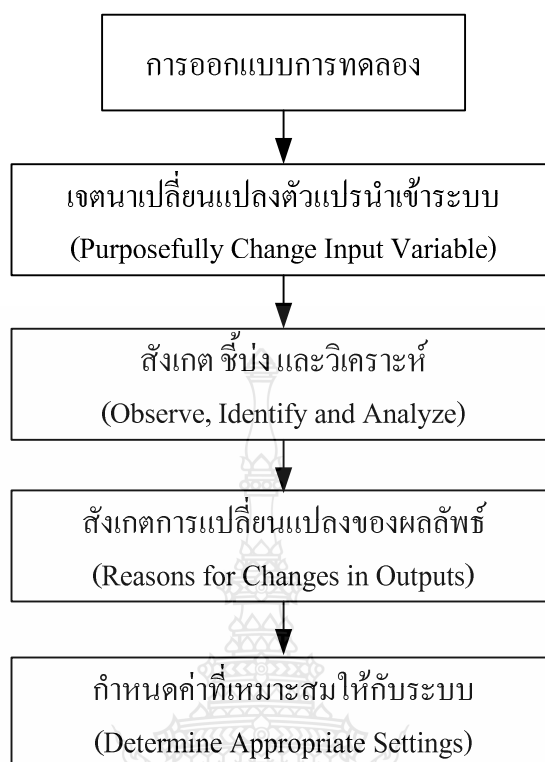
2.6.1 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments)

การออกแบบการทดลองคือ การทดสอบเพียงครั้งเดียวหรือต่อเนื่อง โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรนำเข้า (Input Variables) ในระบบหรือกระบวนการที่สนใจศึกษา เพื่อที่จะทำให้สามารถสังเกตและชี้ถึงสาเหตุต่างๆ ที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ที่ได้ (Output or Response) จากกระบวนการหรือระบบนั้น โดยตัวแปรนำเข้าจะถูกจัดแบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่ควบคุมได้ เรียกว่า “ตัวแปร (หรือปัจจัย) ที่ควบคุมได้ (Controllable Variables or Factors) หรือตัวแปร (หรือปัจจัย) ที่สามารถออกแบบได้” (Design Variables or Factors) และกลุ่มที่ไม่สามารถควบคุมได้ เรียกว่า “ตัวแปร (หรือปัจจัย) ที่รบกวนระบบ” (Uncontrollable or Noise Variables (Factors)) ดังแสดงในภาพที่ 2.29



ภาพที่ 2.32 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ในกระบวนการหรือระบบที่สนใจ

การกำหนดตัวแปรที่ควบคุมได้และตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้ขึ้นอยู่กับระบบแต่ละระบบ ซึ่งโดยหลักการแล้ว ตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้หรือตัวแปรรบกวน (Noise Variables) มักจะเกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมในธรรมชาติ เช่น ลม ฝุ่นละออง ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิภายนอก หรือส่วนของอุปกรณ์หรือระบบที่ยากแก่การควบคุม เนื่องจากในการควบคุมต้องใช้ความระมัดระวังสูง เพราะเมื่อชำรุดอาจส่งถึงต้นทุนค่าใช้จ่ายที่สูงมาก ส่วนตัวแปรที่ควบคุมได้ เช่น ที่มาของวัตถุดิบ เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต พนักงานควบคุม (ซึ่งในบางระบบอาจพิจารณาให้เป็น “ตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้”) อุณหภูมิที่ใช้ในการผลิต เป็นต้น ในทุกกระบวนการสามารถที่จะระบุและบันทึกไว้เพื่อประโยชน์ในการวิเคราะห์ต่อไปได้โดยสรุปในการออกแบบการทดลองมีหลักการสำคัญดังสรุปได้ในภาพที่ 2.30



ภาพที่ 2.33 หลักการสำคัญในการออกแบบการทดลอง

ดังนั้นในภาพรวมการออกแบบการทดลองจึงมีส่วนสำคัญอย่างยิ่ง โดยเฉพาะในส่วนของ การออกแบบกระบวนการ ในด้านการกำหนดค่าพารามิเตอร์ หรือค่าเงื่อนไขที่เหมาะสมที่ใช้ในระบบ หรือกระบวนการ เช่น ในการผลิตน้ำอัดลม การกำหนดส่วนผสมเพื่อให้ได้รสชาติที่เหมาะสม กำหนด ความเร็วของสายพาน เพื่อประโยชน์ในการบรรจุจะทำให้สูญเสีย น้ำอัดลมน้อยที่สุด เป็นต้น ซึ่ง ในทางวิศวกรรมจะเรียกขั้นตอนนี้ว่า “Parameter Design” ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในการออกแบบ กระบวนการ (Design Process) ในระยะกลาง

2.6.2 การออกแบบกระบวนการหรือผลิตภัณฑ์ (Process or Product Design)

1) การออกแบบระบบ (System Design) คือการนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรม มาประยุกต์ใช้ในกระบวนการ เพื่อออกแบบตัวแบบเริ่มต้น (ต้นแบบ หรือ “Basic Prototype”) โดยตัว แบบนี้ถูกกำหนดโดยการกำหนดค่าเริ่มต้นของลักษณะทางคุณภาพที่ต้องการของผลิตภัณฑ์หรือ กระบวนการ

2) การออกแบบค่าพารามิเตอร์ (Parameter Design) คือ การศึกษาเพื่อกำหนดและระบุค่าที่ ดีที่สุดและเหมาะสมภายใต้สภาวะเงื่อนไขที่ต้องการให้กับกระบวนการ เช่น การตั้งค่าพารามิเตอร์ใน

การขั้บรถเพื่อให้เครื่องยนต์กินน้ำมันน้อยที่สุด หรือระยะทาง (กิโลเมตร) ต่อลิตรมากที่สุด การบรรจุไอศกรีมต้องการปริมาณสูญเสียของไอศกรีมน้อยที่สุด การตัดบานกระจกต้องการให้มีขนาดพอดีกับที่ต้องการ เป็นต้น

3) การออกแบบค่าพิกัดเผื่อ (Tolerance Design) คือ วิธีการกำหนดช่วงหรือพิกัดเผื่อที่เหมาะสมในกระบวนการผลิต ที่จะทำให้คุณภาพทางการผลิตสูง และค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานต่ำที่สุด บิดาของการออกแบบการทดลองคือ Sir Ronald A. Fisher ได้พัฒนาไว้ตั้งแต่ต้นศตวรรษที่ 19 เพื่อใช้ในการเกษตร ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น สายพันธุ์มีความคงทนมากขึ้น และได้พัฒนาในด้านอุตสาหกรรมในช่วงปี ค.ศ. 1930 เป็นต้นมา การพัฒนาทางด้านนี้มีการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง แบบแผนการทดลองและวิธีการวิเคราะห์ได้พัฒนาขึ้นมากเช่นในปี ค.ศ. 1951 Box และ Wilson ได้พัฒนาวิธีการวิเคราะห์ตัวแปรผิวสะท้อน (Response Surface Methodology; RSM) ในช่วงปี ค.ศ. 1989 งานของ Dr. Genechi Taguchi วิศวกรไฟฟ้าชาวญี่ปุ่น ได้ทำให้การออกแบบแผนการทดลองกลับมาใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอีกครั้ง เนื่องจากท่านได้พัฒนาวิธีการวิเคราะห์ของท่านเอง โดยหลีกเลี่ยงการใช้ตัวสถิติที่ยุ่งยาก แต่ยังคงอิงการประมาณค่าและหลักการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย (Analysis of Mean; ANOM) เพื่อใช้ในการปรับปรุงโมเด็ม และการส่งสัญญาณทางไฟฟ้า ซึ่งทำให้มีผู้นำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ อีกอย่างกว้างขวาง

2.6.3 ประเภทของการทดลอง (Type of Experiment)

ในการทดลองสามารถจะจำแนกประเภทของการทดลองได้เป็น 5 ประเภทหลัก ดังนี้

1) การทดลองเดี่ยวหรือการทดลองเพียงครั้งเดียว (Single Experiment) คือการทดลองในกรณีที่ผู้ทดลองมีความรู้ความเข้าใจในระบบหรือกระบวนการที่ต้องการศึกษาเป็นอย่างดี ทราบถึงปัจจัยที่มีความสำคัญในกระบวนการเบื้องต้น แต่ต้องการทราบและชี้บ่งถึงสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย

2) การทดลองอย่างต่อเนื่อง (Continuous Experiment) คือ การทำการทดลองเพื่อที่จะลดค่าการเปลี่ยนแปลง (Variation) ในกระบวนการ โดยมีเป้าหมายในการปรับปรุงกระบวนการอย่างชัดเจน เช่น ต้องการปรับปรุงดัชนีวัดสมรรถภาพกระบวนการ (C_p , C_{pk} , C_{pm}) ให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ แต่ผู้ทดลองไม่มีความรู้ในกระบวนการหรือระบบที่ต้องการปรับปรุงมากนัก แต่ทราบว่ากระบวนการยังไม่ได้มาตรฐาน มีของเสียทิ้งที่ต้องทำลายทิ้ง (Scrap) และของเสียที่นำกลับมาแก้ไขได้ (Rework) มากเกินไป

3) การทดลองแบบคัดทิ้ง (Screening Experiment) คือ การทดลองที่ทำขึ้นสำหรับศึกษาระบบหรือกระบวนการใหม่ที่เพิ่งทำการติดตั้งหรือจะติดตั้งพัฒนาขึ้นใหม่ ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใหญ่

หรือซับซ้อน และผู้ทดลองมีความเข้าใจในกระบวนการน้อย วัตถุประสงค์ของการทดลองนี้ คือ พยายามปรับลดรายละเอียดของตัวแปรหรือปัจจัยในกระบวนการ หรือระบบเพื่อที่จะได้จำนวนปัจจัยที่เหมาะสม และทำการทดลองได้จริงในการทดลอง เพื่อกำหนดค่าที่เหมาะสมที่สุดที่จะใช้ในกระบวนการหรือระบบที่ศึกษาต่อไป

4) การทดลองแบบเจาะจง (Focusing Experiment) คือ การทดลองที่ทำขึ้นโดยมีเป้าหมาย กำหนดจากความต้องการในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น โดยการกำหนดค่าที่เหมาะสมให้กับปัจจัยที่เลือกศึกษานั้นๆ

5) การทดลองเชิงลำดับ (Sequential Experiment) คือ การทดลองที่ทำขึ้นเนื่องจาก กระบวนการที่สนใจศึกษาสามารถแบ่งเป็นขั้นตอนหรือกระบวนการย่อยๆ เป็นจำนวนมาก ทำให้มี ปัจจัยที่ศึกษาในภาพรวมในแต่ละขั้นตอนมาก จึงจำเป็นต้องแบ่งกระบวนการออกเป็นส่วนๆ และทำ การทดลองกำหนดปัจจัย จากนั้นจึงนำมารวมเป็นข้อกำหนดของกระบวนการในภาพรวมเพื่อให้ สามารถทำการศึกษากระบวนการหรือระบบที่มีขนาดใหญ่ทำได้จริงในทางปฏิบัติ เช่น การทำโต๊ะ ไม้ อาจแบ่งขั้นตอนคร่าวๆ ได้คือ (i) การตัดไม้ขนาดต่างๆ (ii) การกลึงให้ได้รูป (iii) การเจาะเพื่อการ ประกอบ (iv) การประกอบ (v) การขัดและพ่นสี เป็นต้น ในการทดลองจะทำการวิเคราะห์ขั้นตอนแต่ละ ขั้นตอนและนำมาเป็นขั้นกำหนดในภาพรวม

2.7 การออกแบบการทดลองโดยวิธีทาคุชิ

2.7.1 วิธีการของทาคุชิ (Taguchi Methodology)

ดร.ทาคุชิ (Genichi Taguchi) เป็นวิศวกรสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ผู้นำเอาหลักการออกแบบ การทดลองมาประยุกต์ใช้ โดยพยายามปรับให้ง่ายขึ้นในขั้นตอนการวิเคราะห์ผลโดยไม่ใช้การแจกแจงทางสถิติและตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อสะดวกสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานจริง แต่ จะใช้ค่าวัดที่ได้พัฒนาขึ้นเองได้แก่ ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวนระบบ (Signal-to-Noise Ratios) ซึ่งจำแนกตามลักษณะทางคุณภาพ [17] แบ่งได้เป็น 3 กรณี คือ

1) กรณีค่ายิ่งมากยิ่งดี (The Larger-The Better) เช่น ระยะทางที่รถวิ่งได้ต่อลิตรของน้ำมัน เชื้อเพลิง ร้อยละผลผลิตที่ผลิตได้ (% Yield)

2) กรณีค่ายิ่งน้อยยิ่งดี (The Smaller-The Better) เช่น ความเข้มข้นก๊าซพิษในอากาศ (%) ของเสียในกระบวนการ (%)

3) กรณีค่าตรงเป้าหมายดีที่สุด (Target-The Better) เช่น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของงาน เจาะ ปริมาตรบรรจุแป้งเด็ก ค่าความต้านทานแรงดึงของใยผ้า

2.7.2 แนวความคิดของทาคุชิ (Taguchi Concepts)

ปัญหาคุณภาพส่วนใหญ่เป็นผลมาจากการออกแบบผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิตที่ไม่เหมาะสมแนวความคิด 3 ประการ ของทาคุชิ เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงคุณภาพทั้งสินค้าและกระบวนการผลิตได้แก่ ความทนทานด้านคุณภาพ ฟังก์ชันการสูญเสียด้านคุณภาพ และเป้าหมายด้านคุณภาพ [18]

1) ความทนทานด้านคุณภาพ (Quality Robust) แนวคิดของทาคุชิ เป็นความพยายามที่จะจำกัดผลกระทบจากสภาพแวดล้อมแทนการกำจัดที่สาเหตุของปัญหา เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าและมีประสิทธิภาพมากกว่าในการผลิตสินค้าที่มีความทนทาน แนวทางดังกล่าวถือว่า ความแปรปรวน (Variation) เล็กน้อยในวัตถุดิบและกระบวนการผลิตจะไม่ทำให้คุณภาพของสินค้าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง การปรับเปลี่ยนลักษณะของสินค้าบางประการจะไม่ทำให้คุณภาพหรือประสิทธิภาพลดน้อยลง แต่จะทำให้สินค้ามีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมต่างๆ ได้มากยิ่งขึ้น

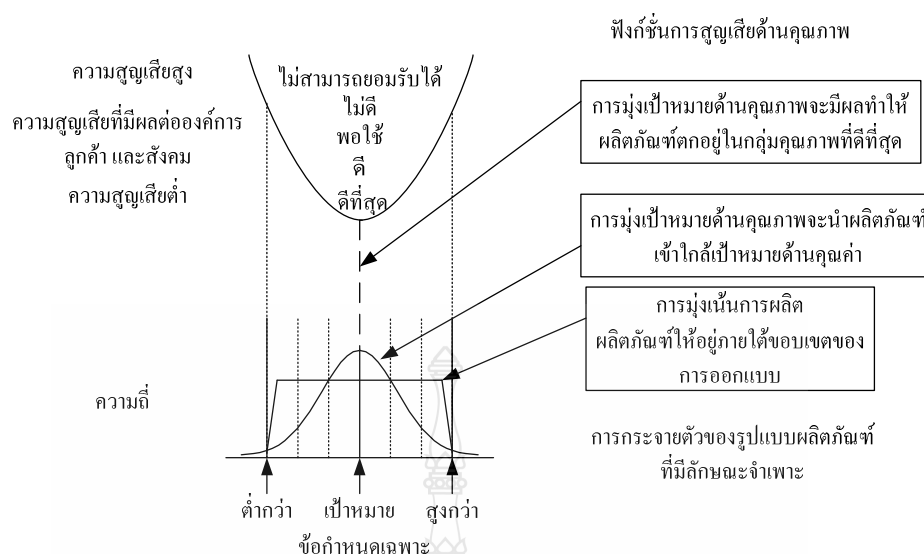
2) ฟังก์ชันการสูญเสียด้านคุณภาพ (Quality Loss Function) เป็นการระบุต้นทุนทั้งหมดที่สัมพันธ์กับการด้อยคุณภาพและแสดงให้เห็นว่าต้นทุนเหล่านี้เพิ่มขึ้น หากสินค้ามีความแตกต่างไปจากสิ่งที่ลูกค้าต้องการ ต้นทุนดังกล่าวไม่เพียงแต่เกิดจากความไม่พอใจของลูกค้าแต่ยังรวมถึงการรับประกันและต้นทุนการบริการ การตรวจสอบภาพใน การทำซ้ำ ต้นทุนของเสีย และต้นทุนที่เรียกว่า ต้นทุนทางสังคม ความสูญเสียที่มีต่อสังคมจะถูกรวบรวมอยู่ในฟังก์ชันการสูญเสียด้านคุณภาพเช่นกัน ยิ่งการสูญเสียมีน้อยลงเท่าใด ความต้องการผลิตภัณฑ์ก็ยิ่งมีมากขึ้น ในขณะที่เดียวกัน ยิ่งผลิตภัณฑ์มีคุณภาพห่างไกลจากค่าเป้าหมายมากเท่าใด ก็จะทำให้มีความสูญเสียมากยิ่งขึ้น ภาพที่ 2.31 แสดงถึงฟังก์ชันการสูญเสียด้านคุณภาพ จากรูปจะแสดงเป็นเส้นกราฟซึ่งต้นทุนจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่ออยู่ห่างจากเป้าหมาย (Target) ออกไป ดังสมการต่อไปนี้

$$L = D^2C \quad (2.27)$$

กำหนดให้ L คือ ความสูญเสีย

D^2 คือ กำลังสองของระยะห่างจากเป้าหมายที่กำหนด

C คือ ต้นทุนความแปรปรวนของข้อกำหนดเฉพาะ



ภาพที่ 2.34 ฟังก์ชันการสูญเสียด้านคุณภาพ [18]

3) เป้าหมายด้านคุณภาพ (Target-oriented Quality) จากแนวความคิดของทาคุชิ จะสังเกตได้ว่าวิธีการดำเนินงานแบบดั้งเดิมที่มุ่งเน้นการผลิตผลิตภัณฑ์ให้อยู่ภายใต้ขอบเขตของการออกแบบ (Conformance-Oriented Specifications) ซึ่งก็คือ สินค้าจัดได้ว่าเป็นปกติเมื่ออยู่ภายใต้ขอบเขตที่กำหนดไว้ (Tolerance Limits) นั้นไม่เหมาะสมอีกต่อไป การมุ่งเน้นการผลิตผลิตภัณฑ์ให้อยู่ที่เป้าหมายที่กำหนด (Target-Oriented) จะทำให้เกิดความสูญเสียน้อยที่สุด และทำให้ลูกค้าเกิดความพึงพอใจมากที่สุด ดังนั้นแนวคิดนี้จึงสอดคล้องกับปรัชญาการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง เพื่อที่จะนำผลิตภัณฑ์ให้อยู่ใกล้เป้าหมายที่กำหนดมากที่สุดเท่าที่จะทำได้

2.7.3 กลยุทธ์ตามวิธีของทาคุชิ (Taguchi's Strategy)

เนื่องจากความสูญเสีย (Loss) เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ความต้องการในตัวผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไปในทางที่ดีหรือไม่ดี ปรัชญาการออกแบบการทดลองของทาคุชิจึงมีวัตถุประสงค์หลักในการทำให้ค่าคาดคะเนของความสูญเสียน้อยที่สุด (Minimizing The Expected Loss) [17]

$$\text{Expected Loss: } L(\underline{X}, \underline{W}) \propto E[y - \tau]^2 \quad (2.2)$$

เมื่อ \underline{X} คือ ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors)

\underline{W} คือ ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Noise Factors)

τ คือ ค่าเป้าหมาย

y คือ ลักษณะทางคุณภาพที่ศึกษา (Quality Characteristic)

$L(\underline{X}, \underline{W})$ คือ ค่าคาดคะเนของค่าความสูญเสีย $= k E[y - \tau]^2$

$$\begin{aligned} E[y - \tau]^2 &= E[g(\underline{x}, \underline{w}) + \bar{e} - \tau]^2; y = g(\underline{x}, \underline{w}) + \bar{e} \\ &= E[g(\underline{x}, \underline{w}) - \tau + \bar{e}]^2 \\ &= E[g(\underline{x}, \underline{w}) - \tau]^2 + \tau_e^2 I \\ &= E\left[\left[g(\underline{x}, \underline{w}) - \mu_y(\underline{x}, \underline{w})\right] + \left[\mu_y(\underline{x}, \underline{w}) - \tau\right]\right]^2 + \sigma_e^2 I \\ &= E\left[g(\underline{x}, \underline{w}) - \mu(\underline{x}, \underline{w})\right]^2 + \left[\mu_y(\underline{x}, \underline{w}) - \tau\right]^2 + \sigma_e^2 I \\ &= \sigma_y^2(\underline{x}, \underline{w}) + \left[\mu_y(\underline{x}, \underline{w}) - \tau\right]^2 + \sigma_e^2 I \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$E[y - \tau] = \sigma_y^2(\underline{x}, \underline{w}) + \left[\mu_y(\underline{x}, \underline{w}) - \tau\right]^2 + \sigma_e^2 I$$

$$L(\underline{X}, \underline{W}) = k \left[\sigma_y^2(\underline{x}, \underline{w}) + \left[\mu_y(\underline{x}, \underline{w}) - \tau\right]^2 + \sigma_e^2 \right]$$

$$\hat{L}(\underline{X}, \underline{W}) = \hat{\mu}_L = k \left[\hat{\sigma}_y^2 + (\bar{y} - \tau)^2 \right]$$

จะเห็นได้ว่า ค่าคาดคะเนของความสูญเสีย มีองค์ประกอบที่อธิบายได้สองส่วน คือ ความแปรปรวนของ Y และค่ากำลังสองของค่าเบี่ยงเบนของค่าเฉลี่ยจากค่าเป้าหมาย แนวความคิดดังกล่าวนำไปสู่การสร้างตัววัด (Performance Measure) ของทางสถิติ คือ “ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวน” (Signal-to-Noise Ratios) ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 กรณี

- 1) กรณีค่ายิ่งมาก ยิ่งดี (Larger-The-Better)

$$S/N_L = -10 \log \left\{ \sum_{i=1}^n [1/y_i^2] / n \right\} \quad (2.3)$$

2) กรณีค่ายิ่งน้อย ยิ่งดี (Smaller-The-Better)

$$S/N_L = -10 \log \left(\sum \frac{y_i^2}{n} \right) \quad (2.4)$$

3) กรณีค่าตรงเป้าหมายดีที่สุด (Target-The-Best หรือ Nominal The Best)

$$S/N_\tau = 10 \log \left(\frac{y^{-2}}{S^2} \right) \quad (2.5)$$

2.7.4 แผนการทดลองของทาคุชิ

การออกแบบการทดลองเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลนั้นทาคุชิ ใช้การสร้างเมตริกซ์ข้อมูลสำหรับตัวแปรปัจจัย 2 เมตริกซ์ ตามลักษณะของปัจจัยคือ

1) Design Matrix หรือ Inner Array เป็นเมตริกซ์ที่ประกอบด้วยข้อมูลของตัวแปรที่ควบคุมหรือออกแบบได้ (Design Variable Space) โดยจะใช้เมตริกซ์นั้นเป็นเมตริกซ์หลัก และนำแต่ละแถวไปรวมกับแถวของ Noise Matrix

2) Noise Matrix หรือ Outer Array เป็นเมตริกซ์ที่ประกอบด้วยข้อมูลของตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้ (Noise Space) โดยที่ Column (สดมภ์) ของ Noise Matrix แทนตัวแปรปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Noise Factors) ในขณะที่แถวแต่ละแถวของเมตริกซ์ Noise แทนระดับปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ การออกแบบการทดลองของทาคุชิที่สมบูรณ์ (Complete Taguchi Experimental Design) จะประกอบด้วย n แถวของ Design Matrix (n คือจำนวนการทดลองที่ทำทั้งหมด) ของ p ปัจจัย โดย n = จำนวนแถวของ Design Matrix คูณกับจำนวนแถวของ Noise Matrix แผนการทดลองที่สมบูรณ์ของทาคุชิ แสดงไว้ในตารางที่ 2.3 ดังนี้

ตารางที่ 2.3 แผนการทดลองของทาคุชิ

Test Run	Design Matrix	Noise Matrix	y	S/N
1	$X_{11}, X_{12}, X_{13}, \dots, X_{1p}$	$W_{11}, W_{12}, \dots, W_{1q}$ $W_{21}, W_{22}, \dots, W_{2q}$: $W_{r1}, W_{r2}, \dots, W_{rq}$	y_{11} y_{12} : y_{1r}	$\{S/N\}_1$
2	$X_{21}, X_{22}, X_{23}, \dots, X_{2p}$	$W_{11}, W_{12}, \dots, W_{1q}$ $W_{21}, W_{22}, \dots, W_{2q}$: $W_{r1}, W_{r2}, \dots, W_{rq}$	y_{21} y_{22} : y_{2r}	$\{S/N\}_2$
:	:	:	:	:
n	$X_{n1}, X_{n2}, X_{n3}, \dots, X_{np}$	$W_{11}, W_{12}, \dots, W_{1q}$ $W_{21}, W_{22}, \dots, W_{2q}$: $W_{r1}, W_{r2}, \dots, W_{rq}$	y_{n1} y_{n2} : y_{nr}	$\{S/N\}_n$

2.7.5 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ด้วยวิธีของทาคุชิ (Step in Taguchi Methodology)

การวิเคราะห์ของทาคุชิ มีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดระดับของปัจจัยที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากระดับ (ค่า) ที่ทำให้ค่าตัววัดของทาคุชิ คือ Signal-to-Noise Ratio (S/N) มีค่าสูงที่สุด (จุดที่ดีที่สุดคือ จุดที่ให้ค่า Max {S/N} ณ วิธีปฏิบัติของกลุ่มปัจจัยนั้นๆ) ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 7 ขั้นตอน ดังนี้ คือ

- 1) กำหนดค่าตอบสนอง (y) ที่ใช้วัดผลและวิเคราะห์ปัจจัยเบื้องต้น
- 2) ระบุปัจจัยแยกเป็นสองกลุ่ม คือปัจจัยที่ควบคุมได้ และปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (กรณีที่ควบคุมไม่ได้ ถ้าสามารถวัดได้ขณะทดลองให้ทำการวัดค่าด้วย)
- 3) ระบุแผนการทดลองที่ใช้สำหรับ Design Matrix (Inner Array) และ Noise Matrix (Outer Array) ซึ่งส่วนใหญ่แผนการทดลองที่ใช้ในแต่ละเมตริกซั่มักจะใช้แผนที่ทดลองน้อย เช่น การทดลองแฟคทอเรียลบางส่วน การทดลองแบบ Orthogonal (เนื่องจากการทดลองที่สมบูรณ์ของทาคุชิ มีค่าเท่ากับจำนวนแถวของ Design Matrix คูณด้วยจำนวนแถวของ Noise Matrix)

4) ทำการทดลองเก็บรวบรวมข้อมูลและคำนวณค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวนระบบ (Signal-to-Noise Ratio; S/N) ตามวัตถุประสงค์ของคุณภาพของระบบที่ศึกษา คือ Larger-the-Better, Smaller-The-Better หรือ Nominal-The-Better (Target-The Best)

5) กรณีศึกษาลักษณะทางคุณภาพ 2 กรณีแรก (Larger-The-Better หรือ Smaller-The-Bette) หลังจากคำนวณ S/N_L หรือ S/N_S แล้ว (ข้ามไปขั้นตอนที่เจ็ด) กำหนด Combinations ของปัจจัยที่ทำให้ค่า S/N สูงสุด ส่วนกรณีเป้าหมายดีที่สุด (Target-The Best) ให้ทำการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย (ANOM; Analysis of Mean) เพื่อระบุปัจจัยที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยเพียงอย่างเดียว เพื่อใช้เป็น “ตัวแปรปรับค่า” (Adjustment Variable) เพื่อปรับให้ค่าตอบสนอง มีค่าตรงกับเป้าหมาย (หรือใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายมากที่สุด)

6) กำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด ณ จุดที่ทำให้ค่า $\text{Max}\{S/N_r\}$ ยกเว้นตัวแปรที่ใช้ในการปรับค่า (Adjustment Variable) ให้กำหนดระดับ ณ จุดที่ทำให้ค่าตอบสนองเฉลี่ยมีค่าใกล้เคียงค่าเป้าหมายมากที่สุด โดยสร้างสมการพยากรณ์ความสัมพันธ์ตากหลักการออกแบบการทดลอง

7) ในระดับปฏิบัติการจริง ทำการทดลองเพื่อยืนยันผล ว่าค่าที่กำหนดเป็นค่าที่ดีที่สุดจริง (Confirmation Runs)

2.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA)

ค่า 1 ค่าในการวิเคราะห์สามารถแยกความเบี่ยงเบน ได้เป็น 2 ส่วน คือ $\bar{X}_i - \bar{X}$ เป็นค่าเบี่ยงเบนเนื่องมาจากแต่ละค่าเฉลี่ยแต่ละกลุ่มแตกต่างจากค่าเฉลี่ยทั้งหมด และ $X_{ij} - \bar{X}_i$ เป็นค่าเบี่ยงเบนเนื่องมาจากค่าสังเกตเองในแต่ละกลุ่มของประชากร ในการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อให้ได้ค่าความแปรปรวนให้นำค่าความเบี่ยงเบนหาผลรวมกำลังสอง ซึ่งสามารถเขียนในรูปของผลรวมกำลังสองได้ดังนี้

2.8.1 ผลรวมกำลังสองทั้งหมด มีสูตรคำนวณดังสมการที่ 2.6 ดังนี้

SST= Total Sum of Squares

$$= \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x})^2 = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij}^2 - \frac{T^2}{\sum_{i=1}^k n_i} \quad (2.6)$$

2.8.2 ผลรวมกำลังสองระหว่างกลุ่ม มีสูตรคำนวณดังสมการที่ 2.7 ดังนี้

SSA = Between Groups Sum of Squares

$$= \sum_{i=1}^k n_i (\bar{x}_i - \bar{x})^2 = \sum_{i=1}^k \frac{T_i^2}{n_i} - \frac{T^2}{\sum_{i=1}^k n_i} \quad (2.7)$$

2.8.3 ผลรวมกำลังสองภายในกลุ่ม มีสูตรคำนวณดังสมการที่ 2.8 ดังนี้

SSE = Within Groups Sum of Squares

$$= \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 = SST - SSA \quad (2.8)$$

ถ้า กำหนด $n = \sum_{i=1}^k n_i$ จะได้ว่า

$$SST = \text{Total Sum of Squares} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij}^2 - \frac{T^2}{n}$$

$$SSA = \text{Between Groups Sum of Squares} = \sum_{i=1}^k \frac{T_i^2}{n_i} - \frac{T^2}{n}$$

$$SST = SSA + SSE$$

$$SSE = SST - SSA$$

ตัวสถิติ F ได้จากการพิจารณาจากค่าอัตราส่วนระหว่างความแปรปรวนระหว่างกลุ่มกับความแปรปรวนภายในกลุ่ม ซึ่งเขียนเป็นสัญลักษณ์ ตามสมการที่ 2.9 ได้ดังนี้

$$F = \frac{MSA}{MSE} \quad (2.9)$$

จะมีการแจกแจงแบบ F ด้วยระดับขั้นเสรี (Degree of Freedom) $k-1$ และ $n-k$ ตามลำดับ โดยที่สามารถแสดงการคำนวณได้ตามสมการที่ 2.10 และ 2.11

$$MSA = \frac{SSA}{k-1} \quad \text{เป็นค่าแปรปรวนระหว่างกลุ่ม} \quad (2.10)$$

$$MSE = \frac{SSE}{n-k} \quad \text{เป็นค่าแปรปรวนภายในกลุ่ม} \quad (2.11)$$

k = จำนวนประชากร

ตารางที่ 2.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน [19]

Source of Variation	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Square	F-statistic
Between Groups (Treatment)	$SSA = \sum_{i=1}^k \frac{T_i^2}{n_i} - \frac{T^2}{n}$	$k-1$	$MSA = \frac{SSA}{k-1}$	$F = \frac{MSA}{MSE}$
Within Groups (Error)	$SSE = SST - SSA$	$n-k$	$MSE = \frac{SSE}{n-k}$	
Total	$SST = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij}^2 - \frac{T^2}{n}$	$n-1$		

2.9 ประเภทของการออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองมีหลายวิธีการหรือหลายตระกูล ซึ่งสามารถแบ่งออกได้ 2 ตระกูล ได้แก่

2.9.1 การออกแบบการทดลองคลาสสิก (Classis DOE)

เป็นหลักการของ DOE แบบดั้งเดิม ที่มีมานานกว่า 100 ปี มาแล้วโดย Sir Rohold Fisher การออกแบบการทดลองคลาสสิก เป็นกระบวนการวิเคราะห์ที่มีเหตุผล สามารถสอบย้อนกลับได้ และมีความน่าเชื่อถือสูง ส่งผลให้ต้องมีจำนวนการทดลองจำนวนมาก ตัวอย่างของการออกแบบการทดลองคลาสสิก มีดังนี้

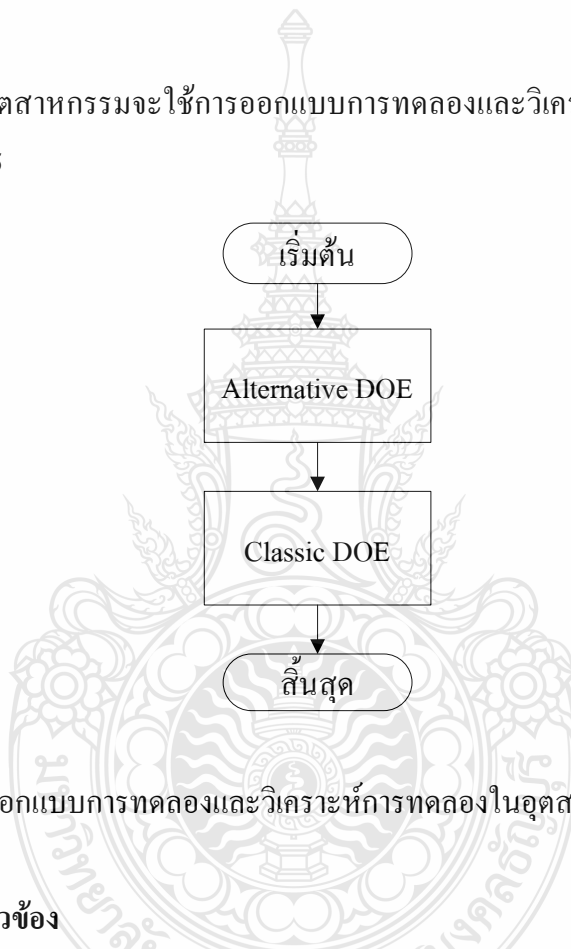
- 1) การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว
- 2) การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกสองเดียว
- 3) การออกแบบการทดลองแฟคทอเรียล
- 4) การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลบางส่วน

2.9.2 การออกแบบการทดลองทางเลือก (Alternative DOE)

มีลักษณะการวิเคราะห์ที่ลดขั้นตอน ลดจำนวนการทดลอง ทำให้ส่งผลต่อความน่าเชื่อถือ ลดลงด้วย ตัวอย่างของการออกแบบการทดลองทางเลือก มีดังนี้

- 1) วิธีการทากูชิ
- 2) วิธีการไชนิน
- 3) การออกแบบแบบ Plackett-Burman

ในวงการอุตสาหกรรมจะใช้ออกแบบการทดลองและวิเคราะห์การทดลองหลายๆ วิธี ผสมกัน ดังภาพที่ 2.35



ภาพที่ 2.35 การออกแบบการทดลองและวิเคราะห์การทดลองในอุตสาหกรรม [20]

2.10 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตพบว่าในปัจจุบันมีผู้สนใจที่จะพัฒนาเพื่อเพิ่มคุณภาพและลดของเสียในกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมาก ซึ่งการลดของเสียในระบบอุตสาหกรรมนั้นมีหลากหลายเช่น การลดของเสียในการผลิตพลาสติกพีวีซีแผ่น [21] การลดของเสียในกระบวนการพ่นสีกันชนหน้าพลาสติกรถยนต์ [22] การลดของเสียในกระบวนการชุบโครเมียม [23] การลดของเสียในกระบวนการผลิตแบบแมชชีนนิ่ง [24] การลดของเสียในกระบวนการเจียร [25] ซึ่งแต่ละงานวิจัยจะใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองแตกต่างกันไม่ว่าจะเป็นการออกแบบการทดลองแบบ 2^k แฟคทอเรียล [26] การออกแบบการทดลองแบบ Full Factorial [22] และการใช้วิธีการทากูชิ

โดยออกแบบการทดลองแบบ L_{18} [27] ซึ่งสำหรับงานวิจัยนี้ผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตกระจกโครเมียมโดยใช้วิธีการทาгуชิในการออกแบบการทดลอง

นอกจากนี้ยังมีผู้ที่ทำการศึกษาวิจัยถึงการนำเทคนิควิธีการทาгуชิมาใช้เพื่อช่วยในกระบวนการต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการศึกษากระบวนการฉีดขึ้นรูปแม่พิมพ์เพื่อปรับปรุงคุณภาพการผลิต [28] กระบวนการตัดทั้งสเตนคาร์ไบด์เซรามิก [29] กระบวนการตัดวัสดุโลหะ [30] การตัดเส้นใยแก้ว [31] งานฉีดพลาสติก [32] กระบวนการพันขดลวดภายใน โคมไฟฟ้า [33] กระบวนการคัดแยกเมล็ดพันธ์ [34] การปรับปรุงคุณภาพของแบบหล่อที่ทำจากทราย [35] กระบวนการหาปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อปรับปรุงค่าความแข็งของสตีลบาร์ [36] การหาปัจจัยที่มีอิทธิพลของพารามิเตอร์ในงานฉีดบนพื้นฐานคุณสมบัติของชิ้นส่วนที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม [37] ซึ่งงานวิจัยที่นำวิธีการทาгуชิมาใช้ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นนั้นลักษณะข้อมูลของตัวแปรนำเข้า และผลลัพธ์ที่ได้ นั้น เป็นข้อมูลเชิงผันแปรทั้งสิ้น แต่งานวิจัยนี้มีลักษณะข้อมูลทั้งตัวแปรนำเข้า และผลลัพธ์ที่ได้ เป็นข้อมูลทั้งเชิงผันแปรและเชิงแอตทริบิวต์ ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยอื่นๆ

จากผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ได้กล่าวมาข้างต้นทั้งหมด ผู้วิจัยมีความเห็นว่าจะนำเทคนิคการออกแบบการทดลองโดยวิธีการทาгуชิ มาทำการกรองปัจจัย เพื่อลดจำนวนการทดลองและทำการศึกษหาปัจจัยและระดับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดของเสียและคุณภาพต่อผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิตกระจกโครเมียม และเพิ่มความเชื่อมั่นในการทดลองผู้วิจัยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว มาทำการตรวจสอบปัจจัยที่ถูกกรองแล้วโดยวิธีการทาгуชิ มาศึกษาหาปัจจัยและระดับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดของเสียและคุณภาพต่อผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิตกระจกโครเมียมอีกครั้ง

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

จากทฤษฎีที่ได้กล่าวถึงในบทที่ 2 สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัย คือ เพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยและระดับปัจจัยที่ทำให้เกิดของเสียรวมทั้งด้านคุณภาพต่อผลิตภัณฑ์กระจกโครเมียม โดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง การวิจัยครั้งนี้ได้แบ่งส่วนการวิจัยออกเป็น 2 ส่วน หลักๆ คือ

1) การค้นหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดของเสียและปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อลักษณะคุณภาพต่อกระบวนการผลิตกระจกโครเมียม โดยการกรองปัจจัย (Screening Factor) ด้วยแบบการทดลองทางทฤษฎี เพื่อลดปัจจัยหลักที่ไม่มีนัยสำคัญออก และนำปัจจัยหลักที่เหลืออยู่ไปศึกษาต่อ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในส่วนต่อไป

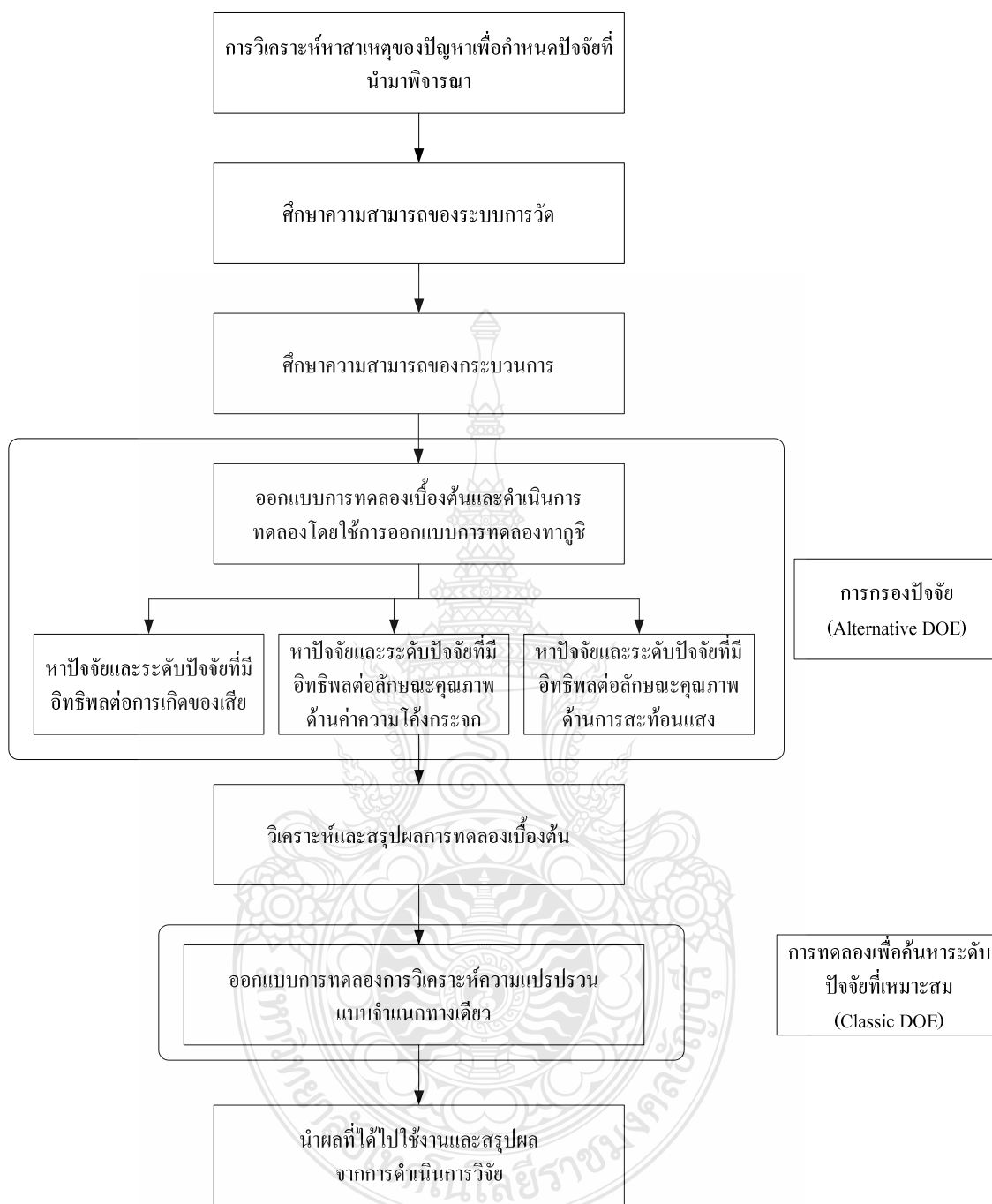
2) การทดลองเพื่อค้นหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว

โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังต่อไปนี้

1. การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาเพื่อกำหนดปัจจัยที่นำมาพิจารณา
2. ศึกษาความสามารถของระบบการวัด
3. ศึกษาความสามารถของกระบวนการ
4. ออกแบบการทดลองเบื้องต้นและดำเนินการทดลอง โดยใช้การออกแบบการทดลอง

ทฤษฎี

5. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลองเบื้องต้น
 6. ออกแบบการทดลองการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว
 7. นำผลที่ได้ไปใช้งานและสรุปผลจากการดำเนินการวิจัย
- สามารถอธิบายเป็นแผนผังแสดงลำดับขั้นตอนการดำเนินการวิจัยได้ดังภาพที่ 3.1

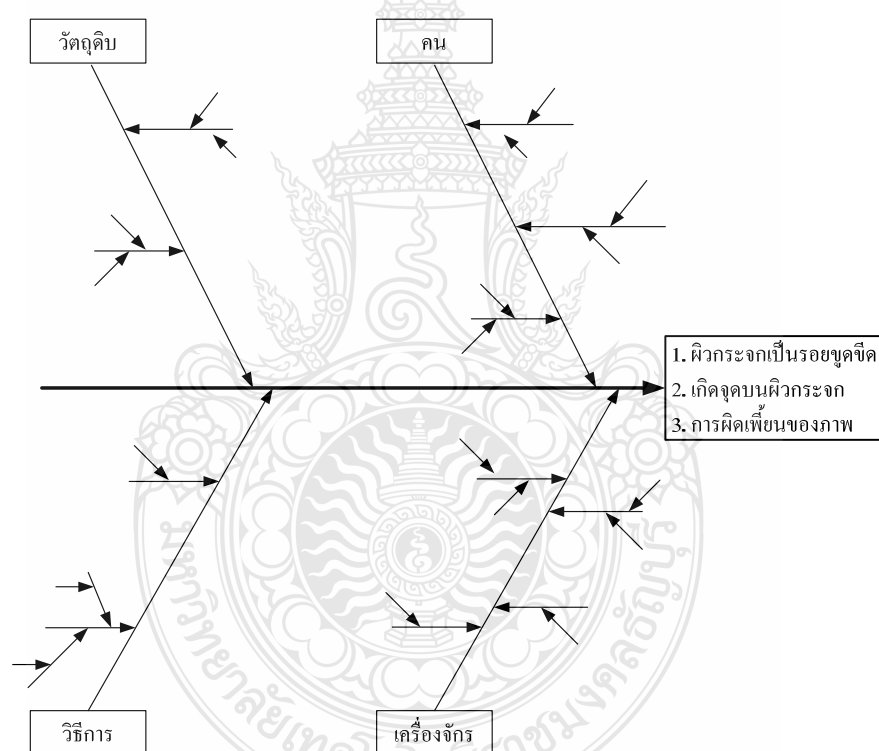


ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

จากขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยทั้งหมดที่กล่าวมาแล้วนั้น สามารถอธิบายเป็นขั้นตอนการดำเนินการวิจัยอย่างละเอียด เพื่อให้การดำเนินงานวิจัยครั้งนี้สามารถบรรลุวัตถุประสงค์ได้ดังนี้

3.1 วิธีการดำเนินงานวิจัยของขั้นตอนการการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาเพื่อกำหนดปัจจัยที่นำมาพิจารณา

จากการศึกษาสภาพการดำเนินงานของโรงงานการศึกษาและปัญหาที่เกิดขึ้น จากบทที่ 1 และในขั้นตอนต่อไปจะเป็นการระดมสมองของทีมงาน ซึ่งเป็นผู้ที่มีประสบการณ์และมีความเชี่ยวชาญในกระบวนการผลิต จากนั้นจะนำเอาเครื่องมือทางสถิติคือ แผนผังก้างปลาหรือแผนภาพเหตุและผล [4] เป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์สำหรับวิเคราะห์ข้อมูล โดยพิจารณาสาเหตุ (Causes) ที่มีผล (Effect) โดยตรงกับลักษณะคุณภาพ (Quality Characteristic) ของปัญหาที่สนใจศึกษา ซึ่งจากการระดมสมอง และนำแผนผังก้างปลามาช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อที่จะทำการกำหนดปัจจัยและระดับปัจจัย จึงได้ตั้งแผนผังก้างปลาดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 แผนผังก้างปลาแสดงสาเหตุของปัญหาของเสียประเภทรอยชุดขีดที่เกิดบนผีวระจก การเกิดจุดบนผีวระจก และการผิดเพี้ยนของภาพ

3.2 วิธีการดำเนินงานวิจัยของขั้นตอนการศึกษาความสามารถของระบบการวัด

ในงานวิจัยนี้คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ด้านคุณภาพจะประกอบไปด้วยคุณลักษณะที่วัดค่าได้ (Variable) และลักษณะที่วัดค่าไม่ได้ (Attribute) ฉะนั้นในการวิเคราะห์ระบบการวัดในงานวิจัยนี้จะต้องทำการศึกษาความสามารถของระบบการวัดทั้ง 2 แบบ โดยมีวิธีการเตรียมการดังนี้

3.2.1 การกำหนดแนวทาง (Approach)

กำหนดได้จากการตัดสินใจเชิงวิศวกรรม การสังเกตการณ์ที่หน้างาน ตลอดจนการศึกษาถึงการใช้เครื่องมือวัดของพนักงาน สำหรับกรณีที่ทักษะพนักงานวัดมีผลต่อการสอบเทียบตลอดจนมีผลต่อการใช้เครื่องมือวัด จะมีการกำหนดแนวทางการวิเคราะห์คุณสมบัติด้าน ไปอส คุณสมบัติด้านเชิงเส้น คุณสมบัติด้านรีพีทาทะบิลิตี้และรีโพรดูซิบิลิตี้ แต่ในบางกรณีก็อาจจะไม่พิจารณาคุณสมบัติด้านรีพีทาทะบิลิตี้และรีโพรดูซิบิลิตี้ ที่แสดงถึงความผันแปรระหว่างพนักงานวัดได้ ถ้าหากวิธีในการวัดจะอาศัยพนักงานเพียงแค่กดปุ่มหรือป้อนคำสั่งใน โปรแกรมทดสอบแล้วให้เครื่องมือวัดทำการวัดค่าแล้วพิมพ์ค่าวัดออกมา

3.2.2 การกำหนดตัวพนักงานวัด (Appraiser)

เลือกพนักงานวัดจากพนักงานวัดที่ทำหน้าที่ประจำและผ่านเกณฑ์การฝึกอบรม มาทำหน้าที่ทดสอบในการวิเคราะห์ระบบการวัด โดยทำการเลือกอย่างสุ่ม ซึ่งพนักงานแต่ละคนที่ทำหน้าที่เป็นประจำสม่ำเสมอ

3.2.3 การเลือกชิ้นงานวัด

ในงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ในการวิเคราะห์ระบบการวัด 2 แบบคือ ต้องการประเมินระบบการวัดที่ใช้เพื่อตรวจสอบผลิตภัณฑ์สำหรับพิจารณาว่าดี หรือเสีย และการประเมินระบบการวัดที่ใช้ประเมินผลของกระบวนการ ดังนั้นการเลือกชิ้นงานวัดจะมีลักษณะคุณภาพทั้งแบบที่วัดค่าได้ และวัดค่าไม่ได้ (งานดี หรืองานเสีย)

3.2.4 การกำหนดอุปกรณ์วัดหรือเกจ

เครื่องมือหรืออุปกรณ์วัดรวมถึงอุปกรณ์ประกอบอื่นๆ ที่ใช้ในการวัดจะต้องเป็นอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่ใช้งานประจำ ซึ่งงานวิจัยนี้จะใช้เครื่องมือวัด 2 ชนิดคือเครื่องวัดค่าความสะท้อนของแสง และเครื่องวัดค่าความโค้งของกระจก

3.2.5 การกำหนดขนาดสิ่งตัวอย่าง

ในการพิจารณาว่าในการทดสอบควรใช้พนักงานวัดกี่คน จำนวนชิ้นงานวัดกี่ชิ้น และให้ทำการวัดซ้ำจำนวนเท่าใด จะต้องทำการพิจารณาก่อนการทดสอบ โดยมีปัจจัยประกอบ 2 ประการคือ ความวิกฤตของมิติที่จะทำการวัด และรูปร่างของชิ้นงานวัด

3.2.6 การออกแบบแผนการทดลอง

สำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัด จะดำเนินการทดสอบโดยใช้หลักการสำคัญ 2 ประการ คือการสุ่ม (Randomization) และการซ้ำ (Replication) โดยการสุ่มจะทำหน้าที่กระจาย (Balance Out) ผลจากสาเหตุที่ไม่สามารถควบคุมได้ และการซ้ำ จะทำการเฉลี่ยออก (Average Out) ผลจากสาเหตุที่ไม่สามารถควบคุมได้

ในการวิเคราะห์ระบบการวัดนี้จะทำการวิเคราะห์ความผันแปรของตำแหน่ง (Location Variation) และการวิเคราะห์ความผันแปรของความกว้าง (Width Variation) โดยการวิเคราะห์ความผันแปรของตำแหน่ง จะประกอบด้วยไบอัส และการเป็นเชิงเส้นตรง ส่วนการวิเคราะห์ความผันแปรของความกว้าง จะประกอบด้วยรีพีทะบิลิตี้ และรีโพรดิวซิบิลิตี้

ในการออกแบบการทดลองสำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัด สามารถดำเนินการได้ด้วยโปรแกรม Minitab ในแต่ละการวิเคราะห์ดังนี้

- 1) การวิเคราะห์คุณสมบัติด้านไบอัสของระบบการวัด โดยอาศัยคำสั่ง Stat > Basic Statistics > 1 – Sample t
- 2) การวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเชิงเส้นตรงของระบบการวัด โดยใช้คำสั่ง Stat > Quality Tools > Gage Linearity Study และ Stat > Regression > Regression
- 3) การวิเคราะห์คุณสมบัติด้านรีพีทะบิลิตี้และรีโพรดิวซิบิลิตี้ โดยใช้คำสั่ง Stat > Quality Tools > Gage R&R Study (Crossed) สำหรับข้อมูลผันแปรและ Stat > Quality Tools Attribute Agreement Analysis สำหรับข้อมูลนับ

3.2.7 การดำเนินการทดลอง

จะต้องดำเนินการตามหลักการสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design) และจะต้องอยู่ภายใต้สภาวะควบคุมเดียวกัน ในแต่ละการวิเคราะห์ดังนี้

- 1) การวิเคราะห์คุณสมบัติด้านไบอัสของระบบการวัด โดยวิธีการใช้สิ่งตัวอย่างเดียว มีขั้นตอนดำเนินการดังนี้
 1. เลือกงานมาตรฐานในการวัดขึ้นมาชิ้นหนึ่ง ที่สามารถสอบค่ากลับไปยังมาตรฐานที่สูงกว่าได้ โดยกำหนดให้เป็นงานมาตรฐาน และทำการวัดงานมาตรฐานนี้ 10 ครั้งภายใต้สภาวะควบคุมแล้วทำการเฉลี่ยค่าความผันแปรในการวัดออก และกำหนดให้ค่าเฉลี่ยของค่าวัดนี้เป็น ค่าอ้างอิง (Reference Value)
 2. ใช้พนักงานที่มีความสามารถในการใช้เครื่องมือวัดอย่างดีทำการวัดงานมาตรฐาน 10 ครั้ง ภายใต้สภาวะการวัดที่ต้องการประเมินผล และวิเคราะห์โดยโปรแกรม Minitab

3. ประเมินผลค่าไบอัส หากไม่อยู่ในเกณฑ์ที่รับได้ต้องปรับปรุงโดยมีเกณฑ์การตัดสินใจดังนี้

% ไบอัส < 5%	อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยไม่ต้องแก้ไข
5% ≤ % ไบอัส < 10%	อาจจะยอมรับได้โดยให้พิจารณาจากปัจจัยอื่นๆ เช่น การประยุกต์ใช้ ค่าใช้จ่าย เป็นต้น
% ไบอัส ≥ 10%	ไม่สามารถยอมรับได้ ต้องค้นหาสาเหตุแล้วทำการแก้ไข

โดยผู้วิจัยได้ออกแบบตารางที่ 3.1 ในการการบันทึกข้อมูลการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านไบอัส

ตารางที่ 3.1 ไบลงบันทึกข้อมูลการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านไบอัส

การวัด	ครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	ค่าความโค้งของกระจก (หน่วย: R)										
ค่าการสะท้อนของแสง (หน่วย: %)											

2) การวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเชิงเส้นตรงของระบบการวัด มีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

1. ทำการเลือกชิ้นงานมา 5 ชิ้น โดยค่าการวัดประจำตัวชิ้นงานจะต้องครอบคลุมตลอดย่านวัดของระบบการวัด
2. ทำการวัดชิ้นงานแต่ละชิ้นจำนวน 10 ครั้งภายใต้สภาวะควบคุม แล้วเฉลี่ยออกสาเหตุความผันแปรในการวัดแต่ละครั้ง เพื่อกำหนดให้ชิ้นงานนั้นเป็นค่ามาตรฐาน
3. เลือกพนักงานที่มีความสามารถในระบบการวัดและเป็นผู้ใช้เครื่องมือประจำมา 1 คน แล้วทำการวัดชิ้นงานมาตรฐานชิ้นละ 10 ครั้ง โดยการเลือกชิ้นงานจะต้องเป็นไปอย่างสุ่ม
4. ประเมินผลคุณสมบัติด้านเชิงเส้นตรงของระบบการวัด หากไม่อยู่ในเกณฑ์ที่รับได้ต้องปรับปรุงโดยมีเกณฑ์การตัดสินใจดังนี้

% เชิงเส้นตรง < 5%	อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยไม่ต้องแก้ไข
5% ≤ % เชิงเส้นตรง < 10%	อาจจะยอมรับได้ โดยให้พิจารณาจากปัจจัยอื่นๆ เช่น การประยุกต์ใช้ ค่าใช้จ่าย เป็นต้น

% เชิงเส้นตรง $\geq 10\%$ ไม่สามารถยอมรับได้ ต้องค้นหาสาเหตุแล้วทำการแก้ไข

โดยตารางที่ 3.2 คือแบบการลงบันทึกข้อมูลการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเชิงเส้นตรงของระบบการวัด ซึ่งผู้วิจัยได้ออกแบบตารางการลงบันทึกข้อมูลการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเชิงเส้นตรงของระบบการวัด ด้วยโปรแกรม Minitab โดยอาศัยคำสั่ง Stat > Quality Tools > Gage Study > Create R&R Study Worksheet [38]

ในช่อง Number of Parts: ใส่ค่า “5”

ในช่อง Number of Operators: ใส่ค่า “1”

ในช่อง Number of Replicates: ใส่ค่า “10”

ตารางที่ 3.2 การลงบันทึกข้อมูลการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเชิงเส้นตรงของระบบการวัด

ลำดับการทดลอง	ชิ้นงานที่	ค่าความโค้งของกระจก (หน่วย: R)	ค่าการสะท้อนของแสง (หน่วย: %)
1	3	R	%
2	5	R	%
3	5	R	%
4	2	R	%
5	5	R	%
6	3	R	%
7	4	R	%
8	4	R	%
9	5	R	%
10	1	R	%
11	1	R	%
12	4	R	%
13	2	R	%
14	3	R	%
15	1	R	%
16	3	R	%

ตารางที่ 3.2 การลงบันทึกข้อมูลการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเชิงเส้นตรงของระบบการวัด (ต่อ)

ลำดับการทดลอง	ชิ้นงานที่	ค่าความโค้งของกระจก (หน่วย: R)	ค่าการสะท้อนของแสง (หน่วย: %)
17	1	R	%
18	4	R	%
19	4	R	%
20	1	R	%
21	5	R	%
22	1	R	%
23	1	R	%
24	1	R	%
25	5	R	%
26	2	R	%
27	1	R	%
28	5	R	%
29	2	R	%
30	2	R	%
31	2	R	%
32	1	R	%
33	4	R	%
34	5	R	%
35	5	R	%
36	4	R	%
37	2	R	%
38	3	R	%
39	4	R	%
40	3	R	%
41	3	R	%
42	4	R	%

ตารางที่ 3.2 การลงบันทึกข้อมูลการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเชิงเส้นตรงของระบบการวัด (ต่อ)

ลำดับการทดลอง	ชิ้นงานที่	ค่าความโค้งของกระจก (หน่วย: R)	ค่าการสะท้อนของแสง (หน่วย: %)
43	5	R	%
44	3	R	%
45	3	R	%
46	2	R	%
47	4	R	%
48	3	R	%
49	2	R	%
50	2	R	%

โดยที่ R คือ Radius of Curvature of Convex Surface Mirror

3) การวิเคราะห์คุณสมบัติด้านรีฟิเทจบิลิตีและรีโพรคิวซิบิลิตี สำหรับข้อมูลผันแปร โดยวิธีอาศัยการวิเคราะห์ความแปรปรวน มีขั้นตอนดำเนินการดังนี้

1. เลือกพนักงานวัดที่ทำหน้าที่ประจำ โดยเลือกมาอย่างสุ่ม 2 คน
2. เลือกชิ้นงานมาอย่างสุ่มจากกระบวนการจำนวน 10 ชิ้น โดยพยายามให้ความผันแปรครอบคลุมความผันแปรของกระบวนการ ซึ่งสามารถทำได้โดย สุ่มเลือกชิ้นงานมาช่วงเริ่มต้นทำงาน ระหว่างวันของการทำงาน และก่อนเลิกงาน จากนั้นทำการกำหนดตัวเลขแสดงชิ้นที่ของชิ้นงาน โดยต้องไม่ให้พนักงานรับทราบ

3. ทำการทดลองอย่างสุ่ม ดังตารางการทดลองในตารางที่ 3.3 ซึ่งเป็นการทดลองโดยใช้พนักงานวัด 2 คน ทำการวัดคนละ 2 ชั่วโมง และมีชิ้นงานตัวอย่าง 10 ชิ้น

4. ประเมินผลคุณสมบัติด้านรีฟิเทจบิลิตีและรีโพรคิวซิบิลิตี สำหรับข้อมูลผันแปรของระบบการวัด หากไม่อยู่ในเกณฑ์ที่รับได้ต้องปรับปรุง โดยมีเกณฑ์การตัดสินใจดังนี้

$$P/T \text{ หรือ } P/TV < 5\%$$

อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยไม่ต้องแก้ไข

$$10\% \leq P/T \text{ หรือ } P/TV < 30\%$$

อาจจะยอมรับได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับความสำคัญในสิ่งที่ประยุกต์ใช้ ค่าใช้จ่ายในการวัด ตลอดจนปัจจัยอื่นๆ

P/T หรือ P/TV $\geq 30\%$ ไม่สามารถยอมรับได้ความสามารถของระบบการวัด
ได้ มีความ

จำเป็นต้องระบุถึงสาเหตุความผันแปรแล้วทำการลดหรือกำจัดทิ้ง โดยตารางที่ 3.3 คือ
แบบการลงบันทึกข้อมูลการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านรีพิทเทบิลิตีและรีโพรดิวซิบิลิตี สำหรับข้อมูลผัน
แปรของระบบการวัด ซึ่งผู้วิจัยได้ออกแบบตารางการลงบันทึกข้อมูลการวิเคราะห์คุณสมบัติด้าน
รีพิทเทบิลิตีและรีโพรดิวซิบิลิตี สำหรับข้อมูลผันแปรของระบบการวัดด้วยโปรแกรม Minitab โดย
อาศัยคำสั่ง Stat > Quality Tools > Gage Study > Create R&R Study Worksheet

ในช่อง Number of Parts: ใส่ค่า “10”

ในช่อง Number of Operators: ใส่ค่า “2”

ในช่อง Number of Replicates: ใส่ค่า “2”

ตารางที่ 3.3 การลงบันทึกข้อมูลการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านรีพิทเทบิลิตีและรีโพรดิวซิบิลิตี สำหรับ
ข้อมูลผันแปรของระบบการวัด

ลำดับการทดลอง	พนักงาน	ชิ้นงานที่	ค่าความโค้งงอของกระบอก (หน่วย: R)	ค่าการสะท้อนของแสง (หน่วย: %)
1	พนักงาน 1	7	R	%
2	พนักงาน 1	2	R	%
3	พนักงาน 1	4	R	%
4	พนักงาน 1	10	R	%
5	พนักงาน 1	8	R	%
6	พนักงาน 2	5	R	%
7	พนักงาน 1	1	R	%
8	พนักงาน 2	7	R	%
9	พนักงาน 2	10	R	%
10	พนักงาน 1	2	R	%
11	พนักงาน 2	8	R	%
12	พนักงาน 2	1	R	%
13	พนักงาน 1	6	R	%
14	พนักงาน 2	9	R	%
15	พนักงาน 1	9	R	%

ตารางที่ 3.3 การลงบันทึกข้อมูลการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านรีฟเลกทีวิตีและรีโพรดิวซิบิลิตี สำหรับข้อมูลค้นแปรของระบบการวัด (ต่อ)

ลำดับการทดลอง	พนักงาน	ชิ้นงานที่	ค่าความโค้งของกระจก (หน่วย: R)	ค่าการสะท้อนของแสง (หน่วย: %)
16	พนักงาน 2	8	R	%
17	พนักงาน 1	3	R	%
18	พนักงาน 1	5	R	%
19	พนักงาน 2	9	R	%
20	พนักงาน 1	6	R	%
21	พนักงาน 1	10	R	%
22	พนักงาน 1	5	R	%
23	พนักงาน 2	5	R	%
24	พนักงาน 2	2	R	%
25	พนักงาน 2	6	R	%
26	พนักงาน 2	3	R	%
27	พนักงาน 2	1	R	%
28	พนักงาน 2	4	R	%
29	พนักงาน 1	8	R	%
30	พนักงาน 1	7	R	%
31	พนักงาน 2	3	R	%
32	พนักงาน 1	4	R	%
33	พนักงาน 2	2	R	%
34	พนักงาน 2	7	R	%
35	พนักงาน 2	10	R	%
36	พนักงาน 2	4	R	%
37	พนักงาน 1	9	R	%
38	พนักงาน 2	6	R	%
39	พนักงาน 1	3	R	%
40	พนักงาน 1	1	R	%

โดยที่ R คือ Radius of Curvature of Convex Surface Mirror

4) การวิเคราะห์คุณสมบัติด้านรีพีทเทบิลิตีสำหรับข้อมูลนับได้ มีขั้นตอนดำเนินการดังนี้

1. ทำการเลือกผู้เชี่ยวชาญที่มีความสามารถในการแยกแยะคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ดี/เสีย และลูกค้าให้การยอมรับในผลการตรวจสอบ

2. ทำการคัดเลือกผลิตภัณฑ์ที่เสีย โดยให้ครอบคลุมประเภทของเสียแบบต่างๆ โดย Fasser และ Brettner ได้แนะนำการตรวจสอบเพื่อประเมินความสามารถของระบบการตรวจสอบว่าควรมีสิ่งตัวอย่างที่มีคุณภาพดีจำนวน 1 ใน 3 ของสิ่งตัวอย่างทั้งหมด ในงานวิจัยนี้มีประเภทของเสียแบบต่างๆ 12 ประเภท เพื่อให้ครอบคลุมประเภทของเสียแบบต่างๆ จะต้องมียุติภัณฑ์ที่ไม่ดีจำนวน 12 ชิ้น และจากการแนะนำโดย Fasser และ Brettner จะได้จำนวนสิ่งตัวอย่างที่มีคุณภาพที่ดีจำนวน 6 ชิ้น รวมแล้วจะมีจำนวนสิ่งตัวอย่างทั้งหมด 18 ชิ้น แต่ทั้งนี้ผู้วิจัยต้องการจำนวนสิ่งตัวอย่างรวมทั้งหมดเป็นจำนวนเต็ม 20 ชิ้นเพื่อป้องกันความเข้าใจผิดและผิดพลาดระหว่างการทดลอง จึงกำหนดให้จำนวนสิ่งตัวอย่างที่มีคุณภาพที่ดีเป็น 8 ชิ้น และจำนวนสิ่งตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ไม่ดีเป็น 12 ชิ้น รวมแล้วจะมีสิ่งตัวอย่างทั้งหมด 20 ชิ้น จากนั้นทำการกำหนดหมายเลขโดยไม่ให้พนักงานที่ทดสอบทราบ [39]

3. ในการกำหนดจำนวนชิ้นงานตัวอย่าง และจำนวนครั้งในการทดสอบซ้ำจะอาศัยตารางที่ 3.4 ซึ่งเป็นขนาดสิ่งตัวอย่างแนะนำในการประเมินผลระบบการตรวจสอบสำหรับข้อมูลนับ ซึ่งผู้วิจัยได้อาศัยตารางที่ 3.4 มาทำการกำหนดจำนวนชิ้นงานตัวอย่างงานและจำนวนครั้งในการทดสอบ โดยจำนวนดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับจำนวนของพนักงานตรวจสอบ

4. ทำการกำหนดจำนวนพนักงานตรวจสอบ โดยพนักงานตรวจสอบจะต้องมีหน้าที่ประจำในงานตรวจสอบคุณภาพ ผ่านการฝึกอบรมมาอย่างดีและผ่านการสอบประเมินผลแล้ว ซึ่งงานวิจัยนี้มีผู้ผ่านการสอบประเมินผลแล้วจำนวน 4 คน และเพื่อให้ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านรีพีทเทบิลิตีสำหรับข้อมูลนับได้ ครอบคลุมความสามารถในเรื่องจำนวนพนักงานตรวจสอบเพื่อเตรียมความพร้อมเรื่องกำลังคนที่มีความสามารถในการตรวจสอบสำหรับการวัดความสามารถของกระบวนการ กรณีศึกษาระยะยาว อีกทั้งต้องคำนึงถึงมีจำนวนการทดลองที่น้อย เพื่อลดค่าใช้จ่ายในเรื่องเวลาของการทดลอง ผู้วิจัยจึงทำการสุ่มพนักงานตรวจสอบออกมา 3 คน จากจำนวน 4 คน

ตารางที่ 3.4 ขนาดสิ่งตัวอย่างแนะนำในการประเมินผลระบบการตรวจสอบ [6]

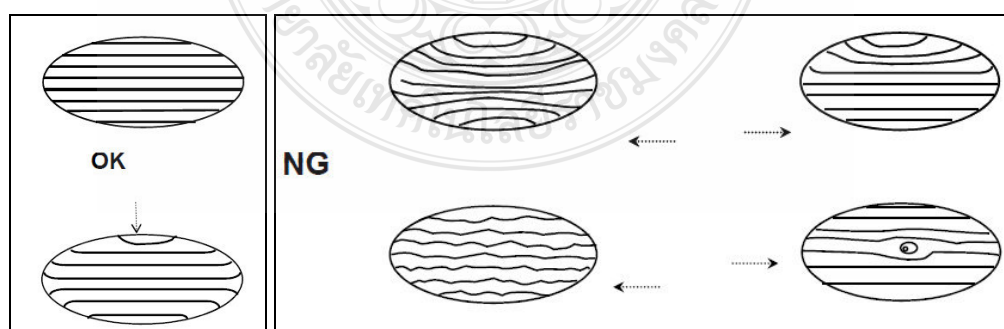
จำนวนพนักงานตรวจสอบ (หน่วย: คน)	จำนวนชิ้นงานตัวอย่างที่ต่ำสุด (หน่วย: ชิ้น)	จำนวนทดสอบซ้ำที่ต่ำสุด (หน่วย: ชิ้น)
1	24	5
2	18	4
3 หรือมากกว่า	12	3

จากตารางที่ 3.4 เมื่อมีการกำหนดจำนวนพนักงานตรวจสอบจำนวน 3 คน จะมีจำนวนชิ้นงานตัวอย่างที่ต่ำสุด คือ 12 ชิ้น และจำนวนทดสอบซ้ำที่ต่ำสุดคือ 3 ครั้ง ซึ่งผู้วิจัยพิจารณาถึงจำนวนผลิตภัณฑ์ไม่ดีที่ต้องครอบคลุมประเภทของเสียแบบต่างๆ 12 ประเภท และจากข้อเสนอแนะในเรื่องสัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีจำนวน 1 ใน 3 ของสิ่งตัวอย่างทั้งหมด และการป้องกันความเข้าใจผิดและความผิดพลาดระหว่างการทดลองดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นที่ได้กำหนดจำนวนชิ้นงานตัวอย่างเป็นจำนวน 20 ชิ้น

สรุปคือในการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านรีพีทะบิลิตี้สำหรับข้อมูลนับได้จะใช้พนักงานทดสอบ 3 คน จำนวนชิ้นงาน 20 ชิ้น จำนวนทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง

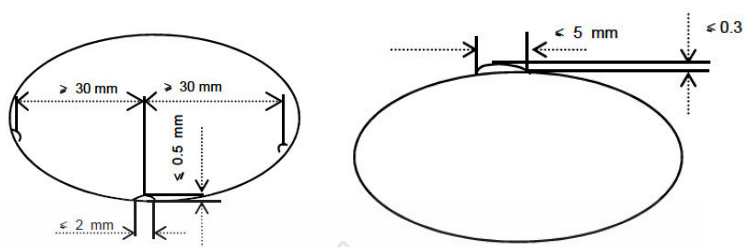
5. ทำการทดสอบอย่างสุ่มเพื่อประเมินผลคุณภาพของสิ่งตัวอย่างว่า “ผ่าน” หรือ “ไม่ผ่าน” พร้อมทำการบันทึกผล ดังตารางที่ 3.5 และทำการประเมินประสิทธิภาพด้านรีพีทะบิลิตี้สำหรับข้อมูลนับได้ จะต้องเท่ากับ 100% หากไม่อยู่ในเกณฑ์จะต้องปรับปรุงความสามารถของระบบการวัด โดยมีข้อกำหนดมาตรฐานเกณฑ์การยอมรับดังนี้

ก. คุณาสะท้อนของลายตรวจสอบที่กระทำกับกระจก



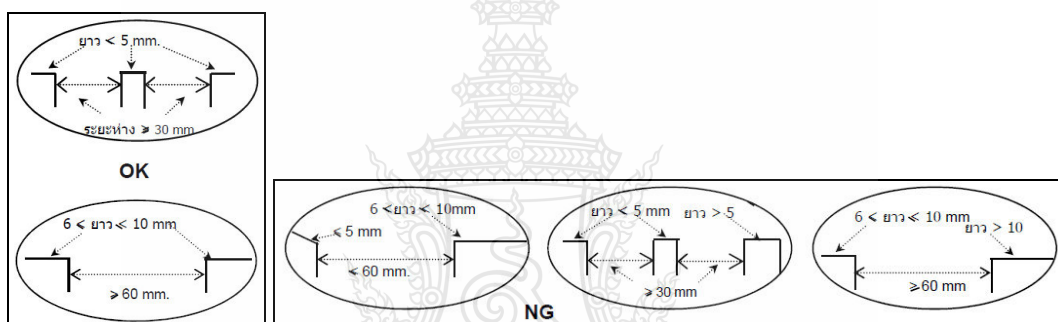
ภาพที่ 3.3 ลักษณะของเงากระจกที่ผ่านและไม่ผ่านข้อกำหนดมาตรฐาน ด้านเงาสะท้อน

ข. การตรวจรอยบิ่นและรอยโต้ (Chip and Horn Check)



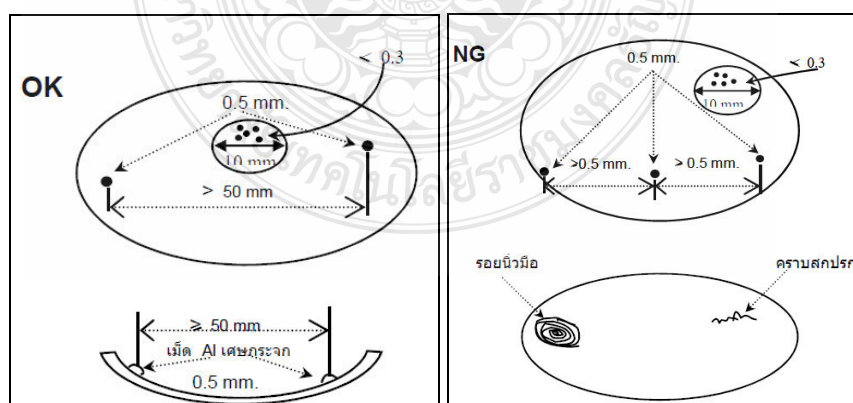
ภาพที่ 3.4 ลักษณะของเงากระจกที่ผ่านและไม่ผ่านข้อกำหนดมาตรฐาน ด้านรอยบิ่นและรอยโต้

ค. การตรวจรอยขีด (Scratch Check)



ภาพที่ 3.5 ลักษณะของเงากระจกที่ผ่านและไม่ผ่านข้อกำหนดมาตรฐาน ด้านรอยขีดข่วน

ง. การตรวจ จุดดำ จุดขาว และรอยสกปรกต่างๆ (Pin Hole & Dirty Marks Check)



ภาพที่ 3.6 ลักษณะของเงากระจกที่ผ่านและไม่ผ่านข้อกำหนดมาตรฐาน ด้านจุดดำ จุดขาว และรอยสกปรกต่างๆ

และรายละเอียดการตรวจสอบและรายละเอียดข้อกำหนดคุณได้ดังภาคผนวก ก โดยตารางที่ 3.5 คือแบบการลงข้อมูลการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านรีพีทเทบิลิตี้สำหรับข้อมูลนับได้ของระบบการวัด ซึ่งผู้วิจัยได้ออกแบบตารางการลงข้อมูลการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านรีพีทเทบิลิตี้สำหรับข้อมูลนับได้ของระบบการวัดด้วยโปรแกรม Minitab โดยอาศัยคำสั่ง Stat > Quality Tools > Gage Study > Create R&R Study Worksheet

ในช่อง Number of Parts: ใส่ค่า “20”

ในช่อง Number of Operators: ใส่ค่า “3”

ในช่อง Number of Replicates: ใส่ค่า “3”

ตารางที่ 3.5 การลงบันทึกข้อมูลการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านรีพีทเทบิลิตี้สำหรับข้อมูลนับได้ของระบบการวัด

ลำดับการทดลอง	พนักงาน	ชิ้นงานที่	ผลการวัดข้อมูลนับได้
1	พนักงาน 1	15	
2	พนักงาน 1	16	
3	พนักงาน 2	9	
4	พนักงาน 3	9	
5	พนักงาน 2	3	
6	พนักงาน 1	20	
7	พนักงาน 1	18	
8	พนักงาน 1	19	
9	พนักงาน 3	19	
10	พนักงาน 1	4	
:	:	:	:
180	พนักงาน 1	2	

ตารางที่ 3.7 การเก็บข้อมูลสำหรับการศึกษาความสามารถของกระบวนการระยะยาว

ชื่อชิ้นงาน: กระจกโครเมียม						กระบวนการ: QA Final								แผนภูมิที่ 1/1							
พารามิเตอร์: ค่าความโค้ง ค่าการสะท้อนแสง						ฝ่าย: ประกันคุณภาพ								พนักงาน:							
วันที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
ค่าที่วัด (เวลา)	09:00																				
	11:00																				
	13:00																				
	16:00																				
ผลรวม																					
ค่าเฉลี่ย (\bar{X})																					
พิสัย (R)																					

3.4 วิธีการดำเนินงานวิจัยของขั้นตอนการออกแบบการทดลองเบื้องต้น และดำเนินการทดลองโดยใช้การออกแบบการทดลองทางทฤษฎี

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการค้นหาปัจจัยและระดับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดของเสียและคุณลักษณะด้านคุณภาพในกระบวนการผลิตกระจกโครเมียม โดยการกรองปัจจัย (Screening Factor) ด้วยเทคนิคการออกแบบการทดลองโดยวิธีการทฤษฎี เพื่อลดปัจจัยหลักที่ไม่มีนัยสำคัญออก และช่วยในการลดจำนวนการทดลองลงในการออกแบบการทดลองโดยวิธีการทฤษฎีในงานวิจัยครั้งนี้ มีผลตอบสนองที่มีลักษณะข้อมูล ทั้ง 2 แบบคือ ลักษณะข้อมูลเป็น Attribute Data และ ลักษณะข้อมูลเป็น Variable Data ดังนั้นรูปแบบแผนการทดลองจะเป็นดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 รูปแบบแผนการทดลองทฤษฎี

Run#	Factor			Response	
	A	:	Z	Attribute	Variable
1	X_{11}	:	X_{1Z}	Y_{A1}	Y_{V1}
:	:	:	:	:	:
N	X_{n1}	:	X_{nZ}	Y_{AN}	Y_{VN}

เมื่อได้รูปแบบการทดลองแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือ การออกแบบแผนการทดลองโดยใช้หลักการทฤษฎี ซึ่งในงานวิจัยนี้เรามีความสนใจปัจจัยที่มีอิทธิพลที่มีผลต่อการลดของเสียและคุณภาพอยู่ทั้งหมด 6 ปัจจัย โดยแต่ละปัจจัยมี 2 ระดับปัจจัย และ 1 อิทธิพลร่วม (Interaction) ซึ่งเราจะได้แผนการทดลองเป็นแบบ $L_8 2^6$ ดังตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 แผนการทดลองแบบ $L_8 2^6$ Orthogonal Array

Run	A	B	A×B	C	D	E	F	Y_1	Y_2	Y_3	Y_R	Y_C
1	1	1	1	1	1	1	1					
2	1	1	1	2	2	2	2					
3	1	2	2	1	1	2	2					
4	1	2	2	2	2	1	1					
5	2	1	2	1	2	1	2					
6	2	1	2	2	1	2	1					
7	2	2	1	1	2	2	1					
8	2	2	1	2	1	1	2					

โดยที่ในแต่ละลำดับการทดลองจะใช้จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการทดลองในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง ผู้วิจัยได้ศึกษาวิธีการคำนวณเพื่อหาขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมโดยวิธีการหาขนาดตัวอย่างเพื่อประมาณค่าเฉลี่ยประชากรกรณีขนาดไม่จำกัด จากการศึกษาในขั้นต้นของงานวิจัยพบว่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการสะท้อนแสงของกระจกมีค่าเท่ากับ 16.12 % โดยผู้วิจัยกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนเอาไว้ที่ 5% ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังนั้นการหาตัวอย่างที่เหมาะสมสามารถหาได้จากสมการที่ 3.1 [41]

$$n = \frac{Z_{\alpha/2}^2 \sigma^2}{e^2} \quad (3.1)$$

- เมื่อ Z คือ 1.96 (ค่า Z จากการเปิดตารางที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)
 σ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 e คือ ค่าความคลาดเคลื่อน
 n คือ ประชากร ($N \rightarrow \alpha$)

แทนค่าลงในสมการที่ 3.1

$$n = \frac{(1.96)^2 (16.12)^2}{5^2} = 39.91 \approx 40n$$

ขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมที่ใช้ในแต่ละเงื่อนไขของการทดลองตามแผนการทดลองแบบ L_82^6 คือ 40 ตัวอย่าง ของแต่ละเงื่อนไขการทดลอง และให้พนักงานที่ผ่านการวิเคราะห์ระบบการวัด และผลการเดินอยู่ในเกณฑ์การยอมรับทำการตรวจสอบ และบันทึกผลลงในตารางที่ 3.9 โดยมีความหมายของผลตอบสนอง ดังนี้

Y_1 = ชิ้นงานดีไม่มีข้อบกพร่อง

Y_2 = ชิ้นงานมีข้อบกพร่อง แต่อยู่ในข้อกำหนดมาตรฐาน

Y_3 = ชิ้นงานมีข้อบกพร่อง ไม่ผ่านข้อกำหนดมาตรฐาน

Y_R = ค่าการสะท้อนของแสง (หน่วย: %)

Y_C = ค่าความโค้งงอของกระจก (หน่วย: R)

โดย $Y_1 - Y_3$ มีลักษณะข้อมูลเป็น Attribute Data และ Y_R, Y_C มีลักษณะข้อมูลเป็น Variable

Data

3.5 วิธีการดำเนินงานวิจัยของขั้นตอนการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองเบื้องต้น

เมื่อได้ผลการทดลองครบถ้วนแล้วให้นำผลการทดลองทั้งหมดไปวิเคราะห์และสรุปผล ใน การวิเคราะห์ผลการทดลองได้ใช้วิธีการสถิติเชิงวิศวกรรม เพื่อให้ได้ผลการทดลองและข้อสรุปจาก การทดลอง โดยในขั้นตอนนี้เป็นการทดลองโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบทากูชิ ซึ่งอาศัย โปรแกรม Minitab Version 15 มาทำการวิเคราะห์ผลการทดลองดังนี้

1) ทำการกรองปัจจัยและลดจำนวนการทดลอง โดยใช้วิธีการทากูชิ

2) หาปัจจัยและระดับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดของเสียและคุณลักษณะด้านคุณภาพใน กระบวนการผลิตกระจกโครเมียม

จากนั้นจะได้ข้อสรุปว่าปัจจัยและระดับปัจจัยใดที่มีนัยสำคัญต่อการเกิดของเสียและ คุณลักษณะด้านคุณภาพในกระบวนการผลิตกระจกโครเมียม

3.6 วิธีการดำเนินงานวิจัยของขั้นตอนการออกแบบการทดลองการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ จำแนกทางเดียว

ในขั้นตอนนี้การกำหนดปัจจัยและระดับปัจจัยในส่วนของ การกั้นหาระดับปัจจัยที่ เหมาะสมโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียวนั้น ได้มาจากการทดลองโดยการ กรองปัจจัยและหลังจากการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองเบื้องต้นโดยการกรองปัจจัยนั้นพบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลตอบสนองมีเพียงปัจจัยเดียว และในการกำหนดระดับปัจจัยนั้นจะต้องคำนึงถึง

ความละเอียด ในการทดลองว่าการกำหนดระดับปัจจัย มีความสามารถเพียงพอ ที่จะมองเห็นความสัมพันธ์ที่มีมากกว่าความเป็นเชิงเส้นด้วยหรือไม่ ซึ่งในการวิจัยนี้มองเห็นถึงความสำคัญนี้ จึงกำหนดระดับปัจจัยเป็น 4 ระดับ คือตั้งแต่ช่วงข้อกำหนดต่ำสุด ถึงสูงสุดของปัจจัยนั้น และเพื่อความน่าเชื่อถือของการทดลองจะทำการทดลองซ้ำตามหลักสถิติโดยโปรแกรม Minitab โดยอาศัยคำสั่ง Stat > Power and Sample Size > One-Way ANOVA ดังนั้นจะได้แผนการทดลองดังตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10 แผนการทดลองการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว

การทดลอง	ปัจจัย			
	ระดับ 1	ระดับ 2	ระดับ 3	ระดับ 4
1	Y_{11}	Y_{21}	Y_{31}	Y_{41}
2	Y_{12}	Y_{22}	Y_{32}	Y_{42}
3	Y_{13}	Y_{23}	Y_{33}	Y_{43}
:	:	:	:	:
N	Y_{1N}	Y_{2N}	Y_{3N}	Y_{4N}

3.7 วิธีการดำเนินงานวิจัยของขั้นตอนการนำผลที่ได้ไปใช้งานและสรุปผลจากการดำเนินการวิจัย

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการสรุปผลการดำเนินงานทั้งหมดที่ผ่านมา ซึ่งผู้วิจัยจะต้องนำผลการทดลองที่วิเคราะห์ได้ไปใช้ในสภาพการปฏิบัติงานจริงของการผลิต เพื่อตรวจสอบว่าจำนวนของเสียและคุณภาพของกระบวนการผลิตกระจกโครเมียม เป็นไปตามผลการทดลองหรือไม่ และนำผลที่ได้มาสรุปพร้อมทั้งเสนอข้อเสนอแนะเพิ่มเติมจากการทำวิจัย โดยวิธีการวัดผลจะใช้แนวทางการศึกษาความสามารถของกระบวนการกรณีระยะยาว โดยใช้การลงบันทึกข้อมูลกรณีศึกษาความสามารถของกระบวนการกรณีระยะยาว ดังตารางที่ 3.7 และบันทึกค่าสัดส่วนของเสียโดยใช้ฟังก์ชันการควบคุมสัดส่วนของเสียแบบพี

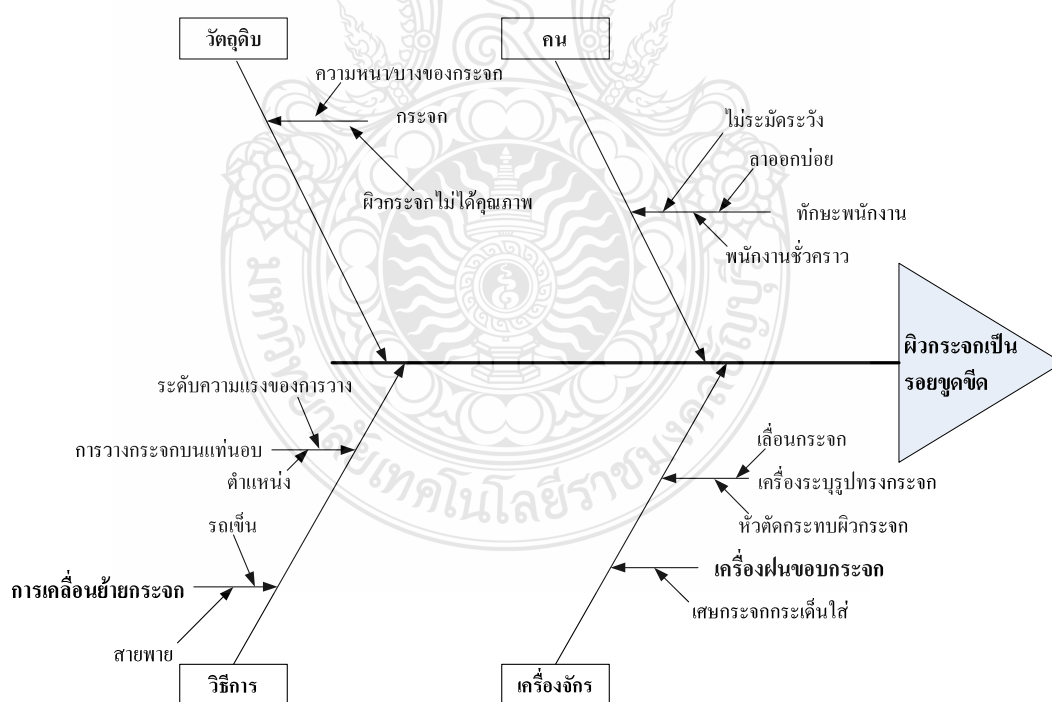
บทที่ 4

ผลการดำเนินการวิจัย

จากขั้นตอนวิธีการดำเนินการวิจัยที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ซึ่งได้แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับวิธีการดำเนินงานวิจัยในขั้นตอนต่างๆ ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยในขั้นตอนที่ได้กล่าวไว้และได้มีการบันทึกผลการดำเนินงานวิจัยในขั้นตอนต่างๆ สำหรับในบทนี้จะแสดงถึงผลลัพธ์ที่ได้ จากการดำเนินงานตามขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยในบทที่ 3 ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดในการดำเนินงานวิจัยและผลลัพธ์จากการดำเนินงานวิจัยได้ดังต่อไปนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาเพื่อกำหนดปัจจัยที่นำมาพิจารณา

จากการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาการเกิดของเสียและปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อลักษณะคุณภาพต่อกระบวนการผลิตกระจกโครเมียม สามารถแสดงได้ด้วยแผนภาพเหตุและผลของการเกิดของเสียประเภทผิวกระจกเป็นรอยขีดข่วนดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 แผนผังก้างปลาแสดงสาเหตุของปัญหาการเกิดของเสียประเภทรอยขีดข่วนที่เกิดบนผิวกระจก

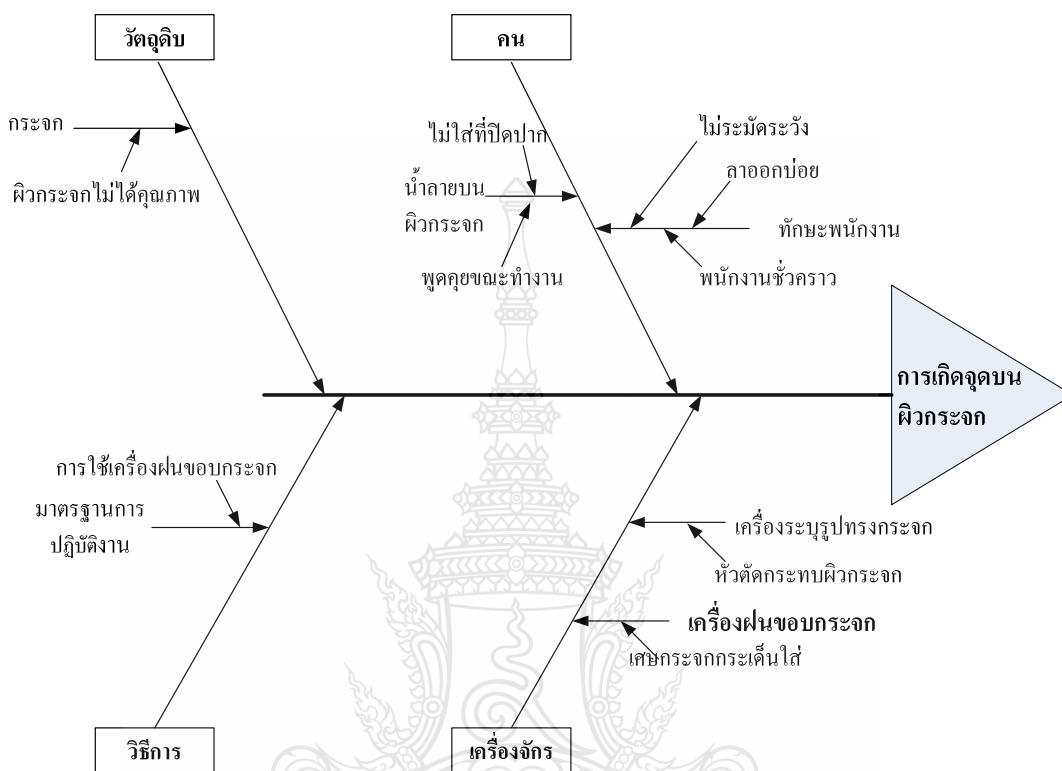
จากภาพที่ 4.1 นำสาเหตุของปัญหาการเกิดของเสียประเภทรอยขีดข่วนที่เกิดบนผิวกระจก มาวิเคราะห์หาแนวทางปรับปรุง และพิจารณาเพื่อกำหนดปัจจัยที่อาจมีอิทธิพลต่อการเกิดของเสียประเภทรอยขีดข่วนที่เกิดบนผิวกระจก

ตารางที่ 4.1 การหาแนวทางปรับปรุง และพิจารณาเพื่อกำหนดปัจจัยที่อาจมีอิทธิพลต่อการเกิดของเสียประเภทรอยขีดข่วนที่เกิดบนผิวกระจก

ปัญหาด้าน	สาเหตุ/มูลเหตุ	แนวทางการปรับปรุง	ผลลัพธ์
1. พนักงาน 1.1 ทักษะพนักงาน	-มีการเข้า-ออก หมุนเวียนการทำงานบ่อย ขาดความชำนาญของการปฏิบัติงานนั้นๆ	-ทำการฝึกอบรมการปฏิบัติงานหน้างาน และปฏิบัติงานคู่กับผู้ที่มีความชำนาญ	-ไม่นำมาพิจารณา กำหนดปัจจัย
2. วัตถุดิบ 2.1 กระจก	-คุณภาพของกระจกที่ได้รับจากผู้ส่งมอบมี รอยขีดข่วนตั้งแต่ก่อนรับมอบวัตถุดิบ	-ทำสัญญาการซื้อขาย-ข้อตกลงกับผู้ส่งมอบ การตรวจสอบขณะรับวัตถุดิบ	-ไม่นำมาพิจารณา กำหนดปัจจัย
3. เครื่องจักร 3.1 เครื่องฝนขอบกระจก	-เศษกระจกกระเด็นไปถูกกระจกและติดที่ ผิวกระจกและเมื่อแผ่นกระจกถูก เคลื่อนย้ายโดยลำเลียงบนสายพานลำเลียง ทำให้เกิดรอยขีดข่วนขึ้นผิวกระจก -หัวตัดกระจกไปกระทบกับผิวกระจก ขณะทำการเคลื่อนย้ายแผ่นกระจก	-ใส่อุปกรณ์ป้องกันเศษกระจกกระเด็นมา ติดที่ผิวกระจกและวิธีการนำพาเศษกระจก ออกเมื่อมีเศษกระจกมาติดที่ผิวกระจก	-พิจารณานำมา กำหนดปัจจัย
3.2 เครื่องระบรูปรอง กระจก		-ขณะดำเนินการเคลื่อนย้ายแผ่นกระจก จะต้องเก็บหัวตัดกระจกก่อนเพื่อป้องกันการ กระทบขณะปฏิบัติงาน	-ไม่นำมาพิจารณา กำหนดปัจจัย
4. วิธีการดำเนินงาน 4.1 การเคลื่อนย้ายกระจก	-รูปแบบรถเข็นที่ใช้ในการขนส่งแผ่น กระจกมีการวางซ้อนกันระหว่างแผ่น กระจกเมื่อมีการเคลื่อนย้ายและหีบ กระจกจะเกิดการเสียดสีกันระหว่างแผ่น กระจกทำให้เกิดรอยขีดข่วน -รูปแบบสายพานลำเลียงที่ใช้ลำเลียงใน กระบวนการผลิตใช้วัสดุที่เป็นยางมาทำ เป็นลูกกลิ้งลำเลียงขนส่ง -น้ำหนักการวางแผ่นกระจกลงบนแท่น แบบอริฐ หากขณะวางมีการเคลื่อนที่ของ สายพานและวางผิดตำแหน่งจะเกิดการขีด ขีดขึ้นที่แผ่นกระจก	-ปรับปรุงรูปแบบของรถเข็นให้มีร่องใส่ แผ่นกระจกได้ช่องละหนึ่งแผ่น เพื่อป้องกันการ เสียดสีระหว่างการเคลื่อนย้ายและหีบ กระจก -ใช้ตารางการบำรุงรักษาเพื่อรักษาคุณภาพ ของลูกยางป้องกันการแข็งตัวและ เสื่อมสภาพของลูกยาง	-พิจารณานำมา กำหนดปัจจัย
4.2 การวางกระจกลงบน แท่นแบบอริฐ		-มีชุดแขนกลที่จับแผ่นกระจกเพื่อวางลง บนแท่นแบบอริฐ และชุดเซ็นเซอร์ให้ สายพานหยุดก่อนเพื่อดำเนินการให้เสร็จ ก่อนการเคลื่อนที่	-ไม่นำมาพิจารณา กำหนดปัจจัย

จากนั้นนำปัญหาการเกิดจุดบนผิวกระจกมาวิเคราะห์และแสดงแผนภาพเหตุและผลดังภาพ

ที่ 4.2



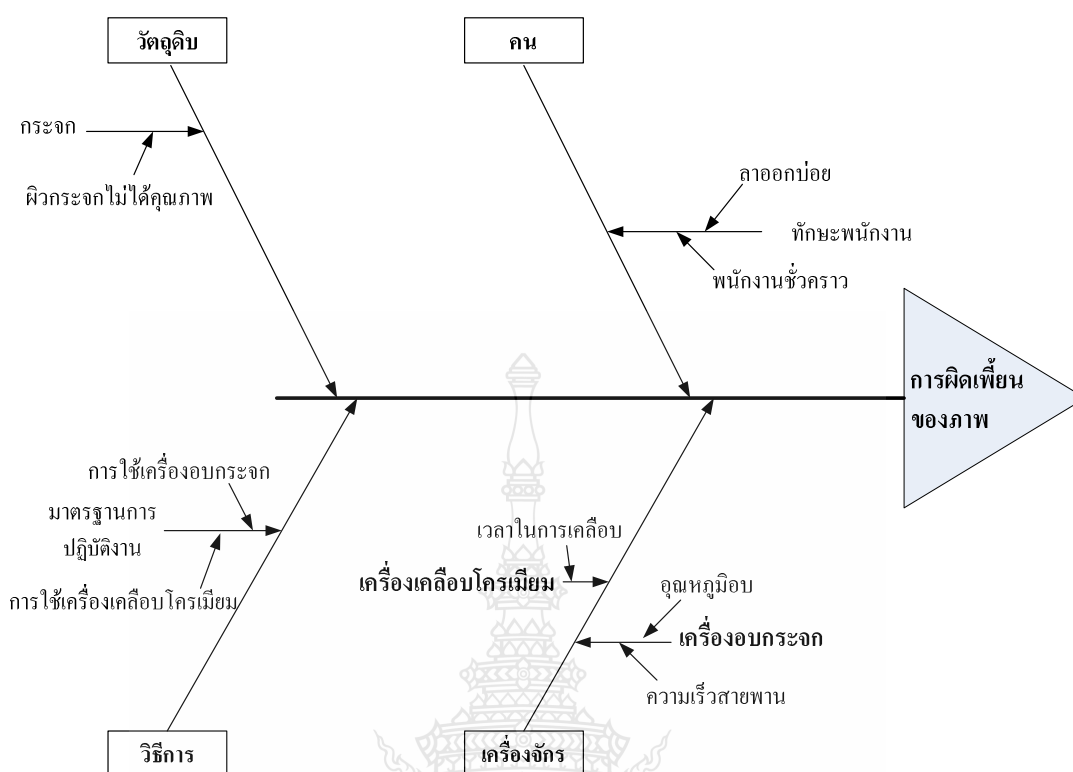
ภาพที่ 4.2 แผนผังก้างปลาแสดงสาเหตุของปัญหาการเกิดของเสียประเภทการเกิดจุดบนผิวกระจก

จากภาพที่ 4.2 นำสาเหตุของปัญหาการเกิดของเสียประเภทการเกิดจุดบนผิวกระจก มาวิเคราะห์หาแนวทางปรับปรุง และพิจารณาเพื่อกำหนดปัจจัยที่อาจมีอิทธิพลต่อการเกิดของเสียประเภทการเกิดจุดบนผิวกระจก

ตารางที่ 4.2 การหาแนวทางปรับปรุง และพิจารณาเพื่อกำหนดปัจจัยที่อาจมีอิทธิพลต่อการเกิดของ
เสียงประเภทการเกิดจุดบนผิวกระจก

ปัญหาด้าน	สาเหตุ/มูลเหตุ	แนวทางการปรับปรุง	ผลลัพธ์
1. พนักงาน 1.1 ทักษะพนักงาน 1.2 น้ำลายบนผิวกระจก	-มีการเข้า-ออก หมุนเวียนการทำงานบ่อย ขาดความชำนาญของการปฏิบัติงานนั้นๆ -ไม่มีความระมัดระวัง -มีการพูดคุยเล่นขณะปฏิบัติงานซึ่งอาจทำให้น้ำลายกระเด็นไปตกที่ผิวกระจกและเมื่อผ่านกระบวนการเคลือบโครเมียม จะเกิดรอยจุด	-ทำการฝึกอบรมการปฏิบัติงานหน้างานและปฏิบัติงานคู่กับผู้ที่มีความชำนาญ -ปลูกจิตสำนึกในการทำงาน -นำระเบียบการปฏิบัติงานมาใช้อย่างเคร่งครัด โดยจะต้องสวมที่ปิดปากขณะปฏิบัติงานตลอดเวลา	-ไม่นำมาพิจารณา กำหนดปัจจัย -ไม่นำมาพิจารณาพิจารณา กำหนดปัจจัย (เนื่องจากไม่เหมาะสมต่อการทดลอง)
2. วัตถุดิบ 2.1 กระจก	-คุณภาพของกระจกที่ได้รับจากผู้ส่งมอบ	-ทำสัญญาการซื้อขายและข้อตกลงกับผู้ส่งมอบ การตรวจสอบขณะรับวัตถุดิบ	-ไม่นำมาพิจารณา กำหนดปัจจัย
3. เครื่องจักร 3.1 เครื่องฝนขอบกระจก 3.2 เครื่องระบุรูปทรงกระจก	-เศษกระจกกระเด็น ไปถูกกระจกและติดที่ผิวกระจกและเมื่อแผ่นกระจกถูกกดทับโดยการซ้อนแผ่นกระจกและเมื่อถูกเคลือบ โครเมียมจะเกิดจุดบนแผ่นกระจก -หัวตัดกระจกไปกระแทกกับผิวกระจกขณะทำการเคลื่อนย้ายแผ่นกระจกอาจมีเศษกระจกเกาะและหลุดติดไปกับแผ่นกระจกเมื่อเคลือบโครเมียมจะเกิดจุดบนผิวกระจก	-ใส่อุปกรณ์ป้องกันเศษกระจกกระเด็นมาติดที่ผิวกระจกและวิธีการนำพาเศษกระจกออกเมื่อมีเศษกระจกมาติดที่ผิวกระจก -ขณะดำเนินการเคลื่อนย้ายแผ่นกระจกจะต้องเก็บหัวตัดกระจกก่อน เพื่อป้องกันการกระแทกขณะปฏิบัติงาน	-พิจารณานำมา กำหนดปัจจัย -ไม่นำมาพิจารณา กำหนดปัจจัย

และนำปัญหาสุดท้ายในเรื่องการเกิดภาพผิดเพี้ยนวิเคราะห์และแสดงแผนภาพเหตุและผล
ดังภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 แผนผังก้างปลาแสดงสาเหตุของปัญหาที่อาจมีอิทธิพลต่อลักษณะคุณภาพซึ่งทำให้เกิดการผิดเพี้ยนของภาพ

จากภาพที่ 4.3 นำสาเหตุของปัญหามาวิเคราะห์หาแนวทางปรับปรุงและพิจารณาเพื่อกำหนดปัจจัยที่อาจมีอิทธิพลต่อลักษณะคุณภาพซึ่งทำให้เกิดการผิดเพี้ยนของภาพ

ตารางที่ 4.3 การหาแนวทางปรับปรุงและพิจารณาเพื่อกำหนดปัจจัยที่อาจมีอิทธิพลต่อลักษณะคุณภาพซึ่งทำให้เกิดการผิดเพี้ยนของภาพ

ปัญหาด้าน	สาเหตุ/มูลเหตุ	แนวทางการปรับปรุง	ผลลัพธ์
1. พนักงาน 1.1 ทักษะพนักงาน	-มีการเข้า-ออก หมุนเวียนการทำงานบ่อย ขาดความชำนาญของการปฏิบัติงานนั้นๆ	-ทำการฝึกอบรมการปฏิบัติงานหน้างานและปฏิบัติงานคู่กับผู้ที่มีความชำนาญ	-ไม่นำมาพิจารณา กำหนดปัจจัย
2. วัตถุดิบ 2.1 กระจก	-ลักษณะคุณภาพของกระจกไม่ส่งผลต่อการผิดเพี้ยนของภาพ -เวลาที่ใช้ในการเคลือบจะมีผล	-ไม่ดำเนินการ	-ไม่นำมาพิจารณา กำหนดปัจจัย

ตารางที่ 4.3 การหาแนวทางปรับปรุง และพิจารณาเพื่อกำหนดปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อลักษณะคุณภาพซึ่งทำให้เกิดการผิดเพี้ยนของภาพ (ต่อ)

ปัญหาด้าน	สาเหตุ/มูลเหตุ	แนวทางการปรับปรุง	ผลลัพธ์
3. เครื่องจักร 3.1 เครื่องเคลือบโครเมียม 3.2 เครื่องอบกระจก	-เวลาที่ใช้ในการเคลือบจะมีผลโดยตรงกับความหนาของโครเมียมที่เคลือบบนผิวกระจก ซึ่งส่งผลโดยตรงการสะท้อนของแสง -เวลาที่ใช้ในการอบกระจกเพื่อให้กระจกจากที่มีลักษณะเป็นแผ่นตรง เปลี่ยนรูปทรงเป็นแผ่นโค้งตามแบบก่อนอิฐ มีผลโดยตรงกับค่าความโค้งกระจก กล่าวคือ หากใช้เวลาน้อย กระจกจะไม่สามารถเปลี่ยนรูปได้ทันตามค่าความโค้งที่ R1250 ซึ่งเวลาที่ใช้การอบกระจกนี้มีผลโดยตรงกับค่าความเร็วสายพานที่ลำเลียงแผ่นกระจก -อุณหภูมิที่ใช้ในการอบเพื่อให้แผ่นกระจกเปลี่ยนรูปทรงตามแบบก่อนอิฐ มีผลโดยตรงกับการหลอมเนื้อกระจกให้พอดีกับการเปลี่ยนรูปทรง	-หาค่าเวลาที่เหมาะสมที่ใช้ในการเคลือบโครเมียม โดยมีค่าเป้าหมายของค่าการสะท้อนแสงที่ 50% -หาค่าความเร็วที่เหมาะสมที่ใช้ลำเลียงแผ่นกระจกเข้าอบเพื่อให้กระจกเปลี่ยนรูปทรงเป็นแผ่นโค้งตามแบบก่อนอิฐ ซึ่งจะทำให้กระจกมีความโค้งที่ R1250 และเป็นค่าเป้าหมาย -หาค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการหลอมเนื้อกระจกที่พอดีกับการเปลี่ยนรูปทรง	-ไม่นำมาพิจารณา กำหนดปัจจัย -พิจารณานำมา กำหนดปัจจัย -พิจารณานำมา กำหนดปัจจัย
4. วิธีการดำเนินงาน 4.1 มาตรฐานการปฏิบัติงาน	-วิธีการใช้เครื่องอบกระจก และเครื่องเคลือบโครเมียมไม่มีการกำหนดรูปแบบที่แน่นอนและเป็นมาตรฐาน	-ทำความเข้าใจถึงขั้นตอนการปฏิบัติงานการใช้เครื่องอบกระจก และเครื่องเคลือบโครเมียม	-ไม่นำมาพิจารณา กำหนดปัจจัย

สกล [42] ได้ใช้แผนผังก้างปลาแสดงสาเหตุของปัญหาเพื่อพิจารณาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลตอบสนอง ในงานวิจัยการปรับปรุงประสิทธิภาพการชะล้างสิ่งสกปรกขนาดเล็กในกระบวนการผลิตแผ่นดิสก์โดยใช้วิธีการทาคุชิ ซึ่งการพิจารณาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลตอบสนอง จะต้องคำนึงถึงพารามิเตอร์ต่างในกระบวนการ ที่จะมีอิทธิพลต่อผลตอบสนองจริงๆ เพื่อลดจำนวนปัจจัย และจำนวนทดลอง โดยจะต้องระดมสมองจากผู้เชี่ยวชาญในกระบวนการนั้นๆ มาทำการกำหนดปัจจัย และหากมี

ข้อสงสัยระหว่างอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยให้กำหนดไว้ในแบบการทดลอง และพิจารณาผลตอบสนองของอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย [20]

จากแนวทางในการกำหนดปัจจัยและระดับปัจจัยดังที่กล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงใช้แผนภาพสาเหตุของปัญหาในภาพที่ 4.1 - 4.3 รวมทั้งแนวทางปรับปรุงและพิจารณาเพื่อกำหนดปัจจัยที่อาจมีอิทธิพลต่อการเกิดของเสียและลักษณะคุณภาพ ในตารางที่ 4.1-4.3 สามารถสรุปปัจจัยนำเข้าที่สำคัญซึ่งอาจจะส่งผลกระทบต่อโอกาสการเกิดของเสียประเภทรอยขีดข่วนที่เกิดขึ้นบนผิวกระจก การเกิดจุดบนผิวกระจกและลักษณะคุณภาพที่ทำให้เกิดการผิวนูนของภาพ ซึ่งนำไปเป็นปัจจัยในการออกแบบการทดลองต่อไปแสดงได้ดังตารางที่ 4.4 ดังนี้

ตารางที่ 4.4 ปัจจัยและระดับปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาเพื่อทำการทดลองวิธีการทากระจก

สัญลักษณ์	ปัจจัย	ระดับของปัจจัย	
		Low (1)	High (2)
A	อุณหภูมิอบกระจก	690 °C	740 °C
B	ความเร็วสายพาน	15m/min	25m/min
C	รูปแบบรถเข็น	มีร่อง	ไม่มีร่อง
D	ระบบเครื่องฝนขอบ	ใช้น้ำ	พลาสติก
E	ระบบกันฝุ่นบนสายพาน	พลาสติก	แรงดันลม
F	เวลาเคลือบโครเมียม	7 Sec	10 Sec
Interaction A×B	อุณหภูมิอบ × ความเร็วสายพาน		

การกำหนดระดับปัจจัยในการทดลอง เป็นการกำหนดจากขอบเขตข้อกำหนดต่ำสุด-สูงสุด และรูปแบบก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง [20] สามารถกำหนดระดับปัจจัยได้ดังนี้

1) อุณหภูมิของการอบกระจกจะมีข้อกำหนดอยู่ในช่วง 690 °C ถึง 740 °C ซึ่งเป็นช่วงการใช้งานที่ได้จากการออกแบบกระบวนการ

2) ความเร็วของสายพานลำเลียงกระจกเข้าเครื่องอบกระจก อยู่ในช่วง 15 m/min ถึง 25 m/min ซึ่งเป็นช่วงการใช้งานที่ได้จากการออกแบบกระบวนการ

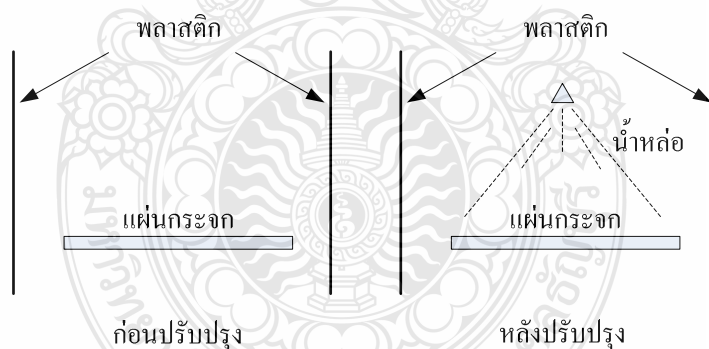
3) รูปแบบของรถเข็นซึ่งจากการระดมสมองทำให้พบว่ารูปแบบของรถเข็นเดิมนั้นอาจจะส่งผลกระทบต่อปัญหาและประเภทที่จะทำให้เกิดรอยขีดข่วนบนผิวกระจก ดังนั้นการกำหนดระดับปัจจัยจึงเป็นรูปแบบรถเข็นก่อนการปรับปรุงคือ พื้นรองกระจกจะเรียบและวางแผ่นกระจกซ้อนกัน

และรูปแบบปรับปรุงใหม่คือ พื้นรองกระจกจะมีร่องวางกระจกได้ครั้งละหนึ่งแผ่น ทำให้กระจกไม่สัมผัสและซ้อนกัน ดังภาพที่ 4.4



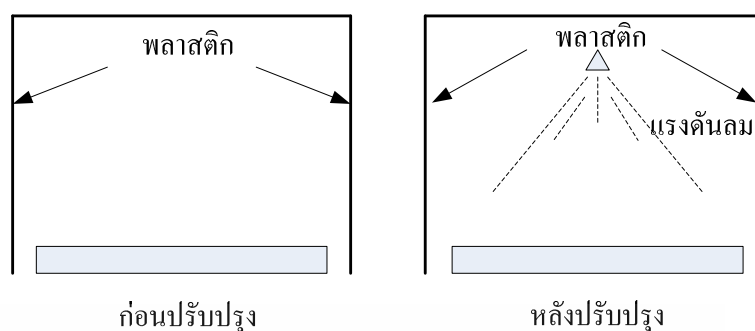
ภาพที่ 4.4 รูปแบบรถเข็นก่อนปรับปรุงและรูปแบบรถเข็นหลังปรับปรุง

4) ระบบเครื่องฝนขอบกระจกในกระบวนการฝนขอบกระจก จะมีชุดป้องกันเศษกระจกที่ถูกฝนขอบกระจกออกมาถูกกระจกแผ่นอื่นที่อยู่ในกระบวนการ โดยระบบเดิมจะใช้พลาสติกครอบป้องกันการกระเด็น และรูปแบบปรับปรุงจะใช้น้ำหล่อแผ่นกระจกป้องกันการกระเด็นของเศษกระจก ดังภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 รูปแบบระบบเครื่องฝนขอบกระจกในกระบวนการฝนขอบกระจกก่อนและหลังปรับปรุง

5) ระบบป้องกันฝุ่นบนสายพานลำเลียงกระจกไปสู่กระบวนการเคลือบโครเมียม โดยในแบบก่อนปรับปรุงจะใช้พลาสติกครอบสายพานไว้ และรูปแบบที่ปรับปรุงได้ทำการติดตั้งชุดท่อลมเข้าไปเพื่อใช้แรงดันลม เป็นตัวผลักดันไม่ให้เข้ามาในชุดลำเลียงกระจกโดยสายพาน ดังภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 รูปแบบระบบป้องกันฝุ่นบนสายพานลำเลียงกระจกก่อนและหลังปรับปรุง

6) เวลาในการเคลื่อนโครเมียมของเครื่องเคลื่อนโครเมียม มีขอบเขตข้อกำหนดอยู่ในช่วง 7 ถึง 10 วินาที ซึ่งเป็นช่วงการใช้งานที่ได้จากการออกแบบกระบวนการ

4.2 ผลการศึกษาความสามารถของระบบการวัด

ผลในการวิเคราะห์ระบบการวัดนี้จะเป็นผลจากการทำการวิเคราะห์ความผันแปรของตำแหน่ง (Location Variation) และผลการวิเคราะห์ความผันแปรของความกว้าง (Width Variation) โดยการวิเคราะห์ความผันแปรของตำแหน่ง จะประกอบด้วยไบอัส และการเป็นเชิงเส้นตรง ส่วนการวิเคราะห์ความผันแปรของความกว้าง จะประกอบด้วยรีพีทอะบิลิตี และรีโพรดิวซิเบิลิตี ดังมีรายงานผลดังนี้

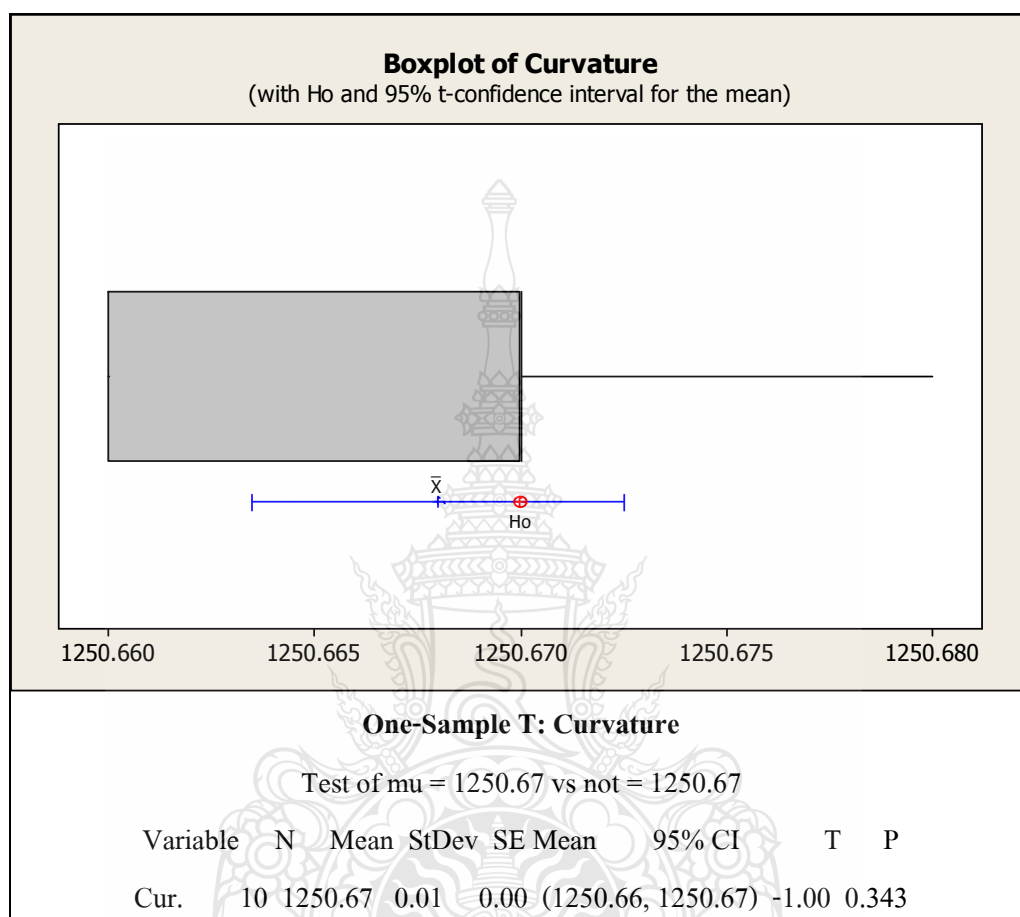
4.2.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านไบอัสของระบบการวัด จากการดำเนินงานการทดลองได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการบันทึกข้อมูลการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านไบอัส

การวัด \ ครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ค่าความโค้งกระจก (หน่วย: R)	1250.67	1250.66	1250.67	1250.67	1250.68	1250.67	1250.66	1250.66	1250.67	1250.67
ค่าการสะท้อนแสง (หน่วย: %)	50.1	50.0	50.3	50.2	50.1	50.1	50.2	50.3	50.0	50.1

โดยค่าอ้างอิงของค่าความโค้งของกระจกเท่ากับ R1250.67 และค่าอ้างอิงของค่าการสะท้อนแสงเท่ากับ 50.1% และจากผลการบันทึกข้อมูลนำไปวิเคราะห์ผลได้ด้วย Minitab จะได้ผล

การวิเคราะห์ค่าความโค้งของกระจกดังภาพที่ 4.7 และผลการวิเคราะห์ค่าการสะท้อนแสงดังภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.7 ผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์ของการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านไบอัสของระบบการวัดของการวัดค่าความโค้งกระจก

สมมติฐานการวิจัย: ค่าเฉลี่ยความโค้งของกระจกมีค่าเท่ากับ R1250.67

สมมติฐานทางสถิติ:

$$H_0 : \mu = 1250.67$$

$$H_1 : \mu \neq 1250.67$$

โดยที่ P-Value $< \alpha$; ทำการปฏิเสธ H_0

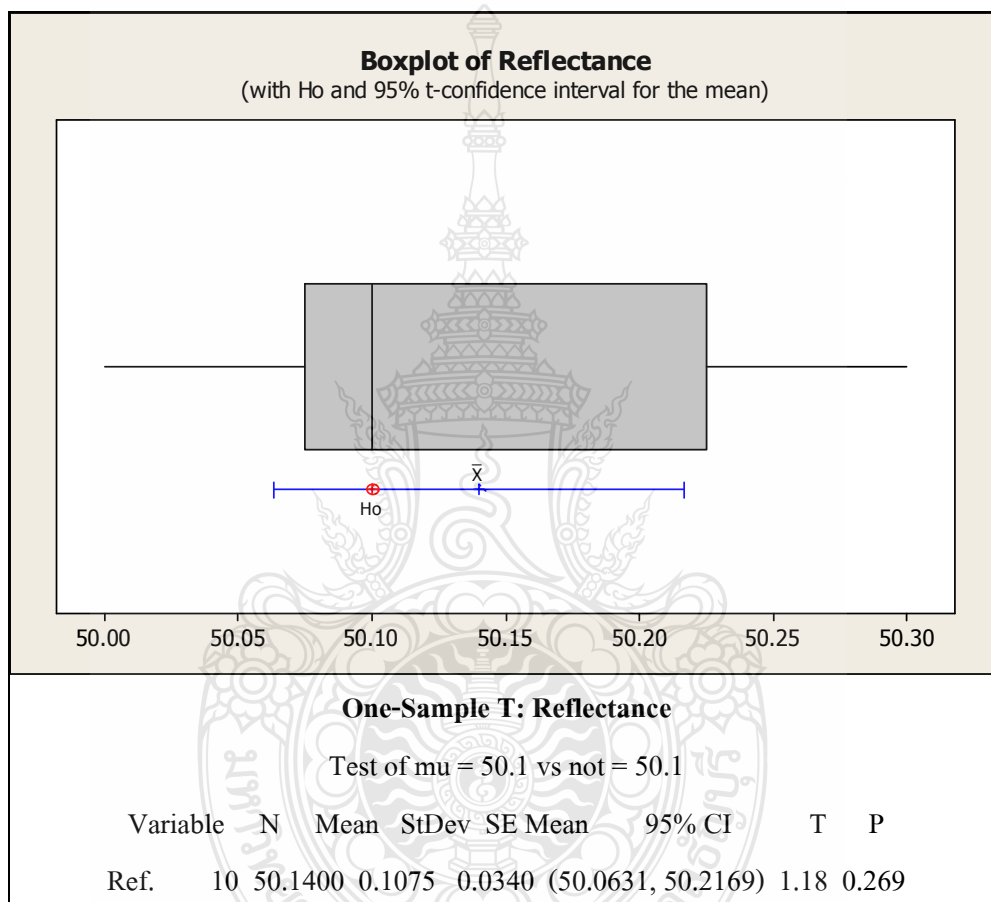
P-Value $\geq \alpha$; ทำการยอมรับ H_0

การแปลความหมายผลลัพธ์จากคอมพิวเตอร์

ค่า P-Value เท่ากับ 0.343

ค่า α เท่ากับ 0.05

ดังนั้นไม่มีเหตุผลเพียงพอที่จะปฏิเสธว่าค่าเฉลี่ยความโค้งของกระจกมีค่าเท่ากับ R1250.67 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 จึงไม่มีเหตุผลที่จะสรุปว่าผลการวัดดังกล่าวมีไบอัส



ภาพที่ 4.8 ผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์ของการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านไบอัสของระบบการวัดของการวัดค่าการสะท้อนแสงของกระจก

สมมุติฐานการวิจัย: ค่าเฉลี่ยการสะท้อนแสงของกระจกมีค่าเท่ากับ 50.1%

สมมุติฐานทางสถิติ:

$$H_0 : \mu = 50.1$$

$$H_1 : \mu \neq 50.1$$

โดยที่ $P\text{-Value} < \alpha$; ทำการปฏิเสธ H_0
 $P\text{-Value} \geq \alpha$; ทำการยอมรับ H_0

การแปลความหมายผลลัพธ์จากคอมพิวเตอร์

ค่า P-Value เท่ากับ 0.269

ค่า α เท่ากับ 0.05

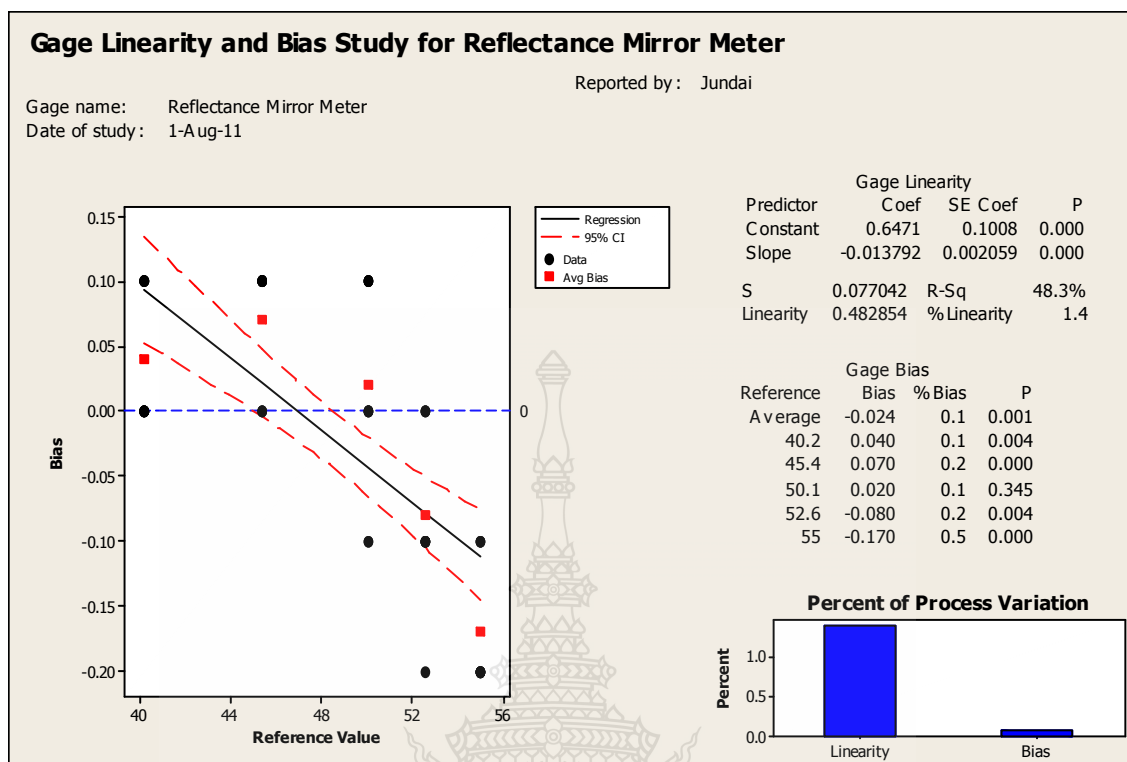
ดังนั้นไม่มีเหตุผลเพียงพอที่จะปฏิเสธว่าค่าเฉลี่ยการสะท้อนแสงของกระจกมีค่าเท่ากับ 50.1% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 จึงไม่มีเหตุผลที่จะสรุปว่าผลการวัดดังกล่าวมีไบอัส

4.2.2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเชิงเส้นตรงของระบบการวัด

จากการลงบันทึกข้อมูลในตารางที่ 3.2 สามารถแสดงถึงผลการทดลองการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเชิงเส้นตรงของระบบการวัดได้ ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเชิงเส้นตรงของระบบการวัด

ค่าอ้างอิง ครั้งที่	ค่าการสะท้อนแสง หน่วย: %					ค่าความโค้งของกระจก หน่วย: R				
		40.2	45.4	50.1	52.6	55.0	1106.58	1200.42	1250.67	1350.08
1	40.2	45.4	50.1	52.6	54.8	1106.50	1200.32	1250.58	1350.20	1400.46
2	40.2	45.5	50.0	52.5	54.9	1106.49	1200.51	1250.62	1350.11	1400.52
3	40.3	45.5	50.2	52.5	54.8	1106.61	1200.62	1250.67	1350.21	1400.60
4	40.2	45.5	50.2	52.4	54.9	1106.81	1200.56	1250.70	1350.15	1400.41
5	40.2	45.4	50.1	52.5	54.8	1106.61	1200.46	1250.68	1350.31	1400.58
6	40.3	45.5	50.1	52.6	54.9	1106.51	1200.78	1250.67	1350.26	1400.61
7	40.3	45.5	50.2	52.5	54.8	1106.89	1200.53	1250.61	1350.30	1400.53
8	40.2	45.5	50.2	52.5	54.8	1106.49	1200.38	1250.66	1350.10	1400.46
9	40.3	45.4	50.0	52.6	54.8	1106.65	1200.68	1250.67	1350.28	1400.55
10	40.2	45.5	50.1	52.5	54.8	1106.84	1200.52	1250.69	1350.19	1400.48

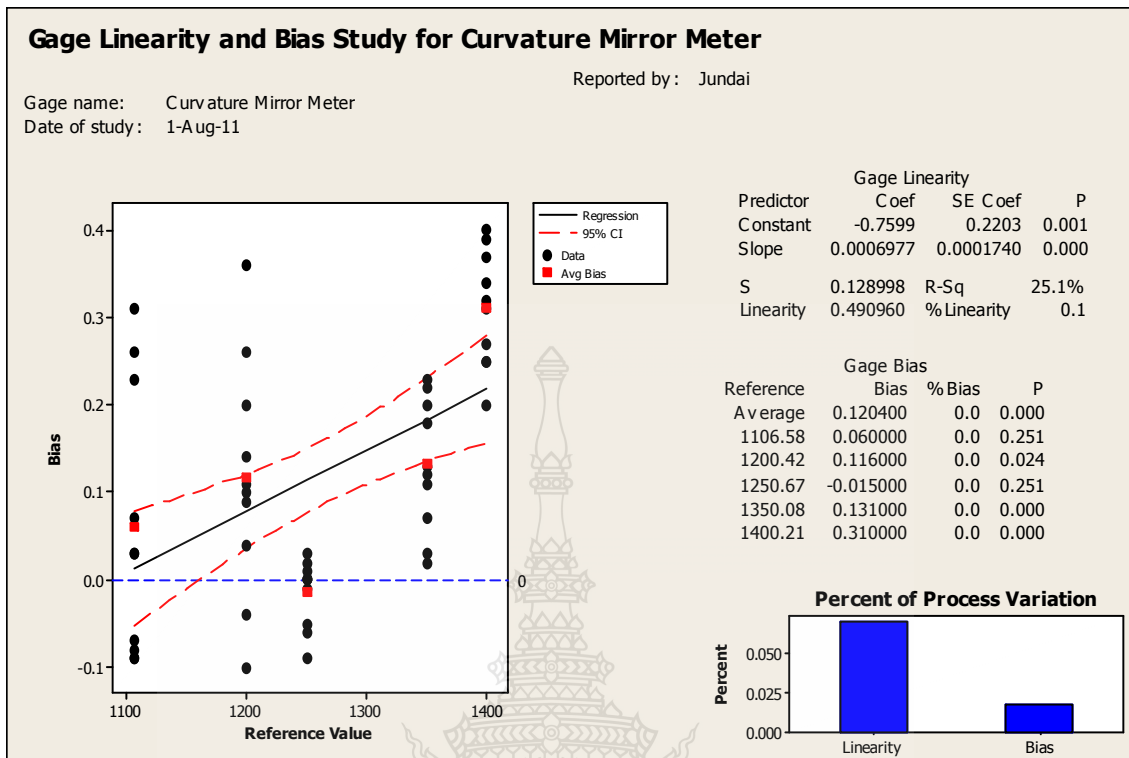


ภาพที่ 4.9 ผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์ของการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเชิงเส้นตรงของระบบการวัดของการวัดค่าการสะท้อนแสงของกระจก

จากผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์ในภาพที่ 4.9 สามารถแปลผลการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเชิงเส้นตรงของระบบการวัดของการวัดค่าการสะท้อนแสงของกระจกได้ดังนี้

%Linearity มีค่าเท่ากับ 1.4 ซึ่งมีความหมายว่า คุณสมบัติเชิงเส้นตรงของเครื่องมือวัด เป็นเหตุผลให้เกิดความผันแปรของกระบวนการ 1.4%

%Bias for The Reference มีค่าเท่ากับ 0.1 ซึ่งมีความหมายว่า ค่าไบอัสของเครื่องมือวัด เป็นผลให้เกิดความผันแปรของกระบวนการ 0.1%



ภาพที่ 4.10 ผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์ของการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเชิงเส้นตรงของระบบการวัดของการวัดค่าความโค้งของกระจก

จากผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์ในภาพที่ 4.10 สามารถแปลผลการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเชิงเส้นตรงของระบบการวัดของการวัดค่าความโค้งของกระจกได้ดังนี้

%Linearity มีค่าเท่ากับ 0.1 ซึ่งมีความหมายว่า คุณสมบัติเชิงเส้นตรงของเครื่องมือวัด เป็นเหตุให้เกิดความผันแปรของกระบวนการ 0.1%

%Bias for The Reference มีค่าเท่ากับ 0.0 ซึ่งมีความหมายว่า ค่าไบอัสของเครื่องมือวัด เป็นผลให้เกิดความผันแปรของกระบวนการ 0.0%

จากการแปลผลการวิเคราะห์ในภาพที่ 4.9 และ 4.10 เรานำมาพิจารณาเพื่อทำการตัดสินใจในระบบการวัด โดยมีเกณฑ์การตัดสินใจดังนี้ [6]

- | | |
|--------------------------------|--|
| % เชิงเส้นตรง < 5% | อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยไม่ต้องแก้ไข |
| $5\% \leq$ % เชิงเส้นตรง < 10% | อาจจะยอมรับได้โดยให้พิจารณาจากปัจจัยอื่นๆ เช่น การประยุกต์ใช้ ค่าใช้จ่าย เป็นต้น |
| % เชิงเส้นตรง \geq 10% | ไม่สามารถยอมรับได้ ต้องค้นหาสาเหตุแล้วทำการแก้ไข |

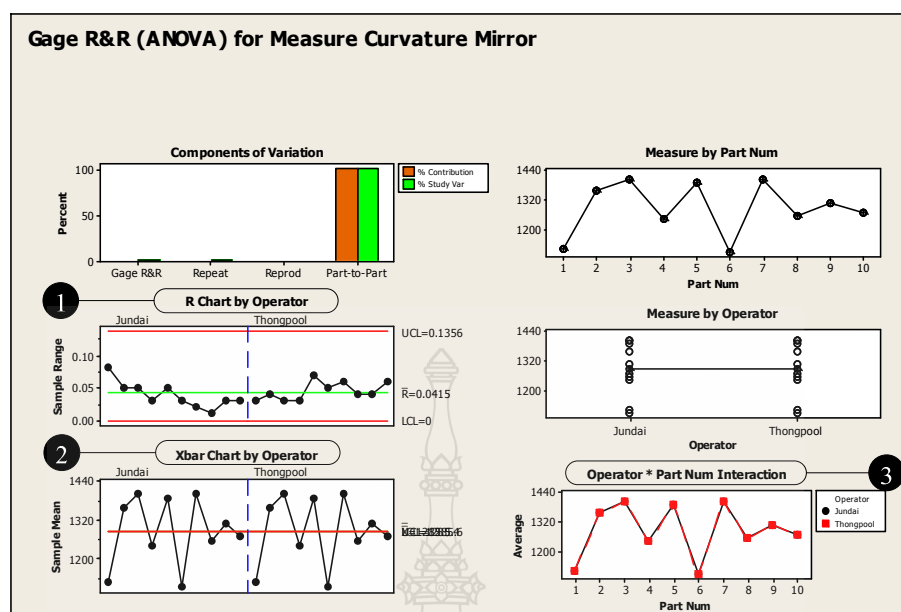
ดังนั้นคุณสมบัติด้านเชิงเส้นตรงของระบบการวัดทั้งการสะท้อนของแสงและความโค้งของกระจก จึงอยู่ในเกณฑ์การยอมรับได้ โดยไม่ต้องแก้ไข

4.2.3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านรีฟิเทจบิลิตีและรีโพรดิวซิบิลิตี สำหรับข้อมูลผันแปร โดยวิธีอาศัยการวิเคราะห์ความแปรปรวน

จากการลงบันทึกข้อมูลในตารางที่ 3.3 สามารถแสดงถึงผลการทดลองการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านรีฟิเทจบิลิตีและรีโพรดิวซิบิลิตี สำหรับข้อมูลผันแปรโดยวิธีอาศัยการวิเคราะห์ความแปรปรวนได้ ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านรีฟิเทจบิลิตีและรีโพรดิวซิบิลิตี สำหรับข้อมูลผันแปรโดยวิธีอาศัยการวิเคราะห์ความแปรปรวน

ชั้นงานที่	พนักงาน 1				พนักงาน 2			
	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2	
	โค้ง	สะท้อน	โค้ง	สะท้อน	โค้ง	สะท้อน	โค้ง	สะท้อน
1	1126.36	45.3	1126.28	45.2	1126.28	45.2	1126.31	45.3
2	1356.28	40.2	1356.23	40.4	1356.20	40.3	1356.24	40.4
3	1401.08	50.4	1401.13	50.2	1401.12	50.3	1401.15	50.4
4	1241.35	55.0	1241.38	55.1	1241.35	55.2	1241.38	55.0
5	1386.35	52.5	1386.40	52.6	1386.32	52.8	1386.39	52.7
6	1110.28	43.8	1110.25	43.5	1110.25	43.5	1110.30	43.2
7	1399.32	54.2	1399.30	54.0	1399.32	54.2	1399.38	54.8
8	1256.28	42.8	1256.27	42.7	1256.28	42.8	1256.24	42.4
9	1309.45	51.5	1309.48	51.7	1309.47	51.7	1309.43	51.4
10	1268.35	53.4	1268.38	53.7	1268.38	53.8	1268.32	53.4

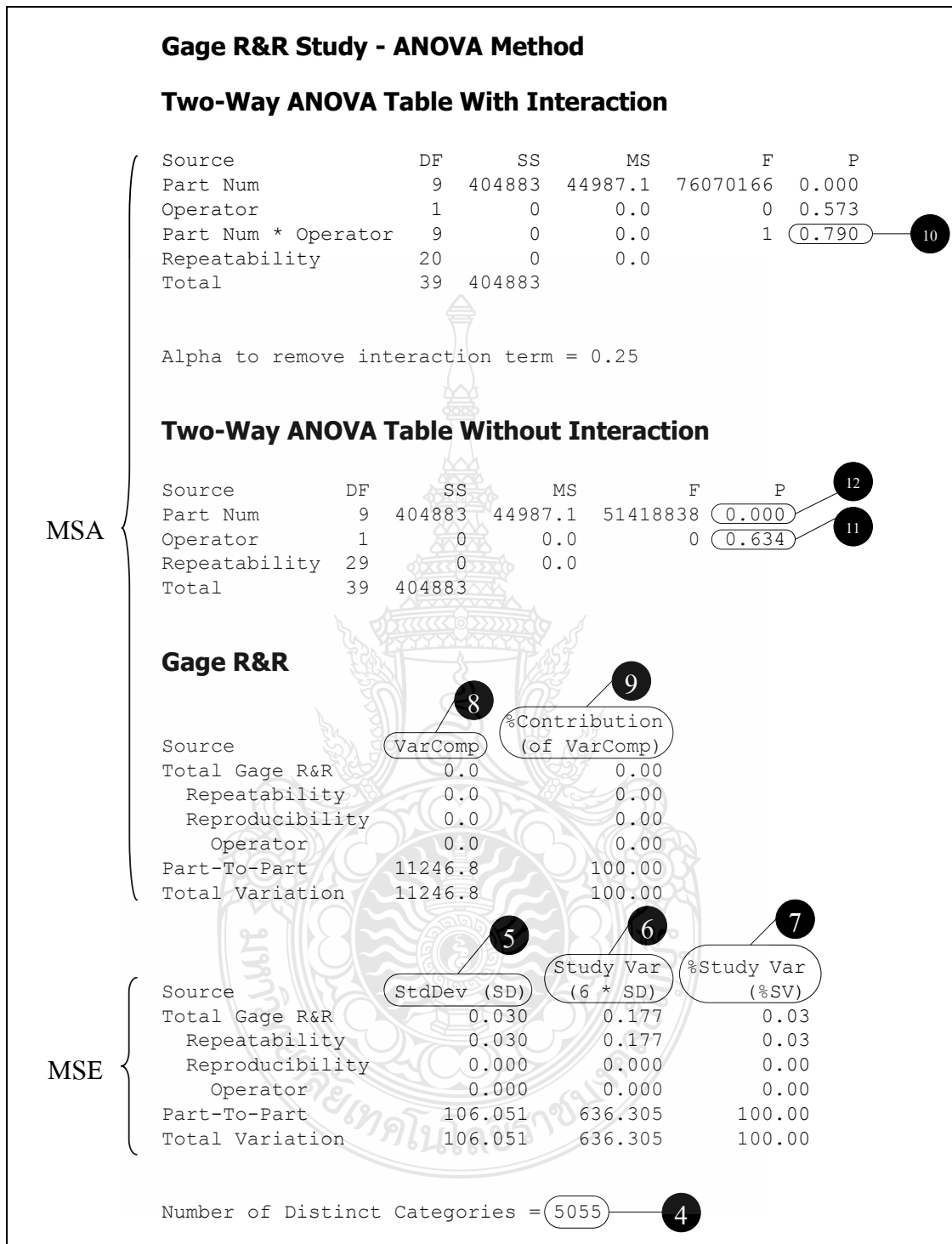


ภาพที่ 4.11 ผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์ของการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านด้านรีพีทะบิลิตีและรีโพรดิวซิบิลิตี สำหรับข้อมูลผันแปรโดยวิธีอาศัยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ค่าความโค้งกระจก)

ในการวิเคราะห์และประเมินผลคุณสมบัติในด้านรีพีทะบิลิตีและรีโพรดิวซิบิลิตี โดยวิธีการ ANOVA เริ่มต้นจากการตรวจสอบคุณสมบัติของข้อมูลจากระบบการวัดก่อนตามลำดับหมายเลขดังนี้

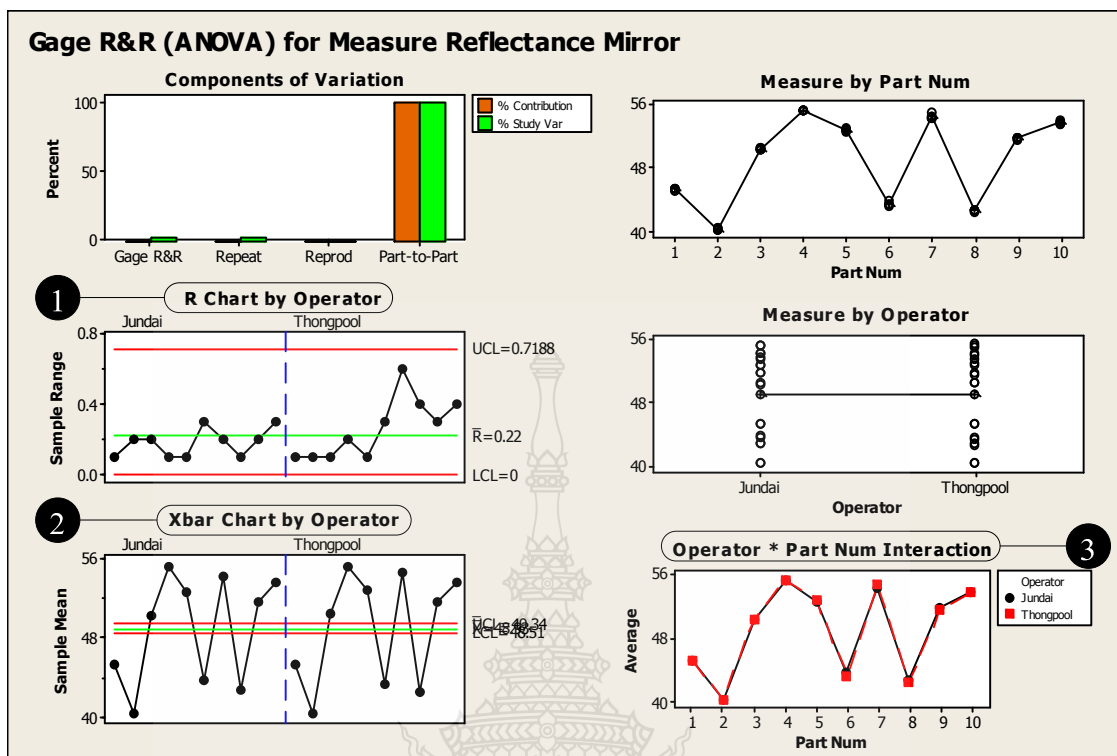
- 1 การตีความหมายจากแผนภูมิควบคุม R จะพิจารณาคู่สมบัตินี้ด้านความสามารถในการแยกความแตกต่าง จากภาพที่ 4.11 ระบบการวัดมีคุณสมบัติที่ดี
- 2 การตีความหมายแผนภูมิควบคุม X-Bar พบว่าความผันแปรจากสาเหตุของระบบการวัดมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับความผันแปรจากสาเหตุของระบบการผลิต
- 3 การตีความหมายอิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่างพนักงานวัดและชิ้นงานวัด โดยดูได้จากกราฟที่พล็อตซึ่งแสดงถึงค่าวัดชิ้นงานที่วัดโดยพนักงานแต่ละคนนั้นตัดกันหรือไม่ ถ้ากราฟตัดกันอย่างเห็นได้ชัด แสดงว่ามีอิทธิพลร่วม นั่นหมายถึงการเปลี่ยนแปลงชิ้นงานวัดมีผลต่อค่าวัดที่พนักงานวัดได้ จากภาพที่ 4.11 ไม่เกิดอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานวัดและชิ้นงานวัด

ผลการตีความหมายทั้ง 3 ข้อ นั้นอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ จึงสามารถตีความหมายในส่วน Session ได้ดังภาพที่ 4.12 โดยในส่วน Session จะตีความหมายตามลำดับจากด้านล่างของผลลัพธ์ขึ้นไปด้านบน ซึ่งมี 3 ส่วน คือ NDC, MSE และ MSA



ภาพที่ 4.12 ผลลัพธ์ Session ของการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านด้านรีพิทเทบิลิตีและรีโพรดิวซิเบิลิตี สำหรับข้อมูลผันแปร โดยวิธีอาศัยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ค่าความโค้งกระจก)

- 4 NDC (Number of Distinct Categories) เท่ากับ 5055 ซึ่งมีค่ามากกว่า 5 แสดงว่าระบบการวัดทำการแยกประเภทข้อมูลที่วัดได้ออกเป็น 5055 ประเภทที่มีความแตกต่างกัน ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากระบบการวัดใช้ประมาณค่าความผันแปรของกระบวนการได้
- 5 ค่า StdDev แสดงความผันแปรจากสิ่งตัวอย่างที่ใช้ศึกษาระบบการวัด จะมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลทดลองทั้งหมดมีค่า R106.051 จะเป็นความเบี่ยงเบนมาตรฐานจากชิ้นงานทดสอบ R106.051 และเป็นความเบี่ยงเบนมาตรฐานของระบบการวัด R0.030
- 6 ค่า Study Var แสดงความผันแปรที่ประมาณค่าได้จากระบบวัดหรือประชากรจะมีความผันแปรของข้อมูลค่าวัดทั้งหมด R636.305 จะเป็นความผันแปรจากกระบวนการผลิต R636.305 และความผันแปรจากระบบการวัด R0.177
- 7 ค่า %Study Var แสดงความผันแปรเมื่อทำการประเมินผลระบบการวัดเทียบกับความผันแปรของกระบวนการพบว่าถ้าความผันแปรของกระบวนการที่ประเมินได้จากข้อมูลการวัดทั้งหมด R100 แล้วจะเป็นความผันแปรจากสาเหตุกระบวนการผลิต R100 และความผันแปรจากระบบการวัด R0.03 ซึ่งแบ่งออกเป็นความผันแปรจากสาเหตุรีพิทเทบิลิตี R0.03 และความผันแปรจากสาเหตุรีโพรดิวซิบิลิตี R0.00
- 8 ค่า Var Comp แสดงถึงองค์ประกอบของความแปรปรวนของการทดลองแบบตัวแบบสุ่ม ซึ่งในการศึกษาระบบการวัดนี้พบว่าความแปรปรวนจากข้อมูลทั้งหมดมีค่า R²11246.8 จะเป็นความแปรปรวนจากกระบวนการผลิต R²11246.8 และความแปรปรวนจากระบบการวัด R²0.0
- 9 ค่า % Contribution แสดงถึงความผันแปรจากสาเหตุต่างๆ ที่ส่งผลต่อความผันแปรโดยรวม เมื่อทำการเทียบเป็นค่าร้อยละแล้วจะพบว่า ถ้าความแปรปรวนทั้งหมดคือ R²100% จะเป็นความแปรปรวนจากกระบวนการผลิต R²100% และความแปรปรวนจากระบบการวัด R²0.0%
- 10 ผลของ Interaction (Part Num*Operator) ค่า P-Value มีค่า 0.790 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าเทียบเคียง 0.1 แสดงว่าอิทธิพลร่วมระหว่างของพนักงานและชิ้นงานวัดจะ ไม่มีนัยสำคัญต่อความผันแปรของข้อมูลในระบบวัด
- 11 พิจารณา ค่า P-Value ของ Operator มีค่า 0.634 ถือว่ามีค่ามากซึ่งเทียบกับค่าเทียบเคียงมากกว่า 0.1 นั้นแสดงว่าพนักงานวัดไม่มีผลต่อความผันแปรของข้อมูลจากระบบการวัดหรือเมื่อเปลี่ยนพนักงานวัดไป ค่าวัดจะไม่เปลี่ยนแปลง
- 12 พิจารณา ค่า P-Value ของ Part มีค่า 0.000 ถือว่ามีค่าน้อยซึ่งเทียบกับค่าเทียบเคียงน้อยกว่า 0.1 นั้นแสดงว่าชิ้นงานมีผลต่อความผันแปรของข้อมูลในระบบการวัด หรือเมื่อชิ้นงานเปลี่ยนไป ค่าวัดจะเปลี่ยนไปด้วยแสดงว่าพนักงานวัดมีความสามารถในระบบการวัด

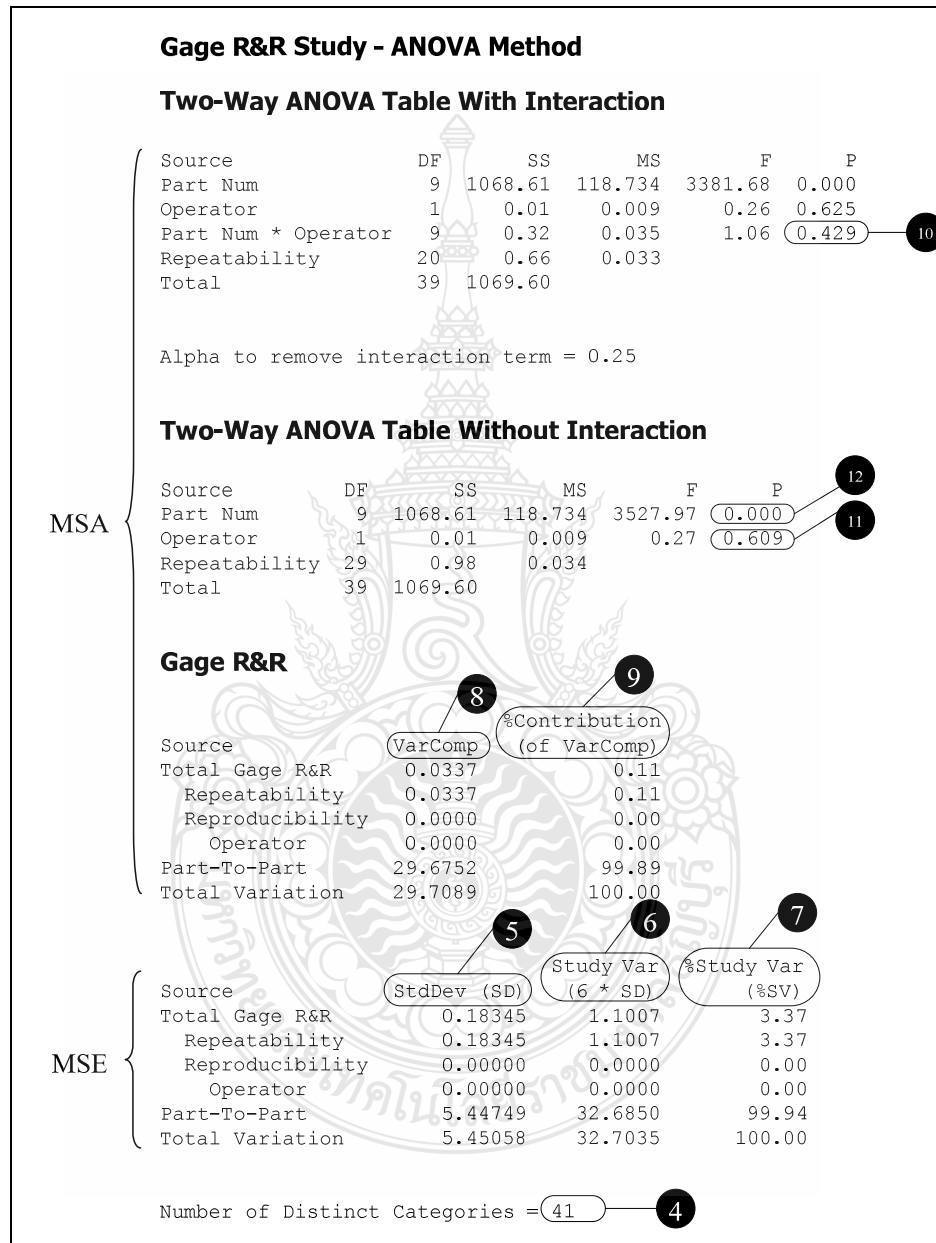


ภาพที่ 4.13 ผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์ของการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านด้านรีฟิเทอะบิลิตี้และรีโพรดิวซิเบิลิตี้ สำหรับข้อมูลผันแปรโดยวิธีอาศัยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ค่าการสะท้อนแสง)

และในการวิเคราะห์และประเมินผลคุณสมบัติในด้านรีฟิเทอะบิลิตี้และรีโพรดิวซิเบิลิตี้ โดยวิธีการ ANOVA จะเริ่มต้นจากการตรวจสอบคุณสมบัติของข้อมูลจากระบบการวัดก่อนตามลำดับหมายเลขดังนี้

- 1 การตีความหมายจากแผนภูมิควบคุม R จะพิจารณาคุณสมบัติด้านความสามารถในการแยกความแตกต่าง จากภาพที่ 4.13 ระบบการวัดมีคุณสมบัติที่ดี
- 2 การตีความหมายแผนภูมิควบคุม X-Bar พบว่าความผันแปรจากสาเหตุของระบบการวัดมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับความผันแปรจากสาเหตุของระบบการผลิต
- 3 การตีความหมายอิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่างพนักงานวัดและชิ้นงานวัด โดยดูได้จากกราฟที่พล็อตซึ่งแสดงถึงค่าวัดชิ้นงานที่วัดโดยพนักงานแต่ละคนนั้นตัดกันหรือไม่ ถ้ากราฟตัดกันอย่างเห็นได้ชัด แสดงว่ามีอิทธิพลร่วม นั่นหมายถึงการเปลี่ยนแปลงชิ้นงานวัดมีผลต่อค่าวัดที่พนักงานวัดได้ จากภาพที่ 4.13 ไม่เกิดอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานวัดและชิ้นงานวัด

ผลการตีความหมายทั้ง 3 ข้อนั้นอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ จึงสามารถตีความหมายในส่วน Session ได้ ดังภาพที่ 4.14 โดยในส่วน Session จะตีความหมายตามลำดับจากด้านล่างของผลลัพธ์ขึ้นไปด้านบน ซึ่งมี 3 ส่วนคือ NDC, MSE และ MSA



ภาพที่ 4.14 ผลลัพธ์ Session ของการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านด้านรีพีทเทบิลิตีและรีโพรดิวซิบิลิตี สำหรับข้อมูลผันแปรโดยวิธีอาศัยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ค่าการสะท้อนกระจก)

4 NDC เท่ากับ 41 ซึ่งมีค่ามากกว่า 5 แสดงว่าระบบการวัดทำการแยกประเภทข้อมูลที่วัดได้ออกเป็น 41 ประเภทที่มีความแตกต่างกัน ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากระบบการวัดใช้ประมาณค่าความผันแปรของกระบวนการได้

5 ค่า StdDev แสดงความผันแปรจากสิ่งตัวอย่างที่ใช้ศึกษาระบบการวัด จะมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลทดลองทั้งหมดมีค่า 5.45058 % จะเป็นความเบี่ยงเบนมาตรฐานจากชิ้นงานทดสอบ 5.44749 % และเป็นความเบี่ยงเบนมาตรฐานของระบบการวัด 0.18345 %

6 ค่า Study Var แสดงความผันแปรที่ประมาณค่าได้จากระบบวัดหรือประชากรจะมีความผันแปรของข้อมูลค่าวัดทั้งหมด 32.7035 % จะเป็นความผันแปรจากกระบวนการผลิต 32.6850 % และความผันแปรจากระบบการวัด 1.1007 %

7 ค่า % Study Var แสดงความผันแปรเมื่อทำการประเมินผลระบบการวัดเทียบกับความผันแปรของกระบวนการพบว่าถ้าความผันแปรของกระบวนการที่ประเมินได้จากข้อมูลการวัดทั้งหมด 100% แล้วจะเป็นความผันแปรจากสาเหตุกระบวนการผลิต 99.94 % และความผันแปรจากระบบการวัด 3.37 % ซึ่งแบ่งออกเป็นความผันแปรจากสาเหตุรีพิทเทบิลิตี้ 3.37 % และความผันแปรจากสาเหตุโรปรดิวซิเบิล 0.00 %

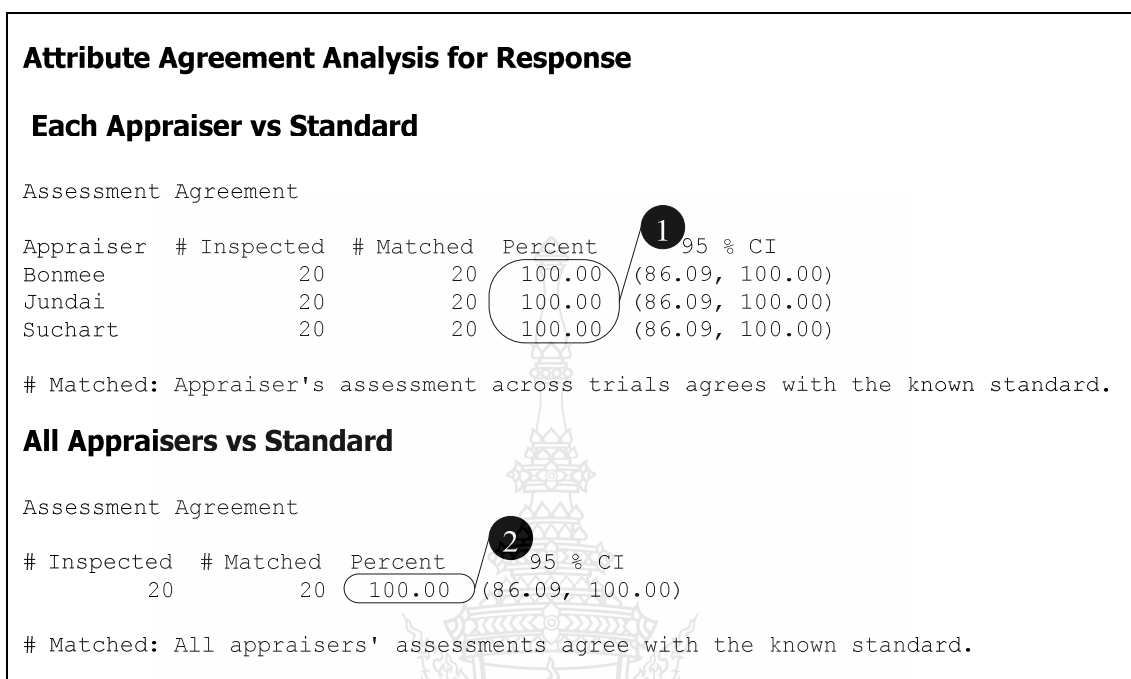
8 ค่า Var Comp แสดงถึงองค์ประกอบของความแปรปรวนของการทดลองแบบตัวแบบสุ่ม ซึ่งในการศึกษาระบบการวัดนี้พบว่าความแปรปรวนจากข้อมูลทั้งหมดมีค่า 29.7089 %² จะเป็นความแปรปรวนจากกระบวนการผลิต 29.6752 %² และความแปรปรวนจากระบบการวัด 0.0337 %²

9 ค่า % Contribution แสดงถึงความผันแปรจากสาเหตุต่างๆ ที่ส่งผลต่อความผันแปรโดยรวม เมื่อทำการเทียบเป็นค่าร้อยละแล้วจะพบว่า ถ้าความแปรปรวนทั้งหมดคือ 100 %² จะเป็นความแปรปรวนจากกระบวนการผลิต 99.89 %² และความแปรปรวนจากระบบการวัด 0.11 %²

10 ผลของ interaction (Part Num*Operator) ค่า P-Value มีค่า 0.429 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าเทียบเคียง 0.1 แสดงว่าอิทธิพลร่วมระหว่างของพนักงานและชิ้นงานวัดจะไม่มีนัยสำคัญต่อความผันแปรของข้อมูลในระบบวัด

11 พิจารณา ค่า P-Value ของ Operator มีค่า 0.609 ถือว่ามีค่ามากซึ่งเทียบกับค่าเทียบเคียงมากกว่า 0.1 นั้นแสดงว่าพนักงานวัดไม่มีผลต่อความผันแปรของข้อมูลจากระบบการวัดหรือเมื่อเปลี่ยนพนักงานวัดไป ค่าวัดจะไม่เปลี่ยนแปลง

นำผลการทดลองไปวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Minitab Release 15 ได้ดังภาพที่ 4.15



ภาพที่ 4.15 ผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์ของการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านรีพีทะบิลิตี้สำหรับข้อมูลนับ

ผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์ในภาพที่ 4.15 จะแสดงถึงค่ารีพีทะบิลิตี้ของแต่ละคนและประสิทธิภาพด้านรีพีทะบิลิตี้ของระบบการวัดซึ่งสามารถแปลความหมายตามลำดับหมายเลขได้ดังนี้

❶ % รีพีทะบิลิตี้ของพนักงานคนที่ 1, 2 และ 3 ทุกคนมีค่าเท่ากับ 100% ซึ่งพนักงานทุกคนอยู่ในขอบเขตของการยอมรับที่มีค่าเท่ากับ 100% ไม่ต้องทำการปรับปรุงระบบการวัด

❷ ประสิทธิภาพด้านรีพีทะบิลิตี้เท่ากับ 100% แสดงว่าในการให้พนักงาน 3 คน ตรวจสอบชิ้นงาน 100 ชิ้น จะสามารถตรวจสอบชิ้นงานทั้ง 100 ชิ้น นั้นได้ผลลัพธ์ที่เหมือนกันทั้ง 3 คน ซึ่งตรงตามเกณฑ์ยอมรับในการประเมินคุณสมบัติด้านรีพีทะบิลิตี้สำหรับข้อมูลนับ ในอุตสาหกรรมยานยนต์ที่มีข้อกำหนดให้ พนักงานที่มีหน้าที่ตรวจสอบชิ้นงานจะต้องมีประสิทธิภาพด้านรีพีทะบิลิตี้เท่ากับ 100% [43]

ดังนั้นจากผลประเมินพบว่าระบบการวัดนี้ซึ่งประกอบด้วยการวิเคราะห์ความผันแปรของตำแหน่งและการวิเคราะห์ความผันแปรของความกว้างนั้นมีความพร้อมที่จะนำไปวัดผลใน

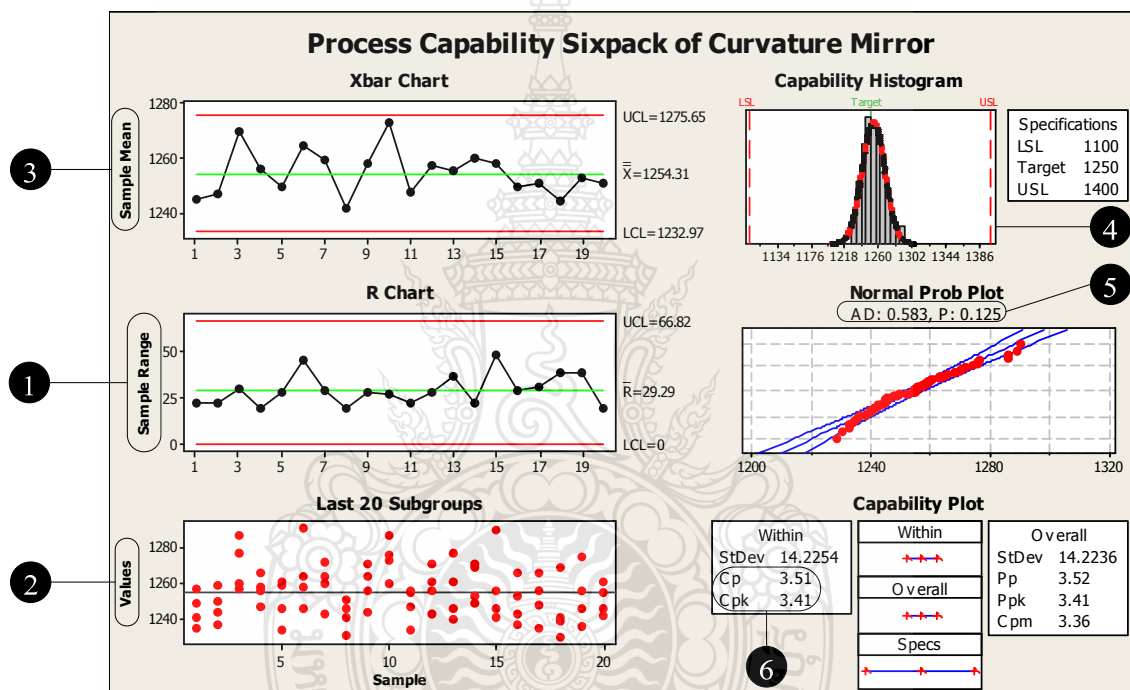
กระบวนการที่ทำการศึกษาเพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการวิเคราะห์ในขั้นต่อไป ดังตารางที่ 4.9
สรุปผลการศึกษาระบบการวัด

ตารางที่ 4.9 สรุปผลการศึกษาศักยภาพของระบบการวัด

ลำดับ	รายการ	ประเภท	ลักษณะข้อมูล	ผลการวิเคราะห์	เกณฑ์ตัดสินใจ
1	คุณสมบัติด้านไบอัส ของค่าความโค้งของ กระจก	วิเคราะห์ ความผันแปร ของตำแหน่ง	ข้อมูลผันแปร	ไม่มีไบอัส	ยอมรับ
2	คุณสมบัติด้านไบอัส ของค่าการสะท้อน แสง	วิเคราะห์ ความผันแปร ของตำแหน่ง	ข้อมูลผันแปร	ไม่มีไบอัส	ยอมรับ
3	คุณสมบัติด้านเชิง เส้นตรงของค่าความ โค้งของกระจก	วิเคราะห์ ความผันแปร ของตำแหน่ง	ข้อมูลผันแปร	% เชิงเส้นตรง เท่ากับ 0.1%	ยอมรับ
4	คุณสมบัติด้านเชิง เส้นตรงของค่าการ สะท้อนแสง	วิเคราะห์ ความผันแปร ของตำแหน่ง	ข้อมูลผันแปร	% เชิงเส้นตรง เท่ากับ 1.4%	ยอมรับ
5	คุณสมบัติด้านรีพีทอะ บิลิตีและรีโพรดูซิบิ ลิตีของค่าความโค้ง ของกระจก	วิเคราะห์ ความผันแปร ของความ กว้าง	ข้อมูลผันแปร	Gage R&R เท่ากับ 0.03%	ยอมรับ
6	คุณสมบัติด้านรีพีท อะบิลิตีและรีโพรดูซิ บิลิตีของค่าการ สะท้อนแสง	วิเคราะห์ ความผันแปร ของความ กว้าง	ข้อมูลผันแปร	Gage R&R เท่ากับ 3.37%	ยอมรับ
7	คุณสมบัติด้านรีพีท อะบิลิตี	วิเคราะห์ ความผันแปร ของความ กว้าง	ข้อมูลนับ	ประสิทธิภาพด้านรี พีทอะบิลิตี เท่ากับ 100%	ยอมรับ

4.3 ผลการศึกษาความสามารถของกระบวนการ

ในหัวข้อนี้เป็นการแสดงผลการศึกษาความสามารถของกระบวนการระยะสั้น ทั้งนี้เนื่องจากก่อนทำการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์จะต้องทำการประเมินความสามารถของกระบวนการให้ได้ว่าอยู่ในสถานะใด และเมื่อทราบแล้ว ก็จะดำเนินการหาแนวทางการแก้ปัญหากระบวนการที่ไม่มีความสามารถต่อไป ในที่นี้เรานำข้อมูลในการเก็บตัวอย่างเพื่อตรวจสอบความสามารถของกระบวนการของค่าความโค้งของกระจกแบบการศึกษาระยะสั้นในตารางที่ 1.4 ซึ่งได้ผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์ดังในภาพที่ 4.16



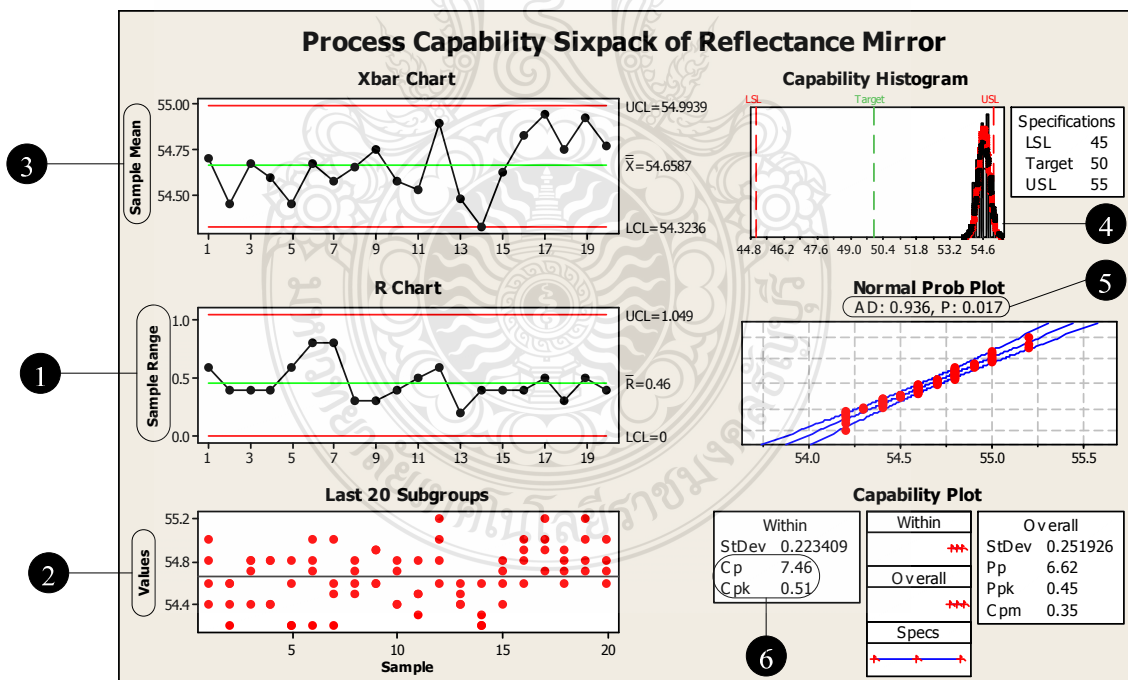
ภาพที่ 4.16 ผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์ความสามารถของกระบวนการของค่าความโค้งของกระจกแบบการศึกษาระยะสั้น

จากผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์ในภาพที่ 4.16 สามารถอธิบายความหมายได้ตามลำดับหมายเลข

❶ แผนภูมิควบคุม R เพื่อพิจารณาว่าข้อมูลมีความสม่ำเสมอหรือไม่ จากรูปสถานะมีความสม่ำเสมอ

- 2 ลักษณะการกระจายตัวของ Individual Chart มีการกระจายตัวที่สม่ำเสมอดี แสดงว่าไม่มีความผิดปกติเกิดขึ้นในกระบวนการควบคุม
- 3 แผนภูมิควบคุม X-bar จากรูปเห็นได้ว่ากระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุม
- 4 การทดสอบข้อสมมติฐานของการแจกแจงแบบปกติของข้อมูลผ่านฮิสโตแกรม ซึ่งจากรูปเป็นการแจกแจงแบบปกติ
- 5 พิจารณาข้อสมมติฐานของการแจกแจงแบบปกติของข้อมูลจากค่า P-Value ในที่นี้มีค่า 0.125 ซึ่งมีค่ามากกว่า เมื่อเทียบกับระดับนัยสำคัญ 0.01 จึงสรุปว่าข้อมูลเป็นการแจกแจงแบบปกติ
- 6 การแปลความหมายของการศึกษาระยะสั้น ซึ่งพบว่าสิ่งกระบวนการควรจะทำให้ หรือมีดัชนีศักยภาพ ($C_p = 3.51$) ในขณะที่สิ่งที่กระบวนการทำได้จริงหรือมีดัชนีสมรรถนะ ($C_{pk} = 3.41$)

และจากข้อมูลในการเก็บตัวอย่างเพื่อตรวจสอบความสามารถของกระบวนการของค่าการสะท้อนแสงของกระจกแบบการศึกษาในระยะสั้นในตารางที่ 1.5 ซึ่งได้ผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์ดังในภาพที่ 4.17



ภาพที่ 4.17 ผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์ความสามารถของกระบวนการของค่าการสะท้อนแสงของกระจกแบบการศึกษาในระยะสั้น

จากผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์ในภาพที่ 4.17 สามารถอธิบายความหมายได้ตามลำดับหมายเลข

1. แผนภูมิควบคุม R เพื่อพิจารณาว่าข้อมูลมีความสม่ำเสมอหรือไม่ จากรูปสถานะมีความสม่ำเสมอ
2. ลักษณะการกระจายตัวของ Individual Chart มีการกระจายตัวที่สม่ำเสมอ แสดงว่าไม่มีความผิดปกติเกิดขึ้นในกระบวนการควบคุม
3. แผนภูมิควบคุม X-bar จากรูปเห็นได้ว่ากระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุม
4. การทดสอบข้อสมมติฐานของการแจกแจงแบบปกติของข้อมูลผ่านฮิสโตแกรม ซึ่งจากรูปเป็นการแจกแจงแบบปกติ
5. พิจารณาข้อสมมติฐานของการแจกแจงแบบปกติของข้อมูลจากค่า P-Value ในที่นี้มีค่า 0.017 ซึ่งมีค่ามากกว่า เมื่อเทียบกับระดับนัยสำคัญ 0.01 จึงสรุปว่าข้อมูลเป็นการแจกแจงแบบปกติ
6. การแปลความหมายของการศึกษาระยะสั้น ซึ่งพบว่าสิ่งกระบวนการควรจะทำให้ หรือมีดัชนีศักยภาพ ($C_p = 7.46$) ในขณะที่สิ่งที่กระบวนการทำได้จริงหรือมีดัชนีสมรรถนะ ($C_{pk} = 0.51$)

จากผลการศึกษาความสามารถของกระบวนการแบบระยะสั้นของทั้งด้านความโค้งของกระจกและด้านการสะท้อนของแสง เราสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.6 และสามารถนำแนวทางการแก้ไขกระบวนการในเรื่องกระบวนการที่ไม่มีความสามารถแบบระยะสั้นจากภาพที่ 1.5 นำมาหาแนวทางแก้ไขกระบวนการการผลิตกระจก โดยมีคำแนะนำสำหรับค่าที่ต่ำที่สุดของ C_p และ C_{pk} เท่ากับ 1.33

ตารางที่ 4.10 สรุปค่าความสามารถของกระบวนการในการศึกษาระยะสั้น และแนวทางการแก้ไขกระบวนการ

ความสามารถของกระบวนการ	C_p	C_{pk}	แนวทางแก้ไขกระบวนการ
ค่าความโค้งของกระจก	3.51 (สูง)	3.41 (สูง)	สถานะที่ต้องการ (ไม่ต้องแก้ไข)
ค่าการสะท้อนของกระจกเงา	7.46 (สูง)	0.51 (ต่ำ)	ปรับค่าเซตตั้ง

จากการสรุปในตารางที่ 4.10 ทำให้ทราบได้ว่าการวิจัยนี้ ความสามารถของกระบวนการด้านค่าความโค้งของกระจกนั้น อยู่ในสถานะที่ต้องการแล้ว ดังนั้นในการวิจัยนี้จะไม่ทำการแก้ไขกระบวนการในพารามิเตอร์ด้านค่าความโค้งของกระจก ส่วนพารามิเตอร์ด้านค่าการสะท้อนของ

กระจกนั้น จะต้องทำการปรับปรุงกระบวนการ โดยมีแนวทางในการปรับปรุงคือทำการปรับค่าเซตตั้งในพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อค่าการสะท้อนของกระจก

4.4 ผลการดำเนินงานวิจัยของขั้นตอนการออกแบบการทดลองเบื้องต้น และผลการทดลองโดยใช้การออกแบบการทดลองทากูชิ

ในขั้นตอนการออกแบบการทดลองเบื้องต้น ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้หลักการออกแบบการทดลองทากูชิ เพื่อทำการกรองปัจจัยและด้วยวิธีการทากูชินั้นมีแบบแผนการทดลองของทากูชิที่นิยมใช้กัน ดังตารางที่ 4.11 โดยวิธีการเลือกใช้แบบแผนการทดลองนั้น จะต้องพิจารณาถึงจำนวนปัจจัยและระดับปัจจัย

ตารางที่ 4.11 แบบแผนการทดลองของทากูชิที่นิยมใช้

Design	# of Levels	# of Factors for the Full Factorial	# of Factors to Maintain Resolution V	# of Factors for Screening
L ₄	2	2	2	3
L ₈	2	3	3	7
L ₉	3	2	-	4
L ₁₂	2	-	-	11
L ₁₆	2	4	5	15
L ₁₈	Mixed	-	-	8
L ₂₇	3	3	-	13

และจากตารางที่ 4.4 เป็นผลจากการระดมสมองที่บอกถึงปัจจัยและค่าของระดับปัจจัยที่อาจส่งผลกระทบต่อการศึกษาของเสียและคุณภาพของกระบวนการผลิตกระจกโครเมียม ซึ่งมีปัจจัยทั้งหมด 6 ปัจจัย และ 1 อันตรกิริยา (Interaction) โดยกำหนดระดับปัจจัยที่ 2 ระดับในแต่ละปัจจัย ดังนั้นจากตารางที่ 4.11 จึงได้แบบแผนการทดลองแบบ L₈ และเนื่องจากในขั้นตอนการออกแบบการทดลองเบื้องต้นนี้มี 6 ปัจจัย 2 ระดับปัจจัย ดังนั้นการเขียนสัญลักษณ์ที่ใช้เรียกแบบแผนการทดลองครั้งนี้คือ L₈2⁶ และจะใช้ตารางการออกแบบการทดลองทากูชิ สำหรับออร์ทอกอนัลแอร์เรย์ชนิดแอล 8 ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 การออกแบบการทดลองทางสถิติ สำหรับออร์ทอกอนัลแอร์เรย์ชนิดแอล 8

Col No	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

และด้วยการทดลองเบื้องต้นด้วยการออกแบบการทดลองทางสถิติที่มีอันตรกิริยา (Interaction) ที่นำมาพิจารณาอยู่ด้วย 1 คู่ จึงจำเป็นต้องนำตารางผลกระทบรวมสองปัจจัยของการออกแบบการทดลองทางสถิติ สำหรับออร์ทอกอนัลแอร์เรย์ชนิดแอล 8 ดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ผลกระทบรวมสองปัจจัยของการออกแบบการทดลองทางสถิติ สำหรับออร์ทอกอนัลแอร์เรย์ชนิดแอล 8

Col No	1	2	3	4	5	6	7
1	(1)	3	2	5	4	7	6
2		(2)	1	6	7	4	5
3			(3)	7	6	5	4
4				(4)	1	2	3
5					(5)	3	2
6						(6)	1
7							(7)

จากตารางที่ 4.13 เรากำหนดให้ปัจจัย A อยู่ในหลักที่ 1 และปัจจัย B อยู่ในหลักที่ 2 ดังนั้นอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย A และ B ($A \times B$ Interaction) จะอยู่ในหลักที่ 3 ฉะนั้นผลการออกแบบการทดลองเบื้องต้นด้วยวิธีการทากูจิ จะได้ดังตารางที่ 4.14 ในการกำหนดให้ปัจจัย A อยู่ในหลักที่ 1 เนื่องจากปัจจัย A นั้นคือ ปัจจัยอุณหภูมิการอบกระเจก ซึ่งต้องใช้เวลาในการเปลี่ยนระดับปัจจัย และเพื่อต้องการลดช่วงเวลาของการทดลองให้น้อยลงรวมทั้งลดค่าใช้จ่ายอันเนื่องจากเวลาที่สูญเสียให้กับการทดลองไป ดังนั้นจึงกำหนดให้ปัจจัย A อยู่ในหลักที่ 1 ซึ่งจากแบบแผนการทดลองนั้นจะเห็นว่าหลักที่ 1 นั้นจะมีการเปลี่ยนระดับปัจจัยเพียงแค่ครั้งเดียวเท่านั้น

ตารางที่ 4.14 ผลการออกแบบการทดลองเบื้องต้นโดยใช้แผนการทดลองแบบ $L_8 2^6$ Orthogonal Array

Run	A	B	$A \times B$	C	D	E	F	Y_1	Y_2	Y_3	Y_R	Y_C
1	1	1	1	1	1	1	1					
2	1	1	1	2	2	2	2					
3	1	2	2	1	1	2	2					
4	1	2	2	2	2	1	1					
5	2	1	2	1	2	1	2					
6	2	1	2	2	1	2	1					
7	2	2	1	1	2	2	1					
8	2	2	1	2	1	1	2					

จากขั้นตอนการดำเนินการทดลองโดยใช้แผนการทดลองแบบ $L_8 2^6$ และได้บันทึกผลลงในตารางที่ 3.10 ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 4.15 ดังนี้

ตารางที่ 4.15 ผลการทดลองแบบ $L_8 2^6$ Orthogonal Array

Run	A	B	A×B	C	D	E	F	Y_1	Y_2	Y_3	\bar{Y}_R	Y_C
1	1	1	1	1	1	1	1	30	8	2	46.90	1258.14
2	1	1	1	2	2	2	2	10	25	5	54.70	1249.64
3	1	2	2	1	1	2	2	27	10	3	54.54	1261.58
4	1	2	2	2	2	1	1	9	26	5	47.24	1270.06
5	2	1	2	1	2	1	2	35	4	1	54.48	1263.76
6	2	1	2	2	1	2	1	11	27	2	47.64	1260.38
7	2	2	1	1	2	2	1	39	1	0	47.58	1278.64
8	2	2	1	2	1	1	2	8	26	6	54.48	1267.42

Y_1 = ชิ้นงานดีไม่มีข้อบกพร่อง

Y_2 = ชิ้นงานมีข้อบกพร่อง แต่อยู่ในข้อกำหนดมาตรฐาน

Y_3 = ชิ้นงานมีข้อบกพร่อง ไม่ผ่านข้อกำหนดมาตรฐาน

Y_R = ค่าการสะท้อนของแสง (หน่วย: %)

Y_C = ค่าความโค้งงอของกระจก (หน่วย: R)

โดย $Y_1 - Y_3$ มีลักษณะข้อมูลเป็น Attribute Data และ Y_R, Y_C มีลักษณะข้อมูลเป็น Variable Data

4.4.1 ผลการหาปัจจัยและระดับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดของเสีย

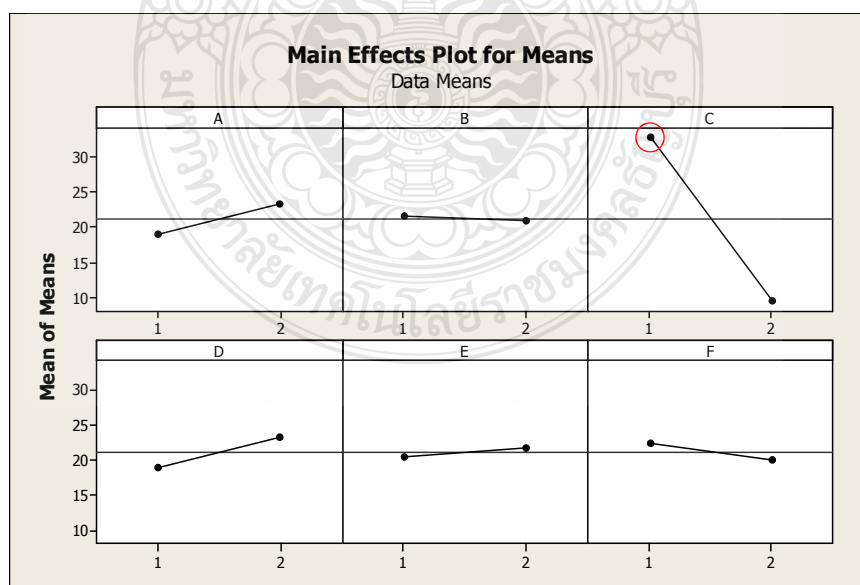
ในขั้นตอนการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองเบื้องต้น จะนำผลการทดลองจากตารางที่ 4.15 มาทำการวิเคราะห์โดยอาศัยโปรแกรมทางสถิติ Minitab Version 15 เพื่อทำการหาปัจจัยและระดับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดของเสียโดยวิธีการทางทฤษฎี โดยในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ต้องการลดจำนวนของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิต ดังนั้นจึงทำการกำหนดค่าผลตอบสนอง (y) โดยใช้หลักการทางทฤษฎีคือ กรณีค่ายิ่งมากยิ่งดี (Larger-The Better) ในที่นี้คือการผลิตของดียิ่งมีค่ายิ่งมากยิ่งดี นั่นคือ ค่าผลตอบสนองของชิ้นงานดีไม่มีข้อบกพร่อง (y_1) ซึ่งได้ผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์ดังภาพที่ 4.18

Taguchi Analysis: Y1 versus A, B, C, D, E, F						
Response Table for Signal to Noise Ratios Larger is better						
Level	A	B	C	D	E	F
1	24.31	25.31	30.22	24.26	24.39	25.32
2	25.40	24.40	19.49	25.45	25.32	24.39
Delta	1.08	0.91	10.72	1.18	0.93	0.93
Rank	3	6	1	2	4	5
Response Table for Means						
Level	A	B	C	D	E	F
1	19.000	21.500	32.750	19.000	20.500	22.250
2	23.250	20.750	19.500	23.250	21.750	20.000
Delta	4.250	0.750	23.250	4.250	1.250	2.250
Rank	2.5	6	1	2.5	5	4

ภาพที่ 4.18 ผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์การทดลองหาปัจจัยและระดับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดของเสีย

จากตาราง Response Table for Means ปัจจัยที่มีผลต่อ \bar{y} ได้แก่ปัจจัย C และ

จากตาราง Response Table for Signal to Noise Ratios ปัจจัยที่มีผลต่อ σ_y ได้แก่ปัจจัย C เนื่องด้วยปัจจัย C มีผลทั้งต่อ \bar{y} และ σ_y ดังนั้นการกำหนดค่าของปัจจัยให้พิจารณา Main Effect Plot for Means



ภาพที่ 4.19 ค่าเฉลี่ยของปัจจัย A, B, C, D, E และ F

จากภาพที่ 4.19 สามารถทำการวิเคราะห์ปัจจัย C (รูปแบบรถเข็น) เนื่องจากต้องการค่า y มีค่ายิ่งมากยิ่งดี ดังนั้นควรเลือกกำหนดปัจจัย C (รูปแบบรถเข็น) ที่ระดับปัจจัย 1 (มีร่อง)

สรุปเบื้องต้นสำหรับการกำหนดระดับปัจจัย กรณีต้องการชิ้นงานดีไม่มีข้อบกพร่อง (y_1) ยิ่งมากยิ่งดี ดังนั้นควรเลือกกำหนด

ปัจจัย A (อุณหภูมิอบ) ที่ ระดับปัจจัย 1 (690 °C) หรือ 2 (740 °C) ค่าใดก็ได้ที่มีต้นทุนต่ำกว่า

ปัจจัย B (ความเร็วสายพาน) ที่ ระดับปัจจัย 1 (15m/min) หรือ 2 (25m/min) ค่าใดก็ได้ที่มีต้นทุนต่ำกว่า

ปัจจัย C (รูปแบบรถเข็น) ที่ ระดับปัจจัย 1 (มีร่อง)

ปัจจัย D (ระบบเครื่องฝนขอบ) ที่ ระดับปัจจัย 1 (ใช้น้ำ) หรือ 2 (พลาสติก) ค่าใดก็ได้ที่มีต้นทุนต่ำกว่า

ปัจจัย E (ระบบกันฝุ่น) ที่ ระดับปัจจัย 1 (พลาสติก) หรือ 2 (แรงดันลม) ค่าใดก็ได้ที่มีต้นทุนต่ำกว่า

ปัจจัย F (เวลาเคลือบ) ที่ ระดับปัจจัย 1 (7 sec) หรือ 2 (10 sec) ค่าใดก็ได้ที่มีต้นทุนต่ำกว่า

4.4.2 ผลการหาปัจจัยและระดับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อลักษณะคุณภาพด้านการสะท้อนแสง

ทำการหาปัจจัยและระดับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ด้านการสะท้อนแสง โดยพิจารณาผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์โดยวิธีการทากูชิ

Taguchi Analysis: Yr versus A, B, C, D, E, F						
Response Table for Signal to Noise Ratios						
Nominal is best ($10 \cdot \log_{10}(\bar{y}^2/s^2)$)						
Level	A	B	C	D	E	F
1	48.67	48.37	48.03	48.11	45.30	45.82
2	44.30	44.60	44.93	44.86	47.67	47.15
Delta	4.37	3.77	3.10	3.25	2.38	1.33
Rank	1	2	4	3	5	6
Response Table for Means						
Level	A	B	C	D	E	F
1	50.84	50.93	50.88	50.89	50.77	47.34
2	51.05	50.96	51.02	51.00	51.12	54.55
Delta	0.20	0.03	0.14	0.11	0.34	7.21
Rank	3	6	4	5	2	1

ภาพที่ 4.20 ผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์การทดลองหาปัจจัยและระดับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ด้านการสะท้อนของแสงโดยวิธีทากูชิ

จากภาพที่ 4.20 ทำการกำหนดค่าผลตอบแทน (y) โดยใช้หลักการทากูชิ คือ กรณีค่าตรงเป้าหมายดีที่สุด (Target-The Better) ในที่นี้คือการผลิตกระจกโครเมียมออกมาแล้วได้ค่าการสะท้อนของแสงที่มีค่าเป้าหมายอยู่ที่ 50% นั่นคือ ค่าผลตอบแทนของค่าการสะท้อนของแสง (y_R) ยิ่งเข้าใกล้ค่าเป้าหมาย 50% ยิ่งมากยิ่งขึ้น

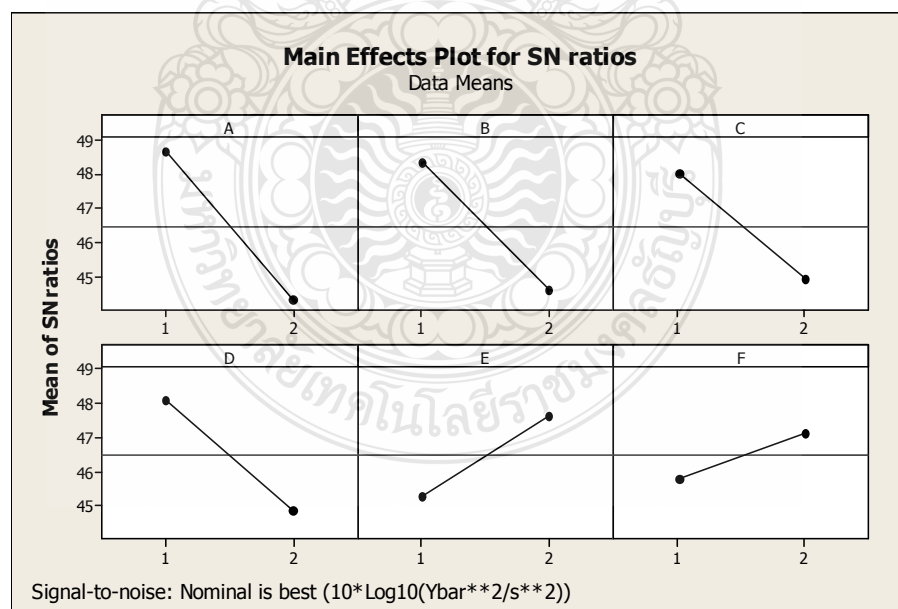
จากตาราง Response Table for Means ปัจจัยที่มีผลต่อ \bar{y} ได้แก่ปัจจัย F และ

จากตาราง Response Table for Signal to Noise Ratios ปัจจัยที่มีผลต่อ σ_y ได้แก่ปัจจัย A, B, C, D, E และ F

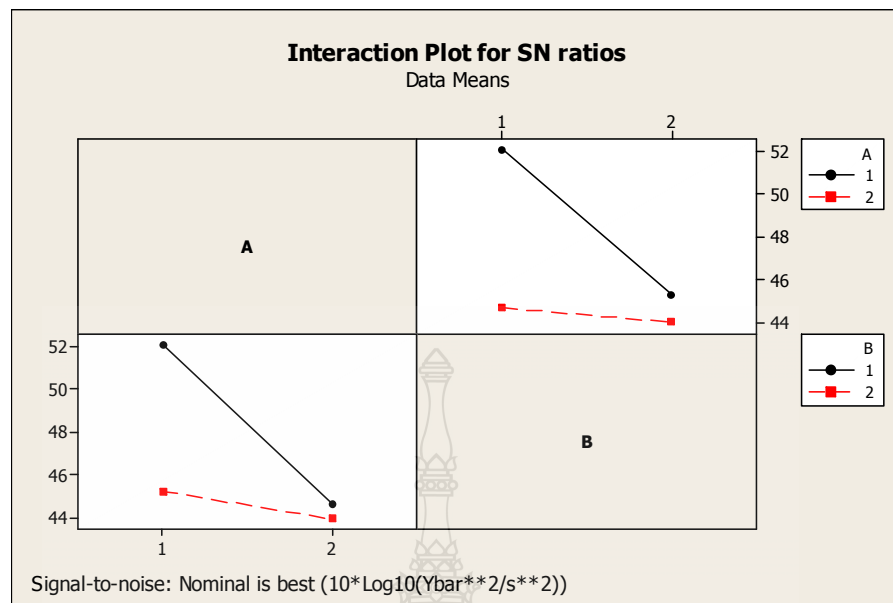
จะเห็นว่าปัจจัย F มีผลต่อ \bar{y} เพียงปัจจัยเดียว และต้องการให้การผลิตมีการเบี่ยงเบนน้อยที่สุด ดังนั้นเราจะต้องทำการปรับค่า σ_y ให้น้อยที่สุด ฉะนั้นจึงต้องกำหนดระดับปัจจัยของปัจจัยอื่นๆ ให้ค่า Signal to Noise Ratio มีค่าสูงๆ ซึ่งสามารถดำเนินการได้ดังนี้

กรณีที่ 1 เนื่องด้วยปัจจัย F มีผลทั้งต่อ \bar{y} และ σ_y ดังนั้นการกำหนดค่าของปัจจัยให้พิจารณา Main Effect Plot for Means

กรณีที่ 2 เนื่องด้วยปัจจัย A, B, C, D, E และ Interaction AB มีผลต่อ σ_y ดังนั้นการกำหนดค่าระดับปัจจัยจึงพิจารณาจากกราฟ Main Effect และ Interaction Plot of Effect for S/N Ratio ดังภาพที่ 4.21



(ก) Main Effect



(๗) Interaction Plot of Effect for S/N Ratio

ภาพที่ 4.21 ค่าเฉลี่ย S/N Ratio ของปัจจัย A, B, C, D, E, F และ Interaction AB

พิจารณา Main Effect Plot for S/N Ratio ของปัจจัย C, D และ E เพราะว่าการค่า \bar{y} โกล้เคียงที่สุด (Nominal Is Best) และต้องการค่า σ_y ให้น้อยที่สุด (เลือก S/N Ratio มากสุด)

ดังนั้นควรเลือกกำหนดปัจจัย C (รูปแบบรถเข็น) ที่ระดับปัจจัย 1 (มีร่อง)

ปัจจัย D (ระบบเครื่องฝนขอบ) ที่ระดับปัจจัย 1 (ใช้น้ำ)

ปัจจัย E (ระบบกันฝุ่นบนสายพาน) ที่ระดับปัจจัย 2 (แรงดันลม)

พิจารณา Interaction Plot for S/N Ratio ของ Interaction AB เพราะว่าการค่า \bar{y} โกล้เคียงที่สุด (Nominal Is Best) และต้องการค่า σ_y ให้น้อยที่สุด (เลือก S/N Ratio มากสุด)

ดังนั้นควรเลือกกำหนดปัจจัย A (อุณหภูมิอบ) ที่ระดับปัจจัย 1 (690 °C)

ปัจจัย B (ความเร็วสายพาน) ที่ระดับปัจจัย 1 (15 m/min.)

จากนั้นใช้วิธีการลองผิดลองถูกเพื่อกำหนดระดับปัจจัย F ให้เหมาะสมและใกล้เคียงค่า 50% มากที่สุด โดยให้ปัจจัยอื่นๆ กำหนดระดับปัจจัยตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น โดยได้ผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์ของการหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมของปัจจัย F ดังภาพที่ 4.22

Taguchi Analysis: Yr versus A, B, C, D, E, F**Predicted values**

S/N Ratio	Mean	StDev	Ln(StDev)
57.1321	54.45	-0.0180367	-2.58078

Factor levels for predictions

A	B	C	D	E	F
1	1	1	1	2	2

Taguchi Analysis: Yr versus A, B, C, D, E, F**Predicted values**

S/N Ratio	Mean	StDev	Ln(StDev)
55.7985	47.24	0.0014201	-2.56903

Factor levels for predictions

A	B	C	D	E	F
1	1	1	1	2	1

ภาพที่ 4.22 ผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์ โดยวิธีการลองผิด-ถูก เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม

จากภาพที่ 4.22 เมื่อทำการกำหนดให้ปัจจัย F อยู่ที่ระดับปัจจัย 2 ได้ค่าเฉลี่ยที่ 54.45% และเมื่ออยู่ที่ระดับปัจจัย 1 ได้ค่าเฉลี่ยที่ 47.24%

สรุปเบื้องต้นสำหรับการกำหนดระดับปัจจัย กรณีต้องการค่าการสะท้อนแสงให้ใกล้เคียงค่าเป้าหมายที่สุดที่ 50%

ดังนั้นควรเลือกกำหนด

ปัจจัย A (อุณหภูมิอบ) ที่ ระดับปัจจัย 1 (690 °C)

ปัจจัย B (ความเร็วสายพาน) ที่ ระดับปัจจัย 1 (15m/min)

ปัจจัย C (รูปแบบรถเข็น) ที่ ระดับปัจจัย 1 (มีร่อง)

ปัจจัย D (ระบบเครื่องฝนขอบ) ที่ ระดับปัจจัย 1 (ใช้น้ำ)

ปัจจัย E (ระบบกันฝุ่น) ที่ ระดับปัจจัย 2 (แรงดันลม)

ปัจจัย F (เวลาเคลือบ) ที่ ระดับปัจจัย 1 (7 sec)

4.4.3 ผลการหาปัจจัยและระดับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อลักษณะคุณภาพด้านค่าความโค้งของกระจก ผลการทดลองสุดท้ายของการทดลองเบื้องต้นในการดำเนินการหาปัจจัยและระดับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ในหัวข้อสุดท้ายคือ ในเรื่องของค่าความโค้งของกระจก โดยพิจารณาผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์โดยวิธีการทางทฤษฎีได้ดังภาพที่ 4.23

Taguchi Analysis: Yc versus A, B, C, D, E, F						
Response Table for Signal to Noise Ratios Nominal is best ($10 \cdot \log_{10}(\bar{Y}^2/s^2)$)						
Level	A	B	C	D	E	F
1	37.21	36.89	39.25	40.39	39.93	39.28
2	41.74	42.06	39.71	38.57	39.02	39.68
Delta	4.53	5.17	0.46	1.82	0.91	0.40
Rank	2	1	5	3	4	6
Response Table for Means						
Level	A	B	C	D	E	F
1	1258	1256	1264	1260	1263	1265
2	1268	1269	1262	1266	1263	1261
Delta	9	13	2	5	1	5
Rank	2	1	5	3	6	4

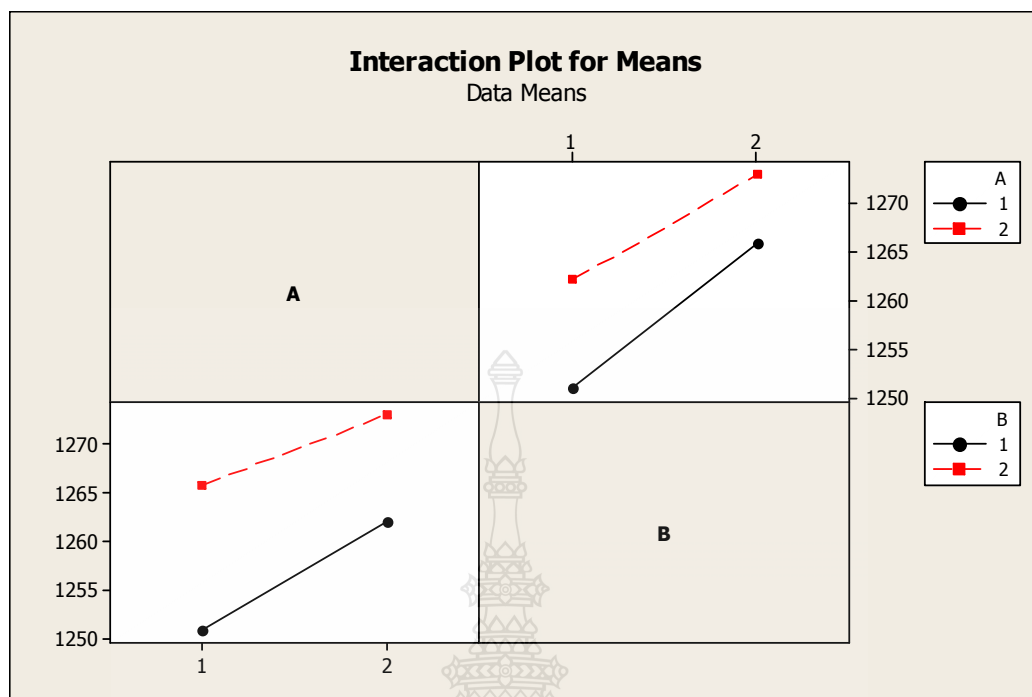
ภาพที่ 4.23 ผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์การทดลองหาปัจจัยและระดับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ด้านค่าความโค้งของกระจกโดยวิธีทฤษฎี

จากภาพที่ 4.23 ทำการกำหนดค่าผลตอบสนอง (y) โดยใช้หลักการทฤษฎีคือ กรณีค่าตรงเป้าหมายดีที่สุด (Target-The Better) ในที่นี้คือการผลิตกระจกโครเมียมออกมาแล้วได้ค่าความโค้งของกระจกที่มีค่าเป้าหมายอยู่ที่ R1250 นั่นคือ ค่าผลตอบสนองของค่าความโค้งของกระจก (y_c) ยิ่งเข้าใกล้ค่าเป้าหมาย R1250 ยิ่งมากยิ่งขึ้น

จากตาราง Response Table for Means ปัจจัยที่มีผลต่อ \bar{y} ได้แก่ปัจจัย A, B และ Interaction AB

จากตาราง Response Table for Signal to Noise Ratios ปัจจัยที่มีผลต่อ σ_y ได้แก่ปัจจัย A, B และ Interaction AB

จะเห็นได้ว่าปัจจัย A, B และ Interaction AB มีผลต่อ \bar{y} และ σ_y ดังนั้นการกำหนดค่าของระดับปัจจัยให้พิจารณา Interaction Plot for Means ดังภาพที่ 4.24



ภาพที่ 4.24 กราฟ Interaction AB

จากภาพที่ 4.24 จะต้องกำหนดให้ปัจจัย A (อุณหภูมิอบ) อยู่ที่ระดับปัจจัย 1 (690 °C) และปัจจัย B (ความเร็วสายพาน) อยู่ที่ระดับปัจจัย 1 (15 m/min.) จึงจะได้ค่าความโค้งงอของกระจกโกสี้ค่าเป้าหมายที่ R1250 ที่สุด ซึ่งอยู่ที่ R1250.89 ส่วนปัจจัยอื่นๆ ไม่มีอิทธิพลต่อค่าความโค้งงอของกระจก ดังนั้นการค่าระดับปัจจัยของปัจจัยอื่นๆ นั้นจะไม่ส่งผลกระทบต่อค่าความโค้งงอของกระจก

สรุปเบื้องต้นสำหรับการกำหนดระดับปัจจัย กรณีต้องการค่าความโค้งงอของกระจกให้ใกล้เคียงค่าเป้าหมายที่สุดที่ R1250 ดังนั้นควรเลือกกำหนด

ปัจจัย A (อุณหภูมิอบ) ที่ ระดับปัจจัย 1 (690 °C)

ปัจจัย B (ความเร็วสายพาน) ที่ ระดับปัจจัย 1 (15m/min)

ปัจจัย C (รูปแบบรถเข็น) ที่ ระดับปัจจัย 1 (มีร่อง)

ปัจจัย D (ระบบเครื่องฝนขอบ) ที่ ระดับปัจจัย 1 (ใช้น้ำ) หรือ 2 (พลาสติก) ค่าใดก็ได้ที่มีต้นทุนต่ำกว่า

ปัจจัย E (ระบบกันฝุ่น) ที่ ระดับปัจจัย 1 (พลาสติก) หรือ 2 (แรงดันลม) ค่าใดก็ได้ที่มีต้นทุนต่ำกว่า

ปัจจัย F (เวลาเคลือบ) ที่ ระดับปัจจัย 1 (7 sec) หรือ 2 (10 sec) ค่าใดก็ได้ที่มีต้นทุนต่ำกว่า

จากภาพที่ 4.24 พิจารณาความเป็นอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยของ ปัจจัย A และปัจจัย B จะพบว่าความเป็นอิทธิพลร่วมกันระหว่างปัจจัยนั้นมีน้อย เนื่องจากเส้นกราฟระหว่างปัจจัยไม่ตัดกัน มีเพียงแค่นวนโค้งที่เข้าหากันเท่านั้น ในความคิดเห็นของผู้วิจัยเห็นว่าในการเริ่มต้นของการออกแบบค่าพารามิเตอร์ของค่าอุณหภูมิการอบ และเวลาที่ใช้ในการอบซึ่งแปรผันตรงกับค่าความเร็วสายพานที่ใช้ลำเลียงแผ่นกระจกเข้าอบความโค้งนั้น มีค่าที่เหมาะสมอยู่แล้ว กล่าวคือหากจะทำการปรับค่าของพารามิเตอร์ทั้งสองไปอยู่ที่ค่าใดก็ได้ที่อยู่ในช่วงการใช้งานของทั้งสองพารามิเตอร์แล้ว จะไม่ส่งผลกับค่าตอบสนองในเรื่องค่าความโค้งของกระจก

จากการทดลองเบื้องต้นในขั้นการกรองปัจจัยด้วยวิธีการทากูชินั้นทั้งวัตถุประสงค์ความต้องการให้เกิดสัดส่วนของเสียที่น้อยที่สุด ความต้องการลักษณะคุณภาพด้านค่าความโค้งของกระจกเข้าใกล้เป้าหมายที่สุดที่ R1250 และความต้องการลักษณะคุณภาพด้านการสะท้อนของแสงเข้าใกล้เป้าหมายที่สุดที่ 50% จึงมีข้อสรุปในเบื้องต้นสำหรับการกำหนดระดับปัจจัยดังนี้

ควรเลือกกำหนด

ปัจจัย A (อุณหภูมิอบ) ที่ ระดับปัจจัย 1 (690 °C)

ปัจจัย B (ความเร็วสายพาน) ที่ ระดับปัจจัย 1 (15m/min)

ปัจจัย C (รูปแบบรถเข็น) ที่ ระดับปัจจัย 1 (มีร่อง)

ปัจจัย D (ระบบเครื่องฝนขอบ) ที่ ระดับปัจจัย 1 (ใช้น้ำ)

ปัจจัย E (ระบบกันฝุ่น) ที่ ระดับปัจจัย 2 (แรงดันลม)

ปัจจัย F (เวลาเคลือบ) ที่ ระดับปัจจัย 1 (7 sec)

ซึ่งจะสามารถตอบสนองความต้องการทั้ง 3 คุณลักษณะดังที่กล่าวไว้แล้วข้างต้นได้

4.5 ผลการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองเบื้องต้น

4.5.1 ผลของการทำการกรองปัจจัยและลดจำนวนการทดลองโดยใช้วิธีการทากูชิ

จะเป็นการเปรียบเทียบถึงในการทำการกรองปัจจัยและจำนวนที่ลดได้ของจำนวนทดลอง โดยเปรียบเทียบกับประเภทการทดลองแบบต่างๆ กับการทดลองโดยวิธีการทากูชิ ดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 การเปรียบเทียบประเภทการทดลองแบบต่างๆ กับการทดลองวิธีทากูชิ

การทดลอง	ปัจจัย	ระดับปัจจัย	สัญลักษณ์	จำนวนการทดลอง
เชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k	6	2	2^6	64
แฟกทอเรียลบางส่วน 2^{k-p}	6	2	2^{6-1}	32
วิธีทากูชิ แบบ L_8	6	2	$L_8 2^6$	8

จากตารางที่ 4.16 จะเห็นได้ว่าการกรองปัจจัยโดยใช้หลักการออกแบบการทดลองโดยวิธีทากูชินั้นสามารถลดจำนวนการทดลองได้มากที่สุด ทั้งนี้จะส่งผลต่อการ ลดเวลา และค่าใช้จ่ายในการทดลองได้มากที่สุดด้วย แต่ทั้งนี้ในขั้นตอนของการระดมสมองนั้น สมาชิกต้องทำการคำนึงถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดของเสีย และสิ่งที่มีอิทธิพลต่อลักษณะคุณภาพให้ครอบคลุมมากที่สุด จึงจะสามารถได้รับประโยชน์สูงสุดต่อการใช้หลักการของทากูชิ

4.5.2 ผลของการหาปัจจัยและระดับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดของเสียและคุณลักษณะด้านคุณภาพ ในกระบวนการผลิตกระจกโครเมียม

ในหัวข้อของการสรุปผลของการหาปัจจัยและระดับปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดของเสีย และลักษณะคุณภาพต่อการผลิตกระจกนั้น จะประกอบไปด้วย 3 ส่วน ดังนี้

1) อิทธิพลที่ก่อให้เกิดของเสีย จากการทดลองโดยใช้หลักการทากูชินั้นพบว่า ปัจจัยที่มีนัยสำคัญที่ก่อให้เกิดของเสียในกระบวนการผลิตนั้นคือ ปัจจัยรูปแบบรถเข็น โดยมีระดับปัจจัยที่พื้นรองกระจกที่มีร่องวางกระจก

2) อิทธิพลที่มีผลต่อลักษณะคุณภาพด้านการสะท้อนของแสง จากการทดลองโดยใช้หลักการทากูชินั้นพบว่า ปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อลักษณะคุณภาพด้านการสะท้อนของแสงนั้นคือ ปัจจัยเวลาในการเคลือบโครเมียม โดยมีระดับปัจจัยที่ เวลาที่ใช้ในการเคลือบที่ 7 วินาที นั้นจะส่งผลให้ค่าการสะท้อนของแสงนั้นเข้าใกล้ค่าเป้าหมายที่สุดที่ 47.24% โดยมีค่าเป้าหมายอยู่ที่ 50%

3) อิทธิพลที่มีผลต่อลักษณะคุณภาพด้านค่าความโค้งของกระจก จากการทดลองโดยใช้หลักการทากูชินั้นพบว่า ปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อลักษณะคุณภาพด้านค่าความโค้งของกระจกนั้นคือ

ปัจจัยอุณหภูมิอบ ปัจจัยความเร็วสายพาน และอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยอุณหภูมิกับปัจจัยความเร็วสายพาน (Interaction AB) โดยระดับปัจจัยที่ 690 °C ของอุณหภูมิอบ และระดับปัจจัยที่ 15 m/min. ของความเร็วสายพานนั้นจะส่งผลให้ค่าความโค้งของกระจกเข้าใกล้เป้าหมายที่สุดที่ R1250.89 โดยมีเป้าหมายอยู่ที่ R1250

4.5.3 สรุปผลการทดลองเบื้องต้น

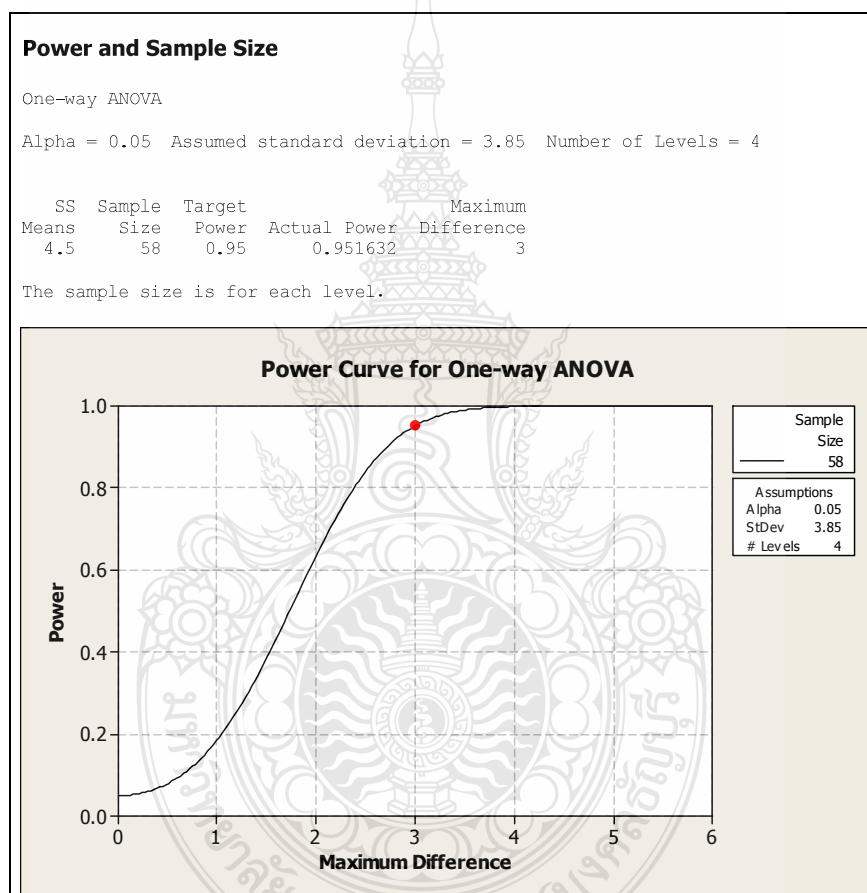
ในการทดลองขั้นต้นของงานวิจัยนี้ ทำขึ้นเพื่อทำการกรองปัจจัย โดยมีวัตถุประสงค์คือ ลดจำนวนการทดลอง โดยใช้ Alternative DOE เพื่อทำการหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อกระบวนการผลิตกระจกทั้งในด้านการเกิดของเสียและลักษณะคุณภาพ ซึ่งปัจจัยที่ทำให้เกิดของเสียนั้น เราทราบถึงปัจจัยนั้นแล้ว และด้วยลักษณะข้อมูลของปัจจัยที่ทำให้เกิดของเสียนั้นคือ รูปแบบรตเงิน โดยมีระดับปัจจัยที่พื้นรองกระจกที่มีร่องวางกระจก ซึ่งเป็นลักษณะข้อมูลแบบนับได้ (Attribute Data) และผลลัพธ์ของการทดลองนั้นได้ผลลัพธ์ที่ดีอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ผู้วิจัยจึงหยุดดำเนินการทดลองไว้ในขั้นตอนนี้

ส่วนลักษณะคุณภาพด้านการสะท้อนของแสง พบว่าปัจจัยเวลาในการเคลือบโครเมียมมีนัยสำคัญ และจะนำปัจจัยนี้ไปทำการทดลองต่อโดยใช้ Classic DOE เพื่อเพิ่มความเชื่อมั่นในการทดลอง

และสุดท้ายเป็นส่วนของลักษณะคุณภาพด้านค่าความโค้งของกระจกพบว่าการทดสอบด้านความสามารถของกระบวนการมีค่าอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ เป็นสถานะที่ต้องการอยู่แล้วไม่ต้องเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ใดๆ และในขั้นตอนการหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความโค้ง พบว่ามีเพียงปัจจัยอุณหภูมิการอบกระจก ปัจจัยความเร็วของสายพานในการลำเลียงกระจกเข้าอบและอิทธิพลร่วมของทั้งสองปัจจัย โดยปัจจัยอื่นๆ ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับลักษณะคุณภาพด้านค่าความโค้งของกระจกเลย อีกทั้งระดับของปัจจัยของทั้งสองตั้งแต่ด้านต่ำสุดถึงสูงสุด ถูกควบคุมไว้อยู่แล้วในเรื่องของมาตรฐานการปฏิบัติงานการผลิต และเพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการทดลอง รวมถึงเรื่องของเวลาในการทดลอง ที่จะต้องรอการปรับอุณหภูมิในการอบซึ่งต้องใช้เวลามาก ผู้วิจัยจึงหยุดดำเนินการทดลองไว้ในขั้นของ Alternative DOE แต่หากต้องการค่าความโค้งของกระจกที่เข้าใกล้ค่าเป้าหมายมากที่สุด โดยอ้างอิงจากการทดลองโดยใช้หลักการทางทฤษฎี ควรปรับระดับปัจจัยที่ 690 °C ของอุณหภูมิอบ และระดับปัจจัยที่ 15 เมตรต่อนาที ของความเร็วสายพาน

4.6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว

ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียวนั้นอยู่ในส่วนของ Classic DOE ซึ่งก่อนจะนำปัจจัยมาทำการวิเคราะห์นั้น จะต้องทำการกำหนดระดับปัจจัย ซึ่งควรอยู่ที่ 4-5 ระดับ และต้องครอบคลุมทั้งช่วงการใช้งานของปัจจัย อีกทั้งยังต้องทำการออกแบบจำนวนการทำการทดลองซ้ำ (Replicate Design) เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของการทดลอง และให้การทดลองอยู่ในเกณฑ์ของการออกแบบการทดลองที่ดี ซึ่งผลการออกแบบจำนวนการทำการทดลองซ้ำเป็นไปดังภาพที่ 4.25



ภาพที่ 4.25 ผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์ในการออกแบบจำนวนการทดลองซ้ำ

จากผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์ในภาพที่ 4.25 จะได้จำนวนการทดลองซ้ำ หรือจำนวนตัวอย่างการทดลอง ซึ่งได้ผลออกมาเป็นจำนวน 58 ตัวอย่าง ในแต่ละการทดลอง หรือในแต่ละระดับปัจจัย และมีผลการทดลองการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดี่ยวดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 ผลการทดลองการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว

การทดลอง	เวลาในการเคลือบโครเมียม			
	7 วินาที	8 วินาที	9 วินาที	10 วินาที
1	47.2	49.8	52.4	54.6
2	47.5	50.0	52.3	54.4
3	47.3	50.4	52.8	54.8
4	47.7	49.9	52.1	54.6
5	47.5	50.1	52.4	54.5
6	47.1	50.5	52.8	54.8
7	47.6	49.9	52.0	54.9
8	47.2	50.4	52.5	54.1
9	47.9	49.7	52.3	54.4
10	47.6	49.9	52.4	54.8
11	47.8	50.1	52.1	54.6
12	47.2	49.8	52.8	54.2
13	47.1	50.4	52.9	54.6
14	47.8	49.8	52.1	54.7
15	47.9	50.1	52.4	54.8
16	47.4	50.6	52.7	54.9
17	47.6	50.4	52.6	54.1
18	47.1	50.8	52.7	54.3
19	47.8	50.4	52.1	54.5
20	47.9	50.6	52.0	54.4
21	47.3	50.3	52.8	54.9
22	47.6	49.9	52.3	54.6
23	47.9	50.4	52.4	54.1
24	47.3	49.8	52.8	54.8
25	47.5	50.5	52.7	54.7
26	47.1	50.6	52.4	54.6
27	47.9	50.8	52.6	54.1
28	47.4	49.8	52.4	54.5
29	47.0	49.9	52.1	54.3
30	47.6	50.2	52.7	54.0

ตารางที่ 4.17 ผลการทดลองการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว (ต่อ)

การทดลอง	เวลาในการเคลือบโครเมียม			
	7 วินาที	8 วินาที	9 วินาที	10 วินาที
31	47.9	50.1	52.4	54.9
32	47.4	50.7	52.1	54.7
33	47.3	49.9	52.9	54.2
34	47.9	50.3	52.0	54.3
35	47.4	50.4	52.6	54.6
36	47.9	50.5	52.4	54.8
37	47.6	50.9	52.7	54.6
38	47.2	50.7	52.3	54.2
39	47.4	50.2	52.8	54.7
40	47.3	50.8	52.4	54.3
41	47.9	50.3	52.1	54.4
42	47.7	49.8	52.6	54.6
43	47.5	49.7	52.4	54.2
44	47.2	50.1	52.7	54.8
45	47.1	50.3	52.9	54.9
46	47.6	50.5	52.1	54.3
47	47.7	50.8	52.6	54.7
48	47.5	49.9	52.3	54.8
49	47.9	50.2	52.1	54.3
50	47.1	50.4	52.4	54.1
51	47.6	50.6	52.7	54.8
52	47.8	50.4	52.8	54.5
53	47.4	49.9	52.4	54.3
54	47.6	50.3	52.6	54.1
55	47.4	50.1	52.1	54.9
56	47.6	50.6	52.3	54.7
57	47.2	50.4	52.4	54.3
58	47.7	50.1	52.6	54.9

จากตารางที่ 4.17 นำผลการทดลองมาทำการวิเคราะห์ด้วย Minitab Program โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการทราบว่า มีความแตกต่างในค่าการสะท้อนแสงของกระจกที่เกิดจากการใช้ เวลาในการเคลือบโครเมียมทั้ง 4 ค่าหรือไม่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และควรใช้ค่าเวลาในการเคลือบ โครเมียมเท่าใด ถ้าต้องการให้ค่าการสะท้อนแสงของกระจกมีค่าใกล้เคียง 50% มากที่สุด โดยมี

สมมุติฐานงานวิจัย: ค่าการสะท้อนแสงของกระจกที่เกิดจากการใช้เวลาในการเคลือบ โครเมียมทั้ง 4 ค่าไม่มีความแตกต่างกัน

กำหนดให้: μ_7 แทนค่าเฉลี่ยการสะท้อนแสงที่เกิดจากการใช้เวลา 7 วินาที

μ_8 แทนค่าเฉลี่ยการสะท้อนแสงที่เกิดจากการใช้เวลา 8 วินาที

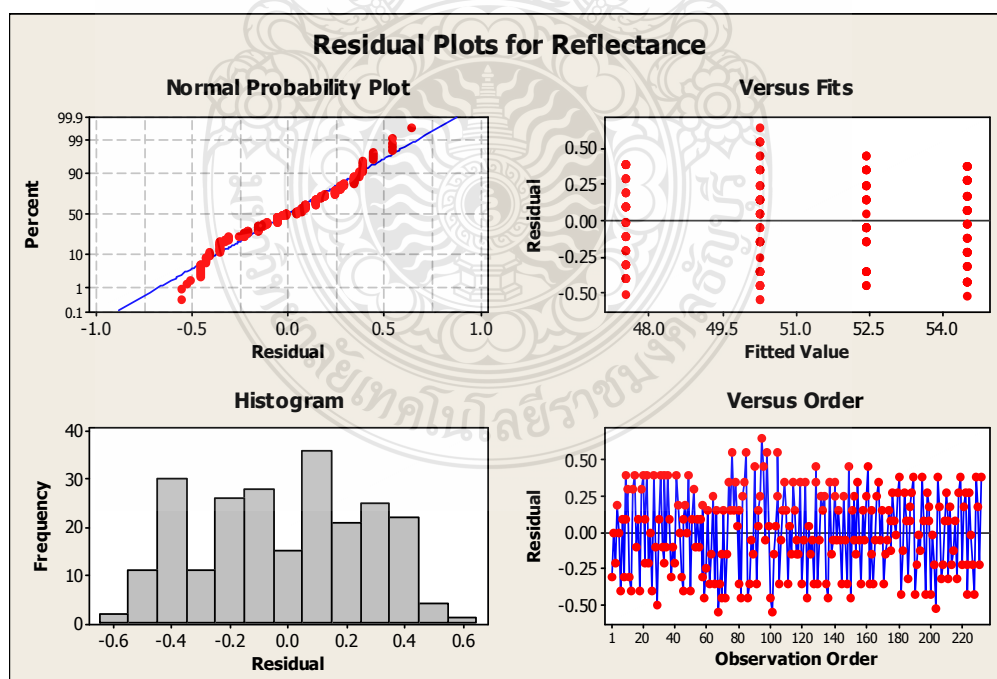
μ_9 แทนค่าเฉลี่ยการสะท้อนแสงที่เกิดจากการใช้เวลา 9 วินาที

μ_{10} แทนค่าเฉลี่ยการสะท้อนแสงที่เกิดจากการใช้เวลา 10 วินาที

สมมุติฐานทางสถิติ: $H_0: \mu_7 = \mu_8 = \mu_9 = \mu_{10}$

$H_1: \mu_7 \neq \mu_8 \neq \mu_9 \neq \mu_{10}$

ซึ่งก่อนทำการวิเคราะห์ผลจะต้องทำการทดสอบความพอเพียงของแบบจำลอง (Model Adequacy Check) ซึ่งได้ผลการทดสอบดังภาพที่ 4.26



ภาพที่ 4.26 ความพอเพียงของแบบจำลอง

พิจารณากราฟ Residual Plots ดังนี้

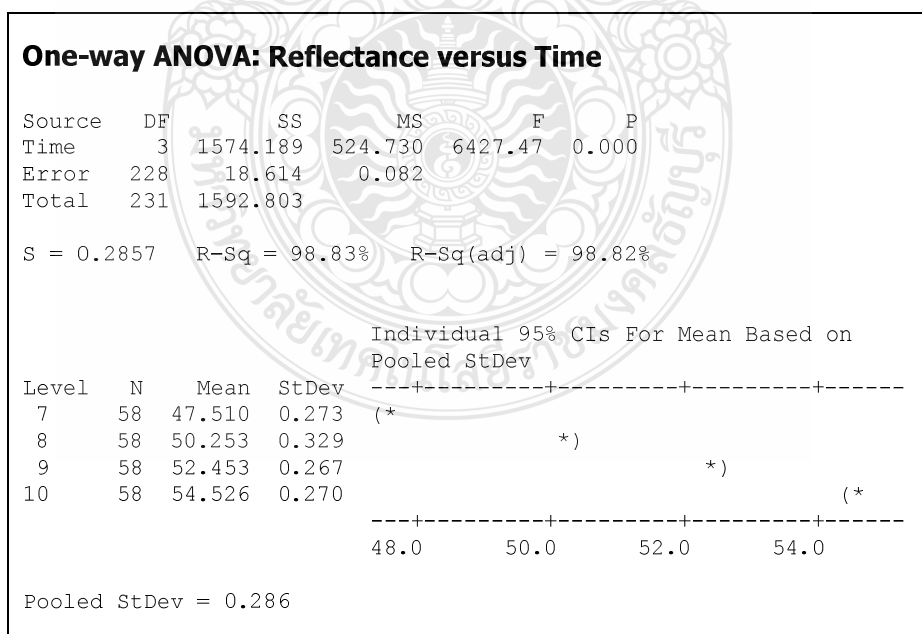
Normal Probability Plot เพื่อตรวจดูลักษณะการกระจายที่ไม่เป็นปกติ (Non Normality) การที่จุดบนกราฟเรียงตัวกันเป็นลักษณะเส้นตรงแสดงว่าเศษเหลือ (Residual) มีการกระจายแบบปกติ

Histogram of The Residuals เพื่อตรวจดู 1.จุดโค้ง (Peak) หลายๆ จุด 2.Outliers 3.ลักษณะการกระจายที่ไม่เป็นปกติ ฮิสโตแกรมควรจะมีรูปทรงสมมาตรและเป็นรูประฆังคว่ำ จากภาพฮิสโตแกรมมีลักษณะใกล้เคียงรูประฆังคว่ำแสดงว่ามีการกระจายที่เป็นปกติ

Residuals Versus the Fitted Values เพื่อตรวจดู 1. การกระจายตัวของค่าเศษเหลือในแต่ละย่านของข้อมูล 2. ความสัมพันธ์ในเชิงเส้นโค้ง (Higher-Order Terms) 3. Outliers ลักษณะของกราฟควรมีการกระจายแบบสุ่มรอบค่า 0 จากรูปกราฟไม่มีลักษณะเป็นรูปตัว V แสดงว่าค่าความแปรปรวนเท่ากัน

Residuals Versus Order เพื่อตรวจดูว่าค่าเศษเหลือขึ้นอยู่กับเวลาที่เปลี่ยนไปในการเก็บข้อมูลหรือไม่ บนกราฟนี้ไม่ควรปรากฏลักษณะของแนวโน้มหรือรูปแบบใดๆ อย่างชัดเจน

สรุป ข้อมูลการสะท้อนแสงของกระจกที่เกิดจากการใช้เวลาในการเคลือบโครเมียมทั้ง 4 ค่านั้น ในกราฟเศษเหลือแบบ 4 กราฟใน 1 รูป (Four-In-One) ไม่แสดงลักษณะใดๆ ซึ่งขัดแย้งกับลักษณะที่อธิบายไว้ข้างต้น ดังนั้นสรุปได้ว่าผลการวิเคราะห์ One-Way ANOVA นี้อธิบายเกี่ยวกับข้อมูลได้อย่างดี และจะสามารถทำการอ่านและวิเคราะห์ผลได้จากภาพที่ 4.27



ภาพที่ 4.27 ผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว

การแปลผล ด้วยกระบวนการตัดสินใจสำหรับการทดสอบสมมติฐานนั้น อยู่บนพื้นฐานของความน่าจะเป็นทางสถิติ หรือที่เรียกว่า P-Value ที่ได้จากการทดสอบ

จากผลการทดสอบ

ค่า P-Value = 0.00

$\alpha = 0.05$

ถ้าค่า P-Value < α ให้ทำการปฏิเสธ H_0

P-Value $\geq \alpha$ ให้ทำการยอมรับ H_0

ดังนั้น จึงทำการปฏิเสธ H_0 (มีความแตกต่างในค่าการสะท้อนแสงของกระจกที่เกิดจากการใช้เวลาในการเคลือบโครเมียมต่างกันทั้ง 4 ค่า)

สรุป ไม่มีเหตุผลเพียงพอที่จะยอมรับว่าค่าการสะท้อนแสงของกระจกที่เกิดจากการใช้เวลาในการเคลือบโครเมียมต่างกันทั้ง 4 ค่า ไม่มีความแตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และควรเลือกใช้ เวลาในการเคลือบโครเมียมที่ 8 วินาที เนื่องจากให้ค่าเฉลี่ยในค่าการสะท้อนแสงของกระจกมีค่าใกล้เคียง 50% ที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 50.253% และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.329 และหากพิจารณา รวมถึงความสัมพันธ์กับเวลาที่ใช้ในการเคลือบโครเมียมค่าอื่น จะพบว่าไม่มีค่าเวลาใดมีความสัมพันธ์กันเลย

4.7 การนำผลที่ได้ไปใช้งานและสรุปผลจากการดำเนินการวิจัย

4.7.1 การนำผลที่ได้ไปใช้งาน

เป็นการนำผลที่ได้จากทดลองไปปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของแต่ละปัจจัย รวมทั้งเป็นการทดสอบเพื่อยืนยันผลสรุปของค่าปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญ โดยจะทำการปรับค่าปัจจัยนำเข้าตามค่าที่ได้กำหนดไว้จากผลการทดลองคือ ปัจจัยรูปแบบรถเงิน โดยมีระดับปัจจัยที่พื้นรองกระจกมีร่องวางกระจก เพื่อลดของเสียจากกระบวนการผลิตกระจกโครเมียม ปัจจัยอุณหภูมิอบ ปัจจัยความเร็วสายพานและอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยอุณหภูมิอบกับปัจจัยความเร็วสายพาน (Interaction AB) โดยกำหนดระดับปัจจัยอุณหภูมิอบที่ระดับ 690°C กำหนดระดับปัจจัยความเร็วสายพานที่ระดับ 15 m/min เพื่อปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ด้านค่าความโค้งของกระจก และสุดท้ายปัจจัยเวลาในการเคลือบโครเมียม กำหนดระดับปัจจัยที่เวลาในการเคลือบ 8 วินาที ซึ่งการทดสอบยืนยันผลการวิจัยได้กำหนดจำนวนเวลาการผลิตไว้ที่ 20 วัน ทำการ และนำผลการทดสอบยืนยันผลการวิจัย โดยนำไปวัดความสามารถของกระบวนการแบบกรณีการศึกษาระยะยาว โดยใช้ตารางการบันทึกผลจากตารางที่ 3.7 สำหรับค่าการสะท้อนแสงและค่าความโค้งของกระจก ดังแสดงผลได้ในตารางที่ 4.16 สำหรับค่า

การสะท้อนแสง และในตารางที่ 4.16 สำหรับค่าความโค้งของกระจก ส่วนตารางที่ 4.18 เป็นการบันทึกผลด้านสัดส่วนของเสียและประเภทของเสีย และสามารถสรุปผลค่าพารามิเตอร์ต่างๆในแต่ละปัจจัยได้ดังตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 การกำหนดระดับปัจจัยเพื่อให้ตรงตามวัตถุประสงค์งานวิจัย

สัญลักษณ์	ปัจจัย	ระดับของปัจจัย
A	อุณหภูมิอบ	690 °C
B	ความเร็วสายพาน	15 m/min
C	รูปแบบรถเข็น	มีร่องวางกระจก
D	ระบบเครื่องฝนขอบ	ใช้น้ำป้องกันเศษกระจก
E	กันฝุ่นบนสายพาน	แรงดันลมป้องกันฝุ่นติดกระจก
F	เวลาเคลือบโครเมียม	8 วินาที

นำการกำหนดระดับปัจจัยดังตารางที่ 4.18 มาทำการปรับเงื่อนไขต่างๆ สำหรับกระบวนการผลิตกระจกโครเมียม และดำเนินการผลิตและทำการลงบันทึกผลลงในตารางที่ 4.19 และตารางที่ 4.20

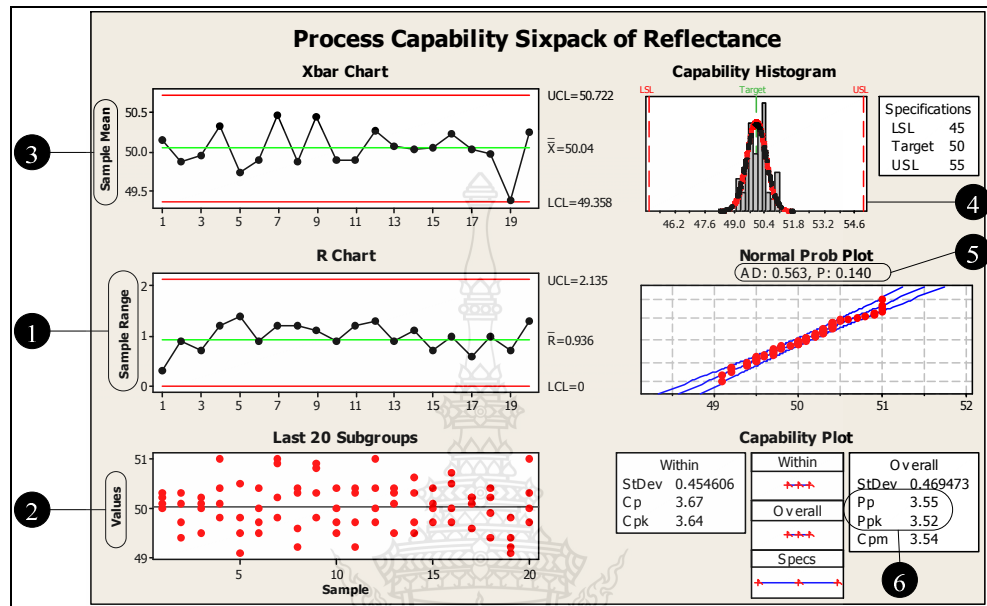


ตารางที่ 4.19 ผลการเก็บข้อมูลสำหรับการศึกษาความสามารถของกระบวนการระยะยาว สำหรับค่าการสะท้อนแสง

ชื่อชิ้นงาน: กระจกโครเมียม ข้อกำหนด: 50% ± 5%		กระบวนการ: QA Final														แผนภูมิที่ 1/1					
พารามิเตอร์: ค่าความโค้ง ค่าการสะท้อนแสง		ฝ่าย: ประกันคุณภาพ														พนักงาน:					
วันที่		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ค่าที่วัด (เวลา)	09:00	50.0	49.4	50.0	49.8	49.8	50.4	50.9	50.3	50.9	49.7	50.3	50.0	50.1	50.6	50.0	50.7	50.1	49.4	49.4	49.7
	11:00	50.3	50.3	50.1	50.1	50.5	49.7	50.2	50.4	50.8	50.0	49.2	50.4	49.5	50.3	50.1	49.7	50.2	50.2	49.2	50.0
	13:00	50.2	50.1	49.5	51.0	49.5	50.0	49.8	49.6	50.3	49.5	50.4	49.7	50.3	49.5	49.7	50.0	49.6	50.4	49.8	50.3
	16:00	50.1	49.7	50.2	50.4	49.1	49.5	51.0	49.2	49.8	50.4	49.7	51.0	50.4	49.7	50.4	50.5	50.2	49.9	49.1	51.0
ผลรวม		200.6	199.5	199.8	201.3	198.9	199.6	201.9	199.5	201.8	199.6	199.6	201.1	200.3	200.1	200.2	200.9	200.1	199.9	197.5	201.0
ค่าเฉลี่ย (\bar{x})		50.2	49.9	50.0	50.3	49.7	49.9	50.5	49.9	50.5	49.9	49.9	50.3	50.1	50.0	50.1	50.2	50.0	50.0	49.4	50.3
พิสัย (R)		0.3	0.9	0.7	1.2	1.4	0.9	1.2	1.2	1.1	0.9	1.2	1.3	0.9	1.1	0.7	1.0	0.6	1.0	0.7	1.3



นำผลจากตารางที่ 4.18 มาทำการหาค่าความสามารถของกระบวนการระยะยาว สำหรับค่าการสะท้อนแสง ดังภาพที่ 4.28



ภาพที่ 4.28 ค่าความสามารถของกระบวนการกรณีศึกษาระยะยาวสำหรับค่าการสะท้อนแสง

จากผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์ในภาพที่ 4.28 สามารถอธิบายความหมายได้ตามลำดับหมายเลข

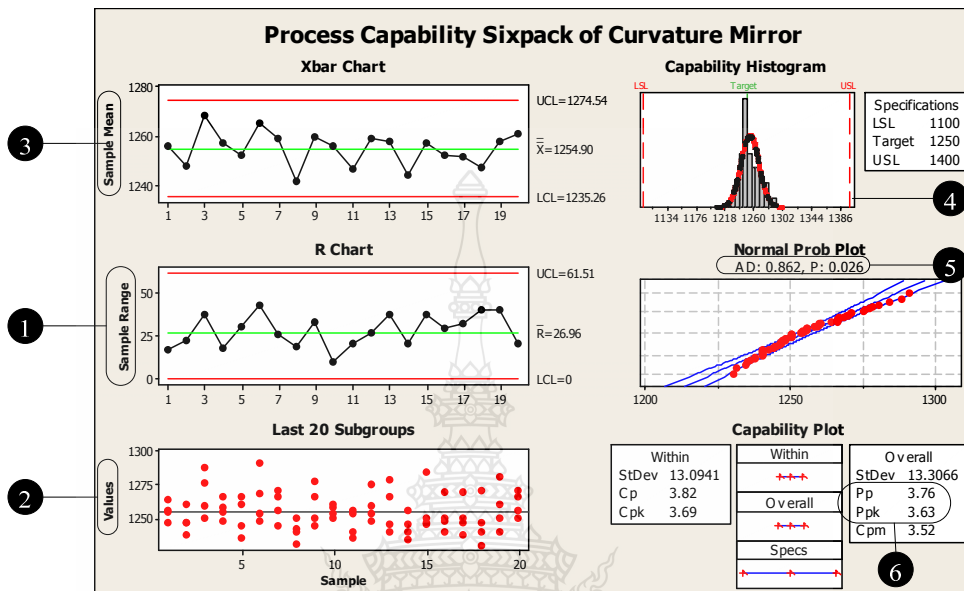
1. แผนภูมิควบคุม R เพื่อพิจารณาว่าข้อมูลมีความสม่ำเสมอหรือไม่ จากรูปสภาวะมีความสม่ำเสมอ
2. ลักษณะการกระจายตัวของ Individual Chart มีการกระจายตัวที่สม่ำเสมอ แสดงว่าไม่มีความผิดปกติเกิดขึ้นในกระบวนการควบคุม
3. แผนภูมิควบคุม X-bar จากรูปเห็นได้ว่ากระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุม
4. การทดสอบข้อสมมติฐานของการแจกแจงแบบปกติของข้อมูลผ่านฮิสโตแกรม ซึ่งจากรูปเป็นการแจกแจงแบบปกติ
5. พิจารณาข้อสมมติฐานของการแจกแจงแบบปกติของข้อมูลจากค่า P-value ในที่นี้มีค่า 0.140 ซึ่งมีค่ามากกว่า เมื่อเทียบกับระดับนัยสำคัญ 0.01 จึงสรุปว่าข้อมูลเป็นการแจกแจงแบบปกติ
6. การแปลความหมายของการศึกษาระยะยาว ซึ่งพบว่าสิ่งกระบวนการควรจะทำให้ หรือมีดัชนีศักยภาพ ($P_p=3.55$) ในขณะที่สิ่งที่กระบวนการทำได้จริงหรือมีดัชนีสมรรถนะ ($P_{pk}=3.52$)

ตารางที่ 4.20 ผลการเก็บข้อมูลสำหรับการศึกษาความสามารถของกระบวนการระยะยาว สำหรับค่าความโค้งของกระจก

ชื่อชิ้นงาน:กระจกโครเมียม ข้อกำหนด: R1250 ±R150							กระบวนการ: QA Final							แผนภูมิที่ 1/1							
พารามิเตอร์:ค่าความโค้ง ค่าการสะท้อนแสง							ฝ่าย: ประกันคุณภาพ							พนักงาน:							
วันที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
ค่าที่วัด (เวลา)	09:00	1247.2	1246.7	1276.0	1258.2	1244.8	1254.1	1244.4	1250.8	1277.4	1258.6	1253.8	1275.0	1240.6	1240.6	1246.7	1250.8	1250.8	1230.5	1280.6	1255.8
	11:00	1255.4	1238.1	1288.2	1254.7	1236.4	1268.3	1270.3	1240.6	1244.5	1260.2	1235.6	1259.8	1245.5	1234.8	1250.8	1248.2	1269.7	1240.6	1250.5	1250.7
	13:00	1256.0	1260.1	1250.8	1266.3	1260.7	1248.4	1255.6	1242.6	1266.8	1250.1	1255.9	1248.3	1266.4	1246.2	1284.2	1240.5	1238.0	1270.8	1240.6	1266.8
	16:00	1264.2	1247.6	1259.4	1248.4	1266.3	1291.2	1266.4	1231.7	1250.7	1254.2	1240.7	1254.2	1278.2	1255.6	1246.4	1270.2	1246.7	1246.8	1260.6	1270.9
ผลรวม	5022.8	4992.5	5074.4	5027.6	5008.2	5062.0	5036.7	4965.7	5039.4	5023.1	4986.0	5037.3	5030.7	4977.2	5028.1	5009.7	5005.2	4988.7	5032.3	5044.2	
ค่าเฉลี่ย (\bar{x})	1255.7	1248.1	1268.6	1256.9	1252.1	1265.5	1259.2	1241.4	1259.9	1255.8	1246.5	1259.3	1257.7	1244.3	1257.0	1252.4	1251.3	1247.2	1258.1	1261.1	
พิสัย (R)	17.0	22.0	37.4	17.9	29.9	42.8	25.9	19.1	32.9	10.1	20.3	26.7	37.6	20.8	37.8	29.7	31.7	40.3	40.0	20.2	



นำผลจากตารางที่ 4.20 มาทำการหาค่าความสามารถของกระบวนการระยะยาว สำหรับค่าความโค้งของกระจกคังภาพที่ 4.29



ภาพที่ 4.29 ค่าความสามารถของกระบวนการกรณีศึกษาระยะยาวสำหรับค่าความโค้งของกระจก

จากผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์ในภาพที่ 4.29 สามารถอธิบายความหมายได้ตามลำดับหมายเลข

1. แผนภูมิควบคุม R เพื่อพิจารณาว่าข้อมูลมีความสม่ำเสมอหรือไม่ จากภาพสถานะมีความสม่ำเสมอดี
2. ลักษณะการกระจายตัวของ Individual Chart มีการกระจายตัวที่สม่ำเสมอดี แสดงว่าไม่มีความผิดปกติเกิดขึ้นในกระบวนการควบคุม
3. แผนภูมิควบคุม X-bar จากภาพเห็นได้ว่ากระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุม
4. การทดสอบข้อสมมติฐานของการแจกแจงแบบปกติของข้อมูลผ่านฮิสโตแกรม ซึ่งจากภาพเป็นการแจกแจงแบบปกติ
5. พิจารณาข้อสมมติฐานของการแจกแจงแบบปกติของข้อมูลจากค่า P-value ในที่นี้มีค่า 0.026 ซึ่งมีค่ามากกว่า เมื่อเทียบกับระดับนัยสำคัญ 0.01 จึงสรุปว่าข้อมูลเป็นการแจกแจงแบบปกติ
6. การแปลความหมายของการศึกษาระยะยาว ซึ่งพบว่าสิ่งกระบวนการควรจะทำให้หรือมีดัชนีศักยภาพ ($P_p=3.76$) ในขณะที่สิ่งที่กระบวนการทำได้จริงหรือมีดัชนีสมรรถนะ ($P_{pk} = 3.63$)

ตารางที่ 4.21 ผลการบันทึกปริมาณของเสียและประเภทของเสีย ในขั้นตอนการยื่นขึ้นผลการทดลอง

ชื่อชิ้นงาน: กระจกโครมเมียม				รายงานปริมาณของเสียประจำวัน																		
วันที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
รายการ																						
รอยขีดข่วน	241	235	254	284	196	221	195	223	219	215	247	213	235	256	261	243	265	187	217	184		
การขีดเขียน	104	133	102	115	87	121	96	136	156	148	124	145	165	168	172	182	164	145	185	146		
เป็นจุด	45	62	63	64	51	44	74	56	41	52	41	52	62	88	94	85	59	52	61	49		
อื่นๆ	21	26	42	18	23	20	31	24	18	29	14	26	49	55	68	58	48	59	52	46		
ยอดผลิต	4925	5256	4852	5148	4075	3896	4748	4956	5147	3945	4745	5104	5208	4736	4927	4682	5207	4835	3975	4954	รวมยอดผลิต	95,321
ยอดของเสีย	411	456	461	481	357	406	396	439	434	418	426	436	511	497	487	465	536	443	413	425	รวมยอดของเสีย	8,898
สัดส่วนของเสีย	8.3%	8.7%	9.5%	9.3%	8.8%	10.4%	8.3%	8.9%	8.4%	10.6%	9.0%	8.5%	9.8%	10.5%	9.9%	9.9%	10.3%	9.2%	10.4%	8.6%	รวมสัดส่วนของเสีย	9.3%

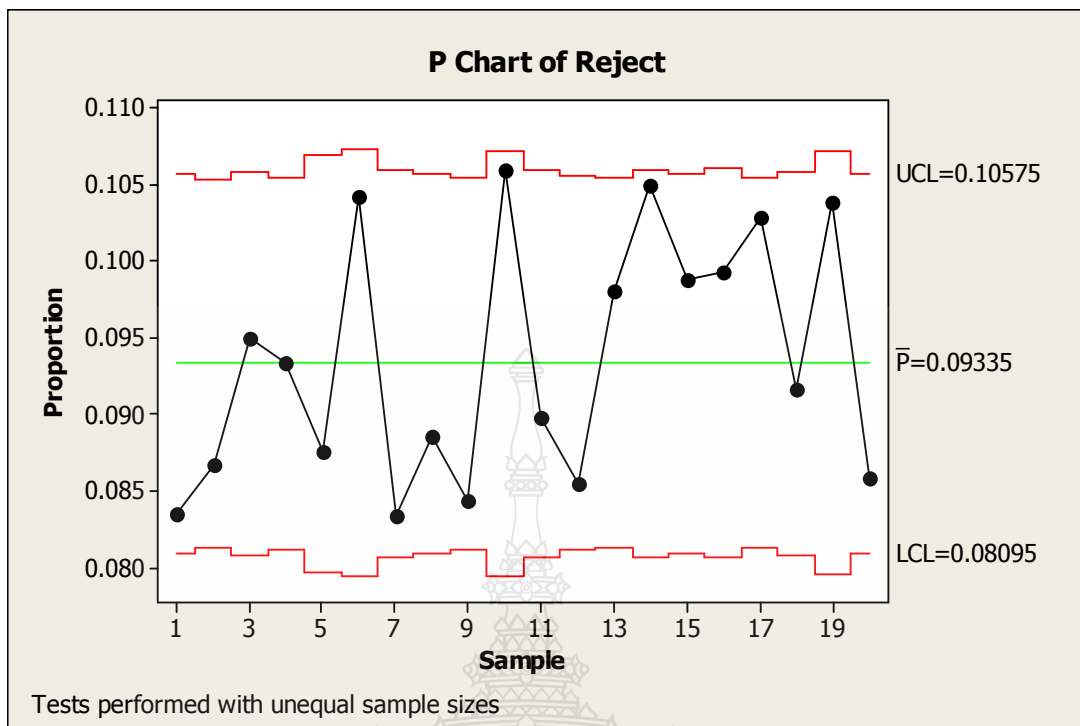
จากผลการบันทึกสัดส่วนของเสียในตารางที่ 4.21 นำมาควบคุมโดยฟังก์ชันควบคุมแบบ พี และประเมินความสามารถของกระบวนการ ดังที่จะกล่าวในขั้นตอนการสรุปผลการประเมินความสามารถกระบวนการ

4.7.2 สรุปผลการประเมินความสามารถกระบวนการ

ในการประเมินความสามารถของกระบวนการกรณีที่เราสนใจคุณลักษณะมากกว่า 1 คุณลักษณะเช่นงานวิจัยนี้ ในการประเมินจะต้องนำค่าสัดส่วนของเสียของกระบวนการนั้นมาประเมินความสามารถ โดยเปรียบเทียบความสามารถของกระบวนการกับสัดส่วนของเสีย [7, 44] จากตารางที่ 4.21 สามารถนำข้อมูลการตรวจสอบและจำนวนของเสีย มาทำการสร้างพิกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุม p ดังตารางที่ 4.22

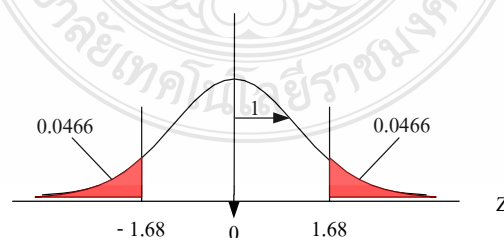
ตารางที่ 4.22 พิกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุม p

กลุ่มย่อย	จำนวนตรวจสอบ (n)	จำนวนของเสีย (np)	p	UCL	LCL
1	4925	411	0.08	0.10	0.08
2	5256	456	0.08	0.10	0.08
3	4852	461	0.09	0.10	0.08
4	5148	481	0.09	0.10	0.08
5	4075	357	0.09	0.10	0.07
6	3896	406	0.10	0.10	0.07
7	4748	396	0.08	0.10	0.08
8	4956	439	0.08	0.10	0.08
9	5147	434	0.08	0.10	0.08
10	3945	418	0.10	0.10	0.07
11	4745	426	0.08	0.10	0.08
12	5104	436	0.08	0.10	0.08
13	5208	511	0.09	0.10	0.08
14	4736	497	0.10	0.10	0.08
15	4927	487	0.11	0.10	0.08
16	4682	465	0.09	0.10	0.08
17	5207	536	0.10	0.10	0.08
18	4835	443	0.09	0.10	0.08
19	3975	413	0.10	0.10	0.07
20	4954	425	0.08	0.10	0.08
ผลรวม	95321	8898	0.093		



ภาพที่ 4.30 แผนภูมิควบคุม p ข้อมูลของเสียในกระบวนการผลิตกระจกโครเมียม

จากแผนภูมิควบคุม p ดังภาพที่ 4.30 จะพบว่าค่า p ในทุกกลุ่มย่อยอยู่ในพิสัยควบคุม จึงสามารถนำมาประเมินความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการได้ ภายใต้ข้อสมมติฐานว่ากระบวนการมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ค่ากลางของพิสัยข้อกำหนดเฉพาะ และทำการเทียบเคียงด้วยการให้ค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องมีค่าเท่ากันที่แต่ละด้านของการแจกแจง และจากตารางการแจกแจงแบบปกติมาตรฐานตามตารางที่ 1 ของภาคผนวก ง จะค่า $Z_{bench} = 1.68$ และสามารถประเมินได้ดังนี้



ภาพที่ 4.31 ค่าเทียบเคียงของค่า Z กรณีการประเมินความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ

ที่ $\bar{p} = 0.09335$

จากสมการที่ 4.1

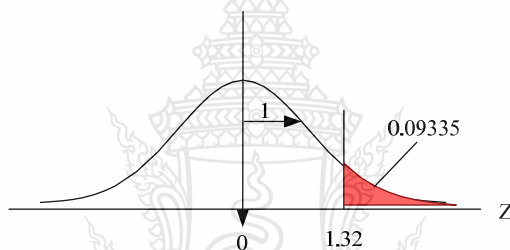
$$\bar{P}_{p \text{ bench}} = \frac{1}{3} Z_{\text{bench}} \quad (4.1)$$

จะได้

$$\bar{P}_{p \text{ bench}} = \frac{1}{3}(1.68) = 0.56$$

สรุป กระบวนการผลิตกระจกโครเมียม มีความสามารถด้านศักยภาพเท่ากับ 0.56

สำหรับการประเมินความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการจะพิจารณาภายใต้ข้อสมมติฐานว่าผลิตภัณฑ์บกพร่องทั้งหมดอยู่ที่ด้านใดด้านหนึ่งของการแจกแจงแบบปกติ ดังภาพที่ 4.32



ภาพที่ 4.32 ค่าเทียบเคียงของค่า Z กรณีการประเมินความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ

ซึ่งจากตารางการแจกแจงแบบปกติมาตรฐานตามตารางที่ 1 ของภาคผนวก ง จะได้ค่า $Z_{\text{bench}} = 1.32$ และจากสมการที่ 4.2

$$\bar{P}_{pk \text{ bench}} = \frac{1}{3} Z_{\text{bench}} \quad (4.2)$$

$$\bar{P}_{pk \text{ bench}} = \frac{1}{3}(1.32) = 0.44$$

สรุป กระบวนการผลิตกระจกโครเมียม มีความสามารถด้านสมรรถนะเท่ากับ 0.44

จากนั้นนำค่าความสามารถด้านศักยภาพ และค่าความสามารถด้านสมรรถนะมาประเมินขีดความสามารถของกระบวนการผลิตกระจกโครเมียม ซึ่งการประเมินความสามารถกระบวนการที่มี

ข้อมูลแบบนี้นั้นสามารถพิจารณาได้เช่นเดียวกับกรณีข้อมูลเชิงผันแปร โดยเปรียบเทียบกับตารางเปรียบเทียบความสามารถกระบวนการกับสัดส่วนของเสีย ดังตารางที่ 4.23 และตารางประเมินค่าขีดความสามารถกระบวนการของค่า C_{pk} หรือ P_{pk} ดังตารางที่ 4.24

ตารางที่ 4.23 ความสามารถกระบวนการกับสัดส่วนของเสีย [44]

ค่าดัชนี C_p	สัดส่วนของเสียต่อ 1 ล้านส่วน สำหรับข้อกำหนดเฉพาะแบบสองด้าน	ความสามารถของกระบวนการ
$2.00 \leq C_p$	น้อยกว่า 0.002496	ดีเหลือเชื่อ
$1.67 \leq C_p < 2.00$	0.002496-0.6	ดีเลิศ
$1.33 \leq C_p < 1.67$	0.6-64	ดี
$1.00 \leq C_p < 1.33$	64-2,700	พอใช้
$0.67 \leq C_p < 1.00$	2,700-45,500	เลว
$C_p < 0.67$	มากกว่า 45,500	เลวมาก

จากตารางที่ 4.23 เป็นการประเมินขีดความสามารถของกระบวนการโดยเทียบกับค่าดัชนี C_p และประมาณการค่าสัดส่วนของเสีย ตามขีดความสามารถของกระบวนการ

ตารางที่ 4.24 การประเมินค่าขีดความสามารถกระบวนการของค่า C_{pk} หรือ P_{pk} [45]

ค่า C_{pk} หรือ P_{pk}	ความสามารถของกระบวนการ
$1.33 > C_{pk}$ หรือ $P_{pk} \geq 2.00$	คุณภาพระดับ World Class Quality หรือ Six Sigma Quality
$1.00 > C_{pk}$ หรือ $P_{pk} \geq 1.33$	อยู่ในเกณฑ์ที่ดี
$1.00 \leq C_{pk}$ หรือ $P_{pk} < 1.33$	อาจพอรับได้ แต่ควรปรับปรุงถ้าเป็นไปได้
C_{pk} หรือ $P_{pk} < 1$	ไม่ดี ควรได้รับการปรับปรุง

จากตารางที่ 4.24 เป็นการประเมินขีดความสามารถของกระบวนการโดยเทียบกับค่า C_{pk} หรือ P_{pk} ซึ่งจะบอกระดับความสามารถของกระบวนการตามขีดความสามารถทั้งการศึกษาระยะสั้นและระยะยาว

และจากตารางที่ 4.23 และ 4.24 จะพิจารณาได้ว่าถึงแม้การปรับปรุงกระบวนการผลิตกระจกโครเมียม ได้ตรงตามวัตถุประสงค์ คือยอมให้มีสัดส่วนของเสียเกิดขึ้นได้ในกระบวนการที่ไม่

เกิน 10% แต่หากเปรียบเทียบในความสามารถของกระบวนการด้านศักยภาพ และด้านสมรรถนะแล้ว จะพบว่ามีความสามารถระดับที่ไม่ดีและต้องทำการปรับปรุง

4.7.3 สรุปผลการประเมินฟังก์ชันการสูญเสีย

ในการประเมินฟังก์ชันการสูญเสีย สามารถดำเนินการได้โดยสมการ ซึ่งโดยภายใต้ฟังก์ชัน ความสูญเสียของทางทฤษฎีสามารถคำนวณ [46] ได้ดังสมการที่ 4.3

$$L[Y] = K\sigma^2 = \left[\frac{A}{(T/2)^2} \right] \times \left[\frac{T}{6C_p} \right]^2 \quad (4.3)$$

โดยที่ $L[Y]$ คือ ความสูญเสียต่อหน่วยผลิต

σ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ

T คือ ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับ

K คือ ค่าสัมประสิทธิ์

A คือ ราคาของชิ้นงานเมื่อจัดให้เป็นของเสีย

C_p คือ ดัชนีความสามารถของกระบวนการ

โดยสามารถประเมินฟังก์ชันการสูญเสียของค่าการสะท้อนแสงได้ดังนี้

แทนค่า A เท่ากับ 15 บาทต่อชิ้นงาน เมื่อจัดให้เป็นของเสีย

C_p เท่ากับ 3.55 (ในที่นี้ใช้ดัชนีความสามารถของกระบวนการระยะยาว: P_p)

T เท่ากับ 10 %

จะได้

$$L[Y] = \left[\frac{15}{(10/2)^2} \right] \times \left[\frac{10}{6(3.55)} \right]^2 = 0.136 \text{ บาท}$$

สรุป ผลความสูญเสียด้านค่าการสะท้อนแสงมีค่าเท่ากับ 0.136 บาท และสามารถประเมิน ฟังก์ชันการสูญเสียของค่าการสะท้อนแสงได้ดังนี้

แทนค่า A เท่ากับ 15 บาทต่อชิ้นงาน เมื่อจัดให้เป็นของเสีย

C_p เท่ากับ 3.76 (ในที่นี้ใช้ดัชนีความสามารถของกระบวนการระยะยาว: P_p)

T เท่ากับ R300

$$L[Y] = \left[\frac{15}{(300/2)^2} \right] \times \left[\frac{300}{6(3.76)} \right]^2 = 0.116 \text{ บาท}$$

สรุป ผลความสูญเสียด้านค่าความโค้งของกระจกมีค่าเท่ากับ 0.116 บาท

4.7.4 สรุปผลการดำเนินการวิจัย

จะเป็นการนำผลการขึ้นชั้นผลการทดลองมาสรุปเพื่อให้ทราบถึงระดับความสามารถหลังจากทำการปรับปรุงกระบวนการผลิตกระจกโครเมียม ดังแสดงในตารางที่ 4.25

ตารางที่ 4.25 สรุปผลการดำเนินการวิจัย

รายการ	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
ด้านการลดสัดส่วนของเสียในกระบวนการผลิตกระจกโครเมียม	23.0 %	9.3 %
ด้านลักษณะคุณภาพค่าความโค้งกระจกโครเมียม ข้อกำหนด: R1250 ±R150	$\bar{X} = R1254.31$ $C_p = 3.51$ $C_{pk} = 3.41$	$\bar{X} = R1254.90$ $C_p = 3.82$ $C_{pk} = 3.69$ $P_p = 3.76$ $P_{pk} = 3.63$
ด้านลักษณะคุณภาพการสะท้อนของแสง ข้อกำหนด: 50% ±5%	$\bar{X} = 54.65\%$ $C_p = 7.46$ $C_{pk} = 0.51$	$\bar{X} = 50.04\%$ $C_p = 3.67$ $C_{pk} = 3.64$ $P_p = 3.55$ $P_{pk} = 3.52$

จากตารางที่ 4.25 สามารถอธิบายผลการดำเนินการวิจัยได้ดังนี้

1) วัตถุประสงค์ด้านการลดสัดส่วนของเสียในกระบวนการผลิตกระจกโครเมียม จากการศึกษาพบว่า มีค่าสัดส่วนของเสียก่อนการปรับปรุงอยู่ที่ 23.0% และมีค่าลดลงเมื่อทำการปรับปรุงกระบวนการผลิต อยู่ที่ 9.3% ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการดำเนินการที่ต้องการให้ มีโอกาสเกิดของเสียในกระบวนการผลิต ได้ไม่เกิน 10% ของยอดการผลิต

2) วัตถุประสงค์ด้านลักษณะคุณภาพค่าความโค้งของกระจกโครเมียม โดยมีข้อกำหนดที่ $R1250 \pm R150$ จากการศึกษาพบว่ามีค่าเฉลี่ยก่อนการปรับปรุง จากกลุ่มตัวอย่างที่ $\bar{X} = R1254.31$ และมีค่าหลังการปรับปรุงอยู่ที่ $\bar{X} = R1254.90$ ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีความแตกต่างกันน้อยมาก จากที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 1 ว่าความสามารถของกระบวนการด้านค่าความโค้งของกระจกโครเมียม อยู่ในสภาวะที่ต้องการสำหรับกระบวนการผลิตอยู่แล้ว และผู้วิจัยไม่ได้ทำการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงใดๆ ในกระบวนการผลิต สำหรับลักษณะคุณภาพค่าความโค้งของกระจกโครเมียม

3) วัตถุประสงค์ด้านลักษณะคุณภาพการสะท้อนของแสง โดยมีข้อกำหนดที่ $50\% \pm 5\%$ จากการศึกษาพบว่ามีค่าเฉลี่ยก่อนการปรับปรุงอยู่ที่ $\bar{X} = 54.65\%$ และมีค่าใกล้เคียงเป้าหมาย หลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต อยู่ที่ $\bar{X} = 50.04\%$ ซึ่งห่างจากค่าเป้าหมายที่ 50% อยู่ 0.04% โดยหลังทำการปรับปรุงกระบวนการแล้วชี้วัดความสามารถด้านสมรรถนะสูงขึ้น จนอยู่ในระดับสภาวะที่ต้องการของกระบวนการผลิต คือมีค่าความสามารถด้านศักยภาพและด้านสมรรถนะสูงกว่า 1.33



บทที่ 5

สรุป อภิปรายผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้นำเสนอแนวทางเพื่อหาปัจจัยในกระบวนการขึ้นรูปกระจกโครเมียมที่มีอิทธิพลต่อการเกิดของเสีย และลักษณะคุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้านค่าความโค้งงอของกระจก และค่าการสะท้อนแสง และหาแนวทางปรับปรุงเพื่อลดสัดส่วนของเสียในกระบวนการผลิตขึ้นรูปกระจกโครเมียม โดยมีเป้าหมายการยอมรับที่เกิดสัดส่วนของเสียไม่เกิน 10% อีกทั้งเพิ่มความสามารถของกระบวนการด้านศักยภาพ และความสามารถด้านสมรรถนะของลักษณะคุณภาพด้านค่าความโค้งงอของกระจก และค่าการสะท้อนแสง โดยมีเป้าหมายการยอมรับที่มีค่าสูงกว่า 1.33 โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง ขั้นตอนการวิจัยเริ่มจาก การระบุปัญหาในกระบวนการผลิต ซึ่งพบว่ากระบวนการผลิตกระจกโครเมียม มีสัดส่วนของเสียในปริมาณที่สูงที่สุดของการผลิตผลิตภัณฑ์รวมของโรงงานกรณีศึกษา ผู้วิจัยจึงนำกระบวนการผลิตกระจกโครเมียมมาศึกษา และก่อนเริ่มดำเนินการวิจัย ผู้วิจัยได้ทำการประเมินความสามารถของระบบการวัด ซึ่งลักษณะข้อมูลของผลิตภัณฑ์กระจกโครเมียมนั้นประกอบไปด้วยข้อมูลนับได้ คือการประเมินตัวผลิตภัณฑ์กระจกโครเมียม ว่าผ่านหรือไม่ผ่านข้อกำหนดตามมาตรฐานการยอมรับ และลักษณะข้อมูลผันแปร คือค่าความโค้งงอของกระจก และค่าการสะท้อนแสง เมื่อพบว่าความสามารถของระบบการวัดนั้นอยู่ในเกณฑ์การยอมรับได้ จึงเริ่มดำเนินการวิจัย โดยสรุปประเภทปัญหาที่ทำให้เกิดของเสีย และคัดเลือกปัญหามาทำการปรับปรุงแก้ไข โดยใช้หลักการ 80-20 ของพาเรโต และกำหนดปัจจัยระดับปัจจัยโดยการระดมสมองจากผู้เชี่ยวชาญในกระบวนการผลิตกระจกโครเมียม จากนั้นทำการกรองปัจจัยโดยใช้วิธีการทาภูชิและสรุปปัจจัยที่มีอิทธิพลทั้งต่อการเกิดของเสีย และอิทธิพลต่อลักษณะคุณภาพของค่าความโค้งงอของกระจกและค่าการสะท้อนแสง นำปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อผลลัพธ์ในกระบวนการผลิตกระจกโครเมียม มาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมต่อกระบวนการผลิตกระจกโครเมียม สุดท้ายทำการยืนยันผลดำเนินการโดยทำการศึกษาความสามารถกระบวนการผลิตแบบระยะยาว ซึ่งจากผลการดำเนินงานสามารถบรรลุวัตถุประสงค์ของงานวิจัยดังนี้

5.1.1 ปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อการเกิดของเสียคือรูปแบบของรถเข็นปัจจัยนี้มีผลกระทบโดยตรงต่อการเกิดรอยขีดข่วน โดยมีระดับปัจจัยคือรถเข็นแบบมีร่องวางกระจกป้องกันการเสียดสีระหว่างกระจก ปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อลักษณะคุณภาพด้านค่าความโค้งงอของกระจกคือปัจจัยอุณหภูมิอบปัจจัยความเร็วสายพานและอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยอุณหภูมิอบกับปัจจัยความเร็วสายพาน มีระดับปัจจัยของ

อุณหภูมิอบที่ 690 °C ระดับปัจจัยของความเร็วสายพานที่ 15 เมตรต่อนาที และสุดท้ายปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อลักษณะคุณภาพด้านการสะท้อนแสงคือปัจจัยเวลาในการเคลือบ โครเมียม มีระดับปัจจัยที่ 8 วินาที

5.1.2 การลดสัดส่วนของเสียโดยนำผลการยืนยันผลดำเนินการ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสัดส่วนของเสียในกระบวนการผลิตกระจกโครเมียมสามารถลดสัดส่วนของเสียได้จากเดิมที่ 23.0% เหลือ 9.3% ซึ่งเป้าหมายการยอมรับการเกิดสัดส่วนของเสียไม่เกิน 10%

5.1.3 การเพิ่มความสามารถของกระบวนการด้านศักยภาพและความสามารถด้านสมรรถนะของลักษณะคุณภาพด้านค่าความโค้งงอของกระจก และค่าการสะท้อนแสง โดยมีเป้าหมายการยอมรับที่มีค่าสูงกว่า 1.33 ซึ่งหลังการปรับปรุงพารามิเตอร์ของกระบวนการส่งผลให้ศักยภาพ และสมรรถนะความสามารถกระบวนการเพิ่มขึ้น อยู่ในสภาวะที่ต้องการ

จากข้อสรุปผลดำเนินการดังกล่าวข้างต้นสามารถกำหนดระดับปัจจัยได้ดังตารางที่

5.1

ตารางที่ 5.1 การกำหนดระดับปัจจัยเพื่อให้ตรงตามวัตถุประสงค์งานวิจัย

สัญลักษณ์	ปัจจัย	ระดับของปัจจัย
A	อุณหภูมิอบ	690 °C
B	ความเร็วสายพาน	15 m/min
C	รูปแบบรถเข็น	มีร่องวางกระจก
D	ระบบเครื่องฝนขอบ	ใช้น้ำป้องกันเศษกระจก
E	กันฝุ่นบนสายพาน	แรงดันลมป้องกันฝุ่นติดกระจก
F	เวลาเคลือบ โครเมียม	8 วินาที

5.2 อภิปรายผลการดำเนินงาน

จากการนำเทคนิคการออกแบบการทดลองมาประยุกต์ใช้เพื่อหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดของเสีย และปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อลักษณะคุณภาพด้านค่าความโค้งงอของกระจกและค่าการสะท้อนแสง และนำมาหาแนวทางปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดสัดส่วนของเสีย และเพิ่มความสามารถของกระบวนการด้านค่าความโค้งงอของกระจก และด้านการสะท้อนแสงแล้วสามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

ในการหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลลัพธ์ของกระบวนการโดยนำเทคนิคการออกแบบการทดลอง ผู้วิจัยใช้แนวทางการกรองปัจจัย โดยใช้ในการออกแบบการทดลองทางเลือก เพื่อทำการลด

จำนวนการทดลอง และประหยัดค่าใช้จ่าย ทั้งเวลาที่สูญเสีย ต้นทุนในการทดลอง ซึ่งผู้วิจัยเลือกใช้วิธีการทาทุชิ เนื่องจากมีรูปแบบการทดลองที่เหมาะสมกับงานวิจัยนี้ เพราะลักษณะข้อมูลนั้นมีทั้งแบบแปรผัน และแบบนับได้ ซึ่งวิธีการทาทุชิสามารถดำเนินการทดลองในรูปแบบลักษณะข้อมูลทั้งสองแบบได้ จากนั้นนำปัจจัยที่มีนัยสำคัญที่ถูกรองปัจจัยแล้ว มาทำการทดลองต่อเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน ซึ่งเป็นตระกูลหนึ่งของการทดลองแบบคลาสสิก ซึ่งผลลัพธ์ของกระบวนการที่ออกมาเป็นไปตามวัตถุประสงค์การวิจัย และจากการวิเคราะห์ข้อมูลค่าความสามารถของกระบวนการด้านค่าความโค้งของกระจกและค่าการสะท้อนแสง ซึ่งเป็นลักษณะคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ที่มีค่าสูงมากนั้น เมื่อเทียบกับค่าสัดส่วนของเสียซึ่งมีค่าความสามารถกระบวนการต่ำ อันเนื่องมาจากข้อกำหนดเฉพาะที่มีค่ากว้างมากเกินไป ในขณะที่ความผันแปรจากกระบวนการมีค่าต่ำมาก [45] สกล จินดาศิริโรจน์ [42] ใช้วิธีการทาทุชิมาประยุกต์ใช้ในขั้นการกรองปัจจัยและหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด โดยวิธีพื้นผิวตอบสนองเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการชะล้างสิ่งสกปรกขนาดเล็กในกระบวนการผลิตแผ่นดิสก์

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 สามารถนำหลักการวิจัยนี้ไปประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหาอื่นๆ ในกระบวนการผลิตได้ เช่น การหาสภาวะเหมาะสมต่อการผลิต เพื่อให้ผลิตภัณฑ์เข้าใกล้ค่าเป้าหมายโดยวิธีการทาทุชิ เป็นแนวทางในการหาเครื่องมือเพื่อกรองปัจจัยและลดจำนวนการทดลองโดยใช้หลักการทาทุชิ

5.3.2 ในขั้นตอนของการระดมสมองเพื่อหาปัจจัยและระดับปัจจัยที่อาจมีผลต่อกระบวนการที่ทำให้เกิดของเสีย และลักษณะคุณภาพต่อผลิตภัณฑ์นั้นจะต้องทำการใช้การระดมสมองจากผู้เชี่ยวชาญในกระบวนการผลิตนั้นอย่างดี เพื่อไม่ให้เกิดการถูกมองข้ามถึงรากเหง้าที่แท้จริงของปัญหา และยังหากมีการไคร่ครวญของรากเหง้าปัญหาที่ดี ยังจะส่งผลการจำนวนการทดลองที่น้อยลง แต่ทั้งนี้การยืนยันผลการทดลองเป็น เครื่องมือที่ชี้ได้ว่ารากเหง้าของปัญหาได้ถูกขจัดออกไปแล้วจริงๆ

5.3.3 ในขั้นตอนของการออกแบบการทดลองโดยวิธีการทาทุชินั้น ปัจจัยที่ต้องใช้เวลานานในการเปลี่ยนระดับปัจจัย ควรให้ปัจจัยนั้นอยู่ทางด้านซ้ายสุดของตารางการออกแบบการทดลอง เนื่องจากแผนแบบการทดลองนั้น ปัจจัยด้านซ้ายสุดจะมีการเปลี่ยนระดับปัจจัยเพียงครั้งเดียว ซึ่งจะทำให้ลดการเสียเวลาในการทดลองได้ดีที่สุด

รายการอ้างอิง

- [1] สนั่น, กลยุทธ์การลดต้นทุนการผลิต เพื่อเพิ่มผลประกอบการขององค์กรธุรกิจ (Online), 2556.
Available: <http://www.tpa.or.th> (18 มกราคม 2556).
- [2] สถาบันยานยนต์, อุตสาหกรรมยานยนต์ทดลองผลิตรถยนต์ทะลุ 2 ล้านคันในรอบ 50 ปี (Online), 2556. Available: <http://www.thaiauto.or.th> (18 มกราคม 2556).
- [3] วิโรจน์ ถักขนาอดิศร, “Lean อย่างไร สร้างกำไรให้องค์กร,” TPA News, Vol. 4, No. 5, 2555.
หน้า 10-12.
- [4] ศุภชัย นาทะพันธ์, การควบคุมคุณภาพ, กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2551. หน้า 70-107.
- [5] กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, วิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (ประมวลผลด้วย Minitab), กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2551. หน้า 12-211.
- [6] กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) (ประมวลผลด้วย Minitab), กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2546. หน้า 61-193.
- [7] Issa Bass, **Six Sigma Statistics with Excel and Minitab**, USA: McGraw-Hill, 2007. pp. 171-183.
- [8] D.R. Bothe, **Measuring Process Capability**, USA: McGraw-Hill, 1997. pp. 135-142.
- [9] J.F. Lawless, **Statistical Models and Methods for Lifetime Data**, USA: John Wiley & Sons, 1982. pp. 67- 71.
- [10] วิบูลย์ พงศ์พรทรัพย์, “รู้หรือไม่ C_p , C_{pk} , P_p และ P_{pk} ต่างกันอย่างไร?,” **Quality for Production**, Vol.18, No.167, 2554. หน้า 39-41.
- [11] T.P. Ryan, **Statistical Methods for Quality Improvement**, USA: John Wiley & Sons, 1956. pp. 95-102.
- [12] G.K. Griffith, **Statistical Process Control**, Asian Productivity Organization, 1989. pp. 74-81.
- [13] Glen Netherwood, **Introduction to Statistics** (Online), 2009. Available:
http://www.micquality.com/introductory_statistic/ (10 November 2011).
- [14] K. Ishikawa, **Guide to Quality Control**, Asian Productivity Organization, 1989. pp. 237-240.
- [15] I.W. Burr. **Statistical Quality Control Methods**, Marcel Dekker, 1976.

- [16] ภาณุ บุรณจารุกร. การจัดทำระบบการจัดการคุณภาพร่วมกับการผลิตที่ดีเพื่อความปลอดภัยของอาหารในอุตสาหกรรมอาหาร (Online), 2550. Available: <http://www.nubi.nu.ac.th/webie/7qctool.html> (23 กันยายน 2552)
- [17] ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยาและพงษ์ชนัน เหลืองไพบุลย์, การออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์การทดลอง, กรุงเทพฯ: ท็อป, 2551. หน้า 1-305.
- [18] จินตย์ ไพรสณฑ์และคณะแปลและเรียบเรียง, การจัดการการผลิตและการปฏิบัติการ, กรุงเทพฯ: เพียร์สัน เอ็ดดูเคชั่น อินโดไชน่า, 2551. หน้า 115-117.
- [19] ชูศรี วงศ์รัตน์, เทคนิคการใช้สถิติเพื่อการวิจัย. พิมพ์ครั้งที่ 10. กรุงเทพฯ: ไทยเนรมิตรกิจ, 2550. หน้า 219-225.
- [20] Montgomery, Douglas, **Design and Analysis of Experiments**, 6th ed., USA: John Wiley & Sons, 2005. pp. 327-335.
- [21] โสภิตา ท้วมมี, การลดปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตพลาสติกแผ่น โดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา: บริษัทในอุตสาหกรรมผลิตพลาสติก. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม. มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2550.
- [22] ทิชา แสนสม, การลดของเสียที่เป็นเม็ดฝุ่นในกระบวนการพ่นสีกันชนหน้าพลาสติกของรถยนต์ โดยใช้แนวทางซิกซ์ ซิกมา. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.
- [23] วสันต์ พุกผาสุข, การลดของเสียจากกระบวนการชุบโครเมียมโดยประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกมา กรณีศึกษา: บริษัทในอุตสาหกรรมชุบโครเมียม. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2549.
- [24] ชุตินา ราชพิทักษ์, การลดของเสียจากกระบวนการผลิตแบบแมชชีนนิ่งโดยประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา: อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนรถยนต์. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2551.
- [25] ประพันธ์ ลาวัณย์กาญจน์, การลดของเสียผลิตภัณฑ์ที่ไม่ตรงตามข้อกำหนดของลูกค้ากรณีศึกษา: บริษัท เอส.ไฟว์ เอนจิเนียริง จำกัด. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2552.

- [26] วุฒิไกร พิทักษ์พงษ์, การวิเคราะห์หาปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการเคลือบเงิน โดยการออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา: โรงงานผลิตกระจกเงา. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2551.
- [27] Thamizhmani, S., “Analyses of Surface Roughness by Turning Process Using Taguchi Method,” **Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering**, Vol.20, No.1-2, 2007. pp. 503-506.
- [28] อัยฉฎาฎุฑ หนุ้เกื้อ, การปรับปรุงประสิทธิภาพการชะล้างสิ่งสกปรกขนาดเล็กในกระบวนการผลิตแผ่นดิสโดยวิธีการทาฎุฑิ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2551.
- [29] Mohd Amri Lajis, “The Implementation of Taguchi Method on EDM Process of Tungsten Carbide,” **European Journal of Scientific Research**, Vol 26, No.4, 2009. pp. 609-617.
- [30] Raviraj Shetty, “Taguchi's Technique in Machining of Metal Matrix Composites,” **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering**, Vol 31, No.1, 2009. pp. 319-326.
- [31] Chao-Lieh Yang, “Optimizing the Glass Fiber Cutting Process Using the Taguchi Methods and Grey Relational Analysis,” **New Journal of Glass and Ceramics**, Vol. 1, No.1, 2011. pp. 13-19.
- [32] S. Kamaruddin , Zahid A. Khan and S. H. Foong, “Application of Taguchi Method in the Optimization of Injection Moulding Parameters for Manufacturing Products from Plastic Blend,” **IACSIT International Journal of Engineering and Technology**, Vol. 2, No.6, 2010. pp 574-580.
- [33] L.A Dobrzanski, J. Domagala and J.F. Silva, “Application of Taguchi Method in the Optimization of Filament Winding of Thermoplastic Composites,” **International Scientific Journal**, Vol. 28, No. 3, 2007. pp. 133-140.
- [34] Abhijit M Taley and Satish Bansod, “Performance Analysis of Seed Grader through DOE,” **International of Engineering Research and Applications**, Vol. 2, No. 1, 2012, pp. 1135-1140.

- [35] Lakshmanan Singaram, "Improving Quality of Sand Casting Using Taguchi Method and ANN Analysis," **International Journal on Design and Manufacturing Technology**, Vol. 4, No. 1, 2010. pp. 1-5.
- [36] Manojkumar S. Lakal and S.B. Chikalthankar, "Improvement in Yield Strength of Deformed Steel Bar by Quenching Using Taguchi Method," **Journal of Mechanical and Civil Engineering**, Vol. 2, No. 2, 2012. pp. 1-11.
- [37] B. Bergine, Z. Kampus and B. Sustarsic, "The Use of the Taguchi Approach to Determine the Influence of Injection-Moulding Parameters on the Properties of Green Parts," **Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering**, Vol.15, No.1-2, 2006. pp. 63-70.
- [38] โชลูชั่น เซ็นเตอร์, คู่มือการใช้ Minitab. กรุงเทพฯ: โชลูชั่น เซ็นเตอร์, 2550. หน้า 42-43.
- [39] Fasser Y. and D. Brettner, **Process Improvement in the Electronic Industries**, New York: John Wiley & Sons Inc., 1994. pp. 212-220.
- [40] วิบูลย์ พงศ์พรทรัพย์, "การประเมินความสามารถของกระบวนการด้วย Minitab ตอนที่ 1," **Quality for Production**, Vol.18, No.172, 2555. หน้า 21-24.
- [41] ยุทธ ไกยวรรณ, **หลักสถิติวิจัยและการใช้โปรแกรม SPSS**. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553. หน้า 181-190.
- [42] สกต จินดาศิริโรจน์, **การปรับปรุงประสิทธิภาพการชะล้างสิ่งสกปรกขนาดเล็กในกระบวนการผลิตแผ่นดิสก์โดยใช้วิธีการทาคุชิ** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาการจัดการอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2551.
- [43] Automotive Industry Action Group (AIAG), **Measurement Systems Analysis Reference Manual**, 3rd ed., 2002. pp. 72-76.
- [44] วิบูลย์ พงศ์พรทรัพย์, "ดัชนีความสามารถของกระบวนการยิ่งมาก ยิ่งดี ?," **Quality for Production**, Vol.18, No.168, 2554. หน้า 44-47.
- [45] จรัล ทรัพย์เสรี, "เรื่องวุ่นๆของการวิเคราะห์ขีดความสามารถของกระบวนการตอนที่ 1," **Quality for Production**, Vol.14, No.121, 2550. หน้า 56-59.
- [46] C.M. Creveling, **Tolerance Design: Handbook for Developing Optimal Specifications**, USA: Addison Wesley Longman, 1997. pp. 98-103.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

ตารางการออกแบบการทดลองด้วยวิธีทฤษฎี

ตารางที่ ก.1 การออกแบบการทดลองทางสถิติ สำหรับออร์ทอกอนัลแอร์เรย์ชนิดแอล 4 (L_4 Orthogonal Array, 2^3)

No \ Col	1	2	3
1	1	1	1
2	1	2	2
3	2	1	2
4	2	2	1

ตารางที่ ก.2 สามเหลี่ยมสำหรับการออกแบบการทดลองทางสถิติ สำหรับออร์ทอกอนัลแอร์เรย์ชนิดแอล 4

No \ Col	1	2	3
1	(1)	3	2
2		(2)	1
3			(3)

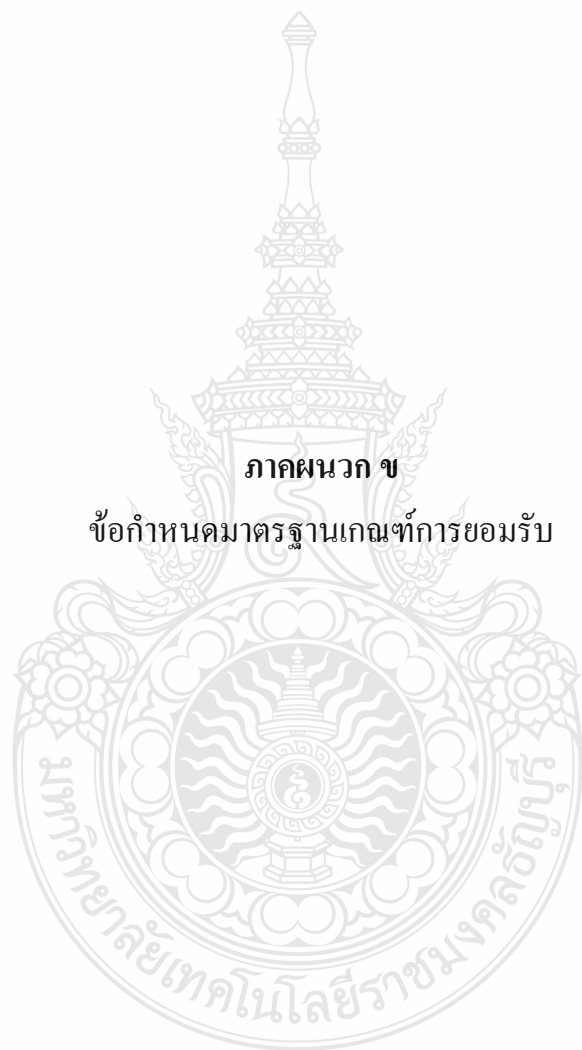
ตารางที่ ก.3 การออกแบบการทดลองทางสถิติ สำหรับออร์ทอกอนัลแอร์เรย์ชนิดแอล 8 (L_8 Orthogonal Array, 2^7)

No \ Col	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

ตารางที่ ก.4 ผลกระทบร่วมสองปัจจัยของการออกแบบการทดลองทางกฐิ สำหรับบอร์รทอกลงนัลแอร์เรย์
ชนิดแอล 8

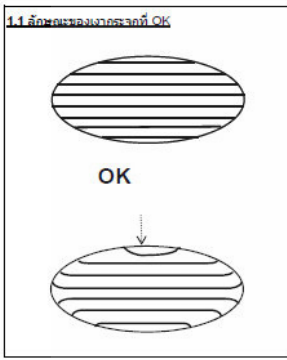
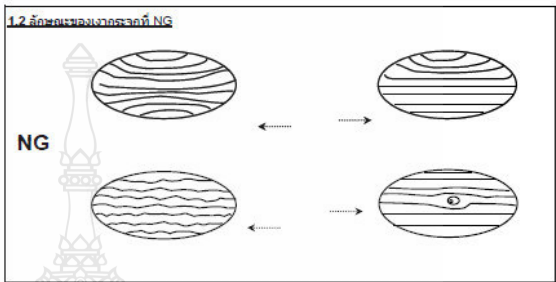
Col \ No	1	2	3	4	5	6	7
1	1	3	2	5	4	7	6
2		(2)	1	6	7	4	5
3			(3)	7	6	5	4
4				(4)	1	2	3
5					(5)	3	2
6						(6)	1
7							(7)

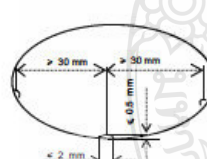



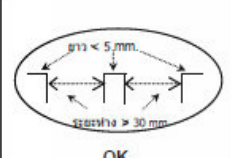
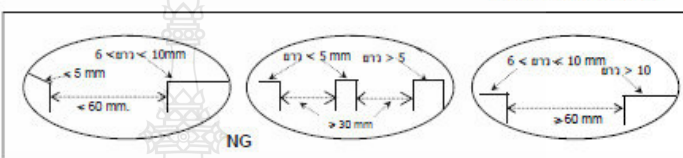


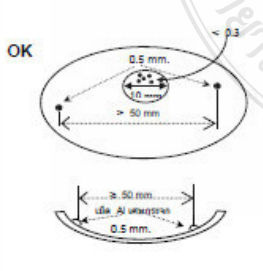
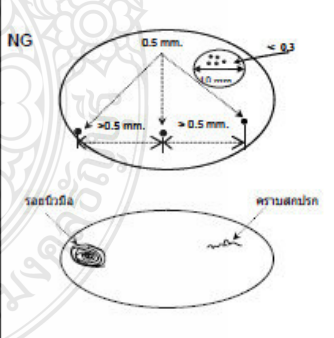
ภาคผนวก ข

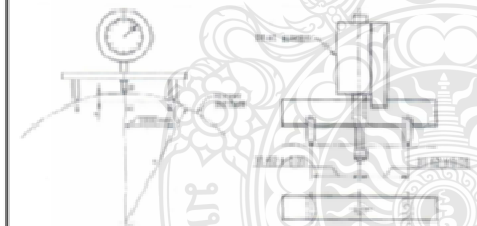

ข้อกำหนดมาตรฐานเกณฑ์การยอมรับ

Work Check Points				WC.PR021-D																																																		
Part No.	Entire Glass	Process Name	Mirror Final Inspection																																																			
		(ชื่อกระบวนการ): Model (รุ่น):	การตรวจกระจกในขั้นตอนสุดท้าย																																																			
			Approved by:	Checked by:	Issued by:																																																	
			Date:	Date:	Date:																																																	
1. การตรวจเงสะท้อนของกระจกเคี้อม Curvature Check																																																						
Page:																																																						
วิธีการตรวจ: ให้ดูเงสะท้อนของลายตารางสอบที่กระทำกับกระจกโดยมาตรฐานการตรวจมีดังนี้																																																						
<p>1.1 ลึกดของกระจกที่ OK</p> 			<p>1.2 ลึกดของกระจกที่ NG</p> 																																																			
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="4">Details of Work Check Point Revision (รายละเอียดการปรับปรุง)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>▲</td><td>30 Sep'08</td><td>Change Specification</td><td></td></tr> <tr><td>▲</td><td>2 Sep'08</td><td>Add "Refer limit sample"</td><td></td></tr> <tr><td>▲</td><td>12 Jul'08</td><td>Addition to check point</td><td></td></tr> <tr><td>▲</td><td>27/5/2005</td><td>Add remark mirror 2078-003-11/51</td><td></td></tr> <tr><td>—</td><td>3-ก.พ.-99</td><td></td><td></td></tr> <tr> <th>No.</th> <th>Date</th> <th>Detail</th> <th>Person</th> </tr> </tbody> </table>				Details of Work Check Point Revision (รายละเอียดการปรับปรุง)				▲	30 Sep'08	Change Specification		▲	2 Sep'08	Add "Refer limit sample"		▲	12 Jul'08	Addition to check point		▲	27/5/2005	Add remark mirror 2078-003-11/51		—	3-ก.พ.-99			No.	Date	Detail	Person	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3">NG History</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>○</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>○</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>○</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>○</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>○</td><td></td><td></td></tr> <tr> <th>No.</th> <th>Date</th> <th>Detail</th> </tr> </tbody> </table>		NG History			○			○			○			○			○			No.	Date	Detail
Details of Work Check Point Revision (รายละเอียดการปรับปรุง)																																																						
▲	30 Sep'08	Change Specification																																																				
▲	2 Sep'08	Add "Refer limit sample"																																																				
▲	12 Jul'08	Addition to check point																																																				
▲	27/5/2005	Add remark mirror 2078-003-11/51																																																				
—	3-ก.พ.-99																																																					
No.	Date	Detail	Person																																																			
NG History																																																						
○																																																						
○																																																						
○																																																						
○																																																						
○																																																						
No.	Date	Detail																																																				

Work Check Points				WC.PR021-D																																																		
Part No.	Entire Glass	Process Name :	Mirror Final Inspection																																																			
		(ชื่อกระบวนการ): Model (รุ่น):	การตรวจกระจกในขั้นตอนสุดท้าย																																																			
			Approved by:	Checked by:	Issued by:																																																	
			Date:	Date:	Date:																																																	
2. การตรวจรอยบิ่นและรอยขีด (Chip and Horn Check)																																																						
Page:																																																						
<p>2.1 รอยบิ่น (Chip)</p> 			<p>2.2 รอยขีด (Horn)</p> 																																																			
<p>มาตรฐานที่ยอมรับได้</p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>ขนาด</th> <th>จำนวน</th> <th>ระยะห่าง</th> <th>หมายเหตุ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ลึก < 0.5 mm.</td> <td>ไม่เกิน 3 จุด</td> <td>แต่ละจุดห่างกัน > 30 mm.</td> <td>ถ้าขนาดใดกว้างกว่าเกณฑ์นี้ หรือ 1 จุด → NG</td> </tr> <tr> <td>กว้าง < 2 mm.</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			ขนาด	จำนวน	ระยะห่าง	หมายเหตุ	ลึก < 0.5 mm.	ไม่เกิน 3 จุด	แต่ละจุดห่างกัน > 30 mm.	ถ้าขนาดใดกว้างกว่าเกณฑ์นี้ หรือ 1 จุด → NG	กว้าง < 2 mm.				<p>มาตรฐานที่ยอมรับไม่ได้</p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>ขนาด</th> <th>จำนวน</th> <th>ระยะห่าง</th> <th>หมายเหตุ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ลึก < 0.3 มม</td> <td>ไม่เกิน 1 จุด</td> <td>—</td> <td>ถ้าขนาดใดกว้างกว่าเกณฑ์นี้ มากกว่า 1 จุด</td> </tr> <tr> <td>กว้าง < 5 mm</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			ขนาด	จำนวน	ระยะห่าง	หมายเหตุ	ลึก < 0.3 มม	ไม่เกิน 1 จุด	—	ถ้าขนาดใดกว้างกว่าเกณฑ์นี้ มากกว่า 1 จุด	กว้าง < 5 mm																												
ขนาด	จำนวน	ระยะห่าง	หมายเหตุ																																																			
ลึก < 0.5 mm.	ไม่เกิน 3 จุด	แต่ละจุดห่างกัน > 30 mm.	ถ้าขนาดใดกว้างกว่าเกณฑ์นี้ หรือ 1 จุด → NG																																																			
กว้าง < 2 mm.																																																						
ขนาด	จำนวน	ระยะห่าง	หมายเหตุ																																																			
ลึก < 0.3 มม	ไม่เกิน 1 จุด	—	ถ้าขนาดใดกว้างกว่าเกณฑ์นี้ มากกว่า 1 จุด																																																			
กว้าง < 5 mm																																																						
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="4">Details of Work Check Point Revision (รายละเอียดการปรับปรุง)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>▲</td><td>30 Sep'08</td><td>Change Specification</td><td></td></tr> <tr><td>▲</td><td>2 Sep'08</td><td>Add "Refer limit sample"</td><td></td></tr> <tr><td>▲</td><td>12 Jul'08</td><td>Addition to check point</td><td></td></tr> <tr><td>▲</td><td>27 May 05</td><td>add remark mirror 2078-003-11/51</td><td></td></tr> <tr><td>—</td><td>3 Feb 99</td><td></td><td></td></tr> <tr> <th>No.</th> <th>Date</th> <th>Detail</th> <th>Person</th> </tr> </tbody> </table>				Details of Work Check Point Revision (รายละเอียดการปรับปรุง)				▲	30 Sep'08	Change Specification		▲	2 Sep'08	Add "Refer limit sample"		▲	12 Jul'08	Addition to check point		▲	27 May 05	add remark mirror 2078-003-11/51		—	3 Feb 99			No.	Date	Detail	Person	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3">NG History</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>○</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>○</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>○</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>○</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>○</td><td></td><td></td></tr> <tr> <th>No.</th> <th>Date</th> <th>Detail</th> </tr> </tbody> </table>		NG History			○			○			○			○			○			No.	Date	Detail
Details of Work Check Point Revision (รายละเอียดการปรับปรุง)																																																						
▲	30 Sep'08	Change Specification																																																				
▲	2 Sep'08	Add "Refer limit sample"																																																				
▲	12 Jul'08	Addition to check point																																																				
▲	27 May 05	add remark mirror 2078-003-11/51																																																				
—	3 Feb 99																																																					
No.	Date	Detail	Person																																																			
NG History																																																						
○																																																						
○																																																						
○																																																						
○																																																						
○																																																						
No.	Date	Detail																																																				

Work Check Points				WC.PR021-D																																																																
Part No.	Entire Glass	Process Name :	Mirror Final Inspection		Approved by:	Checked by:	Issued by:																																																													
		ชื่อกระบวนการ :	การตรวจกระจกในขั้นตอนสุดท้าย		Date:	Date:	Date:																																																													
		Model (รุ่น) :	Entire Glass กระจกทุกชิ้นในแค้มป์ผลิตลงข้างขึ้น																																																																	
3. การตรวจรอยขีด Scratch Check							Page:																																																													
<p>รอยขีดต้องไม่มีลักษณะแบบขนนกกว่าค่าขีดขนาดของเส้นบางมากและไม่ให้ขีดสุดปลายชี้ตัวกึ่งจุด</p> <p>มาตรฐานที่มอบให้</p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse; font-size: small;"> <thead> <tr> <th>ขนาด</th> <th>จำนวน</th> <th>ระยะห่าง</th> <th>หมายเหตุ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ยาว < 5 mm</td> <td>ไม่เกิน 3 รอย</td> <td>แค้ระยะห่าง >= 30 mm</td> <td>ใน 3 เส้นค่าที่ 1 เส้นยาว > 5 mm → NG</td> </tr> <tr> <td>6 < ยาว < 10 mm</td> <td>ไม่เกิน 2 รอย</td> <td>แค้ระยะห่าง >= 60 mm</td> <td>ใน 2 เส้นค่าที่ 1 เส้นยาว > 10 mm → NG</td> </tr> </tbody> </table> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;">  <p>OK</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>NG</p> </div> </div> <p style="text-align: right; font-size: small;">ตัวอย่างของ NG และ OK</p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse; font-size: x-small;"> <thead> <tr> <th colspan="4">Details of Work Check Point Revision (รายละเอียดการปรับปรุง)</th> <th colspan="3">NG History</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="width: 5%;">30 Sep'08</td> <td style="width: 10%;">Change Specification</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 5%;"></td> <td style="width: 5%;"></td> <td style="width: 5%;"></td> </tr> <tr> <td>2 Sep'08</td> <td>Add "Refer limit sample"</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>12 Jul'08</td> <td>Addition to check point</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>27/5/2005</td> <td>Add remark minor 2078-003-11/51</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3/ก.พ.-99</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>No.</td> <td>Date</td> <td>Detail</td> <td>Person</td> <td>No.</td> <td>Date</td> <td>Detail</td> </tr> </tbody> </table>								ขนาด	จำนวน	ระยะห่าง	หมายเหตุ	ยาว < 5 mm	ไม่เกิน 3 รอย	แค้ระยะห่าง >= 30 mm	ใน 3 เส้นค่าที่ 1 เส้นยาว > 5 mm → NG	6 < ยาว < 10 mm	ไม่เกิน 2 รอย	แค้ระยะห่าง >= 60 mm	ใน 2 เส้นค่าที่ 1 เส้นยาว > 10 mm → NG	Details of Work Check Point Revision (รายละเอียดการปรับปรุง)				NG History			30 Sep'08	Change Specification						2 Sep'08	Add "Refer limit sample"						12 Jul'08	Addition to check point						27/5/2005	Add remark minor 2078-003-11/51						3/ก.พ.-99							No.	Date	Detail	Person	No.	Date	Detail
ขนาด	จำนวน	ระยะห่าง	หมายเหตุ																																																																	
ยาว < 5 mm	ไม่เกิน 3 รอย	แค้ระยะห่าง >= 30 mm	ใน 3 เส้นค่าที่ 1 เส้นยาว > 5 mm → NG																																																																	
6 < ยาว < 10 mm	ไม่เกิน 2 รอย	แค้ระยะห่าง >= 60 mm	ใน 2 เส้นค่าที่ 1 เส้นยาว > 10 mm → NG																																																																	
Details of Work Check Point Revision (รายละเอียดการปรับปรุง)				NG History																																																																
30 Sep'08	Change Specification																																																																			
2 Sep'08	Add "Refer limit sample"																																																																			
12 Jul'08	Addition to check point																																																																			
27/5/2005	Add remark minor 2078-003-11/51																																																																			
3/ก.พ.-99																																																																				
No.	Date	Detail	Person	No.	Date	Detail																																																														

Work Check Points				WC.PR021-D																																																																														
Part No.	Entire Glass	Process Name :	Mirror Final Inspection		Approved by:	Checked by:	Issued by:																																																																											
		ชื่อกระบวนการ :	การตรวจกระจกในขั้นตอนสุดท้าย		Date:	Date:	Date:																																																																											
		Model (รุ่น) :	Entire Glass กระจกทุกชิ้นในแค้มป์ผลิตลงข้างขึ้น																																																																															
4. การตรวจ จุดดำ จุดขาว และรอยสกปรกต่างๆ Pin Hole and Dirty Marks Check							Page:																																																																											
<p>Method refer to JIS D 5705 (7)</p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse; font-size: x-small;"> <thead> <tr> <th>Detail</th> <th>Ø Size</th> <th>Quantity</th> <th>Distance</th> <th>Remark</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="5">Black spot, White Spot, Bubu</td> <td>0.5 mm</td> <td>Not over 2 Point</td> <td>> 50 mm</td> <td>Refer limit sample</td> </tr> <tr> <td>0.4 mm</td> <td>Not over 3 Point</td> <td>> 50 mm</td> <td>Refer limit sample</td> </tr> <tr> <td>0.3 mm</td> <td>5 Point</td> <td>Within radius 10 mm</td> <td>Refer limit sample</td> </tr> <tr> <td>0.2 mm</td> <td>5 Point</td> <td>Within radius 10 mm</td> <td>Refer limit sample</td> </tr> <tr> <td>0.1 mm</td> <td>At Amount</td> <td>-</td> <td>Refer limit sample</td> </tr> </tbody> </table> <p>ความน่า รอยขี้ผึ้ง และพรหมสกปรกต่างๆ</p> <p style="text-align: center; font-size: small;">ห้ามใช้ความถี่ปรอทสังดำ</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;">  <p>OK</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>NG</p> </div> </div> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse; font-size: x-small;"> <thead> <tr> <th colspan="4">Details of Work Check Point Revision (รายละเอียดการปรับปรุง)</th> <th colspan="3">NG History</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="width: 5%;">30 Sep'08</td> <td style="width: 10%;">Change Specification</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 5%;"></td> <td style="width: 5%;"></td> <td style="width: 5%;"></td> </tr> <tr> <td>2 Sep'08</td> <td>Add "Refer limit sample"</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>12 Jul'08</td> <td>Addition to check point</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>27/5/2005</td> <td>Add remark minor 2078-003-11/51</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3 Feb 99</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>No.</td> <td>Date</td> <td>Detail</td> <td>Person</td> <td>No.</td> <td>Date</td> <td>Detail</td> </tr> </tbody> </table>								Detail	Ø Size	Quantity	Distance	Remark	Black spot, White Spot, Bubu	0.5 mm	Not over 2 Point	> 50 mm	Refer limit sample	0.4 mm	Not over 3 Point	> 50 mm	Refer limit sample	0.3 mm	5 Point	Within radius 10 mm	Refer limit sample	0.2 mm	5 Point	Within radius 10 mm	Refer limit sample	0.1 mm	At Amount	-	Refer limit sample	Details of Work Check Point Revision (รายละเอียดการปรับปรุง)				NG History			30 Sep'08	Change Specification						2 Sep'08	Add "Refer limit sample"						12 Jul'08	Addition to check point						27/5/2005	Add remark minor 2078-003-11/51						3 Feb 99							No.	Date	Detail	Person	No.	Date	Detail
Detail	Ø Size	Quantity	Distance	Remark																																																																														
Black spot, White Spot, Bubu	0.5 mm	Not over 2 Point	> 50 mm	Refer limit sample																																																																														
	0.4 mm	Not over 3 Point	> 50 mm	Refer limit sample																																																																														
	0.3 mm	5 Point	Within radius 10 mm	Refer limit sample																																																																														
	0.2 mm	5 Point	Within radius 10 mm	Refer limit sample																																																																														
	0.1 mm	At Amount	-	Refer limit sample																																																																														
Details of Work Check Point Revision (รายละเอียดการปรับปรุง)				NG History																																																																														
30 Sep'08	Change Specification																																																																																	
2 Sep'08	Add "Refer limit sample"																																																																																	
12 Jul'08	Addition to check point																																																																																	
27/5/2005	Add remark minor 2078-003-11/51																																																																																	
3 Feb 99																																																																																		
No.	Date	Detail	Person	No.	Date	Detail																																																																												

TECHNICAL TEST REPORT		No. :																								
		Date :																								
Customer Part No :	Part No. :																									
Part Name :	Mirror Assy , RH/LH Back																									
Subject :	Radius of Curvature of Reflecting Surface Test																									
<p><Purpose> The measure Curvature for inspection quality that confirm part New Model 8564 (KPPP).</p> <p><Test Piece></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-bottom: 10px;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">No.</th> <th style="width: 60%;">Detail</th> <th style="width: 30%;">Quantity (Set.)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Mirror Assy , RH/LH Back</td> <td style="text-align: center;">5</td> </tr> </tbody> </table> <p><Test Equipment></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-bottom: 10px;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">No.</th> <th style="width: 90%;">Equipment</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Spherometer</td> </tr> </tbody> </table> <p><Method> <u>According of Specified in JIS D5705 (10.4)</u></p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>Test for Radius of Curvature of convex Surface Mirror The test for the radius of curvature of a convex mirror shall be carried out by the following apparatus and method and the radius of curvature shall be obtained by calculation.</p> <p>(1) Apparatus and Method The radius of curvature is measured at positions of 1/3, 1/2, and 2/3 on the circular arc in the longitudinal direction passing through the centre of the mirror as given specified in JIS B 7509 or the measuring instrument having the performance equal or superior thereto for the measuring apparatus as given in Fig. 5. However, as to an outside under mirror, the measurement of only the centre of the mirror may be carried out.</p>  <p style="font-size: small;">Fig.5. Spherometer (Example) [Unit: mm.]</p> <p>Remark 1. Calculation Formula for Measurement of Radius of Curvature (Example in the case of AH = √1000) (mm)</p> </div> <div style="width: 45%;"> $r = \frac{500}{x} + \frac{x}{2}$ <p style="font-size: x-small;">where r : radius of curvature (radius of mirror surface) x : reading of dial gauge (value of PH in figure)</p> <p>Fig.6. Measuring Position for Radius of Curvature of Convex Surface Mirror</p>  <p>Remark : The + mark indicates the measuring point.(P1,P2 and P3)</p> <p>(2) Calculation of Radius of Curvature The radius of curvature shall be calculated from the following formula :</p> $r = \frac{r_1^2 + r_2^2 + r_3^2}{3}$ <p style="font-size: x-small;">where r : radius of curvature (mm) r1 : arithmetic mean of measuring values r1 and r1 of the radius of curvature in the longitudinal and the perpendicular direction at a measuring point p1 (mm) r2 : arithmetic mean of measuring values r2 and r2 of the radius of curvature in the longitudinal and the perpendicular direction at a measuring point p2 (mm) r3 : arithmetic mean of measuring values r3 and r3 of the radius of curvature in the longitudinal and the perpendicular direction at a measuring point p3 (mm)</p> </div> </div>			No.	Detail	Quantity (Set.)	1	Mirror Assy , RH/LH Back	5	No.	Equipment	1	Spherometer														
No.	Detail	Quantity (Set.)																								
1	Mirror Assy , RH/LH Back	5																								
No.	Equipment																									
1	Spherometer																									
<p><Evaluation> Curvature = R 1250 ± 150</p> <p><Result></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-bottom: 10px;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">Sample Part</th> <th style="width: 10%;">1</th> <th style="width: 10%;">2</th> <th style="width: 10%;">3</th> <th style="width: 10%;">4</th> <th style="width: 10%;">5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RH</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>LH</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Result</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p><Judgement></p>			Sample Part	1	2	3	4	5	RH						LH						Result					
Sample Part	1	2	3	4	5																					
RH																										
LH																										
Result																										
Report Approved by	Report Division Section QA Section	Approved by	Checked by	Issued by																						



ภาคผนวก ข

พื้นที่ได้เส้นโค้งแบบปกติมาตรฐาน

ตารางที่ 1 (ต่อ)

Z ₀	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
3.5	0.0 ² 2327	0.0 ² 2242	0.0 ² 2159	0.0 ² 2079	0.0 ² 2002	0.0 ² 1927	0.0 ² 1855	0.0 ² 1786	0.0 ² 1719	0.0 ² 1655
3.6	0.0 ² 1592	0.0 ² 1532	0.0 ² 1474	0.0 ² 1418	0.0 ² 1364	0.0 ² 1312	0.0 ² 1262	0.0 ² 1214	0.0 ² 1167	0.0 ² 1123
3.7	0.0 ² 1079	0.0 ² 1038	0.0 ² 9974	0.0 ² 9587	0.0 ² 9214	0.0 ² 8855	0.0 ² 8509	0.0 ² 8175	0.0 ² 7854	0.0 ² 7545
3.8	0.0 ² 7248	0.0 ² 6961	0.0 ² 6685	0.0 ² 6420	0.0 ² 6165	0.0 ² 5919	0.0 ² 5682	0.0 ² 5455	0.0 ² 5236	0.0 ² 5025
3.9	0.0 ² 4822	0.0 ² 4627	0.0 ² 4440	0.0 ² 4260	0.0 ² 4086	0.0 ² 3920	0.0 ² 3760	0.0 ² 3606	0.0 ² 3458	0.0 ² 3316
4.0	0.0 ² 3179	0.0 ² 3048	0.0 ² 2921	0.0 ² 2800	0.0 ² 2684	0.0 ² 2572	0.0 ² 2465	0.0 ² 2362	0.0 ² 2263	0.0 ² 2168
4.1	0.0 ² 2076	0.0 ² 1989	0.0 ² 1905	0.0 ² 1824	0.0 ² 1747	0.0 ² 1672	0.0 ² 1601	0.0 ² 1533	0.0 ² 1467	0.0 ² 1404
4.2	0.0 ² 1344	0.0 ² 1286	0.0 ² 1231	0.0 ² 1177	0.0 ² 1125	0.0 ² 1077	0.0 ² 1031	0.0 ² 9857	0.0 ² 9426	0.0 ² 9014
4.3	0.0 ² 8619	0.0 ² 8240	0.0 ² 7878	0.0 ² 7530	0.0 ² 7198	0.0 ² 6879	0.0 ² 6574	0.0 ² 6282	0.0 ² 6002	0.0 ² 5734
4.4	0.0 ² 5478	0.0 ² 5235	0.0 ² 4998	0.0 ² 4773	0.0 ² 4558	0.0 ² 4353	0.0 ² 4156	0.0 ² 3968	0.0 ² 3787	0.0 ² 3615
4.5	0.0 ² 3451	0.0 ² 3293	0.0 ² 3143	0.0 ² 2999	0.0 ² 2861	0.0 ² 2730	0.0 ² 2604	0.0 ² 2484	0.0 ² 2369	0.0 ² 2259
4.6	0.0 ² 2154	0.0 ² 2054	0.0 ² 1959	0.0 ² 1867	0.0 ² 1780	0.0 ² 1697	0.0 ² 1617	0.0 ² 1541	0.0 ² 1469	0.0 ² 1399
4.7	0.0 ² 1333	0.0 ² 1270	0.0 ² 1210	0.0 ² 1153	0.0 ² 1099	0.0 ² 1046	0.0 ² 9956	0.0 ² 9480	0.0 ² 9026	0.0 ² 8593
4.8	0.0 ² 8181	0.0 ² 7787	0.0 ² 7411	0.0 ² 7052	0.0 ² 6709	0.0 ² 6387	0.0 ² 6077	0.0 ² 5782	0.0 ² 5500	0.0 ² 5232
4.9	0.0 ² 4976	0.0 ² 4733	0.0 ² 4501	0.0 ² 4280	0.0 ² 4070	0.0 ² 3869	0.0 ² 3678	0.0 ² 3496	0.0 ² 3323	0.0 ² 3159
5.0	0.0 ² 3002	0.0 ² 2853	0.0 ² 2711	0.0 ² 2575	0.0 ² 2447	0.0 ² 2324	0.0 ² 2208	0.0 ² 2097	0.0 ² 1991	0.0 ² 1891
5.1	0.0 ² 1796	0.0 ² 1705	0.0 ² 1619	0.0 ² 1537	0.0 ² 1459	0.0 ² 1385	0.0 ² 1314	0.0 ² 1247	0.0 ² 1184	0.0 ² 1123
5.2	0.0 ² 1066	0.0 ² 1011	0.0 ² 9591	0.0 ² 9098	0.0 ² 8629	0.0 ² 8184	0.0 ² 7762	0.0 ² 7360	0.0 ² 6979	0.0 ² 6617
5.3	0.0 ² 6273	0.0 ² 5947	0.0 ² 5637	0.0 ² 5342	0.0 ² 5064	0.0 ² 4799	0.0 ² 4548	0.0 ² 4309	0.0 ² 4083	0.0 ² 3868
5.4	0.0 ² 3664	0.0 ² 3471	0.0 ² 3289	0.0 ² 3118	0.0 ² 2949	0.0 ² 2792	0.0 ² 2644	0.0 ² 2503	0.0 ² 2370	0.0 ² 2244
5.5	0.0 ² 2124	0.0 ² 2018	0.0 ² 1903	0.0 ² 1801	0.0 ² 1702	0.0 ² 1603	0.0 ² 1506	0.0 ² 1414	0.0 ² 1326	0.0 ² 1242
5.6	0.0 ² 1222	0.0 ² 1185	0.0 ² 1093	0.0 ² 1054	0.0 ² 9722	0.0 ² 9224	0.0 ² 8741	0.0 ² 8264	0.0 ² 7812	0.0 ² 7385
5.7	0.0 ² 6980	0.0 ² 6598	0.0 ² 6213	0.0 ² 5843	0.0 ² 5488	0.0 ² 5147	0.0 ² 4820	0.0 ² 4507	0.0 ² 4207	0.0 ² 3919
5.8	0.0 ² 3959	0.0 ² 3779	0.0 ² 3622	0.0 ² 3475	0.0 ² 3335	0.0 ² 3199	0.0 ² 3074	0.0 ² 2959	0.0 ² 2851	0.0 ² 2750
5.9	0.0 ² 2230	0.0 ² 2105	0.0 ² 1987	0.0 ² 1876	0.0 ² 1771	0.0 ² 1670	0.0 ² 1576	0.0 ² 1487	0.0 ² 1402	0.0 ² 1323
6.0	0.0 ² 1248	0.0 ² 1172	0.0 ² 1110	0.0 ² 1047	0.0 ² 9874	0.0 ² 9274	0.0 ² 8783	0.0 ² 8281	0.0 ² 7808	0.0 ² 7361
6.1	0.0 ² 6940	0.0 ² 6562	0.0 ² 6184	0.0 ² 5812	0.0 ² 5448	0.0 ² 5101	0.0 ² 4765	0.0 ² 4445	0.0 ² 4139	0.0 ² 3847
6.2	0.0 ² 3835	0.0 ² 3673	0.0 ² 3483	0.0 ² 3295	0.0 ² 3120	0.0 ² 2944	0.0 ² 2777	0.0 ² 2623	0.0 ² 2476	0.0 ² 2337
6.3	0.0 ² 2107	0.0 ² 1983	0.0 ² 1867	0.0 ² 1758	0.0 ² 1656	0.0 ² 1559	0.0 ² 1466	0.0 ² 1380	0.0 ² 1299	0.0 ² 1223
6.4	0.0 ² 1151	0.0 ² 1083	0.0 ² 1019	0.0 ² 9580	0.0 ² 9020	0.0 ² 8460	0.0 ² 7903	0.0 ² 7350	0.0 ² 6804	0.0 ² 6265
6.5	0.0 ¹⁰ 6250	0.0 ¹⁰ 5878	0.0 ¹⁰ 5528	0.0 ¹⁰ 5195	0.0 ¹⁰ 4869	0.0 ¹⁰ 4549	0.0 ¹⁰ 4233	0.0 ¹⁰ 3921	0.0 ¹⁰ 3614	0.0 ¹⁰ 3313
6.6	0.0 ¹⁰ 3377	0.0 ¹⁰ 3175	0.0 ¹⁰ 2983	0.0 ¹⁰ 2805	0.0 ¹⁰ 2637	0.0 ¹⁰ 2478	0.0 ¹⁰ 2329	0.0 ¹⁰ 2189	0.0 ¹⁰ 2057	0.0 ¹⁰ 1933
6.7	0.0 ¹⁰ 1816	0.0 ¹⁰ 1706	0.0 ¹⁰ 1603	0.0 ¹⁰ 1506	0.0 ¹⁰ 1415	0.0 ¹⁰ 1329	0.0 ¹⁰ 1249	0.0 ¹⁰ 1173	0.0 ¹⁰ 1102	0.0 ¹⁰ 1035
6.8	0.0 ¹¹ 9719	0.0 ¹¹ 9127	0.0 ¹¹ 8572	0.0 ¹¹ 8049	0.0 ¹¹ 7559	0.0 ¹¹ 7097	0.0 ¹¹ 6664	0.0 ¹¹ 6257	0.0 ¹¹ 5874	0.0 ¹¹ 5515
6.9	0.0 ¹¹ 5178	0.0 ¹¹ 4860	0.0 ¹¹ 4562	0.0 ¹¹ 4283	0.0 ¹¹ 4020	0.0 ¹¹ 3773	0.0 ¹¹ 3541	0.0 ¹¹ 3323	0.0 ¹¹ 3119	0.0 ¹¹ 2927
7.0	0.0 ¹¹ 2747	0.0 ¹¹ 2577	0.0 ¹¹ 2418	0.0 ¹¹ 2269	0.0 ¹¹ 2129	0.0 ¹¹ 1997	0.0 ¹¹ 1874	0.0 ¹¹ 1758	0.0 ¹¹ 1649	0.0 ¹¹ 1547
7.1	0.0 ¹¹ 1451	0.0 ¹¹ 1361	0.0 ¹¹ 1277	0.0 ¹¹ 1198	0.0 ¹¹ 1123	0.0 ¹¹ 1053	0.0 ¹¹ 9879	0.0 ¹¹ 9264	0.0 ¹¹ 8688	0.0 ¹¹ 8147
7.2	0.0 ¹² 7639	0.0 ¹² 7163	0.0 ¹² 6716	0.0 ¹² 6297	0.0 ¹² 5904	0.0 ¹² 5535	0.0 ¹² 5189	0.0 ¹² 4864	0.0 ¹² 4560	0.0 ¹² 4275
7.3	0.0 ¹² 4007	0.0 ¹² 3756	0.0 ¹² 3520	0.0 ¹² 3300	0.0 ¹² 3092	0.0 ¹² 2898	0.0 ¹² 2716	0.0 ¹² 2546	0.0 ¹² 2386	0.0 ¹² 2235
7.4	0.0 ¹² 2095	0.0 ¹² 1962	0.0 ¹² 1839	0.0 ¹² 1723	0.0 ¹² 1615	0.0 ¹² 1513	0.0 ¹² 1417	0.0 ¹² 1328	0.0 ¹² 1244	0.0 ¹² 1166

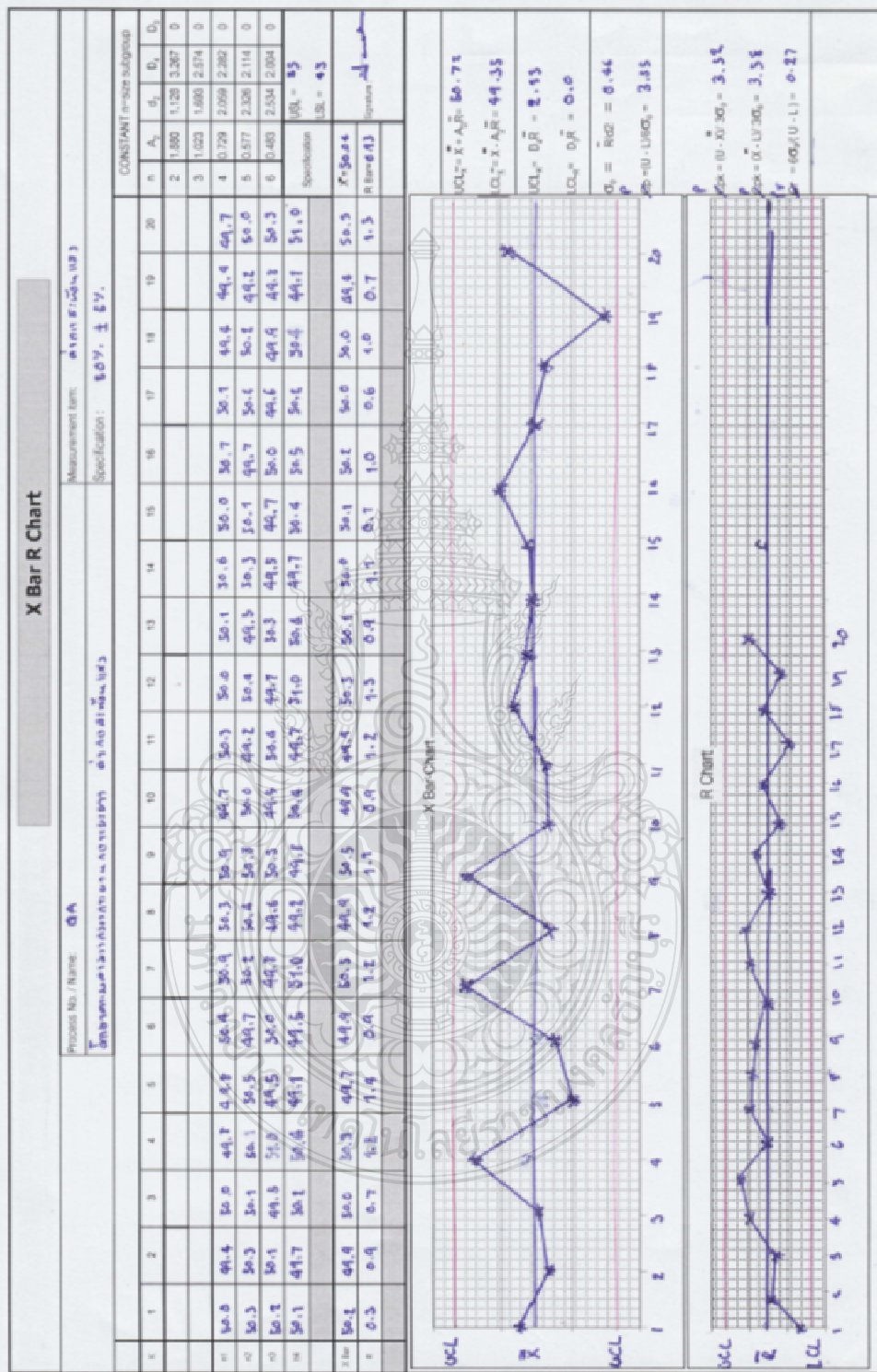
ตารางที่ 1 (ต่อ)

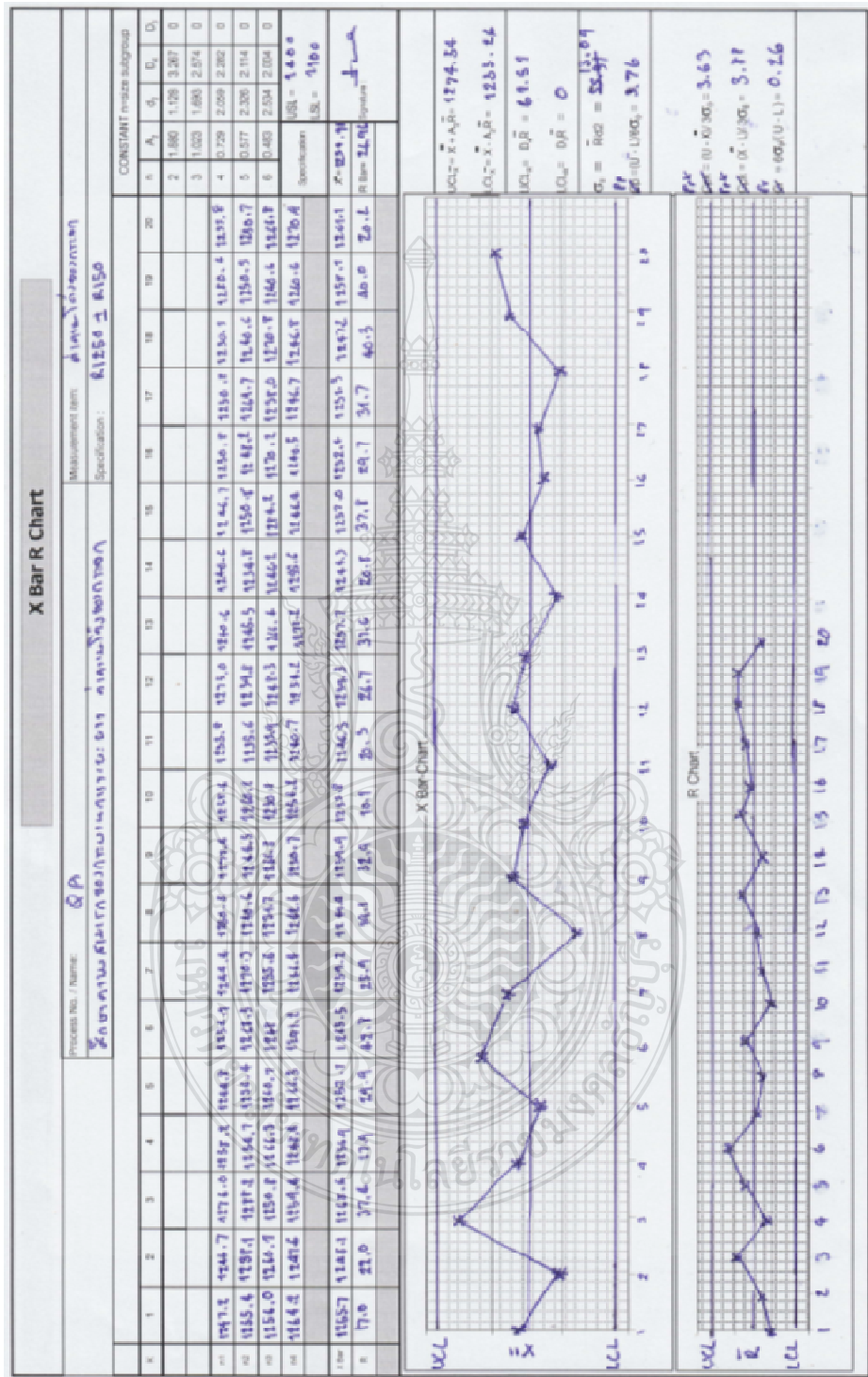
Z _α	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
7.5	0.0 ¹² 1092	0.0 ¹² 1023	0.0 ¹² 9581	0.0 ¹² 8975	0.0 ¹² 8407	0.0 ¹² 7874	0.0 ¹² 7375	0.0 ¹² 6908	0.0 ¹² 6470	0.0 ¹² 6040
7.6	0.0 ¹² 5675	0.0 ¹² 5315	0.0 ¹² 4977	0.0 ¹² 4661	0.0 ¹² 4365	0.0 ¹² 4087	0.0 ¹² 3827	0.0 ¹² 3584	0.0 ¹² 3356	0.0 ¹² 3142
7.7	0.0 ¹² 2942	0.0 ¹² 2755	0.0 ¹² 2579	0.0 ¹² 2415	0.0 ¹² 2261	0.0 ¹² 2116	0.0 ¹² 1981	0.0 ¹² 1855	0.0 ¹² 1736	0.0 ¹² 1625
7.8	0.0 ¹² 1522	0.0 ¹² 1424	0.0 ¹² 1333	0.0 ¹² 1248	0.0 ¹² 1168	0.0 ¹² 1093	0.0 ¹² 1023	0.0 ¹² 9579	0.0 ¹² 8965	0.0 ¹² 8391
7.9	0.0 ¹² 7853	0.0 ¹² 7349	0.0 ¹² 6878	0.0 ¹² 6437	0.0 ¹² 6024	0.0 ¹² 5637	0.0 ¹² 5275	0.0 ¹² 4937	0.0 ¹² 4620	0.0 ¹² 4323
8.0	0.0 ¹⁴ 4045	0.0 ¹⁴ 3785	0.0 ¹⁴ 3542	0.0 ¹⁴ 3314	0.0 ¹⁴ 3101	0.0 ¹⁴ 2901	0.0 ¹⁴ 2715	0.0 ¹⁴ 2540	0.0 ¹⁴ 2376	0.0 ¹⁴ 2223
8.1	0.0 ¹⁴ 2080	0.0 ¹⁴ 1946	0.0 ¹⁴ 1821	0.0 ¹⁴ 1703	0.0 ¹⁴ 1593	0.0 ¹⁴ 1491	0.0 ¹⁴ 1395	0.0 ¹⁴ 1305	0.0 ¹⁴ 1220	0.0 ¹⁴ 1142
8.2	0.0 ¹⁴ 1068	0.0 ¹⁴ 9991	0.0 ¹⁴ 9346	0.0 ¹⁴ 8742	0.0 ¹⁴ 8177	0.0 ¹⁴ 7649	0.0 ¹⁴ 7155	0.0 ¹⁴ 6692	0.0 ¹⁴ 6260	0.0 ¹⁴ 5855
8.3	0.0 ¹⁴ 5477	0.0 ¹⁴ 5122	0.0 ¹⁴ 4791	0.0 ¹⁴ 4481	0.0 ¹⁴ 4191	0.0 ¹⁴ 3920	0.0 ¹⁴ 3666	0.0 ¹⁴ 3429	0.0 ¹⁴ 3207	0.0 ¹⁴ 2999
8.4	0.0 ¹⁴ 2805	0.0 ¹⁴ 2624	0.0 ¹⁴ 2454	0.0 ¹⁴ 2295	0.0 ¹⁴ 2146	0.0 ¹⁴ 2007	0.0 ¹⁴ 1877	0.0 ¹⁴ 1755	0.0 ¹⁴ 1642	0.0 ¹⁴ 1535
8.5	0.0 ¹⁴ 1436	0.0 ¹⁴ 1342	0.0 ¹⁴ 1255	0.0 ¹⁴ 1174	0.0 ¹⁴ 1098	0.0 ¹⁴ 1027	0.0 ¹⁴ 9601	0.0 ¹⁴ 8978	0.0 ¹⁴ 8395	0.0 ¹⁴ 7851
8.6	0.0 ¹⁴ 7341	0.0 ¹⁴ 6865	0.0 ¹⁴ 6419	0.0 ¹⁴ 6003	0.0 ¹⁴ 5613	0.0 ¹⁴ 5249	0.0 ¹⁴ 4908	0.0 ¹⁴ 4589	0.0 ¹⁴ 4291	0.0 ¹⁴ 4013
8.7	0.0 ¹⁴ 3752	0.0 ¹⁴ 3508	0.0 ¹⁴ 3281	0.0 ¹⁴ 3068	0.0 ¹⁴ 2868	0.0 ¹⁴ 2682	0.0 ¹⁴ 2508	0.0 ¹⁴ 2345	0.0 ¹⁴ 2193	0.0 ¹⁴ 2050
8.8	0.0 ¹⁴ 1917	0.0 ¹⁴ 1792	0.0 ¹⁴ 1676	0.0 ¹⁴ 1567	0.0 ¹⁴ 1465	0.0 ¹⁴ 1370	0.0 ¹⁴ 1281	0.0 ¹⁴ 1198	0.0 ¹⁴ 1120	0.0 ¹⁴ 1047
8.9	0.0 ¹⁴ 9722	0.0 ¹⁴ 9155	0.0 ¹⁴ 8560	0.0 ¹⁴ 8004	0.0 ¹⁴ 7484	0.0 ¹⁴ 6998	0.0 ¹⁴ 6543	0.0 ¹⁴ 6118	0.0 ¹⁴ 5720	0.0 ¹⁴ 5349
9.0	0.0 ¹⁷ 5001	0.0 ¹⁷ 4676	0.0 ¹⁷ 4372	0.0 ¹⁷ 4088	0.0 ¹⁷ 3823	0.0 ¹⁷ 3578	0.0 ¹⁷ 3342	0.0 ¹⁷ 3125	0.0 ¹⁷ 2922	0.0 ¹⁷ 2732
9.1	0.0 ¹⁷ 2555	0.0 ¹⁷ 2389	0.0 ¹⁷ 2234	0.0 ¹⁷ 2089	0.0 ¹⁷ 1953	0.0 ¹⁷ 1826	0.0 ¹⁷ 1707	0.0 ¹⁷ 1597	0.0 ¹⁷ 1493	0.0 ¹⁷ 1396
9.2	0.0 ¹⁷ 1305	0.0 ¹⁷ 1221	0.0 ¹⁷ 1141	0.0 ¹⁷ 1067	0.0 ¹⁷ 9978	0.0 ¹⁷ 9302	0.0 ¹⁷ 8726	0.0 ¹⁷ 8160	0.0 ¹⁷ 7630	0.0 ¹⁷ 7135
9.3	0.0 ¹⁷ 6672	0.0 ¹⁷ 6259	0.0 ¹⁷ 5832	0.0 ¹⁷ 5394	0.0 ¹⁷ 4942	0.0 ¹⁷ 4575	0.0 ¹⁷ 4202	0.0 ¹⁷ 3822	0.0 ¹⁷ 3437	0.0 ¹⁷ 3049
9.4	0.0 ¹⁷ 3412	0.0 ¹⁷ 3191	0.0 ¹⁷ 2964	0.0 ¹⁷ 2731	0.0 ¹⁷ 2493	0.0 ¹⁷ 2251	0.0 ¹⁷ 1994	0.0 ¹⁷ 1723	0.0 ¹⁷ 1449	0.0 ¹⁷ 1167
9.5	0.0 ¹⁸ 1786	0.0 ¹⁸ 1615	0.0 ¹⁸ 1437	0.0 ¹⁸ 1253	0.0 ¹⁸ 1065	0.0 ¹⁸ 874	0.0 ¹⁸ 679	0.0 ¹⁸ 479	0.0 ¹⁸ 272	0.0 ¹⁸ 62
9.6	0.0 ¹⁸ 8943	0.0 ¹⁸ 8365	0.0 ¹⁸ 7782	0.0 ¹⁸ 7193	0.0 ¹⁸ 6600	0.0 ¹⁸ 6002	0.0 ¹⁸ 5400	0.0 ¹⁸ 4794	0.0 ¹⁸ 4184	0.0 ¹⁸ 3571
9.7	0.0 ¹⁸ 4584	0.0 ¹⁸ 4268	0.0 ¹⁸ 3911	0.0 ¹⁸ 3537	0.0 ¹⁸ 3156	0.0 ¹⁸ 2768	0.0 ¹⁸ 2372	0.0 ¹⁸ 1970	0.0 ¹⁸ 1564	0.0 ¹⁸ 1155
9.8	0.0 ¹⁸ 2352	0.0 ¹⁸ 2201	0.0 ¹⁸ 2037	0.0 ¹⁸ 1870	0.0 ¹⁸ 1700	0.0 ¹⁸ 1527	0.0 ¹⁸ 1352	0.0 ¹⁸ 1176	0.0 ¹⁸ 1000	0.0 ¹⁸ 825
9.9	0.0 ¹⁹ 1209	0.0 ¹⁹ 1131	0.0 ¹⁹ 1054	0.0 ¹⁹ 977	0.0 ¹⁹ 902	0.0 ¹⁹ 828	0.0 ¹⁹ 754	0.0 ¹⁹ 681	0.0 ¹⁹ 609	0.0 ¹⁹ 538
10.0	0.0 ²⁰ 6216	0.0 ²⁰ 5817	0.0 ²⁰ 5443	0.0 ²⁰ 5083	0.0 ²⁰ 4736	0.0 ²⁰ 4400	0.0 ²⁰ 4074	0.0 ²⁰ 3758	0.0 ²⁰ 3452	0.0 ²⁰ 3156



ภาคผนวก ข

ข้อมูลการบันทึกผลการทดลอง



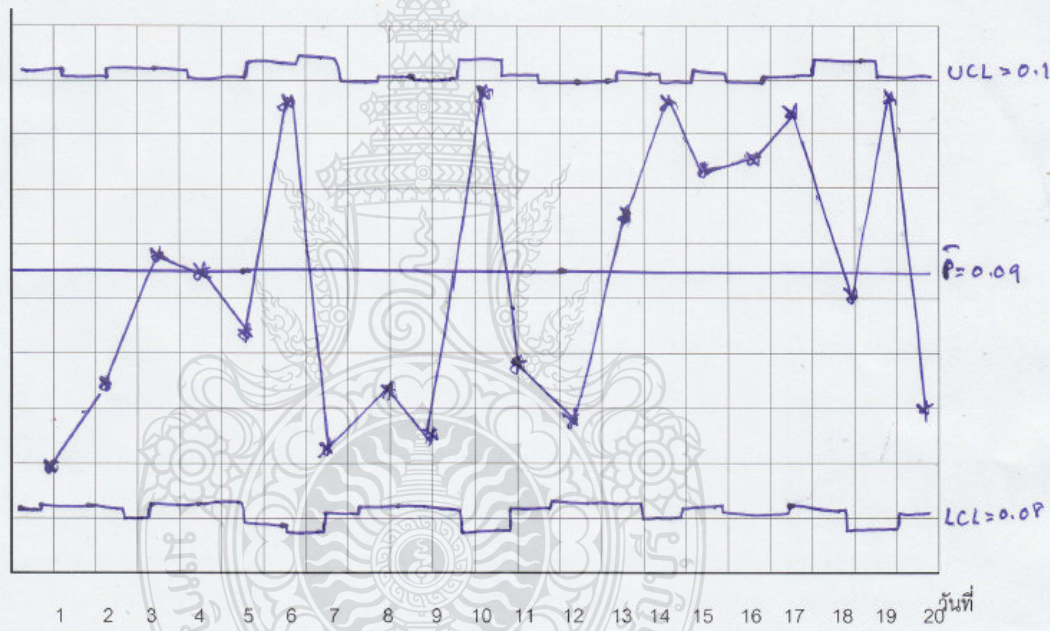


$$\frac{3896}{406}$$

วันที่	1	2	3	4	5	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
จำนวน	405	3856	4859	5148	4075	4748	4156	5167	3943	4745	5104	3208	4756	4927	4682	5207	4835	3975	4154
จำนวนของเสีย (n _i p _i)	411	456	461	489	357	396	439	434	418	426	436	511	497	487	465	536	443	413	425

P - Chart

ค่าสัดส่วนของเสีย



Determine the average proportion nonconforming - \bar{p}

$$\bar{p} = \frac{np_1 + np_2 + \dots + np_k}{n_1 + n_2 + \dots + n_k} =$$

$$UCL_p = \bar{p} + 3 \frac{\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})}}{\sqrt{n}} =$$

$$LCL_p = \bar{p} - 3 \frac{\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})}}{\sqrt{n}} =$$

ภาคผนวก จ
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่








รวมบทความ

การประชุมวิชาการยาวนาน
วิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2554
IE NETWORK CONFERENCE 2011

20 - 21 ตุลาคม 2554
โรงแรมแอมบาสเตอร์ซิตี จอมเทียน พัทยา จังหวัดชลบุรี

คณะกรรมการดำเนินการ
การประชุมข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2554

คณะกรรมการที่ปรึกษาโครงการ

1. อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	มทร.ธัญบุรี	ประธานที่ปรึกษา
2. รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและวิจัย	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
3. รองอธิการบดีฝ่ายวางแผนและพัฒนา	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
4. ผู้อำนวยการกองคลัง	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
5. ผู้อำนวยการนโยบายและแผน	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
6. ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
7. คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์	มทร.ธัญบุรี	กรรมการและเลขานุการ

คณะกรรมการดำเนินงาน

1. อ.จงกล	สุภารัตน์	มทร.ธัญบุรี	ประธานกรรมการ
2. อ.สุพัฒตรา	เกษราพงศ์	ม.ศรีปทุม	รองประธานกรรมการ
3. ผศ.ไพบุลย์	แย้มเผื่อน	มทร.ธัญบุรี	รองประธานกรรมการ
4. ผศ.กฤษณะ	ทองศรี	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
5. ผศ.ชลิตต์	มธุรสมนตรี	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
6. ผศ.ไพฑูรย์	ประทีปสุข	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
7. ผศ.พัฒนพงศ์	อริยสิทธิ์	ม.ศรีปทุม	กรรมการ
8. ผศ.มนตรี	น่วมจิตร	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
9. ผศ.สฤษฎ์ชัย	เข็มเจริญ	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
10. ผศ.สมชาย	เอี่ยมเจริญ	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
11. อ.กวิพงษ์	นิสสัยพันธุ์	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
12. อ.วิเชียร	เถื่อนเครือวัลย์	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
13. ดร.สมศักดิ์	อิทธิโสภณกุล	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
14. ดร.ธรีณี	มณีศรี	ม.ศรีปทุม	กรรมการ
15. อ.ธนิน	ศรีวระมย์	ม.ศรีปทุม	กรรมการ
16. อ.จักรพันธ์	กัณหา	ม.ศรีปทุม	กรรมการ
17. อ.พิสุทธิ	รัตนแสนวงษ์	ม.ศรีปทุม	กรรมการ
18. อ.ชรินทร์	จิตต์สว่าง	ม.ศรีปทุม	กรรมการ
19. ดร.ระพี	กาญจนะ	มทร.ธัญบุรี	กรรมการและเลขานุการ 1
20. อ.ชวลิต	มณีศรี	ม.ศรีปทุม	กรรมการและเลขานุการ 2
21. ผศ.ดร.กิตติพงษ์	กิมะพงศ์	มทร.ธัญบุรี	กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ 1
22. อ.วรพจน์	พันธุ์คง	ม.ศรีปทุม	กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ 2

คณะกรรมการฝ่ายวิชาการ

1. ผศ.ไพฑูริย์	แย้มผื่อน	มทร.ธัญบุรี	ประธานกรรมการ
2. ผศ.ดร.ณฐา	คุปต์ชะเลียร	มทร.ธัญบุรี	รองประธานกรรมการ
3. ผศ.ดร.ศิวกร	อ่างทอง	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
4. ผศ.ดร.ศิริชัย	ต่อสกุล	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
5. ผศ.นฤทธิ	คชฤทธิ์	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
6. ผศ.สุรัตน์	ตริยวนพงศ์	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
7. ผศ.ชวลิต	แสงสวัสดิ์	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
8. ดร.กุลชาติ	จุลเพ็ญ	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
9. ดร.ชัยยะ	ปราณีตพลกรัง	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
10. ดร.ระพี	กาญจนะ	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
23. ผศ.ดร.กิตติพงษ์	กิมะพงศ์	มทร.ธัญบุรี	กรรมการและเลขานุการ

คณะกรรมการฝ่ายจัดหารายได้สนับสนุน

1. อ.จกกล	สุภารัตน์	มทร.ธัญบุรี	ประธานกรรมการ
2. ดร.สมศักดิ์	อิทธิโสภณกุล	มทร.ธัญบุรี	รองประธานกรรมการ
3. ผศ.สมศักดิ์	แก่นทอง	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
4. อ.กวีพงษ์	นิสสัยพันธุ์	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
5. อ.วิเชียร	เถื่อนเครือวัลย์	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
6. อ.สมควร	แววดี	มทร.ธัญบุรี	กรรมการและเลขานุการ

คณะกรรมการฝ่ายสถานที่และยานพาหนะ

1. ผศ.ดร.ศิวกร	อ่างทอง	มทร.ธัญบุรี	ประธานกรรมการ
2. ผศ.สมศักดิ์	แก่นทอง	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
3. อ.ประจักษ์	อ่างบุญตา	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
4. อ.ปราโมทย์	พูนนายม	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
5. อ.ปรกช	สิริสุวณัฏ	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
6. อ.บุญส่ง	จกกลณี	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
7. นายชเนรินทร์	รักสัตย์	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
8. นายณัฐพนธ์	ทองล้ำ	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
9. นายสิทธิชัย	ยศสาย	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
10. นายเลิศชัย	ไม้เลี้ยง	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
11. นายกฤษดา	จันทร์แย้ม	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
12. นายสาโรจน์	อุคซสาร	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
13. นายดำรงค์	เต่าจันทร์	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
14. นายมารุจน์	ติสันทา	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
15. อ.สมควร	แววดี	มทร.ธัญบุรี	กรรมการและเลขานุการ

คณะกรรมการฝ่ายการเงินและการลงทะเบียน

1. ผศ.ศรีไร	จารุภิญโญ	มทร.ธัญบุรี	ประธานกรรมการ
2. อ.วราญา	วิวัฒนจิตสิริ	มทร.ธัญบุรี	รองประธานกรรมการ
3. น.ส.บุญดา	หมั่นทองสุข	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
4. น.ส.บุษราภรณ์	จิตจำเนียร	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
5. น.ส.สุทธาทิพย์	ศรีวันนา	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
6. น.ส.อัมพิกา	พนันชัย	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
7. นางกนทิมา	จองสุข	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
8. น.ส.สุทิตา	จันทร์บุตร	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
9. น.ส.วัชรี	อุตตะมะ	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
10. น.ส.แวนต้า	อติสุคนธ์	มทร.ธัญบุรี	กรรมการและเลขานุการ

คณะกรรมการฝ่ายประชาสัมพันธ์และสารสนเทศ

1. ผศ.สุรัตน์	ตรัยวนพงศ์	มทร.ธัญบุรี	ประธานกรรมการ
2. ผศ.ดร.กิตติพงษ์	กิมะพงศ์	มทร.ธัญบุรี	รองประธานกรรมการ
3. อ.พันธุ์พงษ์	คงพันธุ์	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
4. อ.ศักดิ์ชัย	จันทศรี	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
5. อ.ศุภเอก	ประมูลมาก	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
6. น.ส.จุฬาลักษณ์	คำแก้ว	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
7. น.ส.ธนาวดี	เนตรกรรม	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
8. น.ส.บุญดา	หมั่นทองสุข	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
9. อ.วราญา	วิวัฒนจิตสิริ	มทร.ธัญบุรี	กรรมการและเลขานุการ

คณะกรรมการฝ่ายพิธีการและการต้อนรับ

1. ดร.กุลชาติ	จุลเพ็ญ	มทร.ธัญบุรี	ประธานกรรมการ
2. ผศ.ไพฑูรย์	พูลสุขโข	มทร.ธัญบุรี	รองประธานกรรมการ
3. อ.ปราโมทย์	พูนนายม	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
4. น.ส.ชลธิชา	โพธิ์สิงห์	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
5. น.ส.นุชจรินทร์	พิภพ	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
6. อ.ปรกช	สิริสุวัฒน์	มทร.ธัญบุรี	กรรมการและเลขานุการ

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิในการพิจารณาบทความ
การประชุมข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2554

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รศ.ดร.จิตรา รุ่งกิจการพานิช
ผศ.ดร.ณัฐชา ทวีแสงสกุลไทย
ผศ.ดร.ประมวล สุธีจาร์วัฒน

รศ.ดร.ปารเมศ ชูติมา
ผศ.ดร.ดาริชา สุธีวงศ์
ผศ.ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดร.ปฎิภาณ จัยเจิม
ดร.สุดารัตน์ วงศ์กั๊กรเกียรติ

ดร.บุญณมี สัจจกมล
ดร.สุวิษภรณ์ วิชกุล

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

ดร.ชัยวัฒน์ นุ่มทอง
ดร.ศิริรัตน์ หมั่นวณิชกุล
อ.จันจิรา คงชื่นใจ

ดร.เพ็ญสุตา พันฤทธิ์ดำ
ดร.สิรางค์ กลั่นคำสอน

มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

ผศ.ชานนท์ มุลวรรณ
อ.ประภาพรรณ เกษราพงศ์

ดร.ศักดิ์ชาย รักการ
อ.จักรินทร์ กลั่นเงิน

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รศ.ดร.พรเทพ ขอบฉายเกียรติ
ผศ.ดร.ชาญณรงค์ สายแก้ว
ผศ.ดร.วีรพัฒน์ เศรษฐ์สมบูรณ์
ดร.ปาพจน์ เจริญอภิบาล

รศ.ดร.ศุภชัย ปทุมนากุล
ผศ.ดร.दनัยพงษ์ เขษฐโชติศักดิ์
ดร.ธนา ราษฎร์ภักดิ์

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

รศ.ดร.วิชัย ฉัตรทินวัฒน์
ผศ.ดร.คมกฤต เล็กสกุล
ผศ.ดร.สรรฐติชัย ชิวสุทธิศิลป์
ผศ.ดร.อรรถพล สมุทรคุปต์
ดร.ชมพูนุท เกษมเศรษฐ์
ดร.อนิรุท ไชยจาร์วนิช

รศ.ดร.วิมลน เทลาศิริถาวร
ผศ.ดร.วิสต์นัย วรรณจรรย์ยา
ผศ.ดร.อภิชาติ โสภานแดง
ดร.กรกฎ ไบบัวเทศ ทิพย์าวงศ์
ดร.วสวัชร นาคเขียว

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

รศ.คมสัน จิระภัทรศิลป์
 รศ.ดร.สิทธิชัย แก้วเกื้อกุล
 ผศ.ดร. เจริญชัย โขมพัตราภรณ์
 ผศ.พจมาน เตียวัฒนรัฐติกาล
 ดร.วิศิษฐ์ศรี วิยะรัตน์
 อ.ปรีชาญา เพ็ญสุระ

รศ.ดร.บวรโชค ผู้พัฒน์
 รศ.สันติรัฐ นันสะอาจ
 ผศ.ดร.เตือนใจ สมบูรณ์วิวัฒน์
 ดร.ช่อแก้ว จตุรานนท์
 ดร.อิศรทัต พึ่งอัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

รศ.วันชัย แหลมหลักสกุล

ดร.กนกพร ศรีปฐมสวัสดิ์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รศ.ดร.กรรณชัย กัลยาศิริ
 ผศ.ดร. สกนธ์ คล่องบุญจิต
 ดร. อุตม จันทร์จรัสสุข
 ดร.ชุมพล ยวงใย

รศ.ดร. ฤดี มาสุจันทร์
 ผศ.ดร.สิทธิพร พิมพ์สกุล
 ดร.พิชญ์วดี กิตติปัญญางาม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ผศ.พิชัย จันทร์มณี

ผศ.วิชาญ ช่วยพันธ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล

ผศ.ณัฐศักดิ์ พรพุมศิริ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

ดร.นเรศ อินดีะวงศ์
 ดร.ภาคภูมิ จารุภูมิ

ดร.บรรเจิด แสงจันทร์
 ผศ.มนวิภา อาวิพันธุ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

รศ.สุชาติ เย็นวิเศษ
 ผศ.สุรสิทธิ์ ระวีวงศ์

ผศ.เดช เหมือนขาว

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผศ.ดร.พรศิริ จงกล
 ดร.ปภากร สุนานนท์
 อ.นรา สมัตถภาพงค์

ดร.พงษ์ชัย จิตตะมัย
 ดร.ปวีร์ ศิริรักษ์

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

รศ.ดร.จิรรัตน์ ธีระวราพฤกษ์
 ผศ.ดร.วุฒิชัย วงษ์ทัศนีย์กร
 ผศ.ดร.สวัสดี ภาரசระราช

รศ.ดร.จิรศิริพงษ์ เจริญภักดิ์
 ผศ.ดร.วรารัตน์ กังสัมฤทธิ์
 ผศ.ดร.เสมอจิตร์ หอมรสสุนธ์

มหาวิทยาลัยนเรศวร

ผศ.ดร.ภูพงษ์ พงษ์เจริญ
 ดร.ขวัญนิตี คำเมือง
 ดร.ภาณุ บูรณจารุกร
 อ.ศรีสัจจา วิหยศักดิ์

ผศ.ศิษฎา สิมารักษ์
 ดร.สมลักษณ์ วรรณฤมล
 อ.ธณิกานต์ ชงชัย

มหาวิทยาลัยปทุมธานี

ดร. ภาสพิรุฬห์ ศรีสำเร็จ

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ผศ.ดร.เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป
 ผศ.ดร.บพิช บุปผโชติ
 ดร.นิตา ชัยมูล

ผศ.ดร.สุดสาคร อินธิเดช
 ดร.อรอุมา ลาสุนนท์

มหาวิทยาลัยมหิดล

รศ.ดร.ดวงพรรณ ศฤงคารินทร์
 ดร.จิรพรรณ เต็งโรคาพาธ

ผศ.ดร.วเรศรา วีระวัฒน์
 ผศ.ศุภชัย นาทะพันธ์

มหาวิทยาลัยรังสิต

ผศ.ดร.ธนวรรณ อัครไพบูลย์
 ผศ.สินี สุขกรมใส
 อ.ศิลปชัย วัฒนเสย
 อ.พรรคพงษ์ แก่นณรงค์

ผศ.ดร.เพ็ญจันทร์ จริงจิตร
 ดร.พิชญ มนต์ปิติ
 อ.ต่อศักดิ์ อุทัยไขฟ้า
 อ.สายสุนีย์ พงษ์พัฒนศึกษา

มหาวิทยาลัยรามคำแหง

ผศ.ดร. ภฤชดา พิศลยบุตร
 อ.นุกุล อุบลบาน

ดร.เลิศเลขา ธนะชัยพันธ์
 อ.นันทวรรณ อ้าเอี่ยม

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

รศ.ธนรัตน์ แต้ววัฒนา
 ผศ.ดร.นิลวรรณ ชุ่มฤทธิ์
 ดร.สิริเดช ชาตินิยม

ผศ.ดร.ทศพล เกียรติเจริญผล
 ดร.ณัฐพงษ์ คงประเสริฐ
 ดร.พงษ์เพ็ญ จันทนะ

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

ผศ.พัฒนาพงศ์ อริยสิทธิ์

อ.จักรพันธ์ กัณหา

อ.ธนิน ศรีวระมย์

อ.วรพจน์ พันธุ์คง

ดร.จริณี มณีศรี

อ.ชวลิต มณีศรี

อ.พิสุทธิ์ รัตนแสนวงษ์

อ.สุพัฒตรา เกษราพงศ์

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ผศ.ดร.ประจวบ กล่อมจิตร

ผศ.ปฎิพัทธ์ หงษ์สุวรรณ

ผศ.สุขุม โฆษิตชัยมงคล

ดร.กัญจนา ทองสนิท

ดร.สิทธิชัย แซ่แหล่ม

ผศ.จันทร์เพ็ญ อนุรัตนานนท์

ผศ.วันชัย ลีลากวีวงศ์

ผศ.สุวัฒน์ เฌรโต

ดร.ณัฐพล ศิริสว่าง

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

รศ.ดร.นิกร ศิริวงศ์ไพศาล

รศ.สมชาย ชูโฉม

ผศ.ดร.เจษฎา วรณสินธุ์

ผศ.ดร.นภิสพร มีมงคล

ผศ.ดร.รัฐชนา สีนธวาลัย

ผศ.ดร.เสกสรร สุธรรมานนท์

ผศ.เจริญ เจตวิจิตร

ผศ.ยอดดวง พันธุ์รรา

รศ.วนิดา รัตนมณี

ผศ.ดร.กลางเดือน โพชนา

ผศ.ดร.ธเนศ รัตนวิไล

ผศ.ดร.ประภาส เมืองจันทร์บุรี

ผศ.ดร.สุภาพรณ ไชยประพัทธ์

ผศ.ดร.องุ่น สังขพงศ์

ผศ.พิเชฐ ตระการชัยศิริ

ผศ.สงวน ตั้งโพธิธรรม

มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย

อ.จิตลดา ชัมเจริญ

อ.วรลักษณ์ เสถียรรังสฤษฏ์

อ.อรอุมา กอสนาน

อ.นิศากร สมสุข

อ.อัญชลี สุพิทักษ์

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ผศ.ดร.คณิศร ภูนิคม

ผศ.ดร.นุชสรา เกรียงกรกฎ

ผศ.ดร.ระพีพันธ์ ปิตาคะโส

ผศ.ดร.สุขอังคณา ลี

ดร.จริยาภรณ์ อุ่นวงษ์

ผศ.ดร.นลิน เพ็ชรทอง

ผศ.ดร.ปรีชา เกรียงกรกฎ

ผศ.ดร.สมบัติ สินธุเชาวน์

ดร.ธารชуда พันธุ์นิกุล

ดร.สัณณ์ โอฬาพิริยะกุล

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

ดร.กรกฎ เหมสถาปัติย์

ดร.ดำรงเกียรติ รัตนอมรพิน

สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

ผศ.ชัยพฤกษ์ อภาเวท

อ.เจษฎา วงศ์อ่อน

ผศ.ประยูร สุรินทร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

รศ.ดร.ชัยยุทธ ช่างสาร

ผศ.ดร.กิตติพงษ์ กิมะพงศ์

ผศ.ดร.ณฐา คุปต์ชะเอิยร

ผศ.ดร.ศิวกร อ่างทอง

ผศ.ดร.สมหมาย ผิวสอาด

ดร.กุลชาติ จุลเพ็ญ

ดร.ณรงค์ชัย โอเจริญ

ดร.สรพงษ์ ภาสุปรีย์

ผศ.สุรัตน์ ตรียวนพงศ์

รศ.มานพ ต้นตระกูลบัณฑิตย์

ผศ.ดร.จตุรงค์ ลังกาพันธุ์

ผศ.ดร.วารุณี อริยวิริยะนันท์

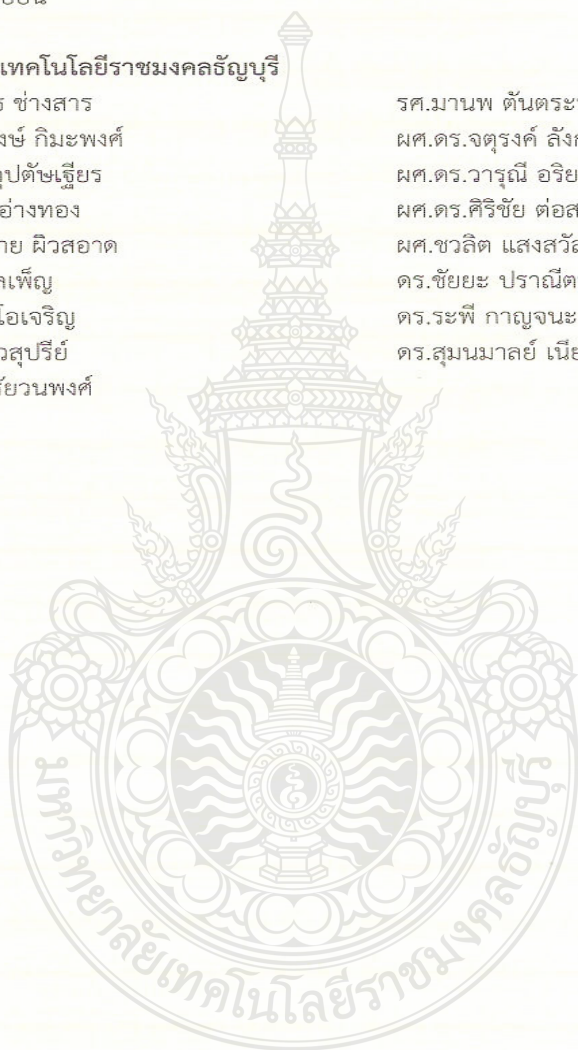
ผศ.ดร.ศิริชัย ต่อสกุล

ผศ.ชวลิต แสงสวัสดิ์

ดร.ชัยยะ ปราณิตพลกรัง

ดร.ระพี กาญจนะ

ดร.สุนนมาลย์ เนียมกลาง



สารบัญ (ต่อ)

QMA03	การลดข้อบกพร่องในกระบวนการทำสีหลังการถนอมทุกเชิงพาณิชย์ ไพฑูรย์ ศิริโอฬาร ชลิตา ขามวิจิตร	98
QMA04	การแก้ไขปัญหาการสึกหรอของช่องว่างหลังประกอบประกับเพลาลูกเบี้ยวและ เพลาลูกเบี้ยวในเครื่องยนต์ดีเซล อดิเทพ ชูศรี สมชาย พัวจินดาเนตร	99
QMA05	การลดของเสียในกระบวนการผลิตกระจกโครเมียมโดยใช้หลักการออกแบบการ ทดลอง ปิยพงษ์ รัตเขียว	100
QMA06	การบูรณาการของวิศวกรรมคุณค่า และ ซิกซ์ ซิกมาสำหรับอุตสาหกรรมการผลิต เภสัชภัณฑ์ จิรายุ จิตเจือจุน อัมพิทา ไกรฤทธิ์ ปรมิธ วิสุวรรณ	101
QMA09	การควบคุมคุณภาพในงานอุตสาหกรรมเพื่อลดต้นทุนการผลิตโดยการจัดการ ชิ้นส่วนคองคั้ง จิรัญญา โชตยะกุล ชาคริต ศรีทอง ชานี ใจประดิษฐ์ธรรม	102
QMA10	การลดสัดส่วนของเสียในกระบวนการฉีดพลาสติก โดยประยุกต์ใช้การออกแบบการ ทดลองกรณีศึกษาโรงงานผลิตเครื่องซักผ้า ภคจิรา พึ่งสุข วิชัย รุ่งเรืองอนันต์	103
QMA11	การลดสัดส่วนของเสียในกระบวนการฉีดพลาสติก โดยประยุกต์ใช้การออกแบบ การทดลอง กรณีศึกษาโรงงานผลิตเครื่องซักผ้า ฤทธิชัย สังฆทิพย์ ประยูร สุรินทร์	104
QMA12	การศึกษาหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการผลิตแผ่นวัสดุก่อสร้างจากเส้นใยมะพร้าว ผสมซีเมนต์กับผงคอนกรีต โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง ฤทธิชัย สังฆทิพย์ ประยูร สุรินทร์	105
QMA13	การขึ้นรูปแผ่นเส้นใยอัดความหนาแน่นปานกลางจากผักตบชวา โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง ฤทธิชัย สังฆทิพย์ ประยูร สุรินทร์	106



การลดของเสียในกระบวนการผลิตกระจกโครเมียมโดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง Design of Experiment to Reduce Waste in Chrome Coated Mirror Process

ปิยพงษ์ รัตเชียว^{1*} ณฐา คุปต์ชัย²

^{1,2} ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี รหัสไปรษณีย์ 12110

E-mail: piyapong.r-engineer@hotmail.com*

บทคัดย่อ

กระบวนการผลิตกระจกโครเมียมเป็นส่วนหนึ่งของการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ในอุตสาหกรรมยานยนต์ของบริษัทในกรณีศึกษา มักพบปัญหาจากกระบวนการผลิตกระจกโครเมียมที่มีของเสียเกิดขึ้นในกระบวนการผลิตสูง อีกทั้งคุณภาพของผลิตภัณฑ์คือตัวกระจกโครเมียมนั้นเกิดความไม่แน่นอนในกระบวนการผลิต โดยเกิดข้อบกพร่องในกระบวนการผลิตกระจกใญ่ คุปต์ชัยเรียวิวิการะจก การผิดเพี้ยนของภาพ เกิดจุดบนผิวกระจก เป็นต้น ทั้งนี้การลดของเสียและปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการผลิตกระจกโครเมียมโดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง ประกอบด้วย Alternative DOE และ Classic DOE โดยใช้ Alternative DOE ทำการกรองปัจจัย และลดจำนวนการทดลองโดยใช้วิธีการทาากูชิ (Taguchi's method) ส่วน Classic DOE เพื่อเพิ่มความเชื่อมั่นในการทดลองโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว (One-way ANOVA) ผลจากการศึกษาพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดของเสียมากที่สุดคือ ปัจจัยรูปแบบรถเข็น รองลงมาคือปัจจัยระบบป้องกันฝุ่นบนสายพาน และพบปัจจัยที่ส่งผลด้านคุณภาพคือ ปัจจัยเวลาในการเคลือบโครเมียม และผลจากการศึกษาพบว่าเงื่อนไขที่ดีที่สุดทั้งด้านการลดของเสียและคุณภาพที่ดีที่สุดคือ ปัจจัยอุณหภูมิอบที่ 690 °C ความเร็วสายพานที่ 15m/min. รูปแบบรถเข็นแบบมีร่อง ระบบเครื่องฝนขอบกระจกแบบใช้พลาสติกกัน ระบบป้องกันฝุ่นบนสายพานแบบใช้แรงดันลม และเวลาในการเคลือบโครเมียมที่ 8 วินาที

คำหลัก การผลิตกระจกโครเมียม, การปรับปรุงคุณภาพ, วิธีการของทาากูชิ

1. บทนำ

ปัจจุบันการแข่งขันทางธุรกิจมีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้นทั้งภาคการผลิตและบริการมีความพยายามแข่งขันเพื่อความอยู่รอดของธุรกิจและเป็นผู้นำทางตลาดด้านการผลิตสินค้าและบริการ โดยปัจจัยหลักที่ส่งผลให้ธุรกิจและอุตสาหกรรมนั้น ๆ ประสบความสำเร็จคือ การผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพเป็นที่เชื่อถือของผู้บริโภคและการบริการที่ดี ซึ่งความหมายของคำว่า ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพคือ การที่ผลิตภัณฑ์นั้น ๆ มีคุณสมบัติตรงตามข้อกำหนดข้อกำหนดเฉพาะ มีความเหมาะสมกับการใช้งาน และเป็นที่ยอมรับ

ของผู้บริโภค การกำหนดคุณภาพของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดนั้นสามารถทำได้โดยการนำความต้องการของผู้บริโภค มาสร้างเป็นมาตรฐานผลิตภัณฑ์หรือข้อกำหนดที่กำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์แล้วทำการควบคุมการผลิตให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์หรือข้อกำหนดที่กำหนดเฉพาะนั้นๆ ดังนั้นการปรับปรุงพัฒนาและการศึกษาหาปัจจัยในการผลิตที่เหมาะสมเพื่อนำไปสู่การควบคุมกระบวนการผลิต ให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์หรือข้อกำหนดที่กำหนดเฉพาะนั้นๆ จึงเป็นกิจกรรมสำคัญที่องค์กรไม่ควรมองข้าม

อุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วนประกอบยานยนต์จัดเป็นอุตสาหกรรมสำคัญของประเทศมีมูลค่าส่งออก เป็นอันดับ 2 ของประเทศ [1] มีผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์สนับสนุนที่เป็นของคนไทยที่อยู่ในห่วงโซ่อุปทานของการผลิตเป็นจำนวนมาก และอุตสาหกรรมผลิตกระจกมองข้างสำหรับยานยนต์ ก็เป็นอีกส่วนหนึ่งในผู้ผลิตชิ้นส่วนประกอบยานยนต์ ซึ่งมีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับอุตสาหกรรมยานยนต์ ทำให้มีการเติบโตหรือชะลอตัวตามกัน โรงงานกรณีศึกษาถือเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมการผลิตกระจกมองข้างสำหรับยานยนต์ ที่ทำการผลิตและจำหน่ายให้กับอุตสาหกรรมยานยนต์ ทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ ซึ่งขณะนี้โรงงานกรณีศึกษามีสภาวะในการแข่งขันเชิงคุณภาพสูง ดังนั้นจึงต้องแสวงหาวิธี หรือแนวทางเพื่อพัฒนาตนเองเพื่อการจำหน่ายทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ และตอบสนองความต้องการของลูกค้าให้ได้รับความพึงพอใจสูงสุด ฉะนั้นการพัฒนากระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ได้มาซึ่งความเป็นเลิศของความสามารถของกระบวนการผลิตจึงเป็นแนวทาง ให้ได้มาซึ่งความสำเร็จในทุกอุตสาหกรรม

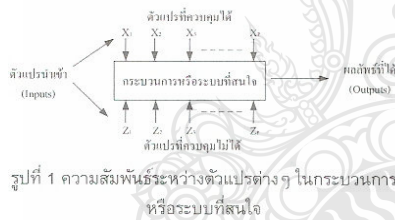
สำหรับงานวิจัยนี้เป็นการทดลองเพื่อศึกษากระบวนการผลิตกระจกโครเมียมเพื่อหาปัจจัยและระดับปัจจัยที่ทำให้เกิดของเสียรวมทั้งด้านคุณภาพต่อผลิตภัณฑ์กระจกโครเมียม โดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง ซึ่งจากการวิเคราะห์รากเหง้าของสาเหตุของปัญหา ทำให้ทราบถึงประเภทของปัญหาคือ รอยขีดข่วนที่เกิดขึ้นบนผิวกระจก การผิดเพี้ยนของภาพ และการเกิดจุดบนผิวกระจก และผลจากการศึกษาหาปัจจัยและระดับปัจจัยเพื่อลดหรือขจัดรากเหง้าของปัญหา ต่อจากนั้นจะทำการกำหนดปัจจัยและระดับปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อทำการลดของเสียจากกระบวนการผลิตกระจกโครเมียมรวมทั้งปรับปรุงด้านคุณภาพของกระจกโครเมียม



2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การออกแบบการทดลอง

Montgomery [2] ได้กล่าวไว้ว่า ถ้าต้องการให้การทดลองเกิดประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ผลได้สูงสุดจะต้องนำวิธีการทางวิทยาศาสตร์เข้ามาช่วยในการวางแผนการทดลอง คำว่า "การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ" หมายถึง กระบวนการในการวางแผนการทดลองเพื่อว่าจะได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสมที่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธีการทางสถิติ ซึ่งจะทำได้หาข้อสรุปที่สมเหตุสมผลได้ การออกแบบการทดลอง [3] คือการทดสอบเพียงครั้งเดียวหรือต่อเนื่อง โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรนำเข้า (Input Variables) ในระบบหรือกระบวนการที่สนใจศึกษา เพื่อที่จะทำให้สามารถสังเกตและชี้ถึงสาเหตุต่างๆ ที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ที่ได้ (Output or Response) จากกระบวนการหรือระบบนั้น โดยตัวแปรนำเข้าจะถูกจัดแบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่ควบคุมได้ เรียกว่า "ตัวแปร (หรือปัจจัย) ที่ควบคุมได้ (Controllable Variables or Factors) หรือตัวแปร (หรือปัจจัย) ที่สามารถออกแบบได้" (Design Variables or Factors) และกลุ่มที่ไม่สามารถควบคุมได้ เรียกว่า "ตัวแปร (หรือปัจจัย) ที่รบกวนระบบ" (Uncontrollable or Noise Variables (Factors)) ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ในกระบวนการหรือระบบที่สนใจ

2.2 แบบการทดลองทางสถิติ

แบบการทดลองทางสถิติ [3] คือ การทดลองที่มีลักษณะเป็นแบบการทดลองออร์ทอกอนัล (Orthogonal Array) เหมาะในการศึกษาผลกระทบปัจจัยหลัก (Main Effects) เป็นแบบการทดลอง Resolution III กล่าวคือ ผลกระทบปัจจัยหลักมีโครงสร้างซ้ำซ้อนกับผลกระทบปัจจัยหลัก และผลกระทบร่วม 2 ปัจจัย จึงเหมาะสำหรับการคัดปัจจัยทิ้ง (Screening Factors)

2.3 การทดลองอย่างสุ่มสมบูรณ์หรือการจำแนกทางเดียว

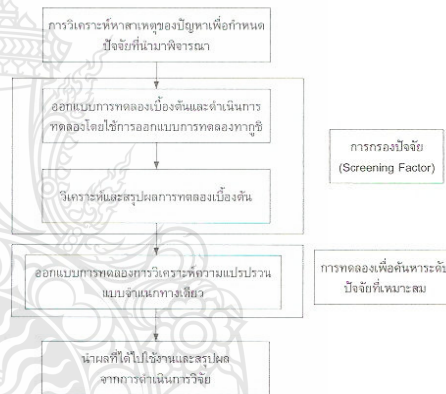
การวิเคราะห์ความแปรปรวน [3] เป็นวิธีการทดสอบเพื่อหาข้อสรุปทางสถิติเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของระบบ ในกรณีศึกษาเปรียบเทียบกับกลุ่มตัวอย่างตั้งแต่สองกลุ่มขึ้นไป โดยมีพื้นฐานมาจากการวิเคราะห์ ที่มาของสาเหตุ หรือแหล่งที่ก่อให้เกิดความแตกต่างของค่าตอบสนอง (Responses) หรือค่าผลลัพธ์ลักษณะคุณภาพที่ต้องการควบคุม (Desired Quality Characteristics) และการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว เป็นการสนใจศึกษาปัจจัยเพียงปัจจัยเดียว ซึ่งจำนวนระดับที่สนใจศึกษาของปัจจัย

เท่ากับ a ระดับ เพื่อดูว่าระดับที่แตกต่างกันของปัจจัยนั้น จะมีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยของตัวแปรตอบสนอง อย่างมีนัยสำคัญหรือไม่

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ได้แบ่งส่วนการวิจัยออกเป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ

- 1) การค้นหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการทำให้เกิดของเสียและปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อลักษณะคุณภาพต่อกระบวนการผลิตกระดาษโครเมียม โดยการกรองปัจจัย (Screening Factor) ด้วยแบบการทดลองทางสถิติ เพื่อลดปัจจัยหลักที่ไม่มีความสำคัญ และนำปัจจัยหลักที่เหลืออยู่ไปศึกษาต่อ เพื่อหาสาเหตุที่เหมาะสมในส่วนต่อไป
- 2) การทดลองเพื่อค้นหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว สามารถอธิบายเป็นแผนผังแสดงลำดับขั้นตอนการดำเนินการวิจัยได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนผังแสดงลำดับขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.1 การกำหนดปัจจัยและระดับปัจจัยที่จะใช้ในการวิจัย

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการระดมสมองของทีมงาน ซึ่งเป็นผู้ที่มีประสบการณ์และมีความเชี่ยวชาญในกระบวนการผลิต จากนั้นจะนำเอาเครื่องมือทางสถิติคือ แผนผังก้างปลาหรือแผนภาพเหตุและผล [4] เป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์สำหรับวิเคราะห์ข้อมูล โดยพิจารณาสาเหตุ (Causes) ที่มีผล (Effect) โดยตรงกับลักษณะคุณภาพ (Quality Characteristic) ของปัญหาที่สนใจศึกษา ซึ่งจากการระดมสมอง และนำแผนผังก้างปลามาช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลจึงได้ตั้งแผนผังก้างปลาดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนภาพแสดงสาเหตุของปัญหาของเสียประเภทรอยขีดข่วนที่เกิดขึ้นบนผิวกระจก การกัดพื้นของภาพ และการเกิดจุดบนผิวกระจก

จากแผนภาพสาเหตุของปัญหา สามารถสรุปปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่อาจจะส่งผลกระทบต่อโอกาสการเกิดของเสียประเภทรอยขีดข่วนที่เกิดขึ้นบนผิวกระจก การกัดพื้นของภาพ และการเกิดจุดบนผิวกระจกได้ดังตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1 ปัจจัยและระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลองวิธีการทากระจก

สัญลักษณ์	ปัจจัย	ระดับของปัจจัย	
		Low (1)	High (2)
A	อุณหภูมิอบ	690 °C	740 °C
B	ความเร็วสายพาน	15m/min	25m/min
C	รูปแบบรถเข็น	มีร่อง	ไม่มีร่อง
D	ระบบเครื่องฟ่นขอบ	ใช้น้ำ	พลาสติก
E	กันฝุ่นบนสายพาน	พลาสติก	แรงดัน
F	เวลาเคลือบโครเมียม	7 Sec.	10 Sec.
Interaction	อุณหภูมิอบ X ความเร็วสายพาน		

การกำหนดระดับปัจจัยในการทดลอง เป็นการกำหนดจากขอบเขตข้อกำหนดต่ำสุด-สูงสุด และรูปแบบก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง อาทิอุณหภูมิของการอบกระจกจะมีข้อกำหนดอยู่ในช่วง 690 °C ถึง 740 °C ความเร็วของสายพานลำเลียงกระจกเข้าเครื่องอบกระจก อยู่ในช่วง 15 m/min. ถึง 25 m/min. รูปแบบของรถเข็นซึ่งจากการระดมสมองทำให้พบว่ารูปแบบของรถเข็นเดิมนั้นอาจจะส่งผลกระทบต่อปัญหา ประเภททำให้เกิดรอยขีดข่วนบนผิวกระจก ดังนั้นการกำหนดระดับปัจจัยจึงเป็นรูปแบบรถเข็นก่อนการปรับปรุงคือ ฟันรองกระจกจะเรียบและวางแผ่นกระจกซ้อนกัน และรูปแบบปรับปรุงใหม่คือ ฟันรองกระจกจะมีร่องวางกระจกได้ครั้งละหนึ่งแผ่น ทำให้กระจกไม่สัมผัสและซ้อนกัน ระบบเครื่องฟ่นขอบกระจกในกระบวนการฟ่นขอบกระจก จะมีชุดป้องกันเศษกระจกที่ถูกฟ่นขอบกระเด็นออกมาถูกกระจกแผ่นอื่นที่อยู่ในกระบวนการ โดยระบบเดิมจะใช้น้ำหล่อแผ่นกระจกไว้ และรูปแบบปรับปรุงจะใช้พลาสติกครอบป้องกันการกระเด็นของเศษกระจก ระบบป้องกันฝุ่น

บนสายพานลำเลียงกระจกไปสู่กระบวนการเคลือบโครเมียม โดยในแบบก่อนปรับปรุงจะใช้พลาสติกครอบสายพานไว้ และรูปแบบปรับปรุงได้ทำการติดตั้งชุดท่อลมเข้าไปเพื่อใช้แรงดันลม เป็นตัวผลักดันไม่ให้เข้ามาในชุดลำเลียงกระจกโดยสายพาน และสุดท้ายคือเวลาในการเคลือบโครเมียมของเครื่องเคลือบโครเมียม มีขอบเขตข้อกำหนดอยู่ในช่วง 7 วินาที ถึง 10 วินาที

ดังนั้นในการกำหนดระดับปัจจัยในส่วนการออกแบบเพื่อกรองปัจจัย จึงเป็นการกำหนดระดับปัจจัยที่ 2 ระดับ 6 ปัจจัย โดยใช้แผน L_{27} Orthogonal Array ดังตารางที่ 2 โดยมีผลตอบสนอง Y_1 = ชิ้นงานดีไม่มีข้อบกพร่อง Y_2 = ชิ้นงานมีข้อบกพร่อง แต่อยู่ในข้อกำหนดมาตรฐาน Y_3 = ชิ้นงานดีไม่มีข้อบกพร่อง ไม่ผ่านข้อกำหนดมาตรฐาน Y_R = ค่าการสะท้อนของแสง Y_C = ค่าความโค้งของกระจก โดย $Y_1 - Y_3$ มีลักษณะข้อมูลเป็น Attribute Data และ Y_R, Y_C มีลักษณะข้อมูลเป็น Variable Data

ตารางที่ 2 แผนการทดลอง L_{27} Orthogonal Array

Run#	A	B	AxB	C	D	E	F
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

การกำหนดปัจจัยและระดับปัจจัยในส่วนของการค้นหา ระดับปัจจัยที่เหมาะสมโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว นั้น ได้มาจากการทดลองโดยการกรองปัจจัย (Screening Factor) และหลังจากการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองเบื้องต้นโดยการกรองปัจจัย ต้องพบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลตอบสนองมีเพียงปัจจัยเดียว และในการกำหนดระดับปัจจัยนั้นจะต้องคำนึงถึงความละเอียด ในการทดลองว่าการกำหนดระดับปัจจัย มีความสามารถเพียงพอ ที่จะมองเห็นความสัมพันธ์ที่มีมากกว่าความเป็นเชิงเส้นตรงได้หรือไม่ ซึ่งในการวิจัยนี้มองเห็นถึงความสำคัญนี้ จึงกำหนดระดับปัจจัยเป็น 4 ระดับปัจจัย คือตั้งแต่ช่วงข้อกำหนดต่ำสุด ถึงสูงสุดของปัจจัยนั้น และเพื่อความน่าเชื่อถือของการทดลองจะทำการทดลองทั้งหมด 5 ซ้ำ โดยมีแผนการทดลองดังตารางที่ 3



ตารางที่ 3 แผนการทดลองการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ
จำแนกทางเดียว

การทดลอง	ปัจจัย			
	ระดับ 1	ระดับ 2	ระดับ 3	ระดับ 4
1	Y ₁₁	Y ₂₁	Y ₃₁	Y ₄₁
2	Y ₁₂	Y ₂₂	Y ₃₂	Y ₄₂
3	Y ₁₃	Y ₂₃	Y ₃₃	Y ₄₃
4	Y ₁₄	Y ₂₄	Y ₃₄	Y ₄₄
5	Y ₁₅	Y ₂₅	Y ₃₅	Y ₄₅

ปัจจัยอุณหภูมิอบ ปัจจัยความเร็วสายพานและอิทธิพลร่วมระหว่าง
ปัจจัยอุณหภูมิอบกับปัจจัยความเร็วสายพาน (Interaction AB)

Taguchi Analysis: Y1 versus A, B, C, D, E, F

Response Table for Signal to Noise Ratios
Larger is better

Level	A	B	C	D	E	F
1	24.31	25.31	30.22	24.26	24.39	25.32
2	25.40	24.40	19.49	25.45	25.32	24.39
Delta	1.08	0.91	10.72	1.18	0.93	0.93
Rank	3	6	1	2	4	5

Response Table for Means

Level	A	B	C	D	E	F
1	19.000	21.500	32.750	19.000	20.500	22.250
2	23.250	20.750	9.500	23.250	21.750	20.000
Delta	4.250	0.750	23.250	4.250	1.250	2.250
Rank	2.5	6	1	2.5	5	4

รูปที่ 4 ผลการทดลองหาปัจจัยและระดับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการ
เกิดของเสียโดยวิธีการทาгуชิ

3.2 การวิเคราะห์ผล

ในการวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดจำนวนของเสียในกระบวนการผลิตกระจกโครเมียม โดยมีลักษณะคุณภาพคือ รอยตำหนิบนแผ่นกระจก แสงสะท้อนบนผิวกระจก และค่าความโค้งของกระจก ดังนั้นการระบุลักษณะคุณภาพ จึงมีทั้งลักษณะที่วัดค่าได้ (Variable) และลักษณะที่วัดค่าไม่ได้ (Attribute) ฉะนั้นในการวิเคราะห์ผลเพื่อให้ตรงตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย จึงพิจารณาผลการตอบสนองที่ได้ขึ้นงานดีไม่มีข้อบกพร่อง มากที่สุดและคุณภาพเข้าใกล้ค่าเป้าหมายที่สุด

Taguchi Analysis: Yr versus A, B, C, D, E, F

Response Table for Signal to Noise Ratios
Nominal is best (10*Log10(Ybar**2/s**2))

Level	A	B	C	D	E	F
1	48.67	48.37	48.03	48.11	45.30	45.82
2	44.30	44.60	44.93	44.86	47.67	47.15
Delta	4.37	3.77	3.10	3.25	2.38	1.33
Rank	1	2	4	3	5	6

Response Table for Means

Level	A	B	C	D	E	F
1	50.84	50.93	50.88	50.89	50.77	47.34
2	51.05	50.96	51.02	51.00	51.12	54.55
Delta	0.20	0.03	0.14	0.11	0.34	7.21
Rank	3	6	4	5	2	1

รูปที่ 5 ผลการทดลองหาปัจจัยและระดับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อ
คุณภาพผลิตภัณฑ์ด้านการสะท้อนแสงโดยวิธีการทาгуชิ

4. ผลการวิจัย

จากขั้นตอนวิธีการดำเนินการวิจัยที่ได้กล่าวมาแล้ว ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนที่ได้กล่าวไว้และได้มีการบันทึกผลการดำเนินงานวิจัยในขั้นตอนต่างๆ สำหรับในหัวข้อนี้จะแสดงถึงผลลัพธ์ที่ได้จากการดำเนินงานตามขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยที่ได้กล่าวมาข้างต้น ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดในการดำเนินงานวิจัยและผลลัพธ์จากการดำเนินงานวิจัยได้ดังต่อไปนี้

4.1 ผลการทดลองเบื้องต้นของการออกแบบการทดลองโดยใช้วิธีการทาгуชิ

ในขั้นตอนการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองเบื้องต้นนี้ ผู้วิจัยได้อาศัยโปรแกรมทางสถิติ Minitab Version 15 มาทำการวิเคราะห์ผลการทดลองดังนี้

- 1) การหาปัจจัยและระดับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดของเสียโดยวิธีการทาгуชิ สามารถแสดงผลการทดลองได้ดังรูปที่ 4
- 2) การหาปัจจัยและระดับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้แก่ การสะท้อนของแสง และค่าความโค้งของกระจก สามารถแสดงผลการทดลองได้ดังรูปที่ 5 และรูปที่ 6 ตามลำดับ

จากผลการทดลองเบื้องต้นเพื่อกรองปัจจัยโดยวิธีการทาгуชิ นั้น ทำให้พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดของเสียคือ ปัจจัยรูปแบบรถเข็น โดยมีระดับปัจจัยที่พื้นรองกระจกมีร่องว่างกระจก และปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์คือ ปัจจัยเวลาในการเคลือบโครเมียม ที่มีผลต่อการสะท้อนของแสงซึ่งมีค่าเป้าหมายอยู่ที่ 50±5% ส่วนค่าความโค้งของกระจกนั้นมีค่าเป้าหมายที่ R1250±R150 โดยมีปัจจัยที่มีผลต่อค่าความโค้งของกระจกคือ



Taguchi Analysis: Yc versus A, B, C, D, E, F

Response Table for Signal to Noise Ratios
Nominal is best ($10 \cdot \log_{10}(\bar{Y} + s^2/s^{**2})$)

Level	A	B	C	D	E	F
1	37.21	36.89	39.25	40.39	39.93	39.28
2	41.74	42.06	39.71	38.57	39.02	39.68
Delta	4.53	5.17	0.46	1.82	0.91	0.40
Rank	2	1	5	3	4	6

Response Table for Means

Level	A	B	C	D	E	F
1	1258	1256	1264	1260	1263	1265
2	1268	1269	1262	1266	1263	1261
Delta	9	13	2	5	1	5
Rank	2	1	5	3	6	4

รูปที่ 6 ผลการทดลองหาปัจจัยและระดับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ด้านค่าความโค้งงอของกระจกโดยวิธีการทากูชิ

4.2 ผลการทดลองการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียวเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม

จากผลการทดลองเบื้องต้นเพื่อกรองปัจจัยโดยวิธีทากูชิ นั้น ทำให้ทราบได้ว่าปัจจัยใดบ้างที่มีอิทธิพลต่อการเกิดของเสียและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และจากผลการทดลองเบื้องต้นนี้พบว่า ปัจจัยเวลาในการเคลือบโครเมียมนั้น มีอิทธิพลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้านการสะท้อนแสง และผลตอบสนองยังไม่เข้าใกล้ค่าเป้าหมาย รวมทั้งยังสามารถแบ่งระดับปัจจัยได้อีก 4 ระดับปัจจัย ผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองเพิ่มเติม เพื่อหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม สามารถแสดงค่าผลการทดลองได้ดังรูปที่ 7

One-way ANOVA: Reflectance versus Time

Source	DF	SS	MS	F	P
Time	3	144.5575	48.1858	926.65	0.000
Error	16	0.8320	0.0520		
Total	19	145.3895			

S = 0.2280 R-Sq = 99.43% R-Sq(adj) = 99.32%

Level	H	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
7	5	47.350	0.261	(*)
8	5	50.040	0.230	(*)
9	5	52.400	0.255	(*)
10	5	54.580	0.148	(*)

รูปที่ 7 ผลทดลองการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว

จากผลการทดลองการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียวเพื่อหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมแล้วพบว่าระดับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ด้านการสะท้อนแสงคือระดับปัจจัยที่ 8 วินาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

4.3 การทดสอบยืนยันผลการวิจัย

การทดสอบยืนยันผลการวิจัย เป็นการทดสอบเพื่อยืนยันผลสรุปของค่าปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญ โดยจะทำการปรับค่าปัจจัยนำเข้าตามค่าที่ได้กำหนดไว้จากผลการทดลองคือ ปัจจัยรูปแบบ

รถเซ็น โดยมีระดับปัจจัยที่พื้นรองกระจกมีร่องวางกระจก เพื่อลดของเสียจากการบวนการผลิตกระจกโครเมียม ปัจจัยอุณหภูมิอบ ปัจจัยความเร็วสายพานและอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยอุณหภูมิอบกับปัจจัยความเร็วสายพาน (Interaction AB) โดยกำหนดระดับปัจจัยอุณหภูมิอบที่ระดับ 690°C กำหนดระดับปัจจัยความเร็วสายพานที่ระดับ 15 m/min. เพื่อปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ด้านค่าความโค้งงอของกระจก และสุดท้ายปัจจัยเวลาในการเคลือบโครเมียม กำหนดระดับปัจจัยที่เวลาในการเคลือบ 8 วินาที ซึ่งการทดสอบยืนยันผลการวิจัยได้กำหนดจำนวนการผลิตไว้ที่ 3,400 แผ่น ใช้เวลาในการผลิตจำนวน 8 ชั่วโมงทำงาน โดยมีผลการทดสอบยืนยันผลการวิจัย ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบยืนยันผลการวิจัย

ด้านการลดปริมาณของเสียในกระบวนการผลิต		
รายการของเสีย	ของเสีย (ชิ้น)	สัดส่วนของเสีย
รอยขีดข่วน	114	3.35%
การผิดเพี้ยนของภาพ	92	2.71%
เป็นจุด	84	2.47%
อื่นๆ	44	1.29%
รวม	334	9.82%
ด้านลักษณะคุณภาพด้านค่าความโค้งงอกระจก		
การเก็บข้อมูล	ค่าเฉลี่ย	
สุ่มตัวอย่างจำนวน 40 แผ่น	R 1250.82	
ด้านลักษณะคุณภาพด้านการสะท้อนของแสง		
การเก็บข้อมูล	ค่าเฉลี่ย	
สุ่มตัวอย่างจำนวน 40 แผ่น	50.08%	

5. สรุป

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองและผลการวิเคราะห์ทำให้ทราบว่าปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อการเกิดของเสียคือรูปแบบของรถเซ็น โดยปัจจัยนี้มีผลกระทบโดยตรงต่อการเกิดรอยขีดข่วน ซึ่งข้อกำหนดในการตรวจสอบผลิตภัณฑ์จะอนุญาตให้เกิดรอยขีดข่วนได้ไม่เกิน 1 จุดใน 1 แผ่นกระจกและมีระยะความยาวของรอยขีดข่วนได้ไม่เกิน 3 มิลลิเมตร ปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อลักษณะคุณภาพด้านค่าความโค้งงอของกระจกคือปัจจัยอุณหภูมิอบ ปัจจัยความเร็วสายพานและอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยอุณหภูมิอบกับปัจจัยความเร็วสายพาน (Interaction AB) และสุดท้ายปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อลักษณะคุณภาพด้านการสะท้อนแสงคือปัจจัยเวลาในการเคลือบโครเมียม และเพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยคือ ลดของเสียในกระบวนการผลิตโครเมียม ปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ด้านค่าความโค้งงอของกระจก และการสะท้อนของแสงจะต้องกำหนดระดับปัจจัยดังตารางที่ 5 ดังนี้



ตารางที่ 5 การกำหนดระดับปัจจัยเพื่อให้ตรงตามวัตถุประสงค์งานวิจัย

สัญลักษณ์	ปัจจัย	ระดับของปัจจัย
A	อุณหภูมิอบ	690 °C
B	ความเร็วสายพาน	15m/min
C	รูปแบบรถเข็น	มีร่อง
D	ระบบเครื่องฝนขอบ	ใช้พลาสติก
E	กันฝุ่นบนสายพาน	แรงดันลม
F	เวลาเคลือบโครเมียม	8 วันที่

5.2 ขอบเขตงานวิจัยและข้อจำกัดงานวิจัย

ศึกษากระบวนการผลิตกระจกโครเมียมสำหรับกระจกรถยนต์ ที่มีค่าความโค้งกระจก R1250±R150 ค่าการสะท้อนแสง 50±5% โดยใช้เครื่องขึ้นรูปกระจก Mirror Glass Convexing Machine เพื่อศึกษาปัจจัยและระดับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดของเสียในกระบวนการผลิตกระจกโครเมียม และลักษณะคุณภาพด้านค่าความโค้งกระจก และค่าการสะท้อนแสง ด้วยวิธีการออกแบบการทดลองโดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง และทำการทดลองโดยใช้สภาวะการปฏิบัติจริง

ในการกำหนดระดับปัจจัยในการทดลองเบื้องต้นนั้น จะกำหนดเพียง 2 ระดับปัจจัย เนื่องจากหากมีการกำหนดระดับปัจจัยหลายๆ ระดับในการทดลองจะเกิดความยุ่งยากและเสียค่าใช้จ่ายในการทดลองค่อนข้างสูง รวมทั้งเสียเวลามากในการเปลี่ยนระดับปัจจัย โดยเฉพาะการเปลี่ยนระดับปัจจัยของอุณหภูมิอบกระจก และจะเห็นว่า ผู้วิจัยไม่ได้นำปัจจัยอุณหภูมิอบ ปัจจัยความเร็วสายพาน และอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยอุณหภูมิอบกับความเร็วสายพาน มาทำการทดลองต่อในขั้น Classic DOE เนื่องจากผู้วิจัยมีความเห็นว่าผลการทดลองเบื้องต้นโดยวิธีทำภูซันั้น พบว่าค่าความโค้งของกระจก อยู่ในช่วงมาตรฐานที่ต้องการ อีกทั้งการเปลี่ยนระดับปัจจัยของอุณหภูมิอบ ส่งผลเสียต่อการดำเนินการทั้งค่าใช้จ่ายและเวลา ผู้วิจัยจึงพิจารณาไม่ทำการทดลองต่อในขั้น Classic DOE

5.3 ข้อเสนอนะ

สามารถนำหลักการวิจัยนี้ไปประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหาอื่นๆ ในกระบวนการผลิตได้ เช่น การหาสภาวะเหมาะสมต่อการผลิต เพื่อให้ผลิตภัณฑ์เข้าใกล้ค่าเป้าหมายโดยวิธีการทำภูซันั้น เป็นแนวทางในการหาเครื่องมือเพื่อรองรับปัจจัยและลดจำนวนการทดลองโดยใช้หลักการทำภูซันั้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ผู้สอนระเบียบวิธีวิจัยและการออกแบบการทดลองประจำคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ท่านได้ให้แนวทางการดำเนินการวิจัยจนประสบความสำเร็จ

เอกสารอ้างอิง

- [1] สถาบันยานยนต์. 2554. ความเคลื่อนไหวอุตสาหกรรมยานยนต์. วารสารอุตสาหกรรมยานยนต์.
- [2] D.C., Montgomery. 2005. Design and Analysis of Experiments, 6th ed, John Wiley & Sons, USA.
- [3] ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยาและพงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์. 2551. การออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์การทดลอง. สำนักพิมพ์ท็อป, กรุงเทพฯ, หน้า 1-319.
- [4] สุขชัย นาทะพันธ์. 2551. การควบคุมคุณภาพ. สักพิมพ์ซี-เอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพฯ, หน้า 81-84.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายปิยพงษ์ ริดเจียว
วัน เดือน ปีเกิด	10 พฤศจิกายน 2520
ที่อยู่	58/46 หมู่ 1 หมู่บ้านจ๊อบทาวน์ ต.บ้านเกาะ อ.พระนครศรีอยุธยา จ.พระนครศรีอยุธยา 1300
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2546	สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุมและเครื่องมือวัด คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ประสบการณ์การทำงาน	
2555-ปัจจุบัน	ตำแหน่งผู้จัดการส่วนวางแผน บริษัทพนัส แอสเซมบลีย์ จำกัด
2553-2555	ตำแหน่งผู้ช่วยผู้จัดการประกันคุณภาพ บริษัทเอเบิลโปรเกรส (ประเทศไทย) จำกัด
2552-2553	ตำแหน่งวิศวกรการตลาด บริษัทไอต้า จำกัด
2546-2552	ตำแหน่งวิศวกรอาวุโสระบบควบคุมและเครื่องมือวัด บริษัทโอลิค (ประเทศไทย) จำกัด