



การปรับปรุงและควบคุมค่าแรงดิ่งโดยหลักการซิกซ์ ซิกม่า
กรณีศึกษา บริษัท วีอีเอ็ม ไทยแลนด์ จำกัด

ศรัญญา คำไย
หทัยชนก ไสพลกรัง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา
ปีการศึกษา 2564

การปรับปรุงและควบคุมค่าแรงตั้งโดยหลักการซิกซ์ ซิกม่า
กรณีศึกษา บริษัท วีอีเอ็ม ไทยแลนด์ จำกัด

ศรัณญา คำไย
หทัยชนก ไสพลกรัง

ปฏิญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา
ปีการศึกษา 2564

ชื่อปริญญาบัตร	การปรับปรุงและควบคุมค่าแรงดึงโดยใช้หลักการซิกซ์ ซิกม่า
ผู้ทำปริญญาบัตร	ศรัณญา คำไย หทัยชนก ไสพลกรัง
วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต	วิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม
ปี พ.ศ.	2564
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ฤทธิรงค์ แจ็งอิม

บทคัดย่อ

จากการศึกษาวิจัยเรื่องการปรับปรุงและควบคุมค่าแรงดึงโดยใช้หลักการทางซิกซ์ ซิกม่า งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้เครื่องมือทางสถิติของซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma) มาใช้ในแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการ โดยใช้หลักการ DMAIC ของ ซิกซ์ ซิกม่า ประกอบด้วย 5 ขั้นตอนของ DMAIC เริ่มจากขั้นตอน การกำหนดปัญหา (Define) ซึ่งพบว่า ผลิตภัณฑ์ A มีค่า Cpk เท่ากับ 1.10 ซึ่งต่ำกว่า 1.67 แสดงถึงความผันแปรของกระบวนการสูง มีแนวโน้มของค่าแรงดึงเกินที่ค่ามาตรฐานกำหนดอย่างมีนัยสำคัญ ในขั้นตอนการวัด (Measure) ทำการวิเคราะห์ระบบการวัดแบบทำลายโดยใช้ Nested Gage R&R Study of a Measurement System Using Destructive Testing ซึ่งพบว่า ระบบการวัดมีความน่าเชื่อถือ หลังจากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ (Analyze) โดยใช้แผนภาพแสดงเหตุและผล การวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้น ซึ่งพบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าแรงดึง คือ การออกแบบการตั้งค่าเครื่องจักร (Parameter) สำหรับขั้นตอนการปรับปรุง (Improve) ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment : DOE) มาประยุกต์ใช้กับกระบวนการผลิตตัวล้อคลงลมชนิด 3 ขั้นตอนการควบคุม (Control) เป็นขั้นตอนของการควบคุมการออกแบบการทดลองในการปรับตั้งค่าเครื่องจักร

โดยผู้วิจัยการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k มาประยุกต์ใช้กับกระบวนการผลิตตัวล้อคลงลมชนิด 3 สามารถวิเคราะห์อิทธิพลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต รวมถึงการวิเคราะห์หาระดับของปัจจัยที่เหมาะสม โดยผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมมินิแทป (Minitab) ทำให้ทราบว่า มีปัจจัยที่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ คือ ปัจจัยทั้งหมด 3 ปัจจัยที่ทำการศึกษาได้แก่ เวลาในการฉีด (Injection time), ความเร็วในการฉีด (Injection speed) และความเร็วสกรู (Screw speed) จากนั้นทำการวิเคราะห์ระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้หลักการ Response Optimization ในการหาค่าของพารามิเตอร์ที่เหมาะสม สำหรับนำมาใช้ในกระบวนการผลิตซึ่งการนำพารามิเตอร์มาปรับใช้ในการตั้งค่าเครื่องจักร พบว่าได้ค่าเฉลี่ยของค่าแรงดึงเท่ากับ 51.48 N. เมื่อเทียบค่าแรงดึงจากเดิมค่าเฉลี่ยเท่ากับ 71.27 และค่าเฉลี่ยหลังการปรับปรุงมีค่าต่ำกว่าก่อนการปรับปรุง 19.79 N. คิดเป็นร้อยละ 27.76

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีตามวัตถุประสงค์ เพราะได้รับความช่วยเหลืออย่างดีจาก อาจารย์ฤทธิรงค์ แจ็งอิม อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ที่ได้ให้คำแนะนำและขอความคิดเห็นต่าง ๆ ของการทำโครงงานมาโดยตลอดจนปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ คณะผู้จัดทำจึงกราบขอขอบคุณเป็นอย่างสูง

เนื่องจากคณะผู้จัดทำได้รับการสนับสนุนจาก บริษัท วีไอเอ็ม ไทยแลนด์ จำกัด ในการสละเวลาการปฏิบัติงานบางส่วนมาทำงานวิจัย และขออนุญาตส่วนงานต่าง ๆ ในแผนกที่เกี่ยวข้องในองค์กรให้การสนับสนุนในด้านข้อมูล กำลังคน ด้านเวลาจึงใคร่ขอพระคุณเจ้าหน้าที่พี่เลี้ยงแผนก QA & QC Sect แผนก Production Injection และอีกหลายแผนกที่ให้ความรู้ประสบการณ์การทำงาน และให้คำปรึกษาในเรื่องต่าง ๆ ในองค์กรความรู้ที่ใช้ในการทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

คุณค่าและประโยชน์ของปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ คณะผู้จัดทำขอมอบความกตัญญูทเวทิตาแด่ บุษปการี บุรพาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่ทำให้ข้าพเจ้ามีการศึกษาและประสบความสำเร็จมาจนตราบเท่าทุกวันนี้

ขอกราบขอพระคุณ พ่อ แม่ และผู้ปกครองที่ให้คำปรึกษาในเรื่องต่าง ๆ รวมทั้งเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา

ศรัณญา คำไย
หทัยชนก ไสพลกรัง

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่	
1	หลักการและเหตุผล
1.1	ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหา
1.2	วัตถุประสงค์ของงานวิจัย
1.3	ขอบเขตของการดำเนินงานวิจัย
1.4	ขั้นตอนการดำเนินงาน
1.5	แผนการดำเนินงานวิจัย
1.6	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ
2	แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2.1	ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเครื่องฉีดพลาสติก
2.2	เทอร์โมพลาสติกโพลีโอเลฟิน
2.3	ซิกซ์ ซิกม่า
2.4	การวิเคราะห์ระบบการวัด
2.5	การออกแบบการทดลอง
2.6	เครื่องมือคุณภาพ 7 อย่าง
2.7	การเขียนผังงาน
2.8	การทดสอบแบบทำลายสภาพ
2.9	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
3	วิธีการดำเนินงาน
3.1	ขั้นตอนการระบุปัญหา
3.2	ขั้นตอนการวัด
3.3	ขั้นตอนการวิเคราะห์

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
3	3.4 ขั้นตอนการปรับปรุง	56
	3.5 ขั้นตอนการควบคุม	61
4	ผลการดำเนินงาน	
	4.1 ลำดับการทดลองแบบสุ่ม	63
	4.2 การทดลองแบบ 2^k Factorial Design	64
	4.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k Full Factorial Design	65
	4.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)	68
	4.5 การหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการทดลองด้วยวิธีการ (Response Optimization)	70
	4.6 ผลการทดลอง	71
	4.7 การเปรียบเทียบผลการทดลอง	72
	4.8 สรุปผลการดำเนินงาน	72
5	สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
	5.1 สรุปผลการวิจัย	73
	5.2 ข้อเสนอแนะ	74
	บรรณานุกรม	
	ภาคผนวก	
	ประวัติย่อผู้จัดทำปริญญาานิพนธ์	

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินงาน	4
3.1 ขั้นตอนการผลิตตัวล้อยึดคฤงลมนิรภัย	42
3.2 การสุ่มตัวอย่างจำนวน 30 ตัวอย่างเพื่อทำการทดสอบแรงดึง	45
3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ค่าความเชื่อมั่นร้อยละ 95	47
3.4 Criteria สำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัดของโรงงาน	51
3.5 การวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบการผลิตตัวล้อยึดคฤงลมนิรภัย	53
3.6 การคัดเลือกปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตตัวล้อยึดคฤงลมนิรภัย	56
3.7 การทดสอบค่าแรงดึงกระบวนการผลิตตัวล้อยึดคฤงลมนิรภัย	56
3.8 ค่าของปัจจัยสำหรับการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k	59
3.9 ตารางสำหรับบันทึกค่าการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k	59
3.10 ลำดับการทดลองแบบสุ่มจากโปรแกรม Minitab	61
4.1 ลำดับการทดลองแบบสุ่ม	63
4.2 ผลการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k Full Factorial Design	64
4.3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลการทดลอง	69
4.4 ผลการวิเคราะห์ Response Optimization: Tear Force	72
4.5 ปัจจัยและคุณลักษณะปัจจัยป้อนเข้าที่เหมาะสม	72
4.6 การทดสอบค่าแรงดึงจากค่าปัจจัยที่เหมาะสมจากการสุ่มตัวอย่าง จำนวน 30 ตัวอย่าง	73
4.7 ผลการเปรียบเทียบค่าแรงดึงก่อนการปรับปรุง - หลังการปรับปรุง	75

สารบัญภาพ

ตารางที่	หน้า
1.1 ตัวลือคดุงลมนนรภย	1
1.2 การเกบข้อมุลค้แรงดงผลตภณท A	2
1.3 สดส่วนของค้แรงดงตัวลือคดุงลมนนรภย	2
2.1 พ้นฐนการท้งนของเครืองฉด	6
2.2 เครืองฉดพลสตกแบบนนวนอน	9
2.3 เครืองฉดพลสตกแบบนนวนต้ง	9
2.4 หน่วยการฉด	10
2.5 ส่วนประกอบในชุดหน่วยการฉด	11
2.6 หน่วยปากกาปดแม่พมพ์	14
2.7 หน่วยควบคุม	14
2.8 สันฐนวทยาแบบเฟสต่อเนองร่วมของ TPO	15
2.9 ลักษณะการกระจายของฮสโทแกรม	24
2.10 ลักษณะของแผนภาพพาเรโต	24
2.11 แผนผ้งก้งปลา	25
2.12 แผนภูมิควบคุม	25
2.13 แผนภาพการกระจาย	26
2.14 การท้งนแบบล้ดบ	29
2.15 การเลอกท้ตามเงื่อนไซ	30
2.16 การท้ซ้	30
3.1 ซ้นตอนการด้เนนโครงการ	39
3.2 หลักการท้งนของดุงลมนนรภย	40
3.3 ตัวลือคดุงลมนนรภย	40
3.4 กระบวนการผลิตตัวลือคดุงลมนนรภย	41
3.5 ตัวอย่างบเตรวสอบซ้นงาน	42
3.6 การระบุดจุดว้ดซ้นงานแต่ละตัว	43
3.7 บเตรวสอบลักษณะภยนอกซ้นงาน	43

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
3.8 เครื่องมือทดสอบ	44
3.9 การเก็บข้อมูล 3 ผลิตภัณฑ์	46
3.10 วิธีการทดสอบโดยแบ่งชิ้นงานตามตัวอย่าง	48
3.11 ผลการทดสอบแรงดึง Universal Testing Machine วิเคราะห์ระบบการวัด	48
3.12 ผลการวิเคราะห์ของระบบการวัด	49
3.13 ผลการทดสอบแรงดึงของตัวอย่างของตัวลื้อคณูกลมนิรภัย ในการวิเคราะห์ระบบการวัด	50
3.14 แผนภาพสาเหตุละผลของกระบวนการทดสอบค่าแรงดึง ที่เกินมาตรฐาน	52
4.1 Residual Plots for Tear Force	66
4.2 การกระจายแบบปกติของค่าส่วนตกค้าง (Residual)	67
4.3 การกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างเทียบกับ Observation order	67
4.4 การกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างเทียบกับ Fits value	68
4.5 ผลการวิเคราะห์ Full Factorial Design	69
4.6 การวิเคราะห์ Variance for Response	69
4.7 แผนภูมิผลกระทบรวม (Interaction plot)	71
4.8 ผลการตอบสนองระดับปัจจัยที่เหมาะสม	72
4.9 แผนภาพการวิเคราะห์ความสารถของกระบวนการผลิตหลังการ ปรับปรุง	75
ก.1 การเปรียบเทียบผลการดำเนินงานก่อนการปรับปรุง	79
ก.2 การเปรียบเทียบผลการดำเนินงานหลังการปรับปรุง	79
ข.1 โปรแกรมมินิแทป (Minitab Statistical Software)	81
ข.2 หน้าจอและส่วนประกอบของโปรแกรม (Minitab Statistical Software)	81
ข.3 การสร้างการออกแบบการทดลอง	81

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข.4 การเลือกรูปแบบของการออกแบบการทดลอง และระบุจำนวนปัจจัย	82
ข.5 การระบุ (Replicates)	82
ข.6 การเลือกค่าสิ่งในการระบุค่าปัจจัย	83
ข.7 การระบุค่าปัจจัยและใส่ค่าระดับของปัจจัยที่ Low กับ High	83
ข.8 ผลการออกแบบการทดลองแบบ 2k Full Factorial Design	84
ข.9 การเลือกค่าสิ่งในการจัดลำดับ	84
ข.10 การเลือกค่าสิ่งในการจัดลำดับการทดลอง (Standard order)	85
ข.11 ผลการจัดลำดับการทดลอง (Standard order)	85
ข.12 การใส่ผลการทดลอง (Response)	86
ข.13 การเลือกค่าสิ่งในการวิเคราะห์ผลการทดลอง (Response)	86
ข.14 การเลือกค่าสิ่งในการวิเคราะห์ผลการทดลอง (Response)	87
ข.15 การเลือกค่าสิ่งตั้งกราฟ	87
ข.16 ผลการวิเคราะห์ผลการทดลอง (Response)	88
ข.17 การเลือกค่าสิ่ง (Factorial Plots)	88
ข.18 การเลือกค่าสิ่ง (Interaction Plot)	89
ข.19 Interaction Plot	89
ข.20 การเลือกค่าสิ่ง (Response Optimizer)	90
ข.21 การระบุค่า (Goal)	90
ข.22 ผลของค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม	91
ค.1 การปรับตั้งค่าเครื่องจักรก่อนการปรับปรุง	93
ค.2 การปรับตั้งค่าเครื่องจักรหลังการปรับปรุง	93

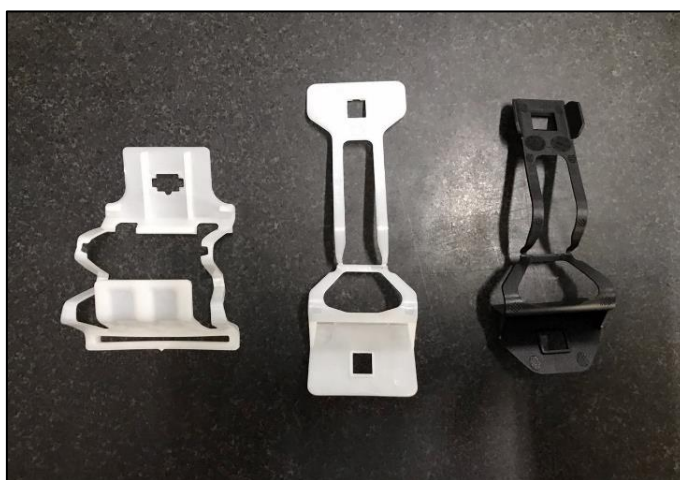
บทที่ 1

หลักการและเหตุผล

1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหา

อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ (Auto-Parts Manufacturing Industry) มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมผลิตรถยนต์เป็นอย่างมาก ภาครัฐพยายามผลักดันและสนับสนุนให้อุตสาหกรรมรถยนต์เป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมหลักที่ขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศ มูลค่าการส่งออกชิ้นส่วนรถยนต์ภายในปี 2564 มีการขยายตัวร้อยละ 15.47 คิดเป็นมูลค่า 526,239.94 ล้านบาท (Wanna Yongpisanphob, 2564) แต่ในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ยังต้องเผชิญกับสภาวะการแข่งขันสูง จึงต้องมีการพัฒนาเทคโนโลยี บุคลากร เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต และเกิดความสูญเสียให้น้อยที่สุด ทั้งนี้เพื่อตอบสนองความต้องการและสร้างความพึงพอใจของลูกค้า จึงจำเป็นต้องพัฒนาและควบคุมการผลิตสินค้าให้มีคุณภาพและมาตรฐานที่ได้กำหนดไว้

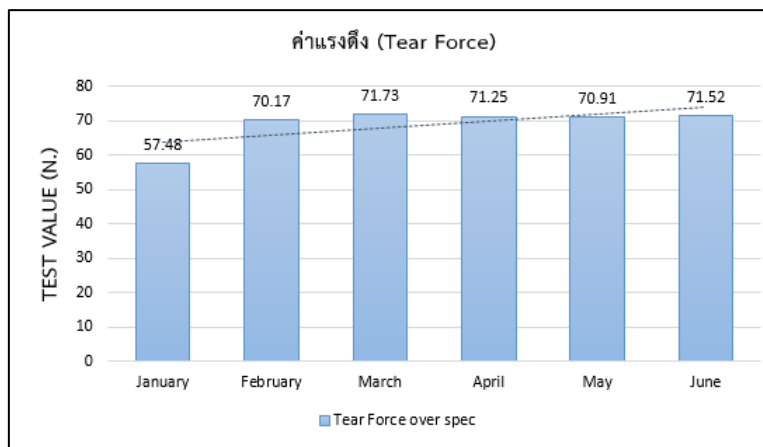
จากกรณีศึกษา บริษัท วีอีเอ็ม (ไทยแลนด์) จำกัด เป็นอุตสาหกรรมที่ประกอบกิจการเกี่ยวกับการฉีดพลาสติก การออกแบบ การผลิตแม่พิมพ์ฉีด และการขึ้นรูปชิ้นงาน ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่บริษัททำการผลิต คือ ชิ้นส่วนยานยนต์ ชิ้นส่วนเครื่องบิน และชิ้นส่วนอุปกรณ์ทางการแพทย์ โดยผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษาคือ ตัวล็อกถุงลมนิรภัย (Package Support) ดังภาพที่ 1.1 เป็นส่วนประกอบของถุงลมนิรภัย ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการป้องกันชีวิตในการขับขี่ยานพาหนะ ซึ่งผลิตภัณฑ์ความปลอดภัยจะมีขนาดและเกณฑ์กำหนดคุณภาพที่แตกต่างกันออกไปตามลักษณะการใช้งานตามรุ่นของรถยนต์ที่ลูกค้ากำหนด



ภาพที่ 1.1 ตัวล็อกถุงลมนิรภัย (Package Support)

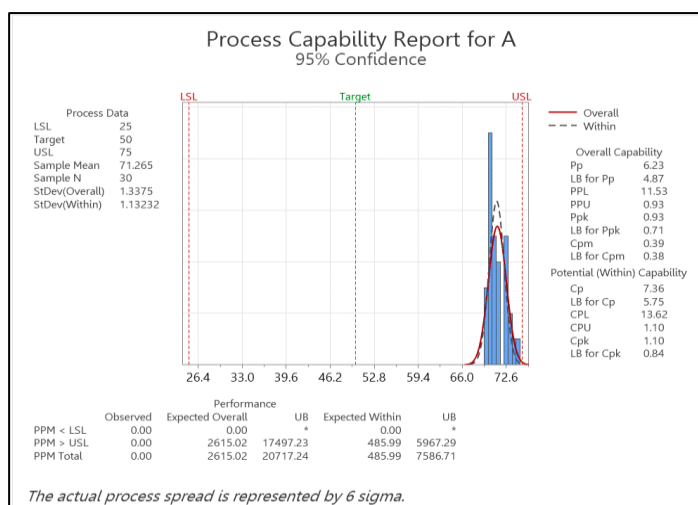
ที่มา : บริษัท วีอีเอ็ม (ไทยแลนด์) จำกัด

จากความสำคัญที่กล่าวมาข้างต้นผู้วิจัยเห็นถึงความสำคัญของการปรับปรุงกระบวนการผลิตตัวลือคถุงลมนิรภัยเพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต จากการศึกษาผู้วิจัยพบค่าการกระจายตัวสูง จากการพิจารณาถึงแนวโน้มค่าแรงดึงที่เกินมาตรฐานกำหนดอย่างมีนัยสำคัญ คือ ผลิตภัณฑ์ A ต่อมาจึงทำการเก็บรวบรวมข้อมูลของค่าแรงดึงที่เกิดขึ้นในกระบวนการของผลิตภัณฑ์ A ตั้งแต่เดือนมกราคม 2564 จนถึง กรกฎาคม 2564 รวมระยะเวลา 6 เดือนดังภาพที่ 1.2



ภาพที่ 1.2 การเก็บข้อมูลค่าแรงดึงผลิตภัณฑ์ A ตั้งแต่เดือนมกราคม 2564 จนถึง กรกฎาคม 2564

จากการวิเคราะห์พบปัญหาที่เกิดขึ้นมากที่สุดจากการแสดงค่า C_p, C_{pk} ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ของผลิตภัณฑ์ A ค่า C_{pk} เท่ากับ 1.10 ซึ่งต่ำกว่า 1.67 ที่กำหนด แสดงว่ากระบวนการมีค่าความกระจายตัวสูงกว่ามาตรฐาน แสดงถึงแนวโน้มค่าการทดสอบแรงดึงเกินที่ค่ามาตรฐานกำหนดอย่างมีนัยสำคัญโดยคิดเป็นจำนวนของเสียเท่ากับ 966.85 ชิ้น ดังภาพที่ 1.3



ภาพที่ 1.3 การเก็บข้อมูลของผลิตภัณฑ์ A แสดงถึงสัดส่วนของค่าแรงดึงตัวลือคถุงลมนิรภัย

จากการวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาคุณภาพดังกล่าว ผู้วิจัยจึงนำเสนอแนวทางการวิเคราะห์ปัญหาซิกซ์ ซิกม่า มาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพ ค้นหาสาเหตุที่เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดของเสีย และใช้หลักการออกแบบการทดลอง Design of Experiment แบบ 2^k Full Factorial Design เพื่อกรองเอาปัจจัยที่ไม่มีอิทธิพลออก จากนั้นนำหลักการ Response Optimization เข้ามาใช้ในการหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม ซึ่งจะใช้โปรแกรมมินิแทป (Minitab) วิเคราะห์และประมวลผล เมื่อได้ค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมก็จะนำไปทำการทดลองเพื่อยืนยันผลการทำงาน และนำมาใช้เป็นมาตรฐานในกระบวนการผลิตให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเพื่อลดค่าแรงดิ่งให้อยู่ตามมาตรฐานที่กำหนด

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อปรับปรุงและควบคุมค่าแรงดิ่งจากกระบวนการผลิตตัวลือคดงลมนิรภัย
- 1.2.2 เพื่อลดค่าแรงดิ่งจากกระบวนการผลิตตัวลือคดงลมนิรภัย

1.3 ขอบเขตของการดำเนินงานวิจัย

- 1.3.1 การวิจัยครั้งนี้ทำการศึกษาข้อมูลเฉพาะ บริษัท วีอีเอ็ม (ไทยแลนด์) จำกัด เท่านั้น
- 1.3.2 ศึกษาขั้นตอนการผลิตเพื่อปรับปรุงและควบคุมค่าแรงดิ่งของชิ้นงาน
- 1.3.3 ศึกษาผลิตภัณฑ์ A ของกระบวนการผลิตตัวลือคดงลมนิรภัย (Package Support)

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1.4.1 ศึกษากระบวนการผลิต และค้นหาปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบันของกระบวนการผลิตตัวลือคดงลมนิรภัย (Package Support)
- 1.4.2 ศึกษาหลักการทางซิกซ์ ซิกม่า และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
- 1.4.3 ดำเนินการแก้ไขปัญหาโดยใช้เทคนิคซิกซ์ ซิกม่า ซึ่งแบ่งขั้นตอนการดำเนินงานออกเป็น 4 ขั้นตอน มีดังนี้
 - ขั้นตอนการระบุปัญหา (Define Phase)
 - ขั้นตอนการวัด (Measure Phase)
 - ขั้นตอนการวิเคราะห์ (Analyze Phase)
 - ขั้นตอนการปรับปรุง (Improve Phase)
 - ขั้นตอนการควบคุม (Control Phase)
- 1.4.4 ศึกษาหลักการออกแบบการทดลอง Design of Experiment แบบ 2^k Full Factorial Design และหลักการ Response Optimization

- สรุปผลเปรียบเทียบผลก่อนและหลัง

1.4.5 สรุปผลการวิจัยกรณีศึกษา และข้อเสนอแนะ

1.5 แผนการดำเนินงานวิจัย

ตารางที่ 1.1 แสดงแผนการดำเนินงานในระยะเวลาที่กำหนด

กิจกรรม ขั้นตอนการดำเนินกิจกรรม	ระยะเวลา (เดือน)				
	ก.ค	ส.ค	ก.ย	ต.ค	พ.ย
1.ศึกษากระบวนการผลิต และค้นหาปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน					
2.ศึกษาหลักการทางซิกซ์ ซิกม่า และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง					
3.ขั้นตอนการดำเนินการ - ขั้นตอนการระบุปัญหา (Define Phase) - ขั้นตอนการวัด (Measure Phase) - ขั้นตอนการวิเคราะห์ (Analyze Phase) - ขั้นตอนการปรับปรุง (Improve Phase) - ขั้นตอนการควบคุม (Control Phase)					
5.ออกแบบการทดลอง Design of Experiment แบบ 2^k Full Factorial Design หลักการ Response Optimization - สรุปผลเปรียบเทียบผลก่อนและหลัง					
6.สรุปผลของกรณีศึกษา และข้อเสนอแนะ					

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ปรับปรุงและควบคุมค่าแรงดึงของกระบวนการผลิตตัวล้อคดงูมนิรภัย

1.6.2 สามารถนำแนวทางการวิจัยนี้มาประยุกต์ใช้ในส่วนอื่นๆ ของบริษัทได้

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเรื่องการปรับปรุงและควบคุมค่าแรงดึงโดยใช้หลักการทางสถิติ กรณีศึกษาค่าแรงดึง และของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ผู้วิจัยได้กำหนดแนวคิดทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

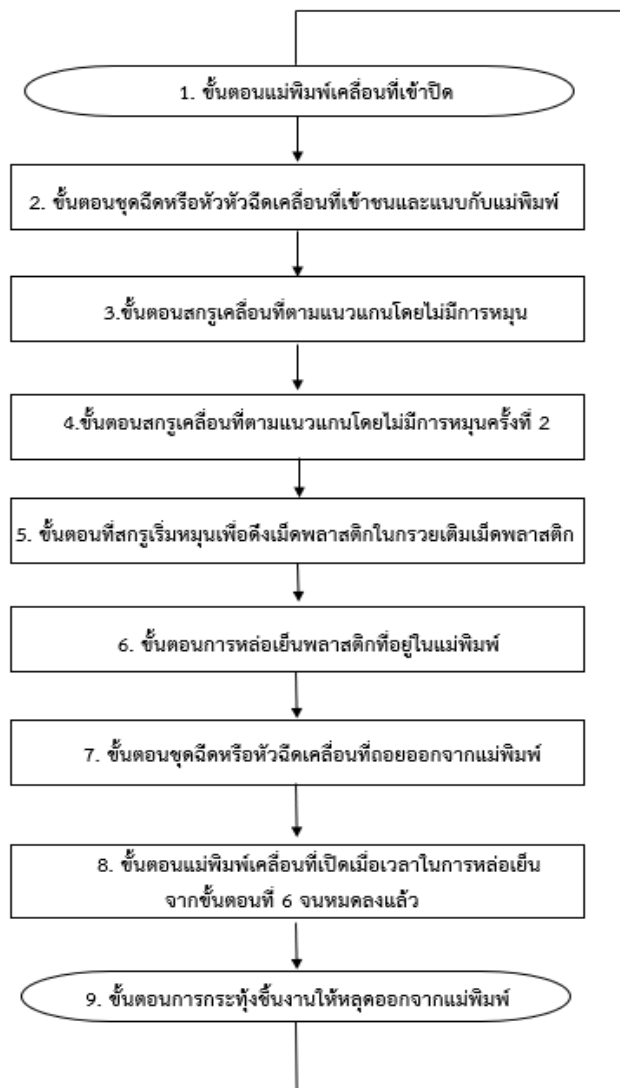
- 2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเครื่องฉีดพลาสติก
- 2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเทอร์โมพลาสติกพอลิโอเลฟิน
- 2.3 ซิกซ์ ซิกม่า
- 2.4 เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 อย่าง
- 2.5 การเขียนผังงาน
- 2.6 การทดสอบแบบทำลายสภาพ
- 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเครื่องฉีดพลาสติก

เครื่องฉีดพลาสติก คือ เครื่องจักรที่สามารถหลอมละลายเม็ดพลาสติกชนิดต่าง ๆ ที่มีขนาดเล็กโดยขนาดจะใหญ่ไม่เกิน 2 มิลลิเมตร ให้หลอมละลายกลายเป็นของเหลวเพื่อที่จะทำการฉีดพลาสติกเข้าสู่แม่แบบชิ้นงาน จากนั้นจะทำการอัดขึ้นรูปเป็นชิ้นงานต่อไป

2.1.1 ขั้นตอนพื้นฐานในการฉีดพลาสติก

การทำงานของเครื่องฉีดพลาสติกจะมีการทำงานอยู่ด้วยกันทั้งหมด 3 รูปแบบ คือ แบบไม่เป็นอัตโนมัติ (Manual) ซึ่งจะสั่งให้เครื่องทำงานในขั้นตอนใดก่อนหลังก็ได้ตามที่ต้องการ แบบกึ่งอัตโนมัติ (Semi-Automatic) ซึ่งการทำงานจะเป็นไปตามขั้นตอนของเครื่องฉีดเพียงวงรอบการทำงานเดียวเท่านั้นแล้วหยุด และแบบอัตโนมัติทั้งหมด (Fully-Automatic) จะมีการทำงานเป็นไปตามขั้นตอนของเครื่องฉีด โดยเมื่อครบวงรอบการทำงานของเครื่องฉีดแล้ว ก็จะเริ่มรอบการทำงานใหม่ทันที และทำต่อไปเรื่อย ๆ อย่างต่อเนื่อง โดยการทำงานแบบกึ่งอัตโนมัติและแบบอัตโนมัติจะมีขั้นตอนพื้นฐานในการฉีดพลาสติก ประกอบไปด้วย 9 ขั้นตอน ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 พื้นฐานการทำงานของเครื่องฉีด

2.1.1.1 ขั้นตอนแม่พิมพ์เคลื่อนที่เข้าปิด โดยจะมีพารามิเตอร์ คือ ความดัน (แรง) ความเร็ว และระยะทาง ในการเคลื่อนที่ปิดเข้าหากันของแม่พิมพ์ ซึ่งส่วนมากจะแบ่งออกได้เป็น 5 ช่วงด้วยกัน คือ ช่วงแรกเป็นช่วงที่แม่พิมพ์ด้านเคลื่อนที่เข้าไปหาแม่พิมพ์ด้านอยู่กับที่ โดยใช้ความเร็วที่ช้าเป็นระยะทางสั้น ๆ ช่วงที่สองเป็นช่วงแม่พิมพ์เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงขึ้นเป็นระยะทางยาว ๆ ช่วงที่สามเป็นช่วงที่แม่พิมพ์กำลังลดความเร็วลงในระยะทางที่เหลือไม่มากนัก ช่วงที่สี่เป็นช่วงป้องกันแม่พิมพ์เกิดความเสียหายก่อนที่แม่พิมพ์จะปิดสนิท และช่วงที่ห้าเป็นช่วงที่แม่พิมพ์ปิดสนิทหรือเรียกว่า ช่วงปิดล็อกแม่พิมพ์ ด้วยความดันหรือแรงที่สูงมาก

2.1.1.2 ขั้นตอนชุดฉีดหรือหัวฉีดเคลื่อนที่เข้าชนและแนบกับแม่พิมพ์ โดยจะมีพารามิเตอร์ คือ ความดัน (แรง) และความเร็ว

2.1.1.3 ขั้นตอนสกรูเคลื่อนที่ตามแนวแกนโดยไม่มีการหมุน เพื่อขับเคลื่อนพลาสติกเหลวที่อยู่ในกระบอกฉีดให้ไหลออกจากหัวฉีด เข้าไปให้เต็มแม่พิมพ์ซึ่งเรียกว่า จังหวะฉีด (Injection Phase) โดยจะประกอบไปด้วยพารามิเตอร์หลัก ๆ คือ ความเร็วฉีด ความดันฉีด ระยะทางการฉีด เวลาในการฉีด แต่ผู้ผลิตเครื่องฉีดพลาสติกบางบริษัทได้ออกแบบให้สกรูสามารถเคลื่อนที่ตามแนวแกนพร้อมกับหมุนไปได้ด้วย เพื่อป้องกันพลาสติกไปพร้อมกับการฉีด ทำให้สามารถฉีดชิ้นงานที่มีปริมาตรและน้ำหนักมากกว่าปกติได้

2.1.1.4 ขั้นตอนสกรูเคลื่อนที่ตามแนวแกนโดยไม่มีการหมุน เพื่อขับเคลื่อนพลาสติกเหลวเข้าไปในแม่พิมพ์เพิ่มเติมหลังจากที่พลาสติกเหลวเติมในแม่พิมพ์แล้ว ทั้งนี้เพื่อย้ำรักษาความดันให้พลาสติกในแม่พิมพ์มีความหนาแน่นตามที่ต้องการที่เรียกว่า ช่วงการย่ำ (Holding Phase) ชิ้นงานจะได้มีขนาดที่เที่ยงตรง มีความแข็งแรง โดยจะประกอบไปด้วยพารามิเตอร์หลัก ๆ คือ ความดัน เวลาและความเร็ว (สำหรับเครื่องฉีดพลาสติกบางรุ่นหรือบางยี่ห้อ)

2.1.1.5 ขั้นตอนที่สกรูเริ่มหมุนเพื่อดึงเม็ดพลาสติกในกรวยเติมเม็ดพลาสติก พร้อมทั้งป้อนไปข้างหน้าของสกรูเพื่อทำการหลอมผสมและป้อนพลาสติกเหลวไปอยู่หน้าปลายสกรูฉีด ซึ่งเรียกว่าจังหวะ Plasticizing โดยจะมีพารามิเตอร์ คือ ความดัน (แรง) ความเร็ว ระยะทาง โดยจังหวะการทำงานนี้จะเป็นตัวกำหนดปริมาณเนื้อพลาสติกเหลวหรือระยะถอยสกรู (ระยะตั้งเนื้อพลาสติก) ตามที่ต้องการ เนื่องจากเวลาที่สั่งให้สกรูหมุนนั้น พลาสติกเหลวที่อยู่หน้าปลายสกรูจะเกิดแรงดันจนทำให้สกรูถอยหลังกลับไปยังทิศทางของกรวยเติมเม็ดพลาสติกได้ และในขั้นตอนนี้จะมีการใช้แรงดันในการดันการถอยหลังกลับของสกรูเพื่อควบคุมความหนาแน่นของพลาสติกเหลวที่อยู่หน้าปลายสกรูฉีดให้มีค่าคงที่ที่เรียกว่า Back Pressure ตลอดจนมีการกระตุกสกรูให้เคลื่อนที่ตามแนวแกนเท่านั้น ในช่วงก่อนเริ่มต้นหมุนสกรูหรือเมื่อสกรูหยุดหมุนแล้วที่เรียกว่า Suck Back หรือ Pull Back หรือ Decompression

2.1.1.6 ขั้นตอนการหล่อเย็นพลาสติกที่อยู่ในแม่พิมพ์ให้เปลี่ยนจากพลาสติกเหลวเป็นของแข็ง โดยจะทำงานพร้อมกับการเริ่มหมุนสกรูเพื่อหลอมและเป็้อนพลาสติกเหลวไปหน้าปลายสกรูฉีดในขั้นตอนที่ โดยขั้นตอนที่ 5 และ 6 นี้ จะเริ่มทำงานพร้อมกันเมื่อสิ้นสุดเวลาในการย้ำรักษาความดันแล้ว

2.1.1.7 ขั้นตอนชุดฉีดหรือหัวฉีดเคลื่อนที่ถอยออกจากแม่พิมพ์ จะทำงานเมื่อสกรูหยุดการเคลื่อนที่แล้วกล่าวคือหยุดหมุนและหยุดถอยแล้ว โดยจะมีพารามิเตอร์ คือ ความดัน (แรง) และความเร็ว

2.1.1.8 ขั้นตอนแม่พิมพ์เคลื่อนที่เปิดเมื่อเวลาในการหล่อเย็นจากขั้นตอนที่ 6 นั้นหมดลงแล้ว โดยจะมีพารามิเตอร์คือ ความดัน (แรง) ความเร็ว และ ระยะทาง ความเร็วและ ระยะทาง ในการเปิดแม่พิมพ์ส่วนมากจะมีอยู่ 3 ความเร็วและ 3 ระยะทางด้วยกัน โดยความเร็วแรกเป็นช่วงที่

แม่พิมพ์เริ่มเคลื่อนที่แยกออกจากกัน ควรใช้ความเร็วที่ช้า ๆ และเป็นระยะทางสั้น ๆ ให้ชิ้นงานฉีดสามารถขยับตัวเคลื่อนที่ออกจากแม่พิมพ์อยู่กับที่และติดออกมากับแม่พิมพ์ด้านเคลื่อนที่ได้ นั่นจึงใช้ความเร็วจังหวะที่สองให้เร็วขึ้นและเป็นระยะทางที่ยาวขึ้นด้วยความเร็วในช่วงที่สามซึ่งเป็นช่วงสุดท้ายก่อนจะถึงตำแหน่งที่แม่พิมพ์เปิดมากที่สุด ควรใช้ความเร็วที่ช้าลงและระยะทางสั้น ๆ เพื่อให้แม่พิมพ์สามารถหยุดได้ตรงตามตำแหน่งโดยไม่เกิดการสั่นสะเทือนส่วนระยะในการเปิดแม่พิมพ์ก็ไม่ควรตั้งกว้างมากเกินไป แต่พอให้ชิ้นงานไม่ติดค้างอยู่ที่หน้าแม่พิมพ์หลังจากทำการกระทุ้งแล้ว หรือสามารถใช้มือหรือแขนกลจับออกมาได้ก็เพียงพอแล้ว

2.1.1.9 ขั้นตอนการกระทุ้งชิ้นงานให้หลุดออกจากแม่พิมพ์ โดยจะมีพารามิเตอร์ของความเร็ว ความดันระยะทาง และจำนวนครั้งในการกระทุ้ง

2.1.2 องค์ประกอบในการฉีดพลาสติก

ในกระบวนการฉีดพลาสติกมีองค์ประกอบหรือส่วนประกอบที่สำคัญเพื่อให้ได้คุณภาพของชิ้นงานฉีดที่ดี อัตราการผลิตที่สูง และมีจำนวนของเสียน้อย องค์ประกอบที่สำคัญควรมีอยู่ 6 ส่วน (6M) ด้วยกัน คือ

- 1) วัสดุฉีดพลาสติก (Material)
- 2) แม่พิมพ์ฉีด (Mold)
- 3) เครื่องฉีด (Machine)
- 4) วิธีการหรือพารามิเตอร์ที่ปรับตั้งการฉีด (Method)
- 5) ช่างฉีดหรือบุคลากร (Man)
- 6) การจัดการในการฉีด (Management)

2.1.3 ประเภทของเครื่องฉีดพลาสติก

เครื่องฉีดพลาสติกสามารถแบ่งตามลักษณะโครงสร้างของเครื่องได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.1.3.1 เครื่องฉีดแนวนอน เป็นแบบทำงานตามแนวนอนพลาสติกไหลเข้าแบบเป็นเส้นตรงตามแนวนอนตั้งฉากกับระนาบของแม่พิมพ์โดยชุดฉีดและหน่วยเปิด - ปิดแบบ อยู่ในทิศทางเดียวกัน แบบนี้จะเป็นแบบที่นิยมใช้กันมากที่สุด ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 เครื่องฉีดพลาสติกแบบแนวนอน
ที่มา CCT GROUP

2.1.3.2 เครื่องฉีดพลาสติกแนวตั้ง เป็นแบบการทำงานตามแนวตั้งพลาสติกไหลเข้าแบบเป็นเส้นตรงตามแนวตั้ง โดยตั้งฉากกับระนาบของแม่พิมพ์โดยชุดฉีดและหน่วยเปิด-ปิดแบบ อยู่ในทิศทางเดียวกัน ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 เครื่องฉีดพลาสติกแบบแนวตั้ง
ที่มา CCT GROUP

2.1.4 การทำงานของเครื่องฉีดพลาสติก

เครื่องฉีดพลาสติกโดยทั่วไป สามารถแบ่งหน่วยการทำงานหลัก ๆ ของเครื่องได้ดังต่อไปนี้

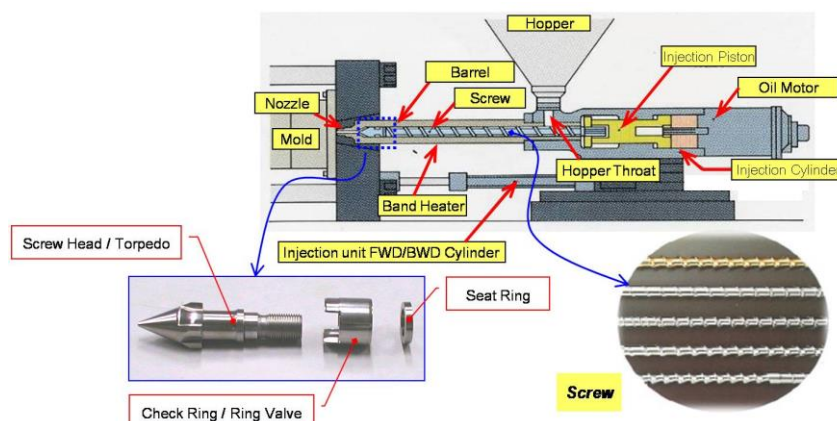
2.1.4.1 หน่วยการฉีด (Injection unit) ทำหน้าที่ในการทำงานเกี่ยวกับการฉีดทั้งหมดโดย มีหน้าที่ตั้งแต่การรับเม็ดพลาสติกจาก Hopper มาแล้วทำการหลอมเหลว ก่อนที่จะทำการฉีดพลาสติกเหลวเข้าไปในช่องว่าง (Cavity) ของแม่พิมพ์ (Mold) ดังภาพที่ 2.4 ซึ่งมีชิ้นส่วนหลักดังนี้



ภาพที่ 2.4 หน่วยการฉีด

ที่มา CCT GROUP

2.1.4.1.1 คอป้อน (Hopper Throat) ที่บริเวณรูสำหรับป้อนเม็ดพลาสติก จะมีระบบน้ำหล่อเย็นเลี้ยงรอบ ๆ เพื่อจะควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสมกับชนิดของเม็ดพลาสติก เม็ดพลาสติกจะถูกลำเลียงจาก Hopper ผ่านรูป้อนเพื่อไหลผ่านไปยังกระบอกฉีด (Barre) ซึ่งในช่วงที่เม็ดพลาสติกถูกป้อนลงมานั้น หากไม่มีระบบน้ำหล่อเย็นเลี้ยงที่บริเวณคอป้อน (Throat) ก็จะทำให้ อุณหภูมิของรูป้อนเม็ดสูงขึ้นมาก ๆ จะทำให้เม็ดพลาสติกเริ่มหลอม ละลายเกาะตัวกันมากยิ่งขึ้น เป็นเหตุทำให้ปริมาณการไหลลงของเม็ดพลาสติกไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นจึงจำเป็น ที่จะต้องทำการตรวจสอบ ระบบหล่อเย็นอย่างสม่ำเสมอ ถ้าระบบของการหล่อเย็นของน้ำไม่มีหรือการไหลของ น้ำเกิดการอุดตัน ก็จะเป็นเหตุทำให้อุณหภูมิของช่วงการป้อนเม็ดสูงขึ้นได้ ในทางตรงกันข้ามกรณีที่อุณหภูมิ ของคอป้อน (Throat) ต่ำมาก ๆ ในขณะที่มีการป้อนเม็ดพลาสติกก็จะทำให้เม็ดพลาสติกมีความชื้นเกิดขึ้น โดยเฉพาะเม็ดที่ผ่านขบวนการใส่ความชื้นมาแล้ว ซึ่งตรงนี้จะป็นปัจจัยหลักที่ทำให้การฉีดขึ้นรูปพลาสติกมีปัญหาได้เช่นกัน



ภาพที่ 2.5 ส่วนประกอบในชุดหน่วยการฉีด
ที่มา CCT GROUP

2.1.4.1.2 กระบอกลฉีด (Barrel) เป็นชิ้นส่วนที่สำคัญมากอีกชิ้นหนึ่งของเครื่องฉีดพลาสติกกระบอกลฉีดจะมีลักษณะเป็นท่อทรงกระบอกลที่ติดตั้งอยู่กับ Hopper Throat ผิวด้านนอกของกระบอกลฉีดจะติดตั้ง Band Heater เพื่อใช้ในการให้ความร้อนเพื่อใช้ในการหลอมเหลวเม็ดพลาสติก ส่วนปลายของกระบอกลจะต่อเข้ากับหัวฉีด (Nozzle) และภายในของกระบอกลฉีดก็จะมีชุด Screw รวมอยู่ เพื่อช่วยในการหลอมเหลวเม็ดพลาสติกและฉีดอัดพลาสติกเหลวเข้าไปในแม่พิมพ์

2.1.4.1.3 ปลอกหรือแถบทำความร้อน (Band Heater) มีหน้าที่ทำความร้อนและส่งถ่ายไปยัง กระบอกลฉีด (Barrel) เพื่อใช้ในการหลอมละลายเม็ดพลาสติก โดยทั่วไป Band Heater จะติดตั้งไว้โดยการ ท่อหุ้มอยู่ภายนอกของกระบอกลฉีด (Barrel) โดยแยกการควบคุมอุณหภูมิออกเป็น ส่วน ๆ Thermos Couple เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดอุณหภูมิโดยใช้คุณสมบัติของโลหะสองชนิดที่แตก ต่างกัน ซึ่งความต่างศักย์ที่วัดได้จากปลายทั้งสองข้างของ

2.1.4.1.2 Thermos couple นั้นจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่จุดต่อ ระหว่างสองโลหะ Theme Coupe มีอยู่มากมายหลายชนิดแต่ที่ใช้กับเครื่องฉีดทั่วไปมีอยู่ 2 ชนิด คือ Type J และ Type C

2.1.4.1.3 Screw โดยทั่วไปสกรูที่ใช้กับเครื่องฉีดพลาสติกนั้น มีการออกแบบที่แตกต่างกันไปเพื่อให้เหมาะสม กับการใช้งาน ซึ่งโดยทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก คือ Feed Zone, Compression Zone และ Metering

(1) Zone Feed Zone ของ Screw จะเป็นช่วงที่ทำหน้าที่ในการลำเลียงเม็ดพลาสติกที่ไหลลงมาจาก Hopper Throat เพื่อที่จะส่งต่อไปยังช่วง Compression Zone ซึ่งความลึกของร่องเกลียวช่วงนี้จะเท่ากันทุกร่องเกลียว การเปลี่ยนแปลง ความร้อนในช่วงนี้จะเกิดขึ้น

เพียงเล็กน้อยจากการเสียดสีกันของเม็ดพลาสติก เพราะฉะนั้น ความร้อนที่มาจาก Band Heater ในช่วงนี้ต้องไม่สูงมากจนเกินไปเพราะจะทำให้พลาสติกหลอมเหลวหรือ เกาะกันเป็นก้อน และเพื่อป้องกัน การลำเลียงเม็ดพลาสติกไม่ให้ขาดช่วงหรือขาดความต่อเนื่อง

(2) Compression Zone ของ Screw จะเป็นช่วงที่ทำให้พลาสติกเกิดการหลอมเหลวและผสมผสานกัน ได้ดียิ่งขึ้น โดยจะทำให้เกิดการเสียดสีกันของเม็ดพลาสติกเองและทำให้เกิดความร้อนสะสมภายในเม็ดพลาสติก ทำให้เกิดการหลอมเหลวและอัดแน่นกันมากยิ่งขึ้น ตรงช่วงบริเวณนี้ขนาดความลึกของร่องเกลียวจะค่อย ๆ ลดลง ไปเรื่อย ๆ เพื่อทำให้เกิดการอัดตัวของ การหลอมเหลวของเม็ดพลาสติก ซึ่งข้อแตกต่างของความลึกของร่องเกลียว ช่วงนี้เราเรียกว่า Compression Ratio โดยทั่วไปจะอยู่ที่ประมาณ 2 : 1 จากช่วงของ Compression Zone ปริมาณพลาสติกที่ถูกหลอมละลายจะ ถูกส่งไปยังส่วนสุดท้ายของ Screw ที่เรียกว่า Metering Zone ต่อไป

(3) Metering Zone ของ Screw จะเป็นช่วงที่มีการเข็นกันของพลาสติกมากที่สุดและ จะเพิ่มมากขึ้นระหว่าง Barrel กับ Screw และเพิ่มการหลอมละลายของพลาสติก บางส่วนที่ยังหลอมละลายไม่เพียงพอ เพื่อที่จะทำการฉีด ต่อไป การหลอมละลายในช่วงนี้ จะเริ่มมีการสะสมกำลังและแรงดันเพิ่มมากขึ้นที่ด้านปลายของ Barrel ในช่วงของ Metering Zone นี้จะทำหน้าที่นำพาสติกที่หลอมละลายดีแล้วผ่านทะลุ Non-Return Valve ไปยังด้านหน้าสุด ของ Screw และไปสะสมกันอยู่ปลายสุดของ Barrel และในขณะเดียวกันในการสะสมกันของพลาสติก เหลวนี้ก็จะมีการเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะที่สกรูหมุน กำลังหรือแรงดันนี้จะเป็นตัวที่ดันให้สกรู ถอยหลังไปจนถึงระยะ ของ SM (ตำแหน่งหยุดการหมุนของ (Screw) ตามที่ตั้งค่าไว้ ซึ่งเป็นการสะสม ปริมาณ พลาสติกเหลวให้ได้ตามที่ต้องการ เพื่อที่จะทำการฉีดเข้าไปในแม่พิมพ์ในแต่ละรอบการทำงาน

2.1.4.1.4 หัวฉีด เป็นส่วนประกอบหนึ่งของชุดฉีดพลาสติก มีไว้เพื่อทำหน้าที่เป็นทางผ่านของพลาสติกเหลวจากกระบอกฉีดเข้าไปในแม่พิมพ์ ซึ่งหัวฉีดจะเป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างปลายกระบอกฉีดกับ Sprue Bush ของแม่พิมพ์ ในขณะที่ทำการฉีดพลาสติกเข้าไปในแม่พิมพ์ ขนาดรัศมีของปลายหัวฉีด (Nozzle) ต้องมีขนาดพอดีที่จะสวมหรือสัมผัส กับขนาดรัศมีของ Sprue Bush ของแม่พิมพ์ และต้องไม่มีรอยยุบรอยกระแทกที่บริเวณใกล้กับรูฉีดของ Nozzle เพราะ อาจทำให้การฉีดมีปัญหาได้โดยทั่วไปหัวฉีด (Nozzle) แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ใหญ่ ๆ ดังนี้

(1) หัวฉีดแบบเปิด (Open Nozzle) เป็นหัวฉีดแบบที่ใช้กับพลาสติกที่มีความหนืดก่อนข้างสูง ซึ่งไหลได้ยากเมื่อถึง จุดหลอมเหลว เป็นแบบที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางมาก เพราะมีราคาถูก มีความเสียดทานในการไหลน้อยมาก และ ทำให้เกิดการสูญเสียแรงดันน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับหัวฉีดแบบปิด เนื่องจากหัวฉีดแบบเปิดไม่มีระบบเปิด-ปิดรู ของ Nozzle ซึ่งอาจทำให้

เกิดการไหลย้อนของพลาสติกที่ปลายหัวฉีดได้ จึงต้องใช้วิธีการป้องกันด้วยการดึงกลับของสกรู (Suck Back) เป็นมาตรฐานการใช้งานหัวฉีดแบบ Open Nozzle

(2) หัวฉีดแบบปิด (Shut-off Nozzle) เป็นหัวฉีดแบบที่นิยมใช้กับพลาสติกที่มีความหนืดต่ำ ซึ่งไหลได้ง่ายเมื่อถึงจุด หลอมเหลว หัวฉีดแบบนี้จะมีกลไกหรือระบบควบคุมการเปิด-ปิดรูฉีดเพื่อป้องกันไม่ให้พลาสติกเหลว ไหลย้อนออกมา ที่ปลายหัวฉีด ซึ่งกลไกหรือระบบควบคุมการเปิด-ปิดรูฉีดนั้นมีอยู่มากมายหลายแบบ

2.1.4.1.5 หน่วยปากกาปิดแม่พิมพ์ (Clamping unit) เป็นชุดอุปกรณ์มีหน้าที่ในการติดตั้งแม่พิมพ์ เปิด-ปิดแม่พิมพ์ (Mold) ดังภาพที่ 2.6 และการกระทุ้งชิ้นงานที่ฉีดเสร็จแล้วออกจากแม่พิมพ์ โดยเฉพาะการปิดแม่พิมพ์นั้น Clamp unit จะต้องมีแรงในการปิดที่สามารถต้านทานแรงดันของพลาสติกเหลวในขั้นตอนการฉีดได้ โดยทั่วไป Clamp unit จะมีอยู่ 2 ระบบใหญ่ ๆ ดังนี้

(1) Direct Clamp เป็นระบบการเปิด-ปิดแม่พิมพ์โดยตรงผ่านต้นกำลัง ซึ่งก็คือลูกสูบไฮดรอลิก (Hydraulic Cylinder) ระบบนี้เป็นระบบที่นิยมใช้ในเครื่องฉีดระบบไฮดรอลิก ซึ่งมีข้อดีก็คือสามารถ set-up ได้ง่าย

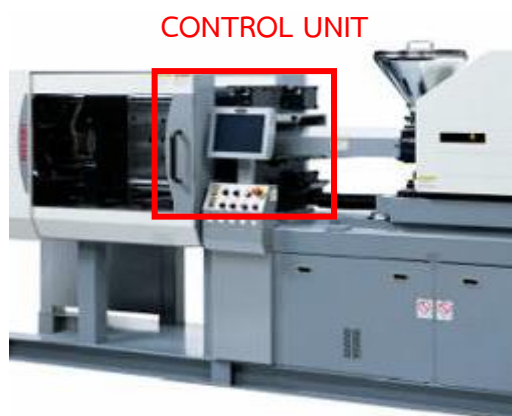
(2) Toggle Clamp เป็นระบบการเปิด-ปิดแม่พิมพ์ผ่านกลไกหรือระบบ Mechanic ซึ่งสามารถใช้ได้กับต้นกำลังจาก Servo Motor และ Hydraulic ซึ่งมีข้อดีก็คือแรงในการปิดแม่พิมพ์จะเที่ยงตรงและสม่ำเสมอ

CLAMPING UNIT



ภาพที่ 2.6 หน่วยปากกาปิดแม่พิมพ์
ที่มา CCT GROUP

2.1.4.1.6 หน่วยควบคุม (Control unit) มีหน้าที่ในการควบคุมการทำงานทุกระบบของเครื่องฉีด เช่น การควบคุมอุณหภูมิของกระบอกฉีด (Barrel) การควบคุมแรงดันและความเร็วในการฉีด การควบคุมความเร็วในการเปิด-ปิดแม่พิมพ์ การควบคุมเวลาการทำงานในขั้นตอนต่าง ๆ ของเครื่องฉีด ดังภาพที่ 2.7

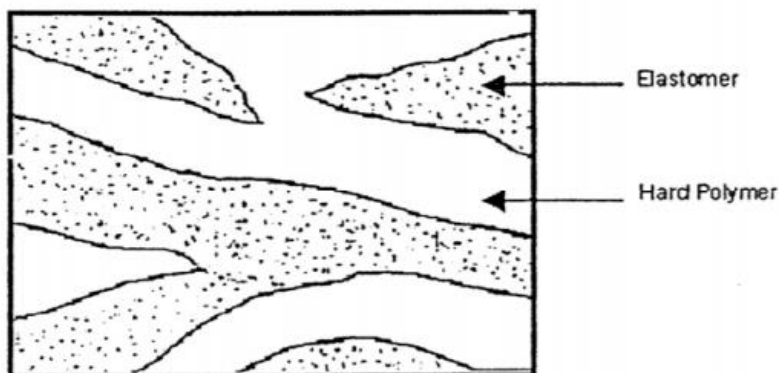


ภาพที่ 2.7 หน่วยควบคุม
ที่มา CCT GROUP

2.2 เทอร์โมพลาสติกพอลิโอเลฟิน (Thermoplastic polyolefin, TPO)

เทอร์โมพลาสติกพอลิโอเลฟิน เป็นพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกชนิดพอลิโอเลฟิน เช่น PE และ PP และยางที่ไม่มีการเชื่อมโยงโมเลกุล (Vulcanized rubber) เช่น NR หรือยางสังเคราะห์ชนิดต่าง ๆ โดยทำการผสมในเครื่องผสมที่มีแรงเฉือนสูง ๆ เช่น เครื่องผสมแบบปิด (Internal mixer) หรือเครื่องอัดรีดแบบสกรู (Screw extruder) สัณฐานวิทยาที่ได้จะเป็นแบบระบบสองเฟส คือ มีเฟสของพอลิโอเลฟิน และ เฟสของยาง ซึ่งสัณฐานวิทยาเป็นโครงสร้างแบบเฟสต่อเนื่องร่วม (Co-continuous phase) ดังแสดงในรูป 2.8 โดยที่เฟสของยางจะไม่เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุล TPO ที่ได้จะมีความแข็งแรงจากเฟสของพลาสติก และมีความยืดหยุ่นจากเฟสของยาง เนื่องจากเฟสของยางไม่ได้เกิดการเชื่อมโมเลกุล จึงทำให้ TPO สามารถเกิดการไหลได้อย่างพลาสติกที่อุณหภูมิสูง (ที่จัดหลอมเหลวของพลาสติกชนิดนั้น ๆ) แต่ยังคงมีสมบัติความเป็นยางที่อุณหภูมิห้อง

TPO มีสมบัติตั้งแต่ค่อนข้างอ่อนนุ่ม ยืดหยุ่นคล้ายยางไปจนถึงค่อนข้างแข็งเหมือนพลาสติกทั่วไป ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของยางและพลาสติกที่ใช้ในการผสม โดยสมบัติของ TPO ดีหรือไม่ดีขึ้นอยู่กับชนิดของยางและพลาสติก รวมทั้งการผสมพลาสติกและยางเข้าด้วยกัน (ภาสรี, 2548)



ภาพที่ 2.8 สันฐานวิทยาแบบเฟสต่อเนื้อร่วมของ TPO
ที่มา Holden (2000)

2.3 ชิกซ์ ชิกม่า

ชิกซ์ ชิกม่า เป็นวิธีการและการประยุกต์ใช้กลวิธีทางสถิติในองค์การช่วยให้องค์กรสามารถทำกำไรได้เพิ่มขึ้น มีผลผลิตมากขึ้น สามารถนำมาใช้ได้ทั้งส่วนของสินค้าและบริการ คำว่าชิกม่าเป็นตัวอักษรกรีก (σ) ซึ่งหมายถึง ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ (Standard Deviation) เพื่อวัดความแปรปรวนเฉลี่ยที่เบี่ยงเบนไปจากค่าเฉลี่ยมาตรฐาน ค่าระดับชิกม่าที่สูงแสดงให้เห็นถึงคุณภาพที่ดีกว่าในค่าระดับของ 6 ชิกม่านั้น เราจะได้ชิ้นงานที่ไม่ได้ตามขอบเขตหรือมาตรฐานที่กำหนดเพียง 3.4 ชิ้น ในชิ้นงานหนึ่งล้านชิ้นงานเท่านั้น

2.3.1 แนวคิดของวิธีการชิกซ์ ชิกม่า

แนวทางของชิกซ์ ชิกม่า การที่ผู้ผลิตสามารถสร้างความพึงพอใจให้ลูกค้าจำเป็นต้องมีการลดความเสี่ยงของโอกาสที่ทำให้ลูกค้าเกิดความพึงพอใจ ซึ่งการลดความเสี่ยงนี้สามารถทำได้โดยการพัฒนาคุณภาพ เพิ่มความสามารถในกระบวนการผลิต เป็นผลทำให้กระบวนการผลิตสามารถผลิตสินค้าหรือบริการซ้ำ ๆ กันได้ในระดับมาตรฐานสูง โอกาสที่ลูกค้าพึงพอใจสูงตามไปด้วย แต่ในการเพิ่มความสามารถในกระบวนการผลิตนั้น สิ่งแรก คือ ทำการศึกษา และทำความเข้าใจถึงความผันแปรที่เกิดขึ้นในการผลิตซึ่งแหล่งความผันแปรหลักๆ จะมาจากการออกแบบ (Design) วัสดุ (Material) และกระบวนการผลิต (Process) เพราะความผันแปรเหล่านี้จะส่งผลกระทบต่อความสามารถของกระบวนการผลิต ถ้าความผันแปรในกระบวนการผลิตมีมากความสามารถของการผลิตต่ำ ในทางกลับกันถ้าความสามารถในการผลิตมีน้อย ความสามารถของกระบวนการก็จะสูง ในการลดความผันแปรของกระบวนการ ผู้วิจัยจำเป็นต้องทำการศึกษาและหาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางคุณภาพของผลิตภัณฑ์กับสาเหตุในกระบวนการผลิต เป้าหมายสูงสุดของ ชิกซ์ ชิกม่า มาใช้เป็นกลยุทธ์ของกิจกรรม มากกว่าที่จะเป็นวิธีการทางคุณภาพในการควบคุมกระบวนการ และเป็น

เรื่องของการบริการ โดย แฮรี่ (Harry) กล่าวว่า ชิکش ชิคม่า คือกระบวนการทางธุรกิจที่ยอมให้บริษัทปรับปรุงอย่างพลิกโฉมหน้าในกระบวนการที่เป็นคอขวด โดยการออกแบบและเผื่อสำรองในทุกวันที่ทำกิจกรรมทางธุรกิจ โดยใช้แนวทางการลดสิ่งที่ไม่เป็นประโยชน์และขณะเดียวกันก็เพิ่มความพึงพอใจของลูกค้า แอนโทนีและแบนูลาส (Antony and Banuelas) ได้กล่าวสนับสนุนว่า ชิکش ชิคม่าเป็นกลยุทธ์ในการปรับปรุงทางธุรกิจ โดยปรับปรุงประสิทธิผลและประสิทธิภาพในทุกหน่วยงาน ให้ตรงหรือมากกว่าความต้องการและความคาดหวังของลูกค้า และจากชิکش ชิคม่า เป็นกลยุทธ์เชิงธุรกิจของกิจการ ที่ประกอบไปด้วยการดำเนินโครงการและกระบวนการต่าง ๆ จำนวนมาก ซึ่งต้องอาศัยการทำงานและการร่วมมือกันทั้งระดับบนและระดับล่างหรือในทุก ๆ ระดับทั่วทั้งองค์กร เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าและเป็นการยกระดับคุณภาพขององค์กร

2.3.2 การดำเนินงานตามวิธีการทางชิکش ชิคม่า

ขั้นตอนการดำเนินงาน จัดอยู่ในระดับกระบวนการ (Process Level) ซึ่งเน้นไปที่การแก้ปัญหาในกระบวนการเป็นหลัก ผู้ที่มีบทบาทสำคัญในส่วนนี้ได้แก่คณะทำงานที่เรียกว่า แบลคเบล (Black Belt) มีหน้าที่ในการเฝ้าพินิจถึงปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการ แล้วดำเนินการแก้ไขเพื่อไม่ให้ปัญหาดังกล่าวเกิดขึ้นมาอีก หลักการของชิکش ชิคม่า คือ DMAIC มาจาก Define – Measure – Analyze – Improve – Control ซึ่งรายละเอียดโดยสังเขปเกี่ยวกับขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

2.3.2.1 ขั้นตอนการระบุปัญหา (Define Phase) ขั้นตอนของการเลือกปัญหาเริ่มจากการกำหนดลูกค้า และศึกษาความต้องการของลูกค้า อีกทั้งจากการสำรวจความต้องการ ความพึงพอใจของลูกค้า หรือจากข้อมูลการร้องเรียนของลูกค้า ศึกษาการทำงานหลักขององค์กร ผู้ที่รับผิดชอบในระดับบริการของแต่ละกระบวนการนั้น ๆ แบลคเบลและผู้รับผิดชอบในระดับบริหารของแต่ละกระบวนการ ซึ่งจะกลายมาเป็นแชมเปียน (Champion) ของโครงการจะร่วมกันนำความต้องการของลูกค้ากระจายเป็นปัจจัยคุณภาพที่สำคัญของแต่ละกระบวนการ ปัญหาต่าง ๆ ที่สำคัญและตรงกับความต้องการของลูกค้า รวมถึงปัญหาที่ไม่สามารถแก้ไขได้ในหน่วยงานปกติ ก็จัดเรียงลำดับความสำคัญและเลือกให้ดำเนินการแก้ไขปรับปรุง เมื่อแบลคเบล และแชมเปียนสามารถกำหนดโครงการที่จะดำเนินการแก้ไขปรับปรุงได้แล้ว ก็จะร่วมกันกำหนดขอบเขตการดำเนินงานและคณะทำงานต่อไป

2.3.2.2 ขั้นตอนการวัด (Measure Phase) ขั้นตอนนี้แบลคเบล (Black Belt) และคณะร่วมกันกำหนดแนวทางในการวัดประสิทธิภาพของกระบวนการทำการศึกษาระบบการวัดละเอียด กำหนดปัจจัยที่ได้จากระบบการหรือตัวแปรตอบสนองของกระบวนการ (Key Process Output Variable :KPOV :YS) และปัจจัยนำเข้าต่าง ๆ ของกระบวนการ กำหนดแนวทางในการวัดปัจจัยต่างๆ ทำการวิเคราะห์ระบบการวัด หากผลการวิเคราะห์ระบบการวัดมีความผันแปรมากเกินไป

กว่าที่กำหนด ต้องทำการปรับปรุงระบบการวัดให้ดีขึ้น เมื่อยอมรับได้แล้วจึงทำการศึกษา ประสิทธิภาพการดำเนินงานกำหนดปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ ที่จะส่งผลกระทบต่อระดับคุณภาพของ เอาท์พุทของกระบวนการ เพื่อจะดำเนินการศึกษา และวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

2.3.2.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ (Analyze Phase) ขั้นตอนนี้จะนำปัจจัยนำเข้าที่สำคัญของกระบวนการต่าง ๆ มาทำการวิเคราะห์เพื่อดูว่าปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้มีผลต่อกระบวนการ อย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ เป็นการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุที่แท้จริงของกระบวนการ หากปัจจัยใดที่ ทดสอบแล้วพบว่าไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองของกระบวนการ (KPOV) ก็นำไปดำเนินการในขั้นตอน ต่อไป ซึ่งจากการดำเนินงานในขั้นตอนนี้ จะทำให้เข้าใจกระบวนการมากขึ้น และมาตรฐานการทำงาน ต่าง ๆ ปรับปรุงใหม่ตัวแปรต่าง ๆ จะถูกกำหนดและศึกษา และทำให้ทราบว่าปัจจัยใดที่มีผลต่อตัว แปรตอบสนองของกระบวนการ (KPOV) อย่างมากซึ่งจะเนปัจจัยที่เหมาะสมที่จะนำไปทำการแก้ไข ต่อไป

2.3.2.4 ขั้นตอนการปรับปรุง (Improve Phase) ขั้นตอนนี้เป็นการออกแบบ และ ทำการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ที่แท้จริงระหว่างตัวแปรตอบสนองของกระบวนการ(KPOV)กับ ปัจจัยที่มีผลต่อนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนองของกระบวนการ (KPOV) นั้น ๆ และหาค่าที่เหมาะสม ของแต่ละปัจจัยที่จะทำให้ได้ค่าตัวแปรตอบสนองของกระบวนการ (KPOV) ที่ดีที่สุด จากนั้น ดำเนินการวิเคราะห์ระบบการวัดของแต่ละปัจจัยเพื่อให้ดำเนินการควบคุมในขั้นตอนถัดไปเป็นไป อย่างมีประสิทธิภาพ

2.3.2.5 ขั้นตอนการควบคุม (Control Phase) กระบวนการผลิตได้รับการปรับปรุง แล้ว ขั้นตอนนี้ก็เป็นวิธีการออกแบบวิธีการควบคุมปัจจัยต่าง ๆ เพื่อให้พนักงานสามารถควบคุมได้ ด้วยตนเอง แล้วทำการประเมินความสามารถของกระบวนการผลิตอีกครั้ง เพื่อดูว่าหลังจากปรับปรุง แล้วสามารถทำได้ตามเป้าหมายหรือไม่ หากความสามารถของกระบวนการยังไม่ดี ก็ต้องย้อนกลับไป ทำตามขั้นตอนก่อนหน้านี้อีกครั้ง นอกจากนี้แล้วจะต้องมีการประเมินผลการดำเนินงาน โดยวัดจาก ระดับคุณภาพที่เปลี่ยนแปลงไป และประเมินความสามารถในการลดต้นทุนหรือความพึงพอใจของ ลูกค้าที่เปลี่ยนไปหลังจากการปรับปรุงกระบวนการ

2.3.3 เครื่องมือที่ใช้ในวิธีการซิกซ์ ซิกม่า

ซิกซ์ ซิกม่า นั้นอาศัยการคิดเป็นระบบ (Systematic Thinking) ตัดสินใจบนข้อมูล (Data) ที่ สามารถเชื่อถือได้ โดยข้อมูลเหล่านี้ถูกนำมาเปลี่ยนเป็นสารสนเทศ (Information) ที่มีประโยชน์ต่อ การตัดสินใจทั้งด้วยวิธีการทางตรรกะและทางสถิติ สำหรับเครื่องมือทางสถิติที่ถูกนำมาใช้ใน ซิกซ์ ซิกม่า นั้นมีอยู่ด้วยกันมากมายแต่เครื่องมือวัดที่จะกล่าวถึงในเนื้อหาบทนี้ เป็นเครื่องมือที่นำมาใช้ ทำการศึกษา ได้แก่

2.3.3.1 การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA : Measurement System Analysis)

ระบบการวัดมีความสำคัญกับการตรวจสอบคุณภาพอย่างมาก แม้ว่าระบบการผลิตมีความถูกต้องแต่ถ้าระบบการวัดมีความผิดพลาด จะส่งผลต่อการตัดสินใจที่คาดเคลื่อนได้ ดังนั้นการวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) เป็นการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงสถิติของระบบการวัดเพื่อแยกแยะแหล่งของความผันแปรต่าง ๆ และดำเนินการปรับปรุง ในการวิเคราะห์จะให้ความสนใจในการวิเคราะห์จะให้ความสนใจในการวิเคราะห์ความถูกต้อง และการวิเคราะห์ความถูกต้องแม่นยำของระบบการวัดแล้วพยายามปรับให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับ ซึ่งความแม่นยำของการวัดประกอบไปด้วยความสามารถในการทำซ้ำ (Repeatability) หมายถึง ความแตกต่างของระบบการวัดภายใต้เงื่อนไขเดียวกันและความสามารถในการทำงานเหมือน (Reproducibility) หมายถึง ความแตกต่างของระบบการวัดภายใต้เงื่อนไขต่างกันและความสามารถในการทำเหมือน (Reproducibility) หมายถึง ความแตกต่างของระบบการวัดภายใต้เงื่อนไขต่างกันกรรมวิธีในการวิเคราะห์ระบบการวัดนั้นสามารถทำได้หลายรูปแบบวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ คือ GR&R (Gauge Repeatability and Reproducibility) การวัดคุณภาพผลิตภัณฑ์สามารถแบ่งตามลักษณะของผลิตภัณฑ์ออกเป็น 2 ลักษณะ ดังนี้

(1) การวัดแบบตัวแปรค่า (Variable) เป็นการวัดผลิตภัณฑ์ในเชิงปริมาณ ซึ่งอาจอยู่ในรูปของน้ำหนัก ปริมาตร ความยาว หรือหน่วยอื่น ๆ ที่สามารถวัดได้ ตัวอย่างการวัดแบบตัวแปรค่า เช่น ขนาดจอโทรทัศน์ เส้นผ่านศูนย์กลางของล้อรถเมล์ และระดับอุณหภูมิที่ทำให้อาหารสุก

(2) การวัดแบบคุณสมบัติ (Attribute) เป็นการวัดผลิตภัณฑ์ในเชิงคุณภาพ โดยแบ่งออกเป็นลักษณะต่าง ๆ เช่น ดี-เสีย หรือ ถูก-ผิด เป็นต้น ในการศึกษาความสามารถของระดับการวัดนี้ สามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ การประเมินผลระยะสั้น (Short Method) และการประเมินผลในระยะยาว (Long Method) แนวความคิดของการประเมินในระยะสั้นนั้นอาศัยการจำแนกชิ้นสิ่งตัวอย่างที่มีลักษณะทั้งดี ไม่ดีและก้ำกึ่ง (Marginal) ในจำนวนที่เหมาะสม แล้วให้พนักงานทำการตรวจสอบเพื่อจำแนกผลว่าผ่านหรือไม่ผ่าน จากนั้นจะพิจารณาว่าผลกาตรวจสอบซ้ำมีคุณภาพตรงกับความจริงหรือไม่ ลักษณะดังกล่าวบอกถึงความถูกต้องในการตรวจสอบ โดยจะแบ่งลักษณะความถูกต้องออกเป็น 2 ประเภท คือ ความลำเอียงของลูกค้า (Consumer bias) หมายถึง การที่พนักงานตรวจสอบมีแนวโน้มที่จะตรวจสอบแล้วสรุปผลว่าไม่ผ่านสำหรับงานดี และความลำเอียงของผู้ผลิต (Producer Bias) หมายถึง การที่พนักงานตรวจสอบมีแนวโน้มที่จะสรุปผลว่าผ่านสำหรับงานที่ไม่ดี การประเมินผลระบบการตรวจสอบวัดในระยะสั้น ประเมินด้วยดัชนีต่าง ๆ ดังนี้

$$\% \text{ การทำซ้ำของพนักงาน} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ผลการทดสอบเหมือนกัน} \times 100}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}}$$

$$\% \text{ ความไม่ลำเอียงของพนักงาน} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ผลการตรวจสอบเหมือนกันและถูกต้อง} \times 100}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}}$$

$$\% \text{ ประสิทธิภาพการทำซ้ำ} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่พนักงานทุกคนตรวจสอบเหมือนกัน} \times 100}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}}$$

$$\% \text{ ประสิทธิภาพความไม่ลำเอียง} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่พนักงานทุกคนตรวจสอบได้ถูกต้องเหมือนกัน} \times 100}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}}$$

2.3.3.2 การทดสอบสมมติฐาน (Test of Hypothesis) การทดสอบสมมติฐานคือการตัดสินใจแบบมีการทดลอง การทดลองนี้เป็นการทดลองเพื่อยืนยันความน่าเชื่อถืออย่างใดอย่างหนึ่งของผู้ทดสอบ โดยที่ตัวแบบของการตัดสินใจนี้มีอยู่ด้วยกันสองทางเลือก คือ สมมติฐาน (Null Hypothesis : H0) และสมมติฐานอื่น ๆ (Alternative Hypothesis : H1) การทดสอบสมมติฐานจำเป็นต้องมีการทำการทดลอง เพื่อหาเหตุผลมายืนยันความจำเป็นที่ต้องทำการยอมรับทางเลือกอีกทางเลือกหนึ่งนั้นไม่ใช่เพราะทางเลือกนั้นถูก แต่ที่เลือกเพราะไม่มีเหตุผลเพียงพอที่จะทำการปฏิเสธ (Fail to Reject) ในทางกลับกันถ้าเหตุผลที่ได้นั้นสามารถทำการยืนยันความเชื่อของผู้ทดสอบได้ ความเชื่อของผู้ทดสอบก็จะสามารถทำการยอมรับได้โดยหลักการของการทดสอบสมมติฐานอาศัยระดับนัยสำคัญเพื่อทดสอบว่า จากการทดลองมีค่าแตกต่างมากกว่าหรือน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่

2.3.3.3 การทดสอบแบบเชิงแฟคทอเรียล (Factorial Design) กระบวนการในการเก็บข้อมูลตัวอย่าง คือ การดำเนินการทดลอง และแผนการในการเก็บตัวอย่าง คือ การวางแผนการทดลอง หรือการออกแบบการทดลอง ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองเรียกว่า ตัวแปรตอบสนอง ส่วนหน่วยตัวอย่างที่ใช้วัดตัวแปรตอบสนองก็คือ หน่วยทดลองตัวแปรอิสระในการทดลองเป็นได้ทั้งตัวแปรเชิงคุณภาพ และตัวแปรเชิงปริมาณ ซึ่งอาจมีผลต่อตัวแปรตอบสนองเรียกว่า ปัจจัย และค่าต่าง ๆ ของปัจจัยที่กำหนดขึ้นในการทดลองเรียกว่า ระดับของปัจจัยกรณีในการทดลองมีเพียง 1 ปัจจัยเท่านั้น ระดับของปัจจัยที่กำหนดขึ้นในการทดลองเรียกว่า ทรีทเมนต์ แต่ถ้าในการทดลองมีปัจจัยที่สนใจศึกษาหลายตัวทรีทเมนต์หาได้จากการคอมบินเนชัน (Combination) ของระดับของปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมดในการทดลอง การออกแบบการทดลองเป็นเทคนิคทางสถิติขั้นสูงที่ใช้ในการปรับตั้งค่าสภาวะของกระบวนการให้เป็นไปตามสภาพที่ผู้วิจัยต้องการ การทดสอบครั้งเดียวหรือต่อเนื่องและทำการเปลี่ยนค่าแปรนำเข้า (Input Variables) ในระบบหรือกระบวนการที่สนใจศึกษาเพื่อที่ ทำให้สามารถสังเกตและชี้สาเหตุต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ที่ได้ จากกระบวนการหรือระบบนั้น

แล้วตัวแปรนำเข้าจะถูกจัดแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่สามารถควบคุมได้ เรียกว่า ตัวแปรที่ควบคุมได้ (Controllable Variables or Factors) และกลุ่มที่ไม่สามารถควบคุมได้ เรียกว่า ตัวแปรที่รบกวนระบบ (Controllable or Variables (Factors)) การกำหนดตัวแปรที่ควบคุมได้และไม่ได้จะขึ้นอยู่กับระบบแต่ละระบบ ซึ่งโดยหลักแล้วตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้หรือตัวแปรรบกวนจะเกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมในธรรมชาติ เช่น ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิภายนอก ลม หรือส่วนของอุปกรณ์หรือระบบที่ยากแก่การควบคุม เนื่องจากการควบคุมต้องระมัดระวังสูง เพราะเมื่อชำรุดอาจส่งผลถึงค่าใช้จ่ายที่สูงมาก ส่วนตัวแปรที่ควบคุมได้ เช่น พนักงานที่ควบคุม อุณหภูมิที่ใช้ในการผลิต วัตถุดิบ เครื่องจักร เป็นต้น ในทุกกระบวนการสามารถบันทึกไว้เพื่อเป็นประโยชน์การวิเคราะห์ต่อไป ข้อแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดระหว่างวิธีการโดยทั่วไปกับเทคนิคของการออกแบบการทดลอง คือ วิธีโดยทั่วไปเป็นแบบการลองผิดลองถูกหรือใช้การทดลองปรับตั้งค่าของกระบวนการทีละค่า (One-Factors-At-A-Time)

โดยทั่วไปแล้วการทดลองแบบ (One-Factors-At-A-Time) ให้ผลของการเข้าสู่จุดหมายที่ผู้วิจัยต้องการของกระบวนการยังไม่เหมาะสมกับกระบวนการที่มีผลของความสัมพันธ์ร่วม (Interaction Effect) ระหว่างตัวแปรของกระบวนการด้วยตนเอง ข้อดีของเทคนิคการออกแบบการทดลอง คือให้ผลลัพธ์ของความแม่นยำและความถูกต้องในการวิเคราะห์ข้อมูลได้อย่างสูงโดยสามารถระบุออกมาเป็นค่าตัวเลขทางสถิติที่แสดงถึงระดับความสำคัญของตัวแปรที่จะส่งผลต่อกระบวนการ นอกจากนี้ยังมีความรวดเร็วในการดำเนินการตรวจสอบสาเหตุของปัญหา ชนิดของรูปแบบการทดลองมีให้เลือกอยู่อย่างหลากหลาย ซึ่งหลักเกณฑ์นี้การพิจารณาว่าผู้วิจัยควรเลือกรูปแบบการทดลองแบบไหนนั้นขึ้นอยู่กับเกณฑ์ดังต่อไปนี้ ได้แก่ งบประมาณที่มีให้ในการออกแบบการทดลอง เวลาที่มีให้เพื่อการวิเคราะห์ ระดับความถูกต้องในการวิเคราะห์ เป็นต้น

2.4 เครื่องมือคุณภาพ 7 อย่าง (QC 7 Tools)

เครื่องมือควบคุมคุณภาพ เป็นเครื่องมือที่สำคัญในการแก้ไขปัญหาทางด้านคุณภาพของกระบวนการ ผลิต ซึ่งช่วยศึกษาสภาพทั่วไปของปัญหา คัดเลือกหรือจัดลำดับความสำคัญของปัญหา การสำรวจสภาพปัจจุบันของปัญหา การค้นหาและวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาที่แท้จริง เพื่อให้สามารถแก้ไขได้อย่างถูกต้อง รวมทั้งติดตามผลอย่างต่อเนื่อง ตลอดจนช่วยในการจัดทำมาตรฐานซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพที่สำคัญมี 7 ชนิด โดยเครื่องมือแต่ละชนิดมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.4.1 ใบตรวจสอบ (Check Sheet)

2.4.2 ฮิสโทแกรม (Histogram)

2.4.3 แผนภาพพาเรโต (Pareto Chart)

2.4.4 แผนผังก้างปลา (Fish bone Diagram)

2.4.5 แผนภูมิควบคุม (Control Chart)

2.4.6 แผนภาพการกระจาย (Scatter Diagram)

2.4.7 กราฟ (Graph)

ทั้งนี้ในการใช้เครื่องมือทั้ง 7 อย่างนี้จะต้องคำนึงถึงลักษณะชนิดของข้อมูลที่ได้ รวมถึงความเหมาะสมกับสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริง เพื่อให้การวิเคราะห์ที่ได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริง และเกิดความถูกต้องมากที่สุด จึงจะสามารถนำไปใช้ในการควบคุมคุณภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.4.1 ใบตรวจสอบ (Check Sheet)

ใบตรวจสอบ เป็นแบบฟอร์มที่อยู่ในรูปตารางหรือรูปภาพใช้สำหรับกรอกรายละเอียดของข้อมูล เพื่อช่วยในการวิเคราะห์หาสาเหตุและติดตามผลการดำเนินงาน ซึ่งลักษณะของใบตรวจสอบต้องคำนึงถึงคือการกำหนดรายละเอียดที่ชัดเจน เช่น รายละเอียดของผลิตภัณฑ์ ผู้ตรวจสอบ วันและเวลาที่ตรวจ เป็นต้น มีการจัดรูปแบบของแบบฟอร์มให้สะดวกต่อการบันทึกข้อมูล ง่ายต่อการจำแนกข้อมูล และวิเคราะห์ผล และที่สำคัญควรกำหนดและใช้ใบตรวจสอบให้ตรงกับวัตถุประสงค์ของการตรวจสอบด้วย

2.4.1.1 ประโยชน์ของใบตรวจสอบ

(1) ช่วยให้ผู้ตรวจสอบบันทึกผลการตรวจสอบได้สะดวก เพราะการออกแบบใบตรวจสอบจะต้องคำนึงถึงความสะดวกของผู้ใช้ เช่น กรอกตัวเลขลงในช่องที่มีข้อความกำกับไว้แล้ว ทำให้ไม่ต้องเขียนข้อความให้เสียเวลาอีก เป็นต้น

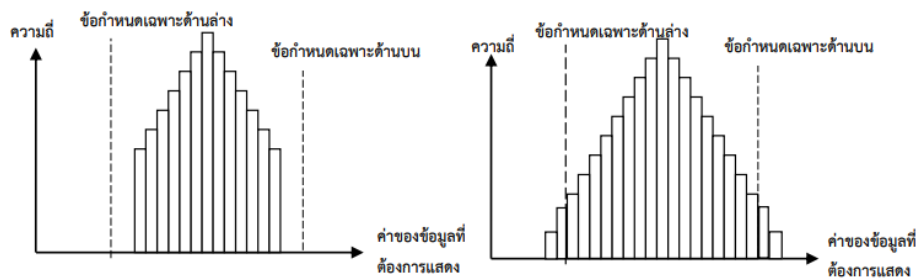
(2) ช่วยให้การตรวจสอบหรือสรุปการตรวจสอบรวดเร็วขึ้น เพราะใบตรวจสอบจะทำให้ผู้ตรวจสอบทราบว่าต้องตรวจสอบอะไร ใบตรวจสอบที่ดีจะช่วยชี้แนะการตรวจสอบ และกำหนดลำดับขั้นตอนการตรวจสอบ ซึ่งจะทำการตรวจสอบรวดเร็ว

(3) ทำให้การสื่อสารข้อความและการตัดสินใจในการดำเนินงานควบคุมคุณภาพเป็นไปได้อย่างถูกต้อง ใบตรวจสอบจะช่วยลดการใช้ถ้อยคำที่ยืดยาวที่อาจทำให้เกิดการสับสน ทำให้การตัดสินใจและการดำเนินการอาจผิดพลาดได้ การใช้ใบตรวจสอบจะทำให้การตีความหรือสรุปผลการตรวจสอบ เพื่อเป็นข้อมูลช่วยในการตัดสินใจในงานควบคุมคุณภาพทำได้รวดเร็วและถูกต้อง ซึ่งจะนำไปสู่การตัดสินใจเพื่อดำเนินการที่ถูกต้อง

(4) ทำให้การตรวจสอบเป็นไปอย่างมีระบบ เนื่องจากใบตรวจสอบจะช่วยกำหนดประเด็นที่ตรวจสอบได้ ซึ่งผู้ตรวจสอบต้องตรวจสอบรายการตามที่กำหนดไว้ในใบตรวจสอบ ทำให้ข้อมูลที่ได้อยู่ในแนวที่ต้องการ แม้ว่าผู้ตรวจจะเป็นคนละคนก็ตาม แต่การดำเนินงานยังคงต่อเนื่อง ส่งผลให้เกิดระบบงานที่ดี

2.4.2 ฮิสโทแกรม (Histogram)

ฮิสโทแกรม (Histogram) เป็นแผนภูมิใช้ในการเปรียบเทียบลักษณะการกระจายของข้อมูลกับข้อกำหนดเฉพาะ เพื่อตรวจสอบความผิดปกติหรือติดตามการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการผลิต ฮิสโทแกรมมีลักษณะเป็นกราฟแท่งเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความกว้างเท่ากัน และในแต่ละแท่งจะเรียงชิดติดกัน โดยแกนตั้งเป็นความถี่ และแกนนอนเป็นค่าของข้อมูลที่ต้องการแสดง เมื่อพิจารณาระหว่างฮิสโทแกรมกับข้อกำหนดเฉพาะ หากพบว่า ฮิสโทแกรมมีการกระจายของข้อมูลอยู่ภายใต้ข้อกำหนดเฉพาะ แสดงว่ากระบวนการผลิตดำเนินไปด้วยดี ไม่ต้องมีการแก้ไขกระบวนการผลิต แต่ถ้าการกระจายอยู่นอกภายใต้ข้อกำหนดเฉพาะจะต้องปรับให้ค่าความแปรปรวนของข้อมูลการผลิตต่ำลง เพื่อให้การกระจายของข้อมูลนั้นแคบลงอยู่ภายใต้ข้อกำหนดเฉพาะ



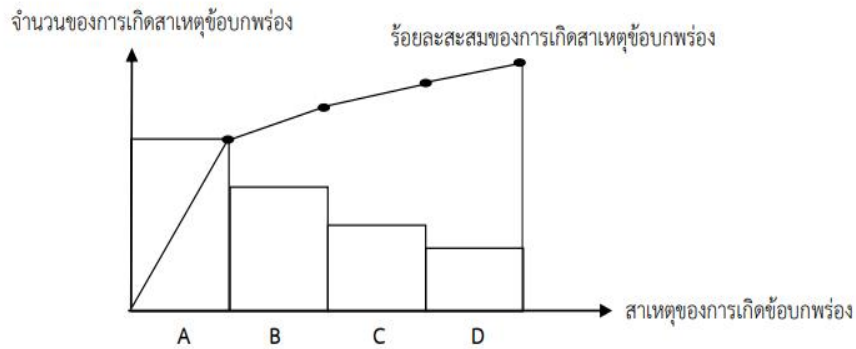
การกระจายอยู่ภายใต้ข้อกำหนดเฉพาะ การกระจายอยู่นอกข้อกำหนดเฉพาะ

ภาพที่ 2.9 ลักษณะการกระจายของฮิสโทแกรม

ที่มา เรื่องลักษณะ บุตรเพชร (2557)

2.4.3 แผนภาพพาเรโต (Pareto Diagram)

แผนภาพพาเรโต (Pareto Diagram) มีลักษณะเป็นกราฟแท่งที่แบ่งแยกข้อมูลเป็นช่วง ๆ จากมากไปน้อยและจากซ้ายไปขวา โดยแกน Y มี 2 แกนคือ แกนซ้ายมือแทนความถี่ เช่น จำนวนจุดบกพร่อง จำนวนคำร้องเรียน หรือ จำนวนอุบัติเหตุ เป็นต้น และแกนขวามือแทนเปอร์เซ็นต์ แกน x แทนสาเหตุ เช่น ในเรื่องปัญหาของจุดบกพร่องอาจจำแนกสาเหตุได้จาก พนักงาน เครื่องจักร วิธีการทำงาน หรือชนิดของวัตถุดิบ เป็นต้น

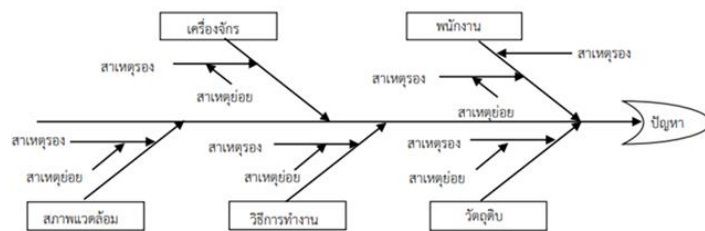


รูปที่ 2.10 ลักษณะของแผนภาพพาเรโต
ที่มา เรื่องลักษณะ บุตรเพชร (2557)

แผนภาพพาเรโตแตกต่างจากฮิสโทแกรมที่แกนนอนของแผนภูมิพาเรโตเป็นประเภทของข้อมูล แต่แกนนอนของฮิสโทแกรมเป็นตัวเลข ดังภาพที่ 2.10

2.4.4 แผนผังก้างปลา (Fish-bone Diagram)

แผนผังก้างปลาหรือเรียกว่าแผนผังอิชิกาวา (Ishikawa Diagram) หรือแผนผังแสดงเหตุและผล (Cause-and-Effect Diagram) เป็นประโยชน์สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล โดยพิจารณาสาเหตุที่มีผลโดยตรงกับลักษณะคุณภาพของปัญหาที่สนใจศึกษา

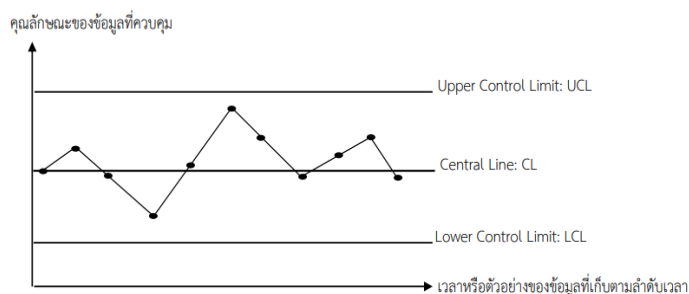


รูปที่ 2.11 ลักษณะของแผนผังก้างปลา
ที่มา เรื่องลักษณะ บุตรเพชร (2557)

จากรูปอธิบายแผนผังก้างปลาที่แสดงถึงลักษณะคุณภาพที่ต้องการปรับปรุงอยู่ทางด้านขวา และสาเหตุที่ก่อให้เกิดลักษณะคุณภาพอยู่ทางด้านซ้าย สาเหตุหลักที่นิยมวิเคราะห์คือ คน (Man) เครื่องจักรหรืออุปกรณ์(Machine or Equipment) ,วิธีการปฏิบัติงาน (Work Methods) ,วัตถุดิบ (Material) ,เครื่องมือวัด (Measurement), และสภาพแวดล้อม (Environment) ดังภาพที่ 2.11

2.4.5 แผนภูมิควบคุม (Control Chart)

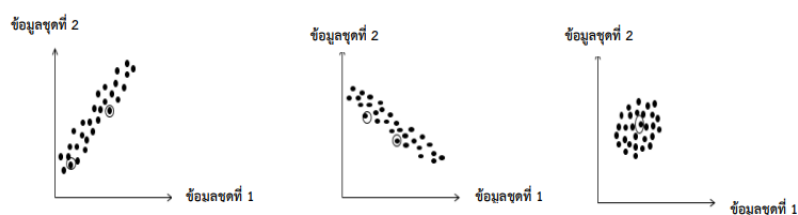
แผนภูมิควบคุม เป็นแผนภูมิที่ใช้สำหรับควบคุมกระบวนการผลิต ติดตามการเปลี่ยนแปลงของ กระบวนการผลิตได้อย่างรวดเร็ว และปรับปรุงกระบวนการผลิตให้กลับเข้าสู่สภาพปกติโดยลักษณะของ แผนภูมิจะเป็นกราฟ โดยมีแกนตั้งเป็นคุณลักษณะของข้อมูลที่ควบคุม และแกนนอนเป็นเวลาหรือตัวอย่างของ ข้อมูลที่เก็บมาตามลำดับเวลา แผนภูมิควบคุมจะประกอบด้วยเส้นควบคุม 3 เส้น ได้แก่ เส้นควบคุมบน (Upper Control Limit: UCL) เส้นควบคุมล่าง (Lower Control Limit: LCL) และเส้นกลาง (Central Line: CL) โดย CL จะอยู่ที่ค่าเฉลี่ย และมีระยะห่างของ CL ถึง UCL และ LCL เท่ากับ 3 เท่าของส่วน เบี่ยงเบนมาตรฐานดังภาพที่ 2.12 แผนภูมิควบคุมสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ แผนภูมิควบคุมเชิง ปริมาณและแผนภูมิควบคุมเชิงคุณลักษณะ



รูปที่ 2.12 ลักษณะของแผนภูมิควบคุม
ที่มา เรื่องลักษณะ บุตรเพชร (2557)

2.4.6 แผนภาพการกระจาย (Scatter Diagram)

แผนภาพการกระจาย เป็นแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล 2 ชุด ที่เป็นข้อมูลเชิงปริมาณ โดยแกนตั้งเป็นค่าของข้อมูลชุดที่ 1 และแกนนอนเป็นค่าของข้อมูลชุดที่ 2 โดยลักษณะความสัมพันธ์และ ทิศทางของความสัมพันธ์จะพิจารณาได้จากแนวของจุดที่พล็อตลงในแผนภาพ ดังภาพที่ 2.13



(ก) มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน (ข) มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางตรงกันข้าม (ค) ไม่มีความสัมพันธ์กัน

ภาพที่ 2.13 ลักษณะของแผนภาพการกระจาย

ที่มา เรื่องลักษณะ บุตรเพชร (2557)

ถ้าจุดมีลักษณะเป็นแนวโน้มขึ้น ตลอดหรือลงตลอดด้วยอัตราคงที่ แสดงว่าข้อมูลทั้ง 2 ชุด น่าจะมีความสัมพันธ์กันเป็นเส้นตรง ถ้ามีลักษณะ ขึ้นขึ้นแสดงว่า มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน และค่าความชันจะเป็นบวก (ดังภาพที่ ก) แต่ถ้ามี ลักษณะชันลงแสดงว่า มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางตรงกันข้ามและค่าความชันจะเป็นลบ (ดังภาพที่ ข) ถ้าจุดมีลักษณะกระจัดกระจายไม่เป็นรูปแบบ แสดงว่าข้อมูลทั้ง 2 ชุดไม่มีความสัมพันธ์กัน (ดังภาพที่ ค)

2.4.7 กราฟ (Graph)

กราฟ เป็นแผนภาพที่อธิบายความแตกต่างของข้อมูลจากการเก็บบันทึก กราฟใช้สำหรับ นำเสนอข้อมูลที่ง่ายต่อการทำความเข้าใจ โดยอาศัยการพิจารณาด้วยตาเปล่าได้ สามารถให้ รายละเอียดของการ เปรียบเทียบได้ดีกว่าการนำเสนอข้อมูลด้วยวิธีอื่น กราฟที่สำคัญได้แก่ กราฟเส้น กราฟแท่ง และกราฟวงกลม โดยรายละเอียดของกราฟแต่ละชนิดมีดังนี้

2.4.7.1 กราฟเส้น เป็นเส้นกราฟที่ใช้แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าของข้อมูลเมื่อเวลา เปลี่ยนแปลงไป ลักษณะ ของกราฟเส้นจะมีแกนตั้งเป็นค่าข้อมูล และแกนนอนเป็นช่วงเวลา กราฟเส้นใช้สำหรับการนำเสนอข้อมูลใน กรณีที่ต้องการทราบแนวโน้มของข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงตาม กาลเวลา หรือใช้สำหรับการดูการเปลี่ยนแปลงของ ข้อมูลเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป

2.4.7.2 กราฟแท่ง เป็นกราฟรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีความกว้างเท่ากัน โดยจะใช้ขนาด ความยาวหรือความสูง ของแท่งกราฟเปรียบเทียบจำนวนข้อมูล การนำเสนอข้อมูลคล้ายกับกราฟเส้น โดยที่กราฟแท่งสามารถ นำเสนอได้ทั้งแนวตั้งและแนวนอน กราฟแท่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่ กราฟแท่งเชิงเดี่ยว กราฟ แท่งเชิงซ้อน และกราฟแท่งเชิงประกอบ โดยกราฟแท่งเชิงเดี่ยวใช้ แสดงการเปรียบเทียบข้อมูลชุดเดียว และ แสดงลักษณะของข้อมูลที่สนใจเพียงลักษณะเดียว เช่น ปริมาณการจำหน่ายน้ำมันของบริษัทแห่งหนึ่งในแต่ละ วันในหนึ่งสัปดาห์เป็นต้น ส่วนกราฟแท่งเชิงซ้อนใช้แสดงการเปรียบเทียบของข้อมูล 2 ชุดขึ้น

2.4.7.3 กราฟวงกลม มีลักษณะเป็นวงกลมที่มีการแบ่งส่วนของข้อมูลจากจุด ศูนย์กลางของวงกลมออกเป็น กลุ่ม ใช้สำหรับเปรียบเทียบสัดส่วนของข้อมูลชนิดเดียวกันในรูปแบบ ร้อยละ ซึ่งการนำเสนอข้อมูลคล้ายกับ กราฟเส้นและกราฟแท่ง

2.5 การเขียนผังงาน

การเขียนผังงาน (Flowchart) เป็นแผนภูมิที่แสดงขั้นตอนการผลิต ตั้งแต่วัตถุดิบเคลื่อนเข้าสู่ ฐานการผลิตจนเสร็จสิ้นเป็นผลิตภัณฑ์ โดยบันทึกขั้นตอนการปฏิบัติงานต่าง ๆ ที่ต้องดำเนินการบน วัตถุดิบนั้น เช่น การขนส่ง กรตรวจสอบ การทำงานบนเครื่องจักร การประกอบชิ้นส่วน จนกระทั่ง เสร็จออกมาเป็นผลิตภัณฑ์หรือเป็นชิ้นส่วนประกอบ อาจเป็นการบันทึกขั้นตอนการผลิตของสินค้า

ชนิดเดียวภายในแผนกหนึ่งหรือของสินค้าหลาย ๆ ชนิดภายในแผนกต่าง ๆ พร้อม ๆ กันก็ได้ การแสดงรายละเอียดอาจเป็นในรูปแบบของ ผังงาน (flow chart) ที่แสดงโดยกล่องที่ระบุค่าบรรยายภายในกล่อง หรือ แสดงเป็นภาพโดยใช้สัญลักษณ์ที่เป็นมาตรฐานเดียวกัน และใช้ข้อความสั้น ๆ กระชับเข้าใจง่ายเพื่ออธิบายข้อมูล ผลลัพธ์ คำสั่ง หรือจุดตัดสินใจของขั้นตอน และเชื่อมโยงขั้นตอนเหล่านั้นด้วยเส้นที่มีลูกศรชี้ทิศทางการทำงานตั้งแต่เริ่มต้นจนจบกระบวนการ

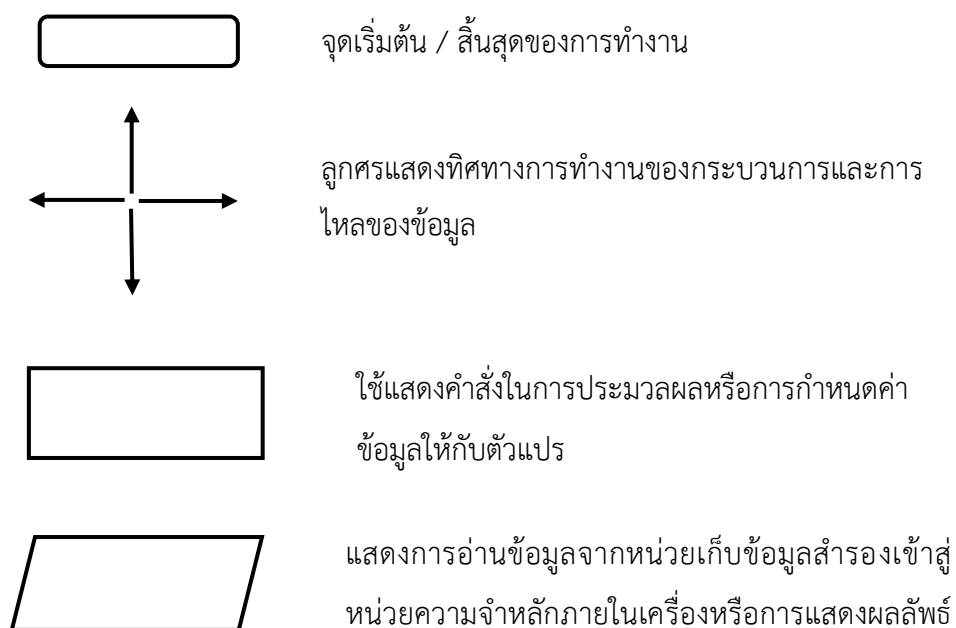
2.5.1 หลักการเขียนผังงาน

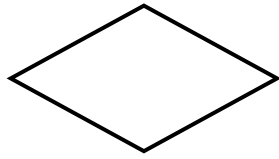
2.5.1.1 Flowchart หรือผังงาน จะต้องมีการเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดเสมอ โดยเลือกใช้สัญลักษณ์แทนการสื่อความหมายอย่างเหมาะสม และมีคำอธิบายในสัญลักษณ์นั้น กระชับ เข้าใจง่าย หากต้องการอธิบายรายละเอียด ให้ใช้หมายเลขหรือตัวอักษรกำกับ และอธิบายในเอกสารเพิ่มเติมแทน

2.5.1.2 ใช้ลูกศรเป็นตัวกำหนดทิศทางการทำงาน จากบนลงล่าง จากซ้ายไปขวา โดยเรียงตามลำดับเหตุการณ์ รูปสัญลักษณ์ทุกตัวต้องมีลูกศรเข้าและออก ยกเว้นจุดเริ่มต้นจะมีเฉพาะลูกศรออก จุดสิ้นสุดจะมีเฉพาะลูกศรเข้าเท่านั้น

2.5.2 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการเขียนผังงาน

การเขียนผังงาน จะประกอบไปด้วยการใช้สัญลักษณ์มาตรฐานต่าง ๆ ที่เรียกว่า สัญลักษณ์ ANSI (American National Standards Institute) ในการสร้างผังงาน โดยมีสัญลักษณ์ดังนี้

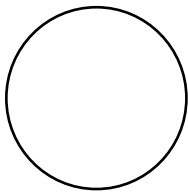




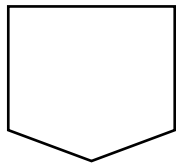
การตรวจสอบเงื่อนไขเพื่อตัดสินใจ โดยจะมีเส้นออกจากรูปเพื่อแสดงทิศทางการทำงานต่อไป เงื่อนไขเป็น



แสดงผลหรือรายงานที่ถูกสร้างออกมา



จุดเชื่อมต่อของผังงานภายใน ที่บรรจบของเส้นหลายเส้นที่มาจากหลายทิศทางเพื่อจะไปสู่การทำงาน

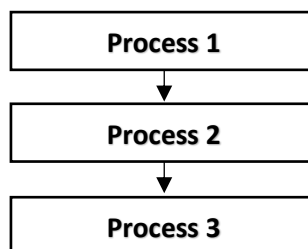


การขึ้นหน้าใหม่ ในกรณีที่ผังงานมีความยาวเกินกว่าที่จะแสดงพอในหนึ่งหน้า

2.5.3 รูปแบบการสร้างผังงาน

รูปแบบการสร้างผังงานมี 3 รูปแบบ คือ

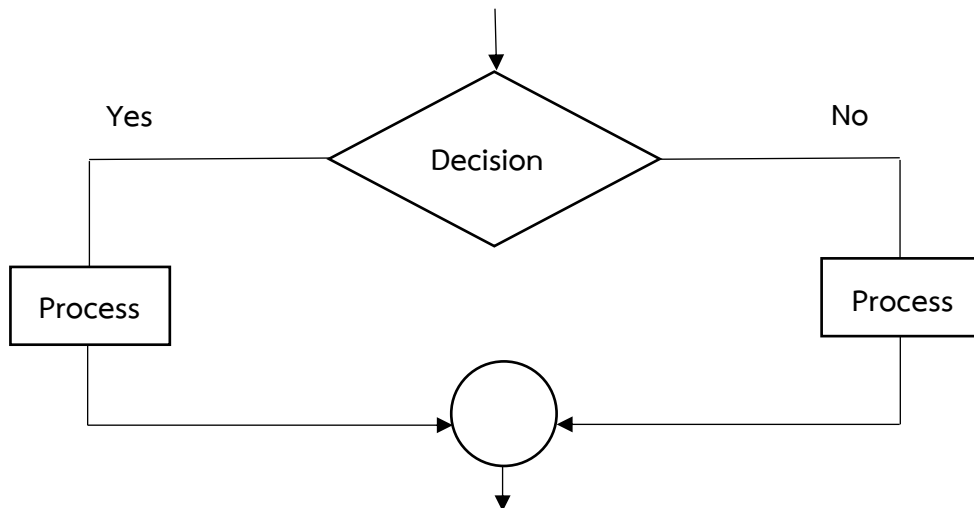
2.5.3.1 การทำงานแบบตามลำดับ (Sequence) รูปแบบการเขียนโปรแกรมที่ง่ายที่สุดคือ เขียนให้ทำงานจากบนลงล่าง เขียนคำสั่งเป็นบรรทัด และทำทีละบรรทัด จากบรรทัดบนสุดไปจนถึงบรรทัดล่างสุดดังภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.14 การทำงานแบบลำดับ

2.5.3.2 การเลือกทำตามเงื่อนไข (Decisional Section)

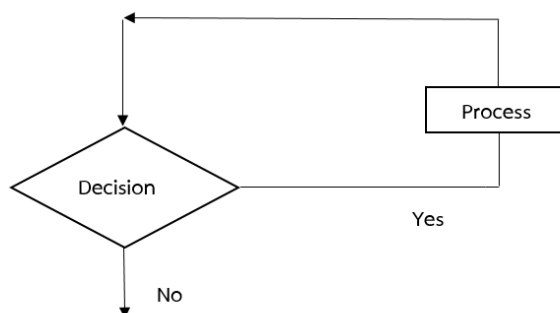
การตัดสินใจหรือเลือกเงื่อนไขเป็นการเขียนโปรแกรมเพื่อนำค่าไปเลือกกระทำโดยปกติจะมีเหตุการณ์ให้ทำ 2 กระบวนการ คือเงื่อนไขเป็นจริงจะกระทำกระบวนการหนึ่ง และเป็นเท็จจะทำอีกกระบวนการหนึ่ง แต่ถ้าซับซ้อนมากขึ้น ต้องใช้เงื่อนไขหลายชั้น เช่น การตัดเกรดนักศึกษา เป็นต้นดังภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.15 การเลือกทำตามเงื่อนไข

2.5.3.3 การทำซ้ำ (Reparation or Loop)

การทำกระบวนการหนึ่งหลายครั้ง โดยมีเงื่อนไขในการควบคุม หมายถึง การทำซ้ำเป็นหลักการทำซ้ำที่ทำความเข้าใจได้ยากกว่า 2 รูปแบบแรกเพราะการเขียนโปรแกรมแต่ละภาษา จะไม่แสดงภาพอย่างชัดเจนเหมือนการเขียนผังงาน ผู้เขียนโปรแกรมจะต้องจินตนาการด้วยตนเองดังภาพที่ 2.16



ภาพที่ 2.16 การทำซ้ำ

2.6 การทดสอบแบบทำลายสภาพ

การทดสอบแบบทำลายสภาพ (Destructive testing ; DT) เป็นการทดสอบเพื่อหาสมบัติทางกล การทดสอบหาค่าดัชนีที่บ่งชี้ถึงความแข็งแรงของวัสดุ เป็นการทดสอบที่ให้ผลการตรวจสอบแน่นอนชัดเจน สามารถตรวจสอบสมบัติได้ทั้งทางกลและ ทางฟิสิกส์ และเคมี โดยนำชิ้นงานมาทำการทดสอบ (specimen) ตามมาตรฐานที่กำหนดสำหรับการทดสอบสมบัติทางกล ได้แก่ การหาความแข็งแรง ความเหนียว และอื่น ๆ ที่ต้องใช้แรงภายนอกกระทำต่อวัสดุ ซึ่งอาจแบ่งวิธีการใช้แรงเป็น 3 ลักษณะคือ

(1) การทดสอบโดยให้แรงแบบคงที่ (Static Load Test) จะใช้แรงกระทำต่อชิ้นทดสอบในลักษณะค่อย ๆ เพิ่มแรงขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งชิ้นงานแตกหักไป การทดสอบลักษณะนี้ ได้แก่ การทดสอบหาค่าความต้านทานต่อแรงดึง ความต้านทานต่อแรงดัด เป็นต้น

(2) การทดสอบโดยให้แรงแบบเป็นจังหวะ (Cyclic Load Test) จะใช้แรงกระทำต่อชิ้นทดสอบในลักษณะเป็นช่วง ๆ ติดต่อกันตลอดเวลาจนกระทั่งชิ้นงานแตกหักไป การทดสอบลักษณะนี้ ได้แก่ การทดสอบหาความสามารถในการรับแรงสั่นสะเทือน (Damping)

(3) การทดสอบโดยให้แรงแบบทันทีทันใด (Impact Load Test) จะใช้แรงกระทำต่อชิ้นทดสอบในลักษณะกระแทกโดยทันที ทำให้ชิ้นทดสอบนั้นแตกหักไป

2.6.1 การทดสอบแบบทำลายที่นิยมใช้ในภาคอุตสาหกรรม มีดังนี้

2.6.1.1 การทดสอบการดึง (Tensile testing) คือวิธีการทดสอบเนื้อสัมผัส (Texture analysis) โดยใช้แรงดึง ดึงวัสดุอย่างช้า ๆ ทำให้วัสดุยืดตัวเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งชิ้นงานทดสอบฉีกขาด และบันทึกความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้น (Tensile stress) กับความเครียดตามแนวดึง (Tensile strain) แสดงความสัมพันธ์เป็นกราฟ เรียกรูปกราฟความเค้นกับความเครียด (Stress-Strain curve) หรือ แรงดึงกับระยะการเปลี่ยนรูป (Deformation) ซึ่งเป็นระยะที่วัสดุยืดตัวออกจากระยะเดิม

2.6.1.2 การทดสอบความแข็ง (Hardness Test) ต่อความแข็งเป็นสมบัติทางกลที่สำคัญค่าหนึ่ง บ่งบอกถึงความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนรูปถาวรของวัสดุ เนื่องจากการกดหรืออัด มีการทดสอบดังนี้

(1) การทดสอบความแข็งของบริเนล (Brignell hardness test) ขาวสวีเดนใช้ลูกบอลเหล็กกด แล้ววัดเส้นผ่านศูนย์กลางรอยกด

(2) การทดสอบแบบวิกเตอร์ ใช้ตัวกดทำด้วยเพชรเจียรใน วัดเส้นทแยงมุม ของรอยกด

(3) การทดสอบความแข็งแบบรอกเวลล์ ลูคเวลชาวเยอรมัน วัดความลึกของหัวกด ซึ่งทำด้วยเพชรทรงกรวย

(4) การทดสอบความแข็งด้วยค้อนโพลดี ใช้ค้อนมีน้ำหนัก 100 กิโลกรัม ตีแกนสลักที่มีลูกบอลกับวัสดุทดสอบ

(5) การทดสอบความแข็งโดยการกระดอนแบบชอร์ ใช้ตุ้มน้ำหนัก 0.2 นิวตัน ตกจากความสูง 112 มิลลิเมตร กระแทกกับผิวขึ้นทดสอบวัดความกระดอนตุ้มน้ำหนักถ้าวัสดุทดสอบมีความแข็งสูงตุ้มน้ำหนักก็กระดอนสูง

2.6.1.3 การทดสอบแรงกระแทก (Impact testing) เป็นการใช้แรงกระทำเคลื่อนที่ด้วยความเร็วกระแทกชิ้นงานทดสอบให้แตกหักในเวลาอันสั้น เพื่อศึกษาพฤติกรรมของวัสดุเมื่อถูกแรงกระแทก ใช้หลักการค้อนเหวี่ยง และขึ้นทดสอบต้องมีรองบากนิยมใช้แบบชาร์ปี

2.6.1.4 การทดสอบการล้า หาความต้านล้าของวัสดุ หมายถึง ความเค้นสูงสุดแบบเปลี่ยนแปลงที่กระทำต่อชิ้นงานเป็นจำนวนครั้งไม่สิ้นสุด โดยชิ้นงานงานไม่เสียหาย ถ้าความเค้นที่กระทำต่อชิ้นงานมีค่าสูงกว่าความเค้นล้าของวัสดุ ก็จะทำให้ชิ้นงานแตกหักแบบล้าได้ อาจจะมีภายในไม่กี่นาที หรือได้รับแรงเป็นระยะเวลาสั้น

2.6.1.5 การทดสอบความแข็งแรงของวัสดุที่อุณหภูมิสูง เพื่อหาค่าความเค้นครากที่อุณหภูมิสูง

2.6.1.6 การทดสอบการคืบ การคืบ (creep) คือการที่วัสดุได้รับความเค้นนำไปสู่การยืดตัว ค่าความต้านการคืบ (Creep Strength) ที่อุณหภูมิหนึ่ง คือค่าความเค้นสูงสุดเมื่อเริ่มต้นมีความคืบและเวลาผ่านไปจนหยุดความคืบแต่ถ้าความเค้นสูงกว่าค่านี้อาจนำไปสู่การแตกหัก

2.6.2 จุดประสงค์ของการทดสอบแบบทำลาย

การทดสอบแบบทำลายมีจุดประสงค์หลักที่จะทดสอบหาความต้านทานของวัสดุ ทั้งในด้านทางกล ทางความร้อน และทางเคมี ผลที่ได้จากการทดสอบจะนำไปใช้ในการคำนวณออกแบบ เพื่อหาขนาดที่เหมาะสมของชิ้นงาน

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เชษฐกุล ตำนานวัน, โสภณ บุญวัง (2562) ได้ศึกษาสมบัติทางกลของวัสดุพลาสติก PLA (Polylactic acid) จากกระบวนการพิมพ์ 3 มิติ และนำมาเปรียบเทียบกัน เพื่อให้สามารถนำผลการทดลองในครั้งนี้ไปช่วยในการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมและปลอดภัย ในการสร้างชิ้นงานทดสอบ จะสร้างขึ้นมาทั้งหมด 18 ชิ้น 6 แบบ แบบละ 3 ชิ้น ซึ่งจะมีความแตกต่างกันจากกระบวนการผลิตคือการเดินหัวพิมพ์ที่แตกต่างกัน และลดเปอร์เซ็นต์การเติมปริมาณเนื้อพลาสติกลง คือเดินหัวพิมพ์

แบบ 45 องศา และ 90 องศา ปริมาณเนื้อวัสดุ 60% , 80% , 100% ตามลำดับ ผลการศึกษาสรุปได้ว่า ผลการทดลองทำให้ทราบค่า Young's Modulus , Ultimate Tensile Strength และ Elongation ที่ดีที่สุดทำให้สามารถรับแรงภายนอกที่มากกว่าได้มากกว่า มีอัตราการยืดตัวของวัสดุและค่าความยืดหยุ่นของวัสดุดีกว่าชิ้นงานที่มีปริมาณเนื้อวัสดุ 60% , 80% , 100% ตามลำดับ แต่มุมในการพิมพ์ชิ้นงานจะได้ค่าใกล้เคียงกัน เมื่อเทียบในชิ้นงานที่มีปริมาณเนื้อวัสดุเท่ากัน

รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติเทพ เฟื่องขจร (2555) งานวิจัยนี้ได้มีการทดสอบกำลังกดและกำลังดึงของตัวอย่างหินที่จัดเตรียมจากหินทรายชุดภูพาน ชุดพระวิหาร ชุดภูกระดึง และหินอ่อนสระบุรี โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาผลกระทบของความเค้นหลักกลางต่อค่ากำลังดึงของหิน การทดสอบแบ่งเป็นสองกลุ่มคือการทดสอบในสามแกนแบบขยาย ($\sigma_1 = \sigma_2 \neq \sigma_3$) และการทดสอบกำลังกดในสามแกน ($\sigma_1 \neq \sigma_2 = \sigma_3$) การทดสอบในกลุ่มแรกประกอบด้วย การทดสอบในสองแกนและสามแกนแบบขยายการทดสอบการดัดงอแบบกดสี่จุด และการทดสอบกำลังดึงแบบบราซิลเลียนภายใต้ความเค้นกดในแนวแกน การทดสอบในกลุ่มที่สองประกอบด้วย การทดสอบกำลังกดในแกนเดียวและในสามแกน และการทดสอบการดัดงอแบบแผ่นกลม ผลที่ได้ระบุว่าเกณฑ์การแตกของ Coulomb สามารถนำมาประยุกต์ใช้และมีความสัมพันธ์เป็นอย่างดีกับผลการทดสอบของทั้งสองกลุ่มค่ากำลังกดและกำลังดึง และค่าความเค้นยึดติดที่ได้จากการทดสอบในสามแกนแบบขยายจะสูงกว่าผลการทดสอบในสามแกนแบบกด ซึ่งเป็นเช่นเดียวกันกับหินทั้งสองชนิดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ผลที่ได้จากสภาวะทั้งสองให้ค่ามุมเสียดทานภายในที่ใกล้เคียงกัน ข้อสรุปอีกประการหนึ่งคือค่าความเค้นหลักกลางจะทำให้หินแข็งขึ้นทั้งที่อยู่ในสภาวะกดและสภาวะดึง และที่สำคัญกว่านั้นคือผล การทดสอบกำลังดึงแบบบราซิลเลียนไม่สามารถนำมาสัมพันธ์กับผลการทดสอบที่ได้จากสภาวะความเค้นทั้งสองรูปแบบ การนำกฎการแตกของ Coulomb มาประยุกต์ใช้เมื่อหินอยู่ภายใต้สภาวะความเค้นดึงควรใช้ผลที่ได้จากการทดสอบการดัดงอแบบแผ่นกลมแทนที่จะใช้ผลการทดสอบกำลังดึงแบบบราซิลเลียนดังที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน

จิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร , เบญจมาศ ขอสีกลาง , อภิรักษ์ ยวงจอหอ, โสริฐดา พูนโตนด, อนุชิต คงฤทธิ์, ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ และ อมรศักดิ์ มาใหญ่ (2560) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติความต้านทานแรงดึงของพอลิออกซีเมทิลีน ด้วยการ เติมน้ำสารควบคู่ปฏิกิริยาไซเลน (VTMS) โดยการผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ ท การขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบแรงดึงด้วย กระบวนการฉีดขึ้นรูป ท การเติมน้ำสารควบคู่ปฏิกิริยาไซเลน (VTMS) 0, 1, 3, และ 5 phr. และระยะเวลาอบไอน้ำ 0, 24, 72 และ 120 ชั่วโมง จากผลการทดลองพบว่า ค่าความต้านทานแรงดึงจะเพิ่มขึ้น เมื่อทำการใส่น้ำสารควบคู่ปฏิกิริยาไซเลน (VTMS) 3 phr. และอบไอน้ำที่ 120 ชั่วโมง ซึ่งจะส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงมีค่าสูงสุดที่ 60.37 MPa และมีความ ค่าความเหมาะสมที่ปริมาณการเติมไซเลนที่ 3 Phr. ระยะเวลาในการอบไอน้ำ 120 ชั่วโมง ค่าความต้านทานแรงดึงอยู่ที่ 58.440

ที่ให้ค่าระดับความเหมาะสมหรือความพึงพอใจอยู่ที่ 0.98232 ถือเป็นความเหมาะสมที่ค่อนข้างสมบูรณ์

ธนศิษฐ์ วงศ์ศิริอำนวย, นำพร ปัญญาใหญ่ และ ทิพาพร คำแดง (2562) วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ เพื่อวิเคราะห์สมบัติทางกลและทางเคมีกายภาพ ของวัสดุท่อเทอร์โมโซโฟนชนิดทองแดงที่จุ่มแช่ในโมลาส ใช้ขึ้นทดสอบทองแดงขนาดตามมาตรฐาน ASTM E8M จุ่มแช่ในโมลาส โดยแปรค่าอุณหภูมิที่ 25 40 60 และ 80 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการจุ่มแช่ที่ 720, 1,440 และ 2,160 ชั่วโมง ทดสอบแรงดึงเพื่อ วิเคราะห์สมบัติทางกลจากความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด พบว่าเปอร์เซ็นต์การลดพื้นที่หน้าตัดแปรผันตรงกับระยะเวลาในการจุ่มแช่ การลดพื้นที่หน้าตัดสูงสุดมีค่า เท่ากับ 73.77 ± 1.09 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะเวลาในการจุ่มแช่ 2,160 ชั่วโมง นอกจากนี้ ขึ้นทดสอบที่จุ่มแช่ในโมลาสที่ระยะเวลาในการจุ่มแช่แตกต่างกัน มีค่าการลดพื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยมากกว่าขึ้นทดสอบที่ไม่ได้จุ่มแช่ในโมลาส 1.2 เท่า จากผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพ โดยใช้เทคนิค SEM-EDS พบว่าปริมาณธาตุทองแดงลดลงเมื่อใช้ระยะเวลาในการจุ่มแช่นานขึ้น จากผลการวิเคราะห์ที่ได้สามารถนำไปเป็นข้อมูลเพื่อเลือกวัสดุที่เหมาะสมสำหรับ การสร้างท่อเทอร์โมโซโฟนเพื่อนำไปแลกเปลี่ยนความร้อนในถังกักเก็บโมลาสได้

ชลิตา อุดมรักษาสกุล , กชกร วิรัชกุล และ ชลากร อุดมรักษาสกุล (2559) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะทำการทดลองเพื่อหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด (Flow Curve) ของเหล็กกล้าไร้สนิมหรือสแตนเลส (SS 304) ที่มีขนาดเท่ากับ 0.4 มิลลิเมตร ซึ่งจะแบ่งขั้นตอนการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดที่ได้จากการทดสอบแรงดึงแกนเดียว (Tensile Test) และในส่วนที่สองจะทำการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดที่ได้จากการทดสอบแบบเป่าด้วยน้ำ (Hydraulic Bulge Test: HBT) จากนั้นจึงทำการเปรียบเทียบค่าความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดที่ได้จากทั้ง 2 ค่าความสัมพันธ์ข้างต้น และทำการจำลองการขึ้นรูปของชิ้นงานตัวอย่างผ่านระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element method) จากงานวิจัยนี้พบว่า เมื่อนำผลการทดสอบของความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของการทดสอบแบบแรงดึงแกนเดียว กับผลการทดสอบของความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของการทดสอบแบบเป่าไปงด้วยน้ำ มาจำลองการขึ้นรูปชิ้นงานกล่องสี่เหลี่ยม พบว่า การจำลองการขึ้นรูปโลหะแผ่นโดยการใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดที่ได้จากการทดสอบแบบเป่าไปงด้วยน้ำนั้น ชิ้นงานจำลองสามารถขึ้นรูปให้มีความสูงได้ถึง 40 มิลลิเมตร ก่อนชิ้นงานจะเกิดการฉีกขาด แต่ในขณะเดียวกัน ถ้าใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของการทดสอบแรงดึงแกนเดียว ชิ้นงานดังกล่าวจะสามารถขึ้นรูปได้เพียงได้เพียงประมาณ 15 มิลลิเมตรเท่านั้นหลังจากนั้นชิ้นงานก็จะเกิดการฉีกขาด จากงานวิจัยนี้พอที่จะสรุปเบื้องต้นได้ว่าการวิเคราะห์ด้วยการใช้การขึ้นรูปของการทดสอบแบบเป่าไปงด้วยน้ำมีความใกล้เคียงกับการขึ้นรูปจริง

อลิสสา วิชัยธนารักษ์ , ดร.ปิยวัฒน์ พันธุ์โกศล (2554) ได้ทำการทดสอบคุณสมบัติความต้านทานแรงดึงและแรงบิดของเดือยฟันสำเร็จรูป การทดลองในห้องปฏิบัติการครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบการยึดอยู่ของเดือยฟันสำเร็จรูปชนิดเหล็กกล้าไร้สนิมโดยประเมินจากการใช้แรงดึง และแรงบิด และพิจารณาแนวโน้มของความสัมพันธ์ระหว่างแรงทั้งสองชนิด เตรียมชิ้นงานโดยใช้ฟันกรามอย่างน้อยจำนวน 40 ซี่ ทำการรักษารากฟัน และเตรียมช่องว่างสำหรับใส่เดือยฟัน ยึดเดือยฟันสำเร็จรูประบบพาราโทสท์รุ่น PP และ XP ด้วยซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ และแบ่งไปทำการทดสอบความต้านทานต่อแรงบิดระบบมอเตอร์ (DTX, Nextech) ด้วยวิธีการสุ่ม (n=10) สถิติที่ใช้คือ Independent T test ผลวิจัยพบว่า เดือยฟันรุ่น XP มีการยึดอยู่ที่ดีกว่ารุ่น PP ทั้งจากการประเมินด้วยการใช้แรงดึง และแรงบิด ($p < 0.05$) และค่าแรงดึง และแรงบิดมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยที่แรงบิดมีค่าน้อยกว่าแรงดึงประมาณ 20 เท่า

เฉลิมพล คล้ายนิล , พงศกร หลีตระกูล (2562) งานวิจัยนี้ทำการศึกษาอิทธิพลของศูนย์รวมความเค้นกับอุณหภูมิในการทดสอบแรงดึงที่มีผลต่อสมบัติทางกลและ โครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง JIS G3135 เกรด SPFC440 ขึ้นตัวอย่างทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM-E8 ผ่านการเตรียมศูนย์รวมความเค้น ที่แตกต่างกัน 5 รูปแบบ และอุณหภูมิในการทดสอบแตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 25 องศา 200 องศา และ 600 องศา ผลการทดลองพบว่า อิทธิพลของศูนย์รวมความเค้นส่งผลต่อความสามารถในการรับแรงดึงของวัสดุโดยมีแนวโน้มลดลงทุกรูปแบบอย่างมีนัยสำคัญ จากการทดสอบที่อุณหภูมิปกติเป็นการแตกแบบเหนียว เพราะผลจากการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคบริเวณพื้นผิวตรงรอยแตกมีลักษณะเป็นร่องหลุม เมื่อเปรียบเทียบกับ การทดสอบที่อุณหภูมิสูงจะเกิดการสูญเสียความเหนียวในขณะร้อน

อรรถพล สิมประดิษฐ์พันธ์ , พิชญานามประกาย และ ณรงค์ชัย โอเจริญ (2553) ได้ศึกษาผลของการอบแห้งต่อการลดลงของความชื้นและสมบัติการต้านทานแรงดึงของพอลิคาร์บอเนต พอลิคาร์บอเนตเป็นพลาสติกที่มีความสามารถในการดูดความชื้น ซึ่งความชื้นเป็นสาเหตุสำคัญอย่างหนึ่งซึ่งส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณลักษณะและสมบัติต่าง ๆ ลดลง เช่น พองอากาศ ปกประกายเงิน และสมบัติเชิงกล จึงมีความจำเป็นที่ต้องการทำการอบแห้งเม็ดพลาสติกพอลิคาร์บอเนตก่อนการขึ้นรูป ดังนั้นในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงผลของการอบแห้งต่อการลดลงของความชื้นของเม็ดพลาสติกพอลิคาร์บอเนต และสมบัติการต้านทานแรงดึงของผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิคาร์บอเนต โดยทำการอบแห้งเม็ดพลาสติกพอลิคาร์บอเนตที่มีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 0.186-0.193% มาตรฐานเปียก ณ อุณหภูมิ 80,100 และ 120 องศา เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ด้วยเครื่องอบแห้งแบบถังแบบถังทรงกระบอกหมุน ซึ่งมีความเร็วอากาศอยู่ที่ 0.4 และ 4 m/s ตามลำดับ จากการทดลองพบว่า เม็ดพลาสติกพอลิคาร์บอเนตที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถังทรงกระบอกหมุน มีปริมาณความชื้นที่หลงเหลือหลังการอบแห้งต่ำกว่าเม็ดพลาสติกพอลิคาร์บอเนตที่อบแห้งด้วยการอบแห้งแบบถัง และ

ผลิตภัณฑ์พอลิคาร์บอเนตที่ขึ้นรูปจากเม็ดพลาสติกพอลิคาร์บอเนตที่ผ่านการอบแห้งที่มีค่าความต้านทานแรงดึงที่สูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปจากเม็ดพลาสติกพอลิคาร์บอเนตที่ไม่ผ่านการอบแห้ง

สมหมาย ผิวสะอาด, วีราภรณ์ ผิวสะอาด และ ณรงค์ชัย โอเจริญ (2548) งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเบื้องต้นตามความต้องการของภาคอุตสาหกรรม ในการเตรียมพลาสติกผสมระหว่างไนลอน-6 และพลาสติกชนิดอื่น หรืออีลาสโตเมอร์ เพื่อนำมาใช้ทดแทนพลาสติกเพื่อการขึ้นรูปพื้นรองเท้ากีฬาที่ต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศ พบว่าการเตรียมพลาสติกผสมระหว่างไนลอน-6 และยางธรรมชาติโดยใช้อัตราส่วนผสมในการผสมไนลอน-6 ต่อยางธรรมชาติดังนี้ 95:5 เปอร์เซ็น 90:10 เปอร์เซ็น 80:20 เปอร์เซ็น ทำการผสมโดยใช้เครื่องอัดรีดสกรูเดี่ยว และไปทำการตัดเม็ดพลาสติกผสม นำไปทดสอบค่าดัชนีการไหลและการขึ้นรูปเป็นรูปพื้นรองเท้าเพื่อการทดสอบการยืดหยุ่นจากการหักงอ และขึ้นรูปเป็นชิ้นงาน การทดสอบค่าการทนทานความแข็งที่ผิว การทดสอบความต้านทานต่อกาหักงอ การทดสอบการทนแรงกระแทก และการทดสอบค่าการทนทานแรงดึง แล้วนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับไนลอน-6 ที่ไม่ได้ผสมยางธรรมชาติ จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบพบว่า ที่การทดสอบค่าความแข็งที่ผิวสูตร 95:5 เปอร์เซ็น ให้ค่าความแข็งที่ผิวมากที่สุด แต่ก็ยังต่ำกว่าไนลอน-6 ที่ไม่ได้ผสมยาง ส่วนที่ให้ค่าต่ำที่สุดคือสูตร 80:20 เปอร์เซ็น และจากการทดสอบการบิดงอพบว่าสูตร 80:20 เปอร์เซ็น ให้ค่าการบิดงอที่สูงที่สุดส่วนค่าการทนแรงกระแทก 80:20 เปอร์เซ็นให้ค่าสูงที่สุด การทดสอบการทนแรงดึงสูตร 95:5 เปอร์เซ็น ให้ค่าสูงที่สุด แต่ก็ยังต่ำกว่าไนลอน-6 ที่ไม่ผสมยาง จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าเมื่อยิ่งเพิ่มปริมาณยางมากขึ้นก็จะทำให้ได้สมบัติความต้านทานต่อการหักงอ และการทนแรงกระแทกซึ่งเหมาะสมกับการนำไปพัฒนา เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตพื้นรองเท้ากีฬาพื้นแข็งต่อไป

จุฑามาส มาตรัสถิต, ลดาวัลย์ เพียรทำ, วีรศักดิ์ หมูเจริญ และ ขวลิขิต แสงสวัสดิ์ (2549) เป็นโครงการการทดลองหาแรงดึงที่เหมาะสมของแผ่นฟิล์มพลาสติกสำหรับงานพิมพ์สีกราวัวร์ โดยเริ่มต้นศึกษาจากสายงานการพิมพ์ฟิล์มว่าติดสีดีหรือไม่ ถ้าดีจะทำการทดสอบหาแรงดึงของฟิล์มพลาสติกพอลิเอทิลีน และพอลิพอพิลีน รวมทั้งฟิล์มผสมในขณะที่แผ่นฟิล์มกำลังผ่านขุมพิมพ์สี เพื่อทราบค่าแรงดึงของฟิล์มขณะติดสีแล้ว จึงทำการจำลองแรงดึงของฟิล์มขณะติดสี โดยการนำฟิล์มพลาสติกพอลิเอทิลีนและพอลิพอพิลีน รวมทั้งฟิล์มผสมที่ไม่ผ่านการพิมพ์สีไปดึงด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง ด้วยแรงดึงเท่ากับแรงดึงที่คำนวณได้ของฟิล์มแต่ละชนิด แล้วทำการทดสอบด้วยปากกาทดสอบการติดสี พบว่าแรงดึงมีค่าที่เหมาะสมอยู่ค่าหนึ่งที่จะทำให้ติดสีได้ดีแต่ถ้าออกแรงมากหรือน้อยกว่านี้แนวโน้มของการติดสีจะมีค่าลดลงในทั้งสองกรณี

บทที่ 3

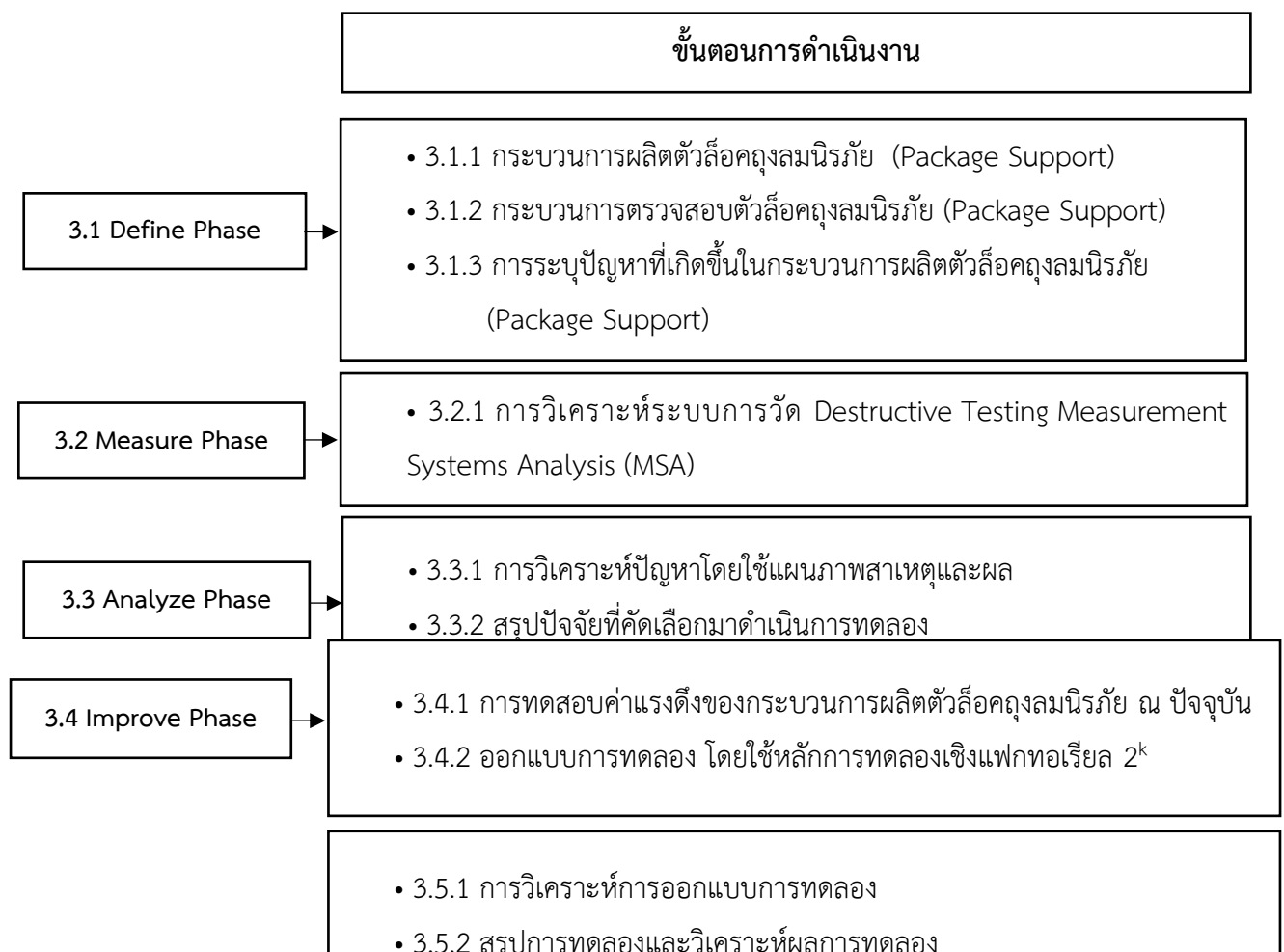
วิธีการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการวิจัยตามแนวคิดซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma) มีขั้นตอนการแก้ปัญหาตามขั้นตอน ประกอบด้วย ดังภาพที่ 3.1

- 3.1 ขั้นตอนการระบุปัญหา (Define Phase)
- 3.2 ขั้นตอนการวัด (Measure Phase)
- 3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ (Analyze Phase)
- 3.4 ขั้นตอนการปรับปรุง (Improve Phase)
- 3.5 ขั้นตอนการควบคุม (Control Phase)

เพื่อมุ่งเน้นการใช้เครื่องมือทางสถิติของซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma) มาใช้ในการปัจจัยและแก้ไขปัญหที่ทำให้เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต โดยใช้หลักการ DMAIC ของ ซิกซ์ ซิกม่า และการออกแบบการทดลอง Design of Experiment แบบ 2^k Full Factorial Design เพื่อเพิ่มความสามารถของกระบวนการผลิตตัวล้อคถุงลมนิรภัยผลิตภัณฑ์ความปลอดภัย (Package Support) ที่เป็นชิ้นส่วนประกอบหนึ่งของถุงลมนิรภัย (Air Bag) และหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมเข้ามาดำเนินการแก้ไขปัญหาที่ทำการศึกษา โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังนี้

3.1 ขั้นตอนการระบุปัญหา (Define Phase)



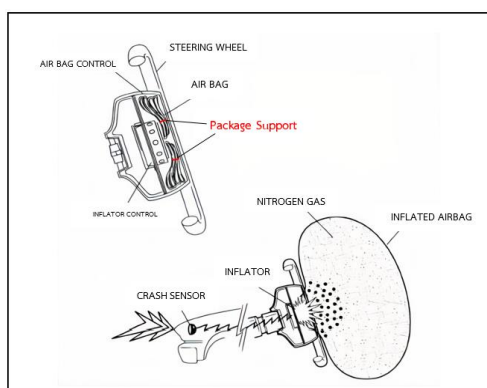
3.5 Control Phase

ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ

3.1.1 กระบวนการผลิตตัวลือคถุงลมนิรภัย (Package Support)

ถุงลมนิรภัย คือ อุปกรณ์ความปลอดภัยของยานพาหนะ ทำหน้าที่เสมือนเป็นหมอนรองผู้โดยสารที่ประกอบด้วยวัสดุห่อหุ้มที่มีความยืดหยุ่นที่ออกแบบมาเพื่อการขยายตัวอย่างรวดเร็วในช่วงการชนกันของรถยนต์ มีลักษณะจะคล้ายกับลูกบอลอากาศขนาดใหญ่ที่ไหลออกมาจากพื้นที่ที่มีการพับเก็บไว้อย่างดี

ความเร็วที่จะทำให้ถุงลมนิรภัยพองตัวนั้น พบว่าต้องมีความเร็วมากกว่า 20 กิโลเมตร ต่อ ชม. และการทำงานของถุงลมนิรภัยจะพองตัวเมื่อรถยนต์ชนกับเสารถยนต์ประมาณ 30 กิโลเมตร ต่อ ชม. สำหรับการชนกับรถที่จอดอยู่กับที่ ชนกับกำแพง ชนคอนกรีต หรือชนนอกศูนย์กลางด้านหน้า ความเร็วของรถยนต์ต้องมากกว่า 40 – 50 กิโลเมตร ต่อ ชม. จึงจะทำให้ถุงลมนิรภัยพองตัวมีการทำงานเกิดขึ้น ระบบการทำงานของถุงลมนิรภัย เมื่อเซนเซอร์ตรวจจับการชน ระบบจะพองลมขึ้นโดยอาศัย Sodium Azide (NaN_3) ทำปฏิกิริยากับ Potassium Nitrate (KNO_3) เพื่อสร้างแก๊ส Nitrogen ดังภาพที่ 3.2

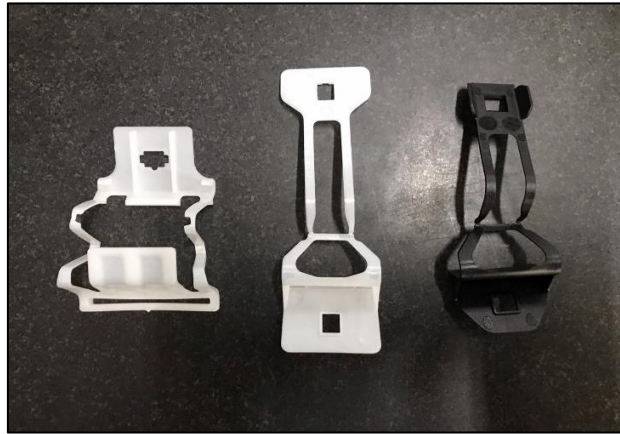


ภาพที่ 3.2 หลักการทำงานของถุงลมนิรภัย (Air bag) ก่อนและหลังระเบิด

ที่มา : THE WHY FILES. (2017)

ตัวลือคถุงลมนิรภัย (Package Support) เป็นส่วนประกอบของถุงลมนิรภัย เพื่อลือคกับถุงผ้าไนลอน ซึ่งขนาดของตัวลือคถุงลมนิรภัยผลิตภัณฑ์ความปลอดภัย (Package Support) จะมีขนาด

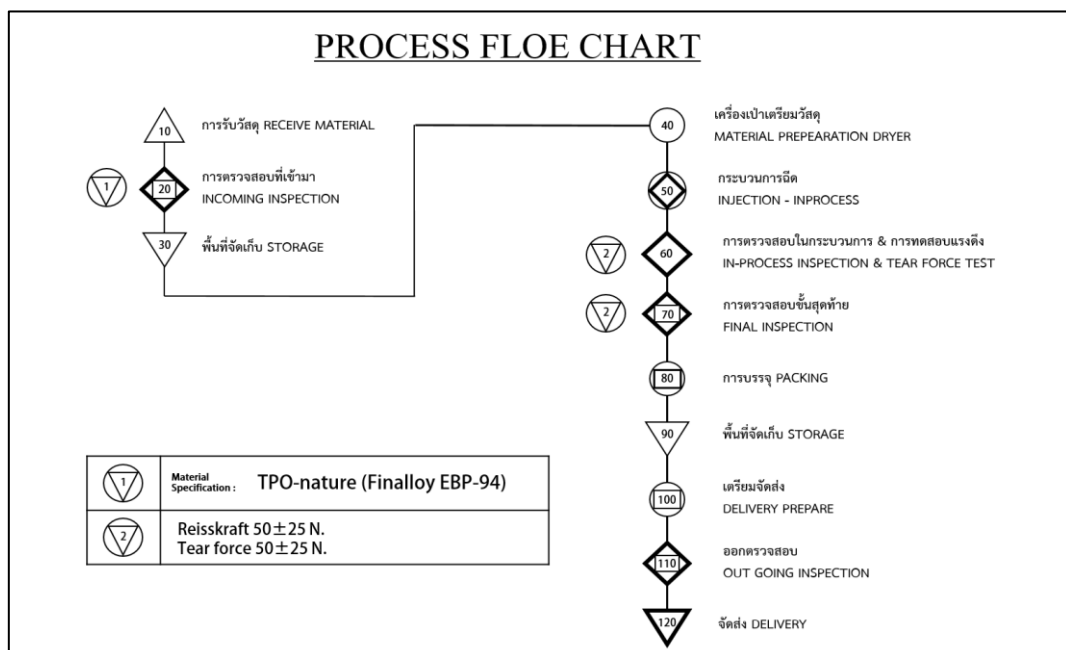
และเกณฑ์กำหนดคุณภาพที่แตกต่างกันออกไปตามลักษณะการใช้งานตามรุ่นของรถยนต์ที่ลูกค้ากำหนดมา ดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 ตัวลือคถุงลมนิรภัย (Package Support)

ที่มา : บริษัท วีโอเอ็ม (ไทยแลนด์) จำกัด

จากการวิเคราะห์กระบวนการผลิตตัวลือคถุงลมนิรภัย แสดงขั้นตอนการทำงานโดยแผนภูมิกระบวนการไหล (Process Flow Chart) ดังภาพที่ 3.4 อธิบายขั้นตอนการผลิตตัวลือคถุงลมนิรภัย (Package Support) ดังตารางที่ 3.1



สัญลักษณ์แผนภูมิการไหล FLOW CHART SYMBOLS					
	กรรมวิธี PROCESS		ตรวจสอบปริมาณ QUALITY		การจัดส่งสินค้า DELIVERY
	การขนส่ง TRANSFEEING		ตรวจสอบคุณภาพ QUALITY INSP		การไหลของกรรมวิธีการผลิต PROCESS FLOW
	การเก็บ STORAGE		การรับเข้า RECEIVE		เส้นแบ่งแยกเขตการปฏิบัติงาน OPERATION ZONE DIVIDER
	การปฏิบัติงานร่วม - คือในระหว่างกรรมวิธีเป็นงานหลักจะมีการตรวจสอบคุณภาพไปด้วย MULTIPE OPERATION – MAINLY PROCESSING PLUS QULITY CHECK.				
	การปฏิบัติงานร่วม - คือการตรวจสอบคุณภาพเป็นงานหลักและจะมีการนับจำนวนไปด้วย MULTIPE OPERATION – MAINLY QULITY CHECK PLUS COUNTING.				
	การปฏิบัติงานร่วม - คือในระหว่างกรรมวิธีเป็นงานหลักจะมีการนับจำนวนไปด้วย MULTIPE OPERATION – MAINLY PROCESSING CHECK PLUS COUNTING.				
Special Characteristics					
	S - Safety		F – Fit/Function		
	Z – Registration relevant (Law)				

ภาพที่ 3.4 กระบวนการผลิตตัวล้อยึดถุงลมนิรภัย (Package Support)

ที่มา : บริษัท วีอีเอ็ม (ไทยแลนด์) จำกัด

ตารางที่ 3.1 ขั้นตอนการผลิตตัวล้อยึดถุงลมนิรภัย (Package Support)

NO	กระบวนการ	สัญลักษณ์	อธิบาย
10	การรับวัสดุ RECEIVE MATERIAL		การรับวัสดุเข้าคลังสินค้า
20	การตรวจสอบที่เข้ามา INCOMING INSPECTION		การตรวจสอบเม็ดพลาสติก TPO-Nature (Finalloy EBP-94)
30	พื้นที่จัดเก็บ STORAGE		พื้นที่จัดเก็บสินค้า
40	เตรียมเครื่องอบวัสดุ MATERIAL PREPARATION DRYER		เตรียมอบเม็ดพลาสติกเพื่อกระบวนการฉีดขึ้นต่อไป
50	กระบวนการฉีด INJECTION – INPROCESS		การฉีดพลาสติกในแม่พิมพ์ของชิ้นงานที่จัดเตรียมไว้
60	การตรวจสอบในกระบวนการ & การทดสอบแรงดึง IN-PROCESS INSPECTION & TEAR FORCE TEST		การตรวจสอบและทดสอบค่าแรงดึงค่ามาตรฐานควรอยู่ระหว่าง 50±25 N.
70	การตรวจสอบขั้นสุดท้าย FINAL INSPECTION		การตรวจสอบการนับจำนวนของชิ้นงาน
80	การบรรจุ PACKING		การบรรจุชิ้นงานและนับชิ้นงานลงบล็อกจำนวน 400 ชิ้น/บล็อก
90	พื้นที่จัดเก็บ STORAGE		การจัดเก็บเข้าคลังสินค้า
100	เตรียมจัดส่ง DELIVERY PREPARE		การตรวจสอบสินค้าก่อนจัดส่ง
110	ออกตรวจสอบ OUT GOING INSPECTION		การตรวจสอบและนับจำนวนชิ้นงาน
120	จัดส่ง DELIVERY		การจัดส่งชิ้นงาน

3.1.2.2 ตรวจสอบลักษณะภายนอกชิ้นงาน คือ การตรวจสอบลักษณะภายนอกที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานตามใบตรวจสอบที่กำหนดขึ้นมา เช่น Burn (รอยไหม้) Contaminated (สิ่งเจือปนในเนื้องาน) Deformation (เสียรูป, บิดเบี้ยว) Flow Marks (รอยไหล) Short Shot (ฉีดไม่เต็ม) Sink Mark (รอยยุบ) Black Dot (จุดดำ) เป็นต้นดังภาพที่ 3.7

2. Appearance Inspection (1Shot./time)			Time (every 2 hrs)												Remark
No.	Item	Classification	Time		Time		Time		Time		Time		Time		
			Result of sampling (pcs)												
			1 Shot		1 Shot		1 Shot		1 Shot		1 Shot		1 Shot		
1	Surface Appearance	1. Broken (ร้าวแตก), 2. Bubble (ฟองอากาศ), 3. Burr (รอยไหม้), 4. Contaminated (สิ่งเจือปนในชิ้นงาน), 5. Deformation (เสียรูป, บิดเบี้ยว), 6. Flashing (เศษ), 7. Flow Marks (รอยไหล), 8. Short Shot (ฉีดไม่เต็ม), 9. Sink mark (รอยยุบ), 10. Over Cut (ตัดแฉก), 11. Under Cut (ตัดแฉกในหลอด), 12. Rack (รอย), 13. Crack (รอยร้าว), 14 Burr (รอย), 15. Scratch (รอยขีดข่วน), 16. Black Dot (จุดดำ)	<input type="checkbox"/>	OK	<input type="checkbox"/>	OK	<input type="checkbox"/>	OK	<input type="checkbox"/>	OK	<input type="checkbox"/>	OK	<input type="checkbox"/>	OK	
			<input type="checkbox"/>	NC	<input type="checkbox"/>	NC	<input type="checkbox"/>	NC	<input type="checkbox"/>	NC	<input type="checkbox"/>	NC	<input type="checkbox"/>	NC	
			Problem No.		Problem No.		Problem No.		Problem No.		Problem No.		Problem No.		
			Pcs.	Holding	Pcs.	Holding	Pcs.	Holding	Pcs.	Holding	Pcs.	Holding	Pcs.	Holding	
2	Weight	น้ำหนักของชิ้นงาน													

ภาพที่ 3.7 ใบตรวจสอบลักษณะภายนอกชิ้นงาน

ที่มา : บริษัท วีไอเอ็ม (ไทยแลนด์) จำกัด

3.1.2.3 ตรวจสอบค่าแรงดึงของตัวผลิตภัณฑ์ความปลอดภัย การทดสอบโดยเครื่องมือ (Universal Testing Machine NTM) ดังภาพที่ 3.8 และมีโปรแกรมการทดสอบค่าวัดแรงดึงของชิ้นงานเมื่อถูกดึงในแรงที่กำหนด ค่ามาตรฐานนั้นควรมีค่าแรงดึงควรอยู่ระหว่าง 50 ± 25 N. ซึ่งเป็นระดับที่ลูกค้ากำหนด



ภาพที่ 3.8 เครื่องมือการทดสอบ (Universal Testing Machine NTM)

ที่มา : บริษัท วีไอเอ็ม (ไทยแลนด์) จำกัด

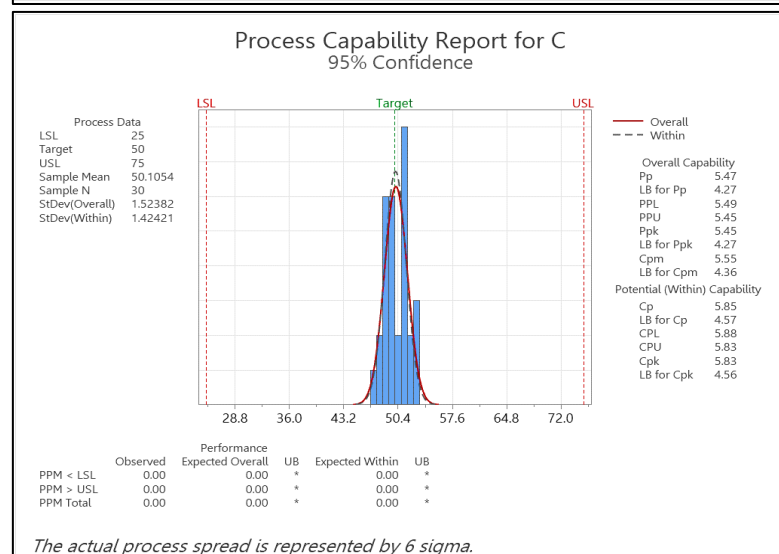
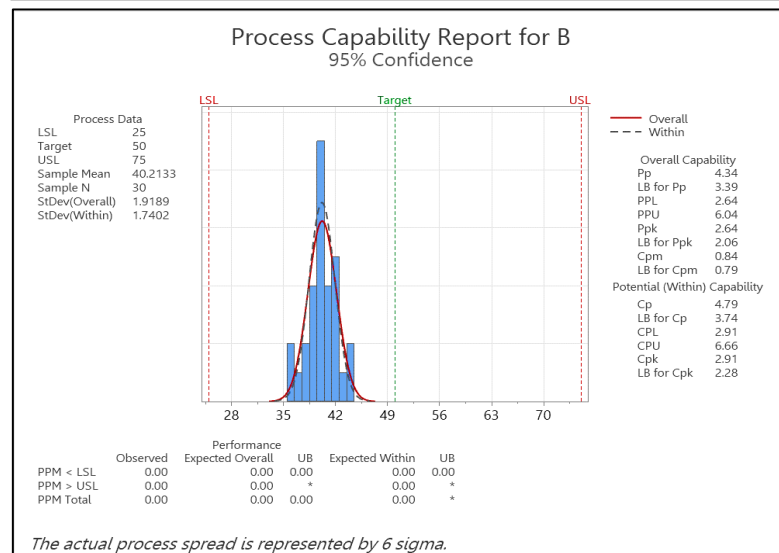
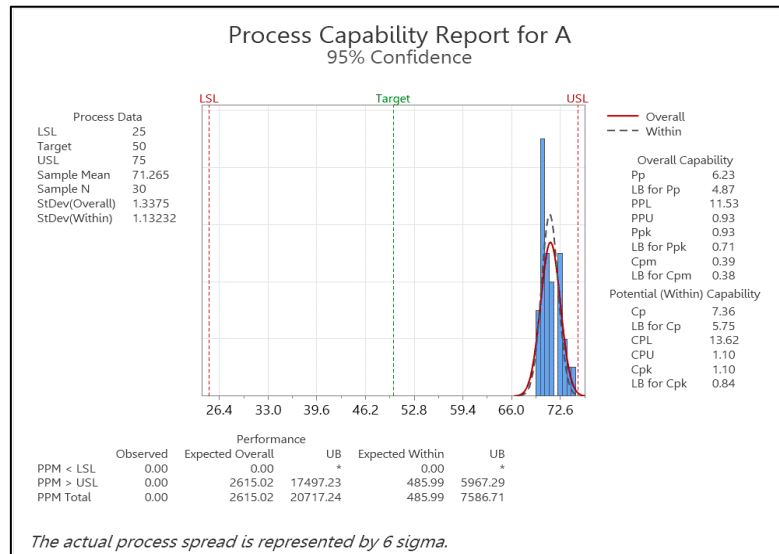
3.1.3 การระบุปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตตัวล้อคฤงลมนิรภัย

กระบวนการผลิตตัวล้อคฤงลมนิรภัย (Package Support) สิ่งที่ต้องให้ความสำคัญคือ ค่าแรงดึงของชิ้นงาน เนื่องจากผลิตภัณฑ์ตัวล้อคฤงลมนิรภัยหากค่าแรงดึงของชิ้นงานสูงหรือต่ำกว่าสเปคที่กำหนด ซึ่งค่ามาตรฐานนั้นควรอยู่ระหว่าง 50 ± 25 N. เมื่อค่าแรงดึงเกินมาตรฐานจะส่งผลให้ตัวล้อคฤงลมนิรภัยไม่ขาดออกจากกันทำให้ผ้าไนลอนไม่คลายตัวออก ซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายแก่ผู้ใช้งาน และอาจก่อให้เกิดความสูญเสียด้านชีวิตและทรัพย์สิน ดังนั้น ผู้วิจัยจึงต้องทำการปรับปรุงการทดสอบค่าแรงดึงของตัวล้อคฤงลมนิรภัยให้เป็นไปตามค่าการทดสอบแรงดึงของชิ้นงานที่ลูกค้ากำหนด

จากการเก็บข้อมูลของทั้ง 3 ผลิตภัณฑ์ โดยทำการสุ่มตัวอย่างจำนวน 30 ตัวอย่าง เพื่อทำการทดสอบแรงดึงตามตารางที่ 3.2 และทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ค่าความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เพื่อหาค่า C_p, C_{pk} ดังภาพที่ 3.5 และทำการสรุปผลการวิเคราะห์ของทั้ง 3 ผลิตภัณฑ์ เพื่อหาวิธีการปรับปรุงกระบวนการค่าแรงดึงให้อยู่ในมาตรฐานและไม่เกินมาตรฐานที่กำหนดตามตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.2 การสุ่มตัวอย่างจำนวน 30 ตัวอย่างเพื่อทำการทดสอบแรงดึง

การทดสอบแรงดึง							
Sample	A	B	C	Sample	A	B	C
1	73.26	40.32	49.24	16	70.26	39.67	50.91
2	74.59	39.56	48.65	17	70.26	41.56	49.60
3	73.95	40.65	53.00	18	71.26	38.09	49.60
4	72.65	39.25	51.54	19	70.25	40.27	52.36
5	71.65	36.37	52.51	20	70.53	41.27	49.26
6	70.59	38.15	50.93	21	71.01	42.06	48.56
7	70.13	36.36	52.68	22	70.47	40.13	50.27
8	70.57	39.70	50.99	23	73.08	40.27	47.13
9	71.33	43.65	50.90	24	69.79	42.01	50.90
10	70.01	43.99	50.22	25	70.65	42.66	51.03
11	70.36	37.14	48.76	26	69.56	39.56	48.59
12	70.33	42.36	48.63	27	72.63	39.10	48.32
13	72.64	40.16	48.21	28	71.27	39.27	49.57
14	69.88	42.23	51.67	29	70.26	40.56	48.59
15	72.37	41.40	49.36	30	72.36	38.65	51.18



ภาพที่ 3.9 การเก็บข้อมูลของ 3 ผลิตภัณฑ์แสดงถึงสัดส่วนของค่าแรงดึงตัวลึอกดลงมนิรภัย

ตารางที่ 3.3 วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ค่าความเชื่อมั่นร้อยละ 95

(กำหนดให้ค่า Cp,Cpk ไม่ต่ำกว่า 1.67)

Sample	Cp	Cpk	Max	Min	Average
A	7.36	1.10	74.59	69.56	71.27
B	6.09	3.34	43.99	36.36	40.21
C	5.85	5.83	53.00	47.13	50.11

Sample	Observation
A	<ul style="list-style-type: none"> Cp มีค่าสูงกว่า 1.67 แสดงว่ากระบวนการมีค่าความผันแปรอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ (Acceptable) Cpk มีค่าต่ำกว่า 1.67 แสดงว่ากระบวนการมีค่าความกระจายตัวสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนด
B	<ul style="list-style-type: none"> Cp มีค่าสูงกว่า 1.67 แสดงว่ากระบวนการมีค่าความผันแปรอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ (Acceptable) Cpk มีค่าสูงกว่า 1.67 แสดงว่ากระบวนการมีค่าความกระจายตัวไปยังจุดศูนย์กลางตรงตามมาตรฐาน
C	<ul style="list-style-type: none"> Cp มีค่าสูงกว่า 1.67 แสดงว่ากระบวนการมีค่าความผันแปรอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ (Acceptable) Cpk มีค่าสูงกว่า 1.67 แสดงว่ากระบวนการมีค่าความกระจายตัวไปยังจุดศูนย์กลางตรงตามมาตรฐาน

จากการศึกษาการทดสอบแรงดึงของทั้ง 3 ผลิตภัณฑ์ตัวล๊อคถุงลมนิรภัย (Package Support) โดยสุ่มการเก็บตัวอย่างจำนวน 30 ตัวอย่าง พบว่าปัญหาที่เกิดขึ้นมากที่สุดแสดงจากค่า Cp,Cpk ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 คือ ผลิตภัณฑ์ A ค่า Cpk เท่ากับ 1.10 ซึ่งต่ำกว่า 1.67 ที่กำหนด แสดงว่า กระบวนการมีค่าความผันแปรสูงกว่ามาตรฐาน แสดงถึงแนวโน้มค่าแรงดึงเกินที่ค่ามาตรฐาน กำหนดอย่างมีนัยสำคัญโดยคิดเป็นจำนวนของเสียเท่ากับ 966.85 ชิ้น ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยจึงทำการเลือกโมเดล มาเป็นต้นแบบในการดำเนินงาน 1 โมเดล นั่นคือ โมเดล A มาทำการปรับปรุงกระบวนการผลิตตัวล๊อคถุงลมนิรภัย (Package Support)

3.2 ขั้นตอนการวัด (Measure Phase)

3.2.1 การวิเคราะห์ระบบการวัด Destructive Testing Measurement Systems Analysis (MSA)

การทำการทดสอบนั้นสิ่งที่สำคัญอีกประการที่ช่วยให้การวิเคราะห์ผลการทดสอบนั้นมีความถูกต้องและแม่นยำ ช่วยให้การวิเคราะห์ระบบการวัดที่ผู้วิจัยเลือกใช้นั้นใจได้ว่าการตรวจสอบที่ได้มาจากการทดลองมีความเชื่อถือ การวิเคราะห์ระบบการวัด ผู้วิจัยจะทำการวิเคราะห์ผ่านเครื่องมือ เรียกว่า Nested Gage R&R Study of a Measurement System Using Destructive Testing. โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้

3.2.1.1 จำนวนตัวอย่างที่นำมาทำ Gage R&R จำนวน 8 ตัวอย่าง โดยทำการตัดแยกงานที่มีค่าแตกต่างกัน ดังภาพที่ 3.10

Method		
Parts:	8	Operators: 3
Replicates:	3	Total runs: 72

ภาพที่ 3.10 วิธีการทดสอบโดยแบ่งชิ้นงานตามตัวอย่าง

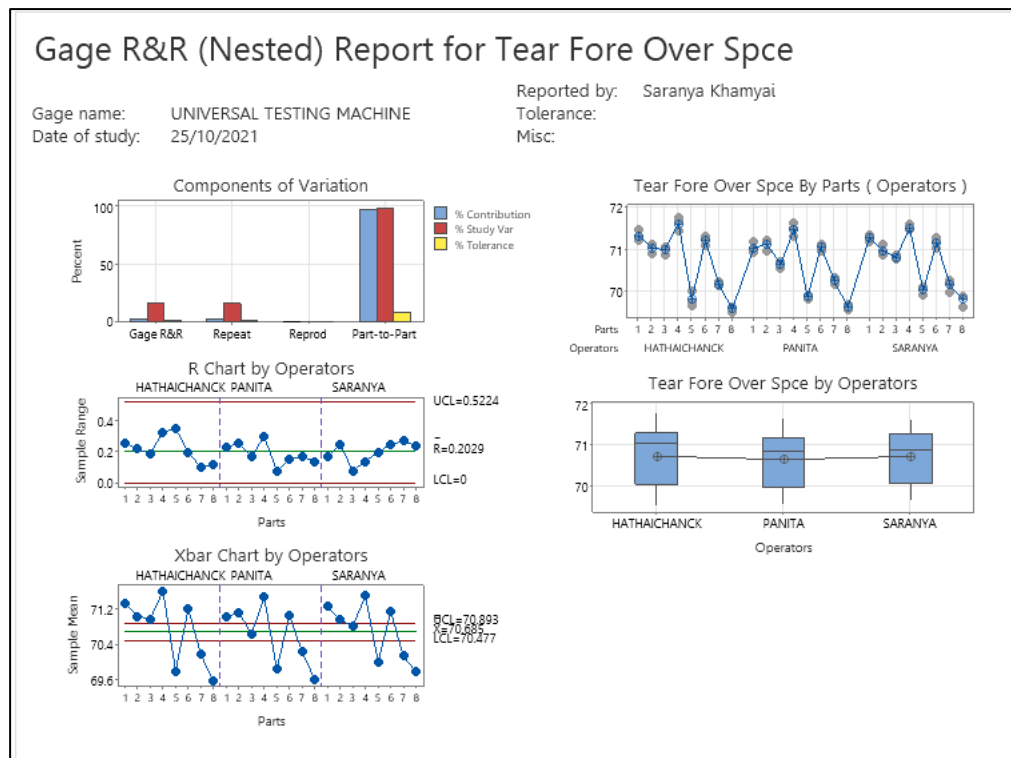
3.2.1.2 กำหนดการทดสอบตัวอย่างงาน 8 ครั้ง ในตัวอย่างแต่ละชิ้นงานจะมีการทดลองทั้งหมด 3 ครั้ง โดยแบ่งการทดสอบพนักงาน 3 คน

3.2.1.3 ดำเนินการทดสอบแรงดึงตามขั้นตอนที่วางแผนไว้ ซึ่งได้ผลดังภาพที่ 3.11

Appraiser	No.1 name : Ms.Saranya					No.2 name : Ms.Hathaichanok					No.3 name : Ms.Panita				
	Trial 1	Trial 2	Trial 3	AVG.	Range	Trial 1	Trial 2	Trial 3	AVG.	Range	Trial 1	Trial 2	Trial 3	AVG.	Range
Group1	71.350	71.270	71.180	71.27	0.17	71.290	71.470	71.210	71.32	0.26	70.940	71.170	70.980	71.0	0.230
Group2	70.860	70.930	71.110	70.97	0.25	71.090	71.120	70.900	71.04	0.22	70.960	71.190	71.220	71.1	0.260
Group3	70.820	70.850	70.770	70.81	0.08	71.050	70.860	71.030	70.98	0.19	70.540	70.680	70.710	70.6	0.170
Group4	71.590	71.460	71.450	71.50	0.14	71.640	71.760	71.430	71.61	0.33	71.310	71.490	71.610	71.5	0.300
Group5	70.110	69.910	70.050	70.02	0.20	69.660	70.010	69.760	69.81	0.35	69.830	69.840	69.910	69.9	0.080
Group6	71.270	71.170	71.020	71.15	0.25	71.230	71.090	71.290	71.20	0.20	71.090	71.120	70.970	71.1	0.150
Group7	70.250	69.980	70.210	70.15	0.27	70.150	70.140	70.240	70.18	0.10	70.330	70.160	70.240	70.2	0.170
Group8	69.880	69.870	69.640	69.80	0.24	69.620	69.500	69.620	69.58	0.12	69.710	69.590	69.570	69.6	0.140

ภาพที่ 3.11 ผลการทดสอบแรงดึง UNIVERSAL TESTING MACHINE วิเคราะห์ระบบการวัด

3.2.1.4 ประเมินผลด้วยวิธีการของ Gage R&R (Nested) for Measurement การเริ่มพิจารณาผลการทดสอบ ผู้วิจัยเริ่มจากการตรวจสอบคุณสมบัติของข้อมูลที่ได้จากการทดสอบแรงดึง โดยพิจารณาจากภาพที่ 3.12



ภาพที่ 3.12 ผลการวิเคราะห์ของระบบการวัด

พิจารณาแผนภูมิ Component of Variation แหล่งที่มาของการเปลี่ยนแปลงที่แสดงในกราฟได้ดังนี้

(1) Total Gage R&R: ความแปรปรวนจากระบบการวัดที่มีตัวดำเนินการหลายตัวโดยใช้เกจเดียวกัน

(2) ความสามารถในการทำซ้ำได้ (Repeat) : สามารถวิเคราะห์ความแปรปรวนในการวัดได้ เนื่องจากผู้ปฏิบัติงานคนเดียวทำการวัดส่วนเดียวกัน

(3) ความสามารถในการทำซ้ำได้ (Report) : ไม่สามารถวิเคราะห์ความแปรปรวนในการวัดได้ เนื่องจากตัวดำเนินการต่างกันและวัดส่วนเดียวกัน

(4) Part-to-Part: การวิเคราะห์ถึงความแปรปรวนของชิ้นงานที่ส่งผลต่อกระบวนการ

(5) พิจารณาแผนภูมิ R Chart by Operator แสดงช่วงของการวัดที่พนักงานแต่ละทำการทดสอบแรงดึงพบว่าทุกจุดอยู่ภายในพิกัดควบคุม แสดงให้เห็นถึงระบบการวัดมีความสามารถแยกความแตกต่างของค่าการวัดได้ และระบบการวัดมีความสม่ำเสมอ

(6) พิจารณาแผนภูมิ X Chart by Operator แสดงถึงค่าเฉลี่ยของการวัดของพนักงานแต่ละรายและในแต่ละการทดสอบ จุดประมาณครึ่งหนึ่งหรือมากกว่ากว่านั้นควรอยู่นอก

ขอบเขตของกราฟ ด้วยคะแนน 22 จาก 24 คะแนน (91.66% - บางจุดที่ปรากฏที่ขอบด้านนอก) แสดงให้เห็นว่าความผันแปรจากสาเหตุของระบบการวัดมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับความผันแปรที่เกิดจากสาเหตุของระบบการผลิต ดังนั้น ข้อมูลที่วัดได้สามารถนำไปใช้ประมาณความผันแปรของกระบวนการได้

Gage R&R (Nested) Report for Tear Fore Over Spce

Gage name: UNIVERSAL TESTING MACHINE
 Date of study: 25/10/2021
 Reported by: Saranya Khamyai

Gage R&R (Nested) for Tear Fore Over Spce

Source	DF	SS	MS	F	P
Operators	2	0.1029	0.05147	0.037	0.964
Parts	21	29.5807	1.40860	110.191	0.000
Repeatability	48	0.6136	0.01278		
Total	71	30.2972			

Variance Components

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.012783	2.67
Repeatability	0.012783	2.67
Reproducibility	0.000000	0.00
Part-To-Part	0.465273	97.33
Total Variation	0.478057	100.00

Process tolerance = 50

Gage Evaluation

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.113063	0.67838	16.35	1.36
Repeatability	0.113063	0.67838	16.35	1.36
Reproducibility	0.000000	0.00000	0.00	0.00
Part-To-Part	0.682109	4.09266	98.65	8.19
Total Variation	0.691416	4.14850	100.00	8.30

Number of Distinct Categories = 8

ภาพที่ 3.13 ผลการทดสอบแรงดึงของตัวล้อยึดลงมนิรภัยในการวิเคราะห์ระบบการวัด

จากวิเคราะห์การประเมินผลด้วยวิธีการของ Gage R&R (Nested) for Measurement ผู้วิจัยได้ผลการทดสอบแรงดึงของตัวล้อยึดลงมนิรภัยในการวิเคราะห์ระบบการวัดดังภาพที่ 3.13 พบว่า ระบบการวัดมีความผันแปรอยู่ในระดับที่สามารถยอมรับได้ กล่าวคือ ค่า % Tolerance ของ Gage R&R มีค่าเท่ากับ 1.36% และค่า % Study Var ของ Gage R&R เท่ากับ 16.35% ซึ่งอยู่ใน

เกณฑ์ที่ยอมรับ ซึ่งเมื่อเทียบกับ Criteria ที่โรงงานได้กำหนดดังภาพที่ 3.10 ถือว่าอยู่ในระดับที่สามารถยอมรับได้

ตารางที่ 3.4 Criteria สำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัดของโรงงาน

ที่มา : Measurement Systems Analysis (MSA).(1990)

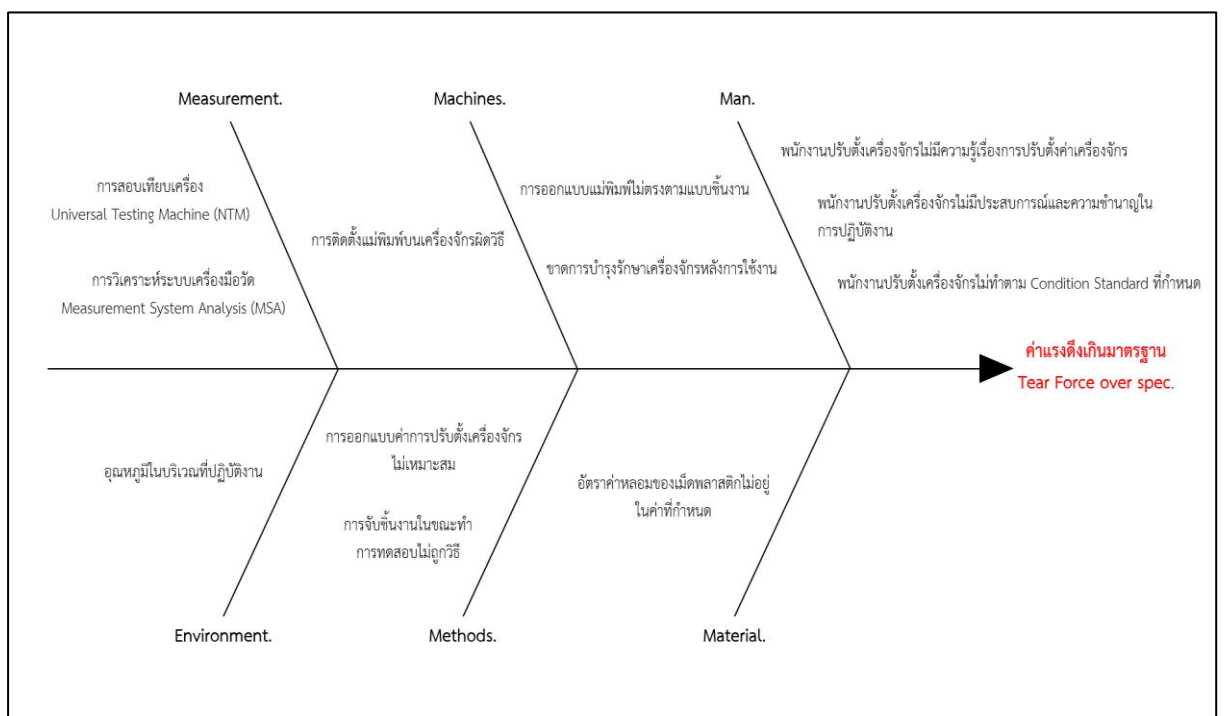
<i>GRR</i>	Decision	Comments
Under 10 percent	Generally considered to be an acceptable measurement system.	Recommended, especially useful when trying to sort or classify parts or when tightened process control is required.
10 percent to 30 percent	May be acceptable for some applications	Decision should be based upon, for example, importance of application measurement, cost of measurement device, cost of rework or repair. Should be approved by the customer.
Over 30 percent	Considered to be unacceptable	Every effort should be made to improve the measurement system. This condition may be addressed by the use of an appropriate measurement strategy; for example, using the average result of several readings of the same part characteristic in order to reduce final measurement variation.

จากการวิเคราะห์ระบบการวัดสรุปได้ว่า เครื่องมือการทดสอบ (Universal Testing Machine NTM) ระบบการวัดที่ทางโรงงานใช้ในการวัดการทดสอบแรงดึงของตัวลึคคุณลักษณะ (Package Support) ที่เป็นส่วนประกอบของคุณลักษณะนั้น สามารถนำไปใช้ในการทดสอบแรงดึงของชิ้นงานในกระบวนการผลิตได้ เนื่องจากระบบการวัดมีความผันแปร น้อยกว่าความผันแปรของกระบวนการผลิตตัวลึคคุณลักษณะ

3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ (Analyze Phase)

3.3.1 การวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้แผนภาพสาเหตุและผล

การศึกษาและปรับปรุงค่าแรงดึงของชิ้นงาน ผู้วิจัยเลือกค่าทดสอบค่าแรงดึงของชิ้นงาน ซึ่งการหาปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลกระทบต่อค่าแรงดึงของชิ้นงานนั้น ผู้วิจัยใช้แผนภาพสาเหตุและผลมาใช้ในการวิเคราะห์ และการระดมสมอง ทำให้ผู้วิจัยสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผลได้ดังภาพที่ 3.14 และสามารถวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อการทดสอบค่าแรงดึงของตัวล๊อคถุงลมนิรภัย (Package Support) แสดงในตารางที่ 3.5



ภาพที่ 3.14 แผนภาพสาเหตุและผลของกระบวนการทดสอบค่าแรงดึงที่เกินมาตรฐาน

ตารางที่ 3.5 การวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตตัวล้อคอลลุมนิรภัย

NO	FACTER	วิเคราะห์หาสาเหตุ	สาเหตุ	การควบคุมในปัจจุบัน	ACTION NEED
1	Man	พนักงานปรับตั้งเครื่องจักรไม่มีความรู้เรื่องการปรับตั้งเครื่องจักร	- ขาดการอบรมเรื่องปรับตั้งเครื่องจักร	- มีการอบรมพนักงานที่ทำปรับตั้งเครื่องจักรตอนเริ่มเข้างาน และอบรมซ้ำอย่างน้อยปีละครั้ง	NO
		พนักงานปรับตั้งเครื่องจักรไม่มีประสบการณ์และความชำนาญในการปฏิบัติงาน	- ขาดความชำนาญในการปฏิบัติงาน	- มีการทดสอบความรู้เรื่องการปรับตั้งเครื่องจักรตอนเริ่มเข้างาน และทดสอบความรู้ซ้ำอย่างน้อยปีละครั้ง	NO
		พนักงานปรับตั้งเครื่องจักรไม่ทำตาม Condition Standard ที่กำหนด	- ขาดความรับผิดชอบในการปฏิบัติงาน	- มี Condition Standard ติดอยู่ที่หน้าเครื่องจักรเพื่อเป็นแนวทางการปรับเครื่อง - มีการทวนสอบความถูกต้องโดยแผนกควบคุมคุณภาพ	NO
2	Material	ค่าอัตราการหลอมเหลวของเม็ดพลาสติกไม่อยู่ในค่าที่กำหนด	- ค่าอัตราการหลอมเหลวของอุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไปส่งผลต่อค่าของชิ้นงานไม่ตรงตามมาตรฐานที่กำหนด	- มีการตรวจสอบค่าอัตราการหลอมเหลวของเม็ดพลาสติกจากใบรับรองที่ได้รับก่อนนำเข้ากระบวนการผลิต - มีการทดสอบอัตราการหลอมเหลวของเม็ดพลาสติกทุกล็อตที่รับเข้าในกระบวนการผลิต	NO

ตารางที่ 3.5 การวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตตัวล้อคูลงลมนิรภัย (ต่อ)

NO	FACTER	วิเคราะห์หาสาเหตุ	สาเหตุ	การควบคุมในปัจจุบัน	ACTION NEED
3	Machines	การออกแบบแม่พิมพ์ไม่ตรงแบบ ชิ้นงาน	- การออกแบบแม่พิมพ์ ขนาด บริเวณ จุดฉีกขาดไม่ถูกต้องอาจส่งผลต่อ ค่าแรงดึง	- มีการใช้โปรแกรม Siemens NX Unigraphics (UG) ช่วยในการออกแบบแม่พิมพ์ให้เหมาะสมกับ ชิ้นงานนั้นๆ - มีการวัดขนาดบริเวณจุดฉีกขาดของแม่พิมพ์ก่อน อนุมัติใช้งาน	NO
		การติดตั้งแม่พิมพ์บนเครื่องจักรผิดวิธี	- การติดตั้งเครื่องจักรไม่ถูกวิธี เช่น	- มีการตรวจสอบ Mold ทุกครั้งหลังการติดตั้ง	NO
		การบำรุงรักษาเครื่องจักรหลังใช้งาน	- ขาดการบำรุงรักษาเครื่องจักรหลัง การใช้งานอาจส่งผลต่อค่าแรง	- มีการตรวจสอบและบำรุงรักษาหลังการใช้งานอยู่ เสมอ	NO
4	Methods	การจับชิ้นงานในขณะที่ทำการทดสอบ ไม่ถูกวิธี	- การจับชิ้นงานไม่ถูกวิธีอาจ เช่น การ ใส่ชิ้นงานไม่ตรงตัวล้อคชิ้นงาน อาจ ส่งผลให้ค่าแรงดึงคลาดเคลื่อน	- มี Work Instruction (WI) ติดอยู่ที่หน้า เครื่องจักร	NO
		การออกแบบค่าการปรับตั้งเครื่องจักร ไม่เหมาะสม	- การออกแบบค่าการปรับตั้ง เครื่องจักร ไม่สอดคล้องกับแม่พิมพ์ และเครื่องจักรที่ใช้ในการปฏิบัติงาน	- ใช้ค่าการปรับตั้งเครื่องจักร จากผู้ผลิตแม่พิมพ์ โดยไม่มีการปรับตั้งค่าให้เหมาะสมกับเครื่องจักรที่ใช้ ผลิตจริง	YES

ตารางที่ 3.5 การวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตตัวล้อคอลลุมนิรภัย (ต่อ)

NO	FACTER	วิเคราะห์หาสาเหตุ	สาเหตุ	การควบคุมในปัจจุบัน	ACTION NEED
5	Measurement	การสอบเทียบเครื่อง Universal Testing Machine (NTM)	- หากไม่ทำการตรวจสอบหรือวิเคราะห์ เครื่องมือการทำงานอาจส่งผลให้การทดสอบ ค่าแรงดึงคลาดเคลื่อนได้	- การ Calibration เครื่องมือวัดจะมีการ ตรวจสอบทุก 1 ปี	NO
		การวิเคราะห์ระบบเครื่องมือวัด Measurement System Analysis (MSA)	- หากไม่ทำการตรวจสอบหรือวิเคราะห์ เครื่องมือการทำงานอาจส่งผลให้การทดสอบ ค่าแรงดึงคลาดเคลื่อนได้	- การวิเคราะห์ระบบเครื่องมือวัดจะมี การตรวจสอบทุก 1 ปี	NO
6	Environment	อุณหภูมิในพื้นที่ปฏิบัติงาน	- อุณหภูมิในพื้นที่ปฏิบัติงานไม่เหมาะสม เช่น มีความชื้นบริเวณพื้นที่ปฏิบัติงาน เป็นต้น	มีการควบคุมอุณหภูมิบริเวณที่ ปฏิบัติงาน	NO

3.3.2 การคัดเลือกปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตตัวล้อยอดคุณภาพ

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเพื่อหาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อค่าแรงดึงของตัวล้อยอดคุณภาพ (Package Support) ของผลิตภัณฑ์ A ผู้วิจัยคัดเลือกปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการได้ 1 ปัจจัย โดยพิจารณาจากการวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นแสดงในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 การคัดเลือกปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตตัวล้อยอดคุณภาพ

NO	FACTOR	POSSIBLE CAUSES	INVESTGATE RESULT	ACTION PLAN	ACTION NEED
1	Methods	การออกแบบค่าการปรับตั้งเครื่องจักรไม่เหมาะสม	- การออกแบบค่าการปรับตั้งเครื่องจักร ไม่สอดคล้องกับแม่พิมพ์และเครื่องจักรที่ใช้ในการปฏิบัติงาน	- ใช้ค่าการปรับตั้งเครื่องจักรจากผู้ผลิตแม่พิมพ์ โดยไม่มีการปรับตั้งค่าให้เหมาะสมกับเครื่องจักรที่ใช้ผลิตจริง	YES

3.4 ขั้นตอนการปรับปรุง (Improve Phase)

3.4.1 การทดสอบค่าแรงดึงกระบวนการผลิตตัวล้อยอดคุณภาพ ณ ปัจจุบัน

ผู้วิจัยทำการเก็บข้อมูลการทดสอบค่าแรงดึงกระบวนการผลิตตัวล้อยอดคุณภาพก่อนทำการออกแบบการทดลอง เพื่อต้องการทราบค่าแรงดึง ณ ปัจจุบัน แสดงในตารางที่ 3.7

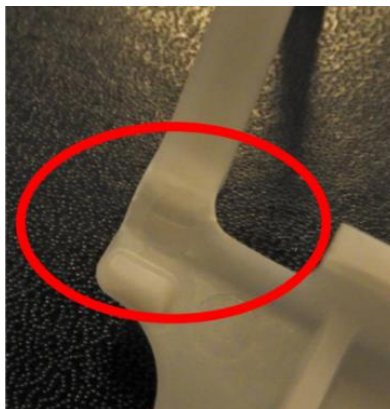
ตารางที่ 3.7 การทดสอบค่าแรงดึงกระบวนการผลิตตัวล้อยอดคุณภาพ ณ ปัจจุบัน

การทดสอบแรงดึง			
Sample	ค่าแรงดึงของกระบวนการผลิต (นิวตัน)	Sample	ค่าแรงดึงของกระบวนการผลิต (นิวตัน)
1	73.26	16	70.26
2	74.59	17	70.26
3	73.95	18	71.26
4	72.65	19	70.25
5	71.65	20	70.53
6	70.59	21	71.01
7	70.13	22	70.47
8	70.57	23	73.08
9	71.33	24	69.79

ตารางที่ 3.7 การทดสอบค่าแรงดึงกระบวนการผลิตตัวล้อยู่นิรภัย ณ ปัจจุบัน (ต่อ)

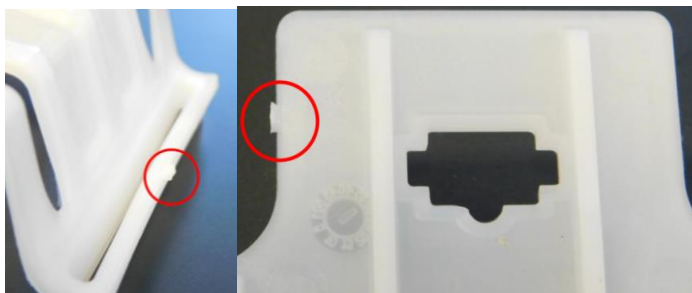
การทดสอบแรงดึง			
Sample	ค่าแรงดึงของกระบวนการผลิต (นิวตัน)	Sample	ค่าแรงดึงของกระบวนการผลิต (นิวตัน)
10	70.01	25	70.65
11	70.36	26	69.56
12	70.33	27	72.63
13	72.64	28	71.27
14	69.88	29	70.26
15	72.37	30	72.36

จากตารางที่ 3.7 เมื่อนำค่าแรงดึงของกระบวนการผลิตตัวล้อยู่นิรภัยที่ได้จากการทดสอบมาทำการหาค่าเฉลี่ยจะได้ค่าแรงดึงของกระบวนการก่อนทำการออกแบบการทดลองเท่ากับ 71.27 นิวตัน แสดงถึงแนวโน้มค่าแรงดึงเกินที่ค่ามาตรฐาน จากการวิเคราะห์สาเหตุที่ส่งผลต่อกระบวนการผลิต พบว่าสาเหตุย่อยของปัญหาเกิดจากสาเหตุหลักทั้งหมด 5 อย่างคือ คน เครื่องจักร วัตถุดิบ วิธีการทำงาน การวัดผล และสภาพแวดล้อม โดยผู้วิจัยคัดเลือกสาเหตุของปัญหาที่เกิดจากวิธีการทำงาน เนื่องจากส่งผลต่อค่าแรงดึงในกระบวนการผลิตตัวล้อยู่นิรภัยมากที่สุด เช่น ถ้าตั้งอุณหภูมิในการฉีดต่ำเกินไปพลาสติกหลอมเหลวจะมีความหนืด อาจส่งผลทำให้ชิ้นงานเกิดรอยเชื่อมไม่เต็ม (weld line) ดังภาพที่ 3.11 และถ้าตั้งอุณหภูมิในการฉีดสูงเกินไปชิ้นงานจะร้อนมาก ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ชิ้นงานเกิดครีบ (Flashing) ดังภาพที่ 3.12 และถ้าตั้งแรงดันในการฉีดสูงเกินไปอาจส่งผลให้ขนาดแรงดึงเกินมาตรฐาน โดยสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นกับกระบวนการผลิตที่เกิดจากวิธีการออกแบบค่าการปรับตั้งเครื่องจักรสามารถปรับปรุงได้มากกว่าสาเหตุอื่น ผู้วิจัยจึงเลือกมาทำการออกแบบการทดลอง



ภาพที่ 3.15 ชิ้นงานเกิดรอยเชื่อมไม่เต็ม (weld line)

ที่มา : บริษัท วีโอเอ็ม (ไทยแลนด์) จำกัด



ภาพที่ 3.16 ชิ้นงานเกิดครีบ (Flashing)

ที่มา : บริษัท วีโอเอ็ม (ไทยแลนด์) จำกัด

จากการวิเคราะห์กระบวนการผลิตตัวล้อคฤงลมชนิดนี้ โดยทราบปัจจัยการปรับตั้งค่าแรงดึงตัวล้อคฤงลมชนิดนี้ ดังนี้

1. เวลาในการฉีด (Injection time) ปัจจุบันมีการใช้งานอยู่ที่ 2.8 วินาที
2. ความเร็วในการฉีด (Injection speed) ปัจจุบันมีการใช้งานอยู่ที่ 160 มม./วินาที
3. ความเร็วสกรู (Screw speed) ปัจจุบันมีการใช้งานอยู่ที่ 105 มม.

3.4.2 ออกแบบการทดลอง โดยใช้หลักการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k

จากการศึกษาวิธีการออกแบบการทดลอง สามารถอธิบายลำดับการทดลองได้ดังนี้

3.4.2.1 ปรับค่าของปัจจัยที่ได้เลือกมาทำการออกแบบการทดลองตามลำดับการสุ่มเพื่อลดความผิดพลาด

3.4.2.2 การทดลองในแต่ละชุดการทดลองจะเว้นระยะเวลาห่างกัน 30 นาที หลังจากปรับค่าของปัจจัยของชุดการทดลองถัดไป เพื่อต้องการให้ค่าของปัจจัยที่ถูกปรับเปลี่ยนไปมีความคงที่และแน่นอน

3.4.2.3 ทำการวิเคราะห์ให้สอดคล้องตามหลักการออกแบบการทดลอง โดยรายละเอียดการออกแบบการทดลอง และการปรับค่าของปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

ผู้วิจัยได้เลือกใช้หลักการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k ซึ่งมีปัจจัยที่ใช้ทำการทดลอง 3 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมี 2 ระดับการทดลอง (ต่ำและสูง) จะได้ชุดการทดลองเท่ากับ 8 ชุดการทดลองโดยสามารถแสดงช่วงของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองได้ดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 ค่าของปัจจัยสำหรับการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k

ปัจจัยในการทดลอง	หน่วย	ช่วงของปัจจัยในการทดลอง	
		Low Level (-1)	High Level (+1)
เวลาในการฉีด (Injection time)	วินาที	1.8	2.8
ความเร็วในการฉีด (Injection speed)	มม./วินาที	90	160
ความเร็วสกรู (Screw speed)	มม.	95	105

จากตารางที่ 3.8 สามารถอ่านค่าของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองได้ ดังนี้

(1) เวลาในการฉีด (Injection time) ช่วงของปัจจัยในการทดลองมีการใช้งานอยู่ที่ 1.8 และ 2.8

(2) ความเร็วในการฉีด (Injection speed) ช่วงของปัจจัยในการทดลองมีการใช้งานอยู่ที่ 90 และ 160

(3) ความเร็วสกรู (Screw speed) ช่วงของปัจจัยในการทดลองมีการใช้งานอยู่ที่ 95 และ 105

โดยมีตารางสำหรับบันทึกค่าการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k ดังตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 ตารางสำหรับบันทึกค่าการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k

ชุดการทดลอง	เวลาในการฉีด (Injection time)	ความเร็วในการฉีด (Injection speed)	ความเร็วสกรู (Screw speed)	ค่าแรงดึง Tear Force
1	1.8	90	95	
2	2.8	90	95	
3	1.8	160	95	
4	2.8	160	95	
5	1.8	90	105	
6	2.8	90	105	

ตารางที่ 3.9 ตารางสำหรับบันทึกค่าการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k (ต่อ)

ชุดการทดลอง	เวลาในการฉีด (Injection time)	ความเร็วในการฉีด (Injection speed)	ความเร็วสกรู (Screw speed)	ค่าแรงดึง Tear Force
9	1.8	90	95	
10	2.8	90	95	
11	1.8	160	95	
12	2.8	160	95	
13	1.8	90	105	
14	2.8	90	105	
15	1.8	160	105	
16	2.8	160	105	
17	1.8	90	95	
18	2.8	90	95	
19	1.8	160	95	
20	2.8	160	95	
21	1.8	90	105	
22	2.8	90	105	
23	1.8	160	105	
24	2.8	160	95	
7	1.8	160	105	
8	2.8	160	105	

ตารางที่ 3.9 จะเป็นตารางที่ใช้สำหรับบันทึกค่าสำหรับการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k โดยแต่ละชุดการทดลองมีการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง รวมชุดการทดลองทั้งหมดเท่ากับ 24 ชุดการทดลอง เพื่อนำมาใช้ในการประมาณความผิดพลาดของการทดลอง ซึ่งมีปัจจัยที่ใช้ในการทดลองคือ เวลาในการฉีด (Injection time) 2.8 วินาที ความเร็วในการฉีด (Injection speed) 160 มม./วินาที และความเร็วสกรู (Screw speed) ปัจจุบันมีการใช้งานอยู่ที่ 105 มม.

3.5 ขั้นตอนการควบคุม (Control Phase)

3.5.1 การวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองนี้จะทำการปรับค่าของปัจจัยที่ได้คัดเลือกมาทำการออกแบบการทดลองตามลำดับสุ่ม โดยใช้โปรแกรมมินิแทป (Minitab) ในการสุ่มลำดับการทดลอง เพื่อลดความผิดพลาดที่เกิดจากปัจจัยรบกวน จะได้ตารางแสดงลำดับการทดลองแบบสุ่มจากโปรแกรมมินิแทป (Minitab) แสดงในตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10 ตารางแสดงลำดับการทดลองแบบสุ่มจากโปรแกรมมินิแทป (Minitab)

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Injection time	Injection speed	Screw speed
21	1	1	1	1.8	90	105
11	2	1	1	1.8	160	95
17	3	1	1	1.8	90	95
10	4	1	1	2.8	90	95
4	5	1	1	2.8	160	95
18	6	1	1	2.8	90	95
8	7	1	1	2.8	160	105
2	8	1	1	2.8	90	95
20	9	1	1	2.8	160	95
3	10	1	1	1.8	160	95
1	11	1	1	1.8	90	95
6	12	1	1	2.8	90	105
15	13	1	1	1.8	160	105
22	14	1	1	2.8	90	105
24	15	1	1	2.8	160	105
9	16	1	1	1.8	90	95
19	17	1	1	1.8	160	95
5	18	1	1	1.8	90	105
14	19	1	1	2.8	90	105
23	20	1	1	1.8	160	105
16	21	1	1	2.8	160	105

ตารางที่ 3.10 ตารางแสดงลำดับการทดลองแบบสุ่มจากโปรแกรมมินิแทป (Minitab) (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Injection time	Injection speed	Screw speed
7	22	1	1	1.8	160	105
13	23	1	1	1.8	90	105
12	24	1	1	2.8	160	95

จากตารางที่ 3.10 StdOrder คือ ลำดับที่บ่งบอกถึงแต่ละชุดการทดลองนั้น ๆ โดยลำดับที่ 1 ถึง 24 คือ การทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k (2^k Full Factorial Design) ทั้ง 24 ชุดทดลอง ซึ่งการทดลองทั้งหมด 24 ชุดการทดลองนั้นจะเป็นไปตามลำดับการสุ่ม เพื่อลดความผิดพลาดที่เกิดจากปัจจัยรบกวน โดยสามารถดูลำดับการสุ่มได้จากคอลัมน์ RunOrder

3.5.2 สรุปการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

เมื่อทำการจัดลำดับการทดลองแล้ว ผู้วิจัยจะทำการทดลองทั้งหมด 24 การทดลอง และเมื่อได้ผลการทดลองแล้ว ผู้วิจัยจะใช้โปรแกรมมินิแทป (Minitab) เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ความแปรปรวนและสรุปผล โดยจะทำการวิเคราะห์ดังนี้

3.5.2.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง (2^k Full Factorial Design)

3.5.2.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่าแรงดึงตัวลึ้อคฤงลมนิรภัย ซึ่งจะสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลกับค่าแรงดึงอย่างมีนัยสำคัญ

3.5.2.3 การวิเคราะห์ผลการตอบสนองที่ดีที่สุด (Response Optimization) โดยขั้นตอนนี้เป็นกรนำเอาค่าตอบสนอง (Response) ที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ต่อ เพื่อยืนยันของการทดลอง โดยใช้หลักการ Response Optimization เพื่อทำการหาค่าที่เหมาะสม จากนั้นทำการสรุปผล และนำค่าที่ได้ไปใช้ในการออกแบบค่าการปรับตั้งเครื่องจักรเพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตต่อไป

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

การกรองปัจจัยเบื้องต้นด้วยวิธี 2^k Full Factorial Design จะต้องทำการทดลองให้ครบทุกเงื่อนไข ในที่นี้จะประกอบด้วย 3 ปัจจัย แต่ละปัจจัยประกอบไปด้วย 2 ระดับ ซึ่งทำการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสมบูรณ์จำเป็นต้องทำการทดลองเท่ากับ $2^3 = 8$ การทดลอง ทำการทดลอง 3 ครั้งรวม 24 การทดลอง โดยการทดลองจะจัดลำดับการทดลองแบบสุ่มเป็นการลดความผิดพลาดของการวิเคราะห์ผล ในการทดลองจะต้องวิเคราะห์ผลกระทบตัวแปรตอบสนอง เพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของกระบวนการ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

4.1 ลำดับการทดลองแบบสุ่ม

ในบทที่แล้ว ผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบการทดลองตามลำดับการสุ่มแสดงในตารางที่ 4.1 เพื่อลดความผิดพลาดที่เกิดจากปัจจัยรบกวน และได้ผลการเก็บข้อมูลเวลาการทำงานในกระบวนการผลิตตัวล้อคูลงมนิรภัย และค่าแรงดึงของกระบวนการจากการทดลองแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงลำดับการทดลองแบบสุ่ม

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Injection time	Injection speed	Screw speed
21	1	1	1	1.8	90	105
11	2	1	1	1.8	160	95
17	3	1	1	1.8	90	95
10	4	1	1	2.8	90	95
4	5	1	1	2.8	160	95
18	6	1	1	2.8	90	95
8	7	1	1	2.8	160	105
2	8	1	1	2.8	90	95
20	9	1	1	2.8	160	95
3	10	1	1	1.8	160	95
1	11	1	1	1.8	90	95
6	12	1	1	2.8	90	105

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงลำดับการทดลองแบบสุ่ม (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Injection time	Injection speed	Screw speed
15	13	1	1	1.8	160	105
22	14	1	1	2.8	90	105
24	15	1	1	2.8	160	105
9	16	1	1	1.8	90	95
19	17	1	1	1.8	160	95
5	18	1	1	1.8	90	105
14	19	1	1	2.8	90	105
23	20	1	1	1.8	160	105
16	21	1	1	2.8	160	105
7	22	1	1	1.8	160	105
13	23	1	1	1.8	90	105
12	24	1	1	2.8	160	95
1	11	1	1	1.8	90	95
6	12	1	1	2.8	90	105
15	13	1	1	1.8	160	105
22	14	1	1	2.8	90	105
24	15	1	1	2.8	160	105

4.2 การทดลองแบบ 2^k Factorial Design

จากการกรองปัจจัยเบื้องต้น ผู้วิจัยได้ทำการทดลองตามวิธีการดำเนินงานตารางแสดงลำดับการทดลองสุ่ม และได้ผลการทดลองเชิงแฟกเชิงแฟกทอเรียล 2^k Factorial Design ในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองเชิงแฟกเชิงแฟกทอเรียล 2^k Full Factorial Design

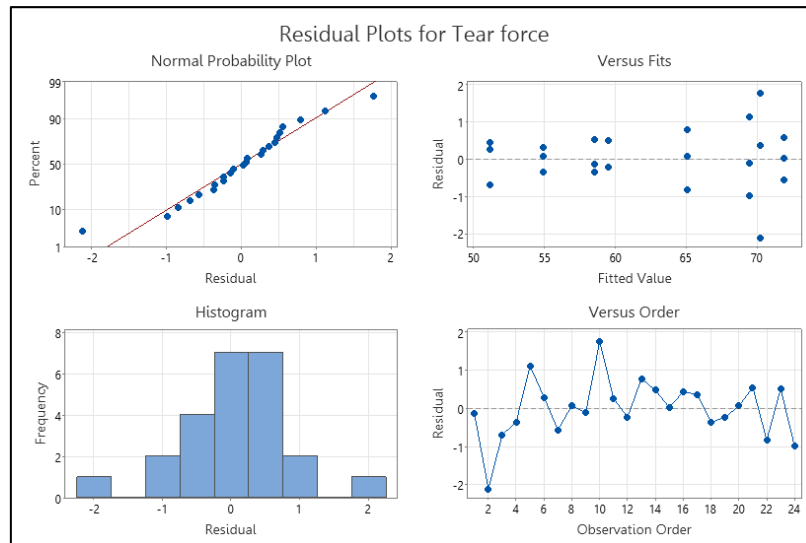
ชุดการทดลอง	เวลาในการฉีด (Injection time)	ความเร็วในการฉีด (Injection speed)	ความเร็วสกรู (Screw speed)	ค่าแรงดึง Tear Force
1	1.8	90	95	51.40
2	2.8	90	95	55.98

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองเชิงแฟกเชิงแฟกทอเรียล 2^k Full Factorial Design (ต่อ)

ชุดการทดลอง	เวลาในการฉีด (Injection time)	ความเร็วในการฉีด (Injection speed)	ความเร็วสกรู (Screw speed)	ค่าแรงดึง Tear Force
3	1.8	160	95	71.98
4	2.8	160	95	70.58
5	1.8	90	105	58.19
6	2.8	90	105	64.28
7	1.8	160	105	70.92
8	2.8	160	105	71.29
9	1.8	90	95	51.58
10	2.8	90	95	54.58
11	1.8	160	95	68.11
12	2.8	160	95	68.48
13	1.8	90	105	59.07
14	2.8	90	105	69.28
15	1.8	160	105	69.87
16	2.8	160	105	72.41
17	1.8	90	95	50.45
18	2.8	90	95	55.23
19	1.8	160	95	70.59
20	2.8	160	95	69.36
21	1.8	90	105	58.41
22	2.8	90	105	65.99
23	1.8	160	105	70.15
24	2.8	160	105	71.88

4.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงแฟกเชิงแฟกทอเรียล 2^k Full Factorial Design

จากผลการทดลองเชิงแฟกเชิงแฟกทอเรียล 2^k Full Factorial Design ผู้วิจัยได้นำค่าผลตอบสนองที่ได้จากจำนวนของชิ้นงานที่ได้จากจำนวนของชิ้นงานที่เสียจากปัญหาค่าแรงดึงมีแนวโน้มเกินมาตรฐานมาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยโปรแกรมมินิแทป (Minitab) จากผลการทดลองในตารางที่ 4.2 สามารถวิเคราะห์ผลได้ดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 Residual Plots for Tear Force

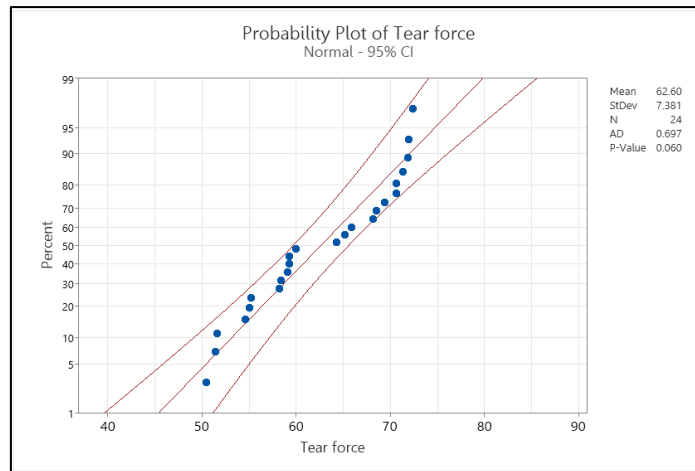
4.3.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง (Model Adequacy Checking)
 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลองจะเป็นการตรวจสอบความถูกต้องและความเหมาะสมของข้อมูลที่ได้จากการทำการทดลอง ซึ่งจะพิจารณาตามหลักการ $\epsilon_{ij} \sim NID(0, \sigma^2)$ โดยค่าส่วนตกค้าง (Residuals) ที่มาจากข้อมูลในการทดลองมีการแจกแจงปกติและมีความเป็นอิสระที่ค่าเฉลี่ยใกล้เคียง 0 และ σ^2 มีค่าคงตัว จึงจะทำให้ข้อมูลที่ได้มาจากการทดลองมีความถูกต้อง และเชื่อถือได้ ซึ่งการตรวจสอบ ϵ_{ij} แบ่งเป็น 4 ขั้นตอน มีดังต่อไปนี้

4.3.1.1 การตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution) ของส่วนตกค้าง (Residuals) เมื่อพิจารณาค่าการกระจายค่าส่วนตกค้าง ดังภาพที่ 4.2 ที่ใช้ในการทดสอบการแจกแจงแบบปกติ ในระดับความเชื่อมั่นที่ 95 % ($\alpha=0.05$) ซึ่งมีสมมติฐานดังนี้

$$H_0 : \alpha_i = 0 \text{ เป็นการแจกแจงปกติ}$$

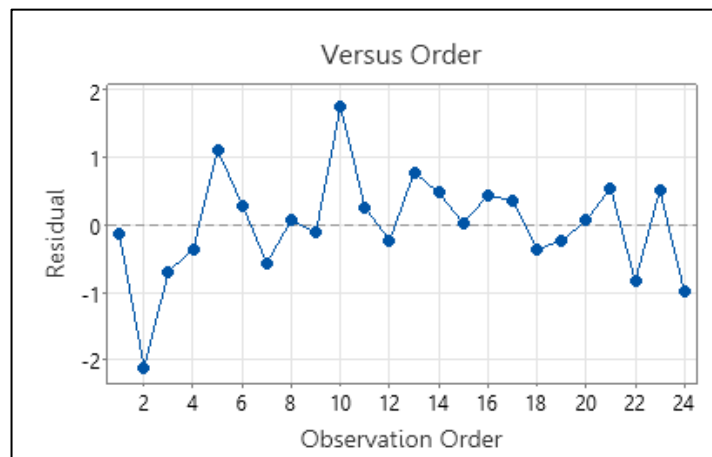
$$H_1 : \alpha_i \neq 0 \text{ ไม่เป็นการแจกแจงปกติ}$$

พบว่าค่าส่วนตกค้างมีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง และค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.060 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับความเชื่อมั่น P-Value = (0.060 > 0.050) จึงสรุปได้ว่ายอมรับ H_0



ภาพที่ 4.2 การกระจายแบบปกติของค่าส่วนตกค้าง (Residual)

4.3.1.2 การตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) ของค่าส่วนตกค้าง (Residual) จากแผนภูมิการกระจาย (Scatter Plot) ดังภาพที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างมีรูปแบบการกระจายตัวที่เป็นอิสระต่อกัน และการกระจายตัวไม่มีรูปแบบที่แน่นอน ไม่สามารถประมาณรูปแบบของข้อมูลที่แน่นอนได้ สามารถสรุปได้ว่าค่าส่วนตกค้าง (Residual) เป็นอิสระต่อกัน (Independent)



ภาพที่ 4.3 การกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง (Residual) เทียบกับ Observation Order

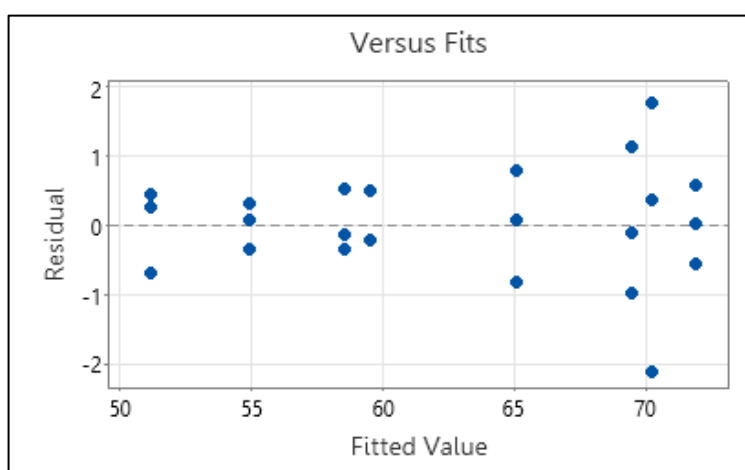
4.3.1.3 การตรวจสอบค่าเฉลี่ยของค่าส่วนตกค้าง (Residual)

จากแผนภูมิการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง (Residual) เทียบกับ Fits Value จะพิจารณาการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง (Residual) เทียบกับระดับปัจจัยทุกตัว ดังภาพที่ 4.3

พบว่าค่าส่วนตกค้างในแผนภูมิมีการกระจายอย่างสุ่ม จะเห็นว่าโดยรวมใกล้เคียงกับค่า 0 จึงสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยของค่าส่วนตกค้าง (Residual) มีค่าใกล้เคียงหรือมีค่าเท่ากับ 0

4.3.1.4 การตรวจสอบความเสถียรของ σ^2 (Variance Stability)

จากแผนภูมิการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง (Residual) เทียบกับ Fits Value ดังภาพที่ 4.4 จะสังเกตได้ว่า σ^2 ของการกระจายค่าส่วนตกค้างมีค่าใกล้เคียงกันในแต่ละตำแหน่ง และไม่พบว่ามีรูปแบบการกระจายตัวค่าส่วนตกค้างมีลักษณะเป็นแนวโน้ม จึง สามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเสถียร



ภาพที่ 4.4 การกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง (Residual) เทียบกับ Fits Value

จากการพิจารณาแผนภูมิรูปแบบของค่าส่วนตกค้าง (Residual) ที่ได้จากการทดลองเชิงแฟกต์เรียล 2^k Full Factorial Design เป็นไปตามหลักการของ $\epsilon_{ij} \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$ ทุกประการ ดังนั้น สรุปได้ว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองชุดนี้มีความถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือ และสามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนในขั้นตอนต่อไปได้

4.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

จากผลการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง สรุปได้ว่าไม่มีความผิดปกติจากการทดลองที่เกิดขึ้น และข้อมูลมีความน่าเชื่อถือ ผู้วิจัยได้นำข้อมูลจากตารางที่ 4.2 มาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังภาพที่ 4.5 – 4.6 เพื่อศึกษาอิทธิพลที่มีปัจจัยร่วมของปัจจัยทั้งหมดที่ส่งผลกระทบต่อค่าแรงดึงมีแนวโน้มเกินมาตรฐาน

โดยกำหนดระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ($\alpha=0.05$) การวิเคราะห์ผลจากโปรแกรมมินิแทป (Minitab)

Full Factorial Design		
Design Summary		
Factors:	3	Base Design: 3, 8
Runs:	24	Replicates: 3
Blocks:	1	Center pts (total): 0
All terms are free from aliasing.		

ภาพที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ Full Factorial Design

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	7	1239.43	177.06	208.81	0.000
Linear	3	1108.87	369.62	435.89	0.000
Injection time	1	43.52	43.52	51.33	0.000
Injection speed	1	1033.33	1033.33	1218.59	0.000
Screw speed	1	32.02	32.02	37.76	0.000
2-Way Interactions	3	90.31	30.10	35.50	0.000
Injection time*Injection speed	1	0.60	0.60	0.70	0.414
Injection time*Screw speed	1	8.24	8.24	9.71	0.007
Injection speed*Screw speed	1	81.48	81.48	96.08	0.000
3-Way Interactions	1	40.25	40.25	47.46	0.000
Injection time*Injection speed*Screw speed	1	40.25	40.25	47.46	0.000
Error	16	13.57	0.85		
Total	23	1253.00			

ภาพที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ Variance for Response

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลการทดลอง

Factorial Fit : Response versus Injection time, Injection speed, Screw speed					
Estimated Effects and Coefficients for Response (coded units)					
Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant		62.601	0.188	333.04	0.000
Injection time	2.693	1.347	0.188	7.16	0.000
Injection speed	13.123	6.562	0.188	34.91	0.000
Screw speed	2.310	1.155	0.188	6.14	0.000
Inj time * Inj speed	0.315	0.157	0.188	0.84	0.414
Inj time * Screw speed	1.172	0.586	0.188	3.12	0.007
Inj speed * Screw speed	-3.685	-1.842	0.188	-9.80	0.00

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลการทดลอง (ต่อ)

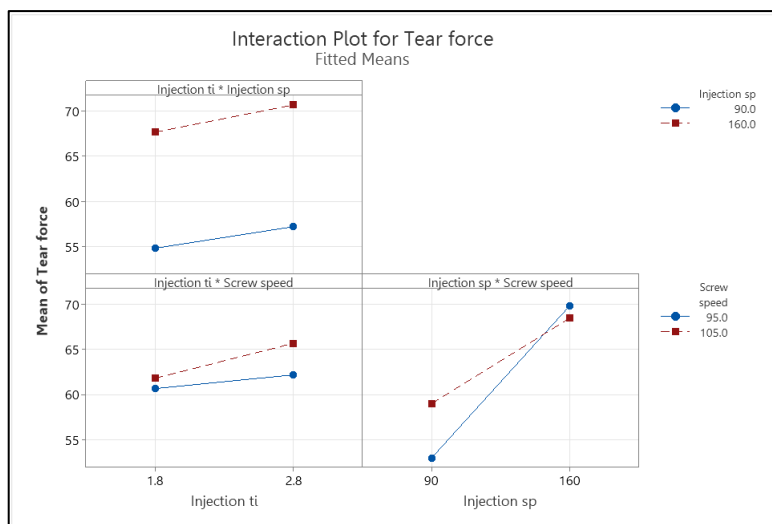
Factorial Fit : Response versus Injection time, Injection speed, Screw speed					
Estimated Effects and Coefficients for Response (coded units)					
Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Inj time * Inj speed * Screw speed	2.590	1.295	0.188	6.89	0.00
S = 0.920853		R-sq = 98.92%		R-sq (adj) = 98.44%	

จากการตรวจสอบข้อมูลจากตารางที่ 4.3 ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่มีมากกว่า 2 ปัจจัย และพบว่าผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองมีผลกระทบร่วม 2 กรณี ซึ่งผลกระทบร่วมมีนัยสำคัญ (P-Value < 0.05) ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่าความผิดพลาดมีการแจกแจงปกติ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ โดยมีความแปรปรวนคงที่และเป็นอิสระต่อกัน

กรณีที่ 1 ค่า P-Value ของปัจจัยระหว่างเวลาในการฉีด (Injection time) และความเร็วสกรู (Screw speed) เท่ากับ $0.007 < 0.05$ สรุปได้ว่าปัจจัยทั้งสองที่มีผลกระทบร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าแรงดึงของตัวล๊อคถุงลมนิรภัย

กรณีที่ 2 ค่า P-Value ของปัจจัยระหว่างความเร็วในการฉีด (Injection speed) และความเร็วสกรู (Screw speed) เท่ากับ $0.000 < 0.05$ สรุปได้ว่าปัจจัยทั้งสองที่มีผลกระทบร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าแรงดึงของตัวล๊อคถุงลมนิรภัย

จากนั้นทำการพิจารณาค่า R^2 ซึ่งค่าความผันแปรทั้งหมด = 100 หน่วย โดยผู้วิจัยได้ผลของ $R^2 = 98.92\%$ สามารถอธิบายความผันแปรจากปัจจัยได้ถึง 98.92 หน่วย แสดงว่าการทดลองนั้นได้รับการออกแบบมาดีแล้ว และเมื่อพิจารณา R^2 Adjust = 98.44 % พบว่ามีค่าใกล้เคียง $R^2 = 98.92\%$ แสดงว่าได้จำนวนข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองมีจำนวนที่เพียงพอ และจากข้อมูลของตารางที่ 4.3 สามารถแสดงเป็นแผนภูมิผลกระทบร่วมดังภาพที่ 4.7



ภาพที่ 4.7 แผนภูมิผลกระทบร่วม (Interaction Plot)

ความสัมพันธ์ของปัจจัยจะแสดงเส้นกราฟบนแผนภูมิผลกระทบร่วม โดยอธิบายความสัมพันธ์ของแผนภูมิผลกระทบร่วมดังนี้

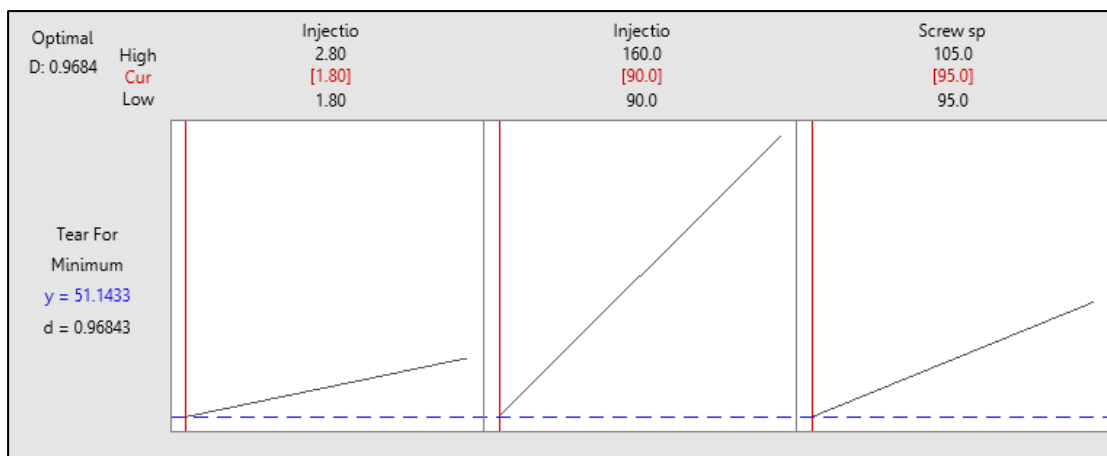
กรณีที่ 1 ปัจจัยระหว่างเวลาในการฉีด (Injection time) 1.8 วินาที จะมีสัดส่วนของเสียลดลงเมื่อเทียบกับปัจจัยเวลาในการฉีด (Injection time) 2.8 วินาที

กรณีที่ 2 ปัจจัยระหว่างความเร็วในการฉีด (Injection speed) 90 มม./วินาที จะมีสัดส่วนของเสียลดลงเมื่อเทียบกับปัจจัยความเร็วในการฉีด (Injection speed) 160 มม./วินาที

กรณีที่ 3 ปัจจัยระหว่างความเร็วสกรู (Screw speed) 95 มม. จะมีสัดส่วนของเสียลดลงเมื่อเทียบกับปัจจัยความเร็วสกรู (Screw speed) 105 มม.

4.5 การหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการทดลองด้วยวิธีการ Response Optimization

จากผลการทดลองที่ได้กรองปัจจัยมาเบื้องต้น (Screening) ทำให้ทราบปัจจัยใดบ้างที่มีอิทธิพลต่อค่าแรงดึงที่แสดงถึงแนวโน้มเกินมาตรฐาน จากนั้นผู้วิจัยมีความสนใจที่จะกำหนดค่าระดับปัจจัยให้เหมาะสมในกระบวนการผลิตตัวล้อคฤงลมนิรภัย เพื่อออกแบบค่าการปรับตั้งเครื่องจักร โดยจะทำการทดลองเพื่อหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมด้วยวิธีการ Response Optimization ดังภาพที่ 4.8 ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ Response โดยกำหนดเป็นแบบ Minimize Goal และกำหนดค่ากลางแรงดึง (Target) ที่สามารถยอมรับได้เท่ากับ 50.45 และมีค่าแรงดึงสูงสุด (Upper) ที่สามารถยอมรับได้เท่ากับ 72.41 แสดงในตารางที่ 4.4



ภาพที่ 4.8 ผลการตอบสนองระดับปัจจัยที่เหมาะสม

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ Response Optimization: Tear Force

Response Optimization						
Parameters						
Response	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Import
	Minimize		50.45	72.41	1	1
Solution						
Injection time = 1.8						
Injection speed = 90						
Screw speed = 95						
Predicted Responses						
Tear Force = 51.1433 , Desirability = 1.000						
Composite Desirability = 0.9684						

สามารถวิเคราะห์ผลจากการทดลองโดยใช้ Response Optimizer และสรุปผลระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัยแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ปัจจัยและคุณลักษณะปัจจัยป้อนเข้าที่เหมาะสม

ปัจจัยในการทดลอง	หน่วย	ระดับปัจจัยที่เหมาะสม
เวลาในการฉีด (Injection time)	วินาที	1.8

ตารางที่ 4.5 ปัจจัยและคุณลักษณะปัจจัยป้อนเข้าที่เหมาะสม (ต่อ)

ปัจจัยในการทดลอง	หน่วย	ระดับปัจจัยที่เหมาะสม
ความเร็วในการฉีด (Injection speed)	มม./วินาที	90
ความเร็วสกรู (Screw speed)	มม.	95

การเลือกใช้ระดับปัจจัยดังกล่าว จะทำให้เกิดการสูญเสีย % loss ต่ำที่สุด และส่งผลให้มีสัดส่วนของค่าแรงตัวล้อยึดลง

4.6 ผลการทดลอง

จากการใช้หลักการ Response Optimizer ในการหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม เมื่อได้ค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดตามตารางที่ 4.5 เพื่อเป็นการยืนยันผลการวิจัยว่าสามารถลดค่าแรงดึงของตัวล้อยึดลงได้จริงและมีประสิทธิภาพ ผู้วิจัยจึงทำการทดสอบและกำหนดค่าตามระดับปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตโดยการสุ่มตัวอย่างจำนวน 30 ตัวอย่าง เพื่อทำการทดสอบแรงดึงตามตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 การทดสอบค่าแรงดึงจากค่าปัจจัยที่เหมาะสมจากการสุ่มตัวอย่างจำนวน 30 ตัวอย่าง

ชุดการทดลอง	เวลาในการฉีด (Injection time)	ความเร็วในการฉีด (Injection speed)	ความเร็วสกรู (Screw speed)	ค่าแรงดึง Tear Force
1	1.8	90	95	51.40
2	1.8	90	95	50.29
3	1.8	90	95	52.10
4	1.8	90	95	52.23
5	1.8	90	95	53.20
6	1.8	90	95	52.17
7	1.8	90	95	52.82
8	1.8	90	95	52.09
9	1.8	90	95	51.37
10	1.8	90	95	51.52
11	1.8	90	95	51.47

ตารางที่ 4.6

การทดสอบค่าแรงดึงจากค่าปัจจัยที่เหมาะสมจากการสุ่มตัวอย่างจำนวน 30 ตัวอย่าง (ต่อ)

ชุดการทดลอง	เวลาในการฉีด (Injection time)	ความเร็วในการฉีด (Injection speed)	ความเร็วสกรู (Screw speed)	ค่าแรงดึง Tear Force
12	1.8	90	95	52.44
13	1.8	90	95	51.59
14	1.8	90	95	50.23
15	1.8	90	95	50.61
16	1.8	90	95	53.91
17	1.8	90	95	52.23
18	1.8	90	95	51.88
19	1.8	90	95	50.12
20	1.8	90	95	51.52
21	1.8	90	95	51.08
22	1.8	90	95	50.53
13	1.8	90	95	51.08
14	1.8	90	95	51.65
15	1.8	90	95	49.97
16	1.8	90	95	50.28
17	1.8	90	95	50.99
18	1.8	90	95	50.94
19	1.8	90	95	51.48
20	1.8	90	95	52.44

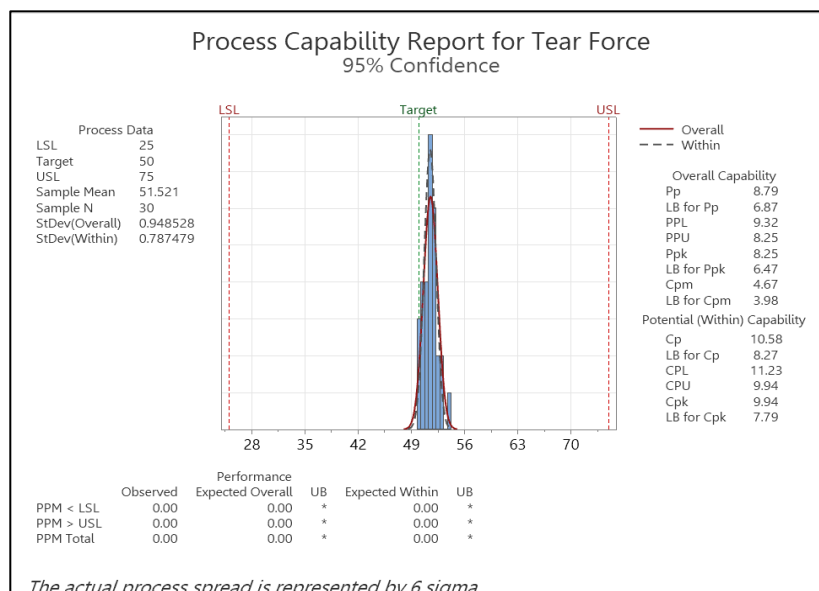
4.7 การเปรียบเทียบผลการทดลอง

การเปรียบเทียบผลการดำเนินงานของการออกแบบการปรับตั้งเครื่องจักร เพื่อปรับปรุงและควบคุมค่าแรงดึงให้อยู่ในมาตรฐานที่กำหนด จากการออกแบบค่าปัจจัยที่เหมาะสมสามารถลดค่าแรงดึง และช่วยลดมูลค่าความสูญเสียในกระบวนการผลิตตัวล้อคดงูลงมึนรัย โดยแสดงการเปรียบเทียบผลก่อนและหลังการปรับปรุงแสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าแรงดึงก่อนการปรับปรุง – หลังการปรับปรุง

Type of Data	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	Observation
Average	71.27 N.	51.48 N.	ค่าเฉลี่ยหลังการปรับปรุงมีค่าต่ำกว่าก่อนการปรับปรุง 19.79 N.
Cp	7.36	10.58	Cp มีค่าสูงกว่า 1.67 แสดงว่ากระบวนการมีค่าความผันแปรอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ (Acceptable)
Cpk	1.10	9.94	Cpk มีค่าสูงกว่า 1.67 แสดงว่ากระบวนการมีค่าความกระจายตัวไปยังจุดศูนย์กลาง ตรงตามมาตรฐาน

จากการเปรียบเทียบค่าแรงดึงของกระบวนการผลิตตัวลีดคอลลุมนิรภัย ก่อนการปรับปรุง และหลังการปรับปรุง พบว่า ค่าหลังการปรับปรุงเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้จากค่า Cp,Cpk ความเชื่อมั่นที่ 95 ซึ่งค่า Cp เท่ากับ 10.58 และค่า Cpk เท่ากับ 9.94 ซึ่งมากกว่า 1.67 ที่กำหนด แสดงถึงกระบวนการมีค่าความผันแปรอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ และแสดงถึงค่าการทดสอบแรงดึงตรงตามมาตรฐานที่กำหนดอย่างมีนัยสำคัญดังภาพที่ 4.9



ภาพที่ 4.9 แผนภาพวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการผลิตหลังการปรับปรุง

4.8 สรุปผลการดำเนินงาน

จากการออกแบบการทดลองเพื่อการออกแบบการปรับตั้งค่าเครื่องจักรที่เหมาะสมที่สุดของกระบวนการผลิตตัวล้อยคฤงลมนิรภัย โดยสามารถสรุปผลตามการทดลองได้ดังนี้

- เวลาในการฉีด (Injection time) 1.8 วินาที
- ความเร็วในการฉีด (Injection speed) 90 มม./วินาที
- ความเร็วสกรู (Screw speed) 95 มม.

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการการปรับปรุงและควบคุมค่าแรงดึงเพื่อให้ค่าแรงดึงอยู่ในมาตรฐานซึ่งค่ามาตรฐานนั้นควรอยู่ระหว่าง 50 ± 25 N. ที่กำหนดของกระบวนการผลิตตัวล้อคดงมนิรภัย จาก การดำเนินการศึกษาวิจัยเพื่อทำการออกแบบการปรับตั้งค่าเครื่องจักรที่เหมาะสมที่สุดของกระบวนการ โดยผู้วิจัยนำเครื่องมือทางสถิติของซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma) มาใช้ในการค้นหาปัจจัย และแก้ไขปัญหาค่าที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต โดยใช้หลักการ DMAIC ของ ซิกซ์ ซิกม่า และการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล $2^k (2^3)$ มาประยุกต์ใช้ในการทดลองตามการออกแบบการทดลอง การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อผลตอบสนอง และการวิเคราะห์ผลตอบสนองที่เหมาะสม ส่วนโปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง ได้แก่ โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อการออกแบบการทดลอง (Minitab)

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองพบว่า การนำเครื่องมือทางสถิติของซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma) มาใช้ในแก้ไข ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการ โดยใช้หลักการ DMAIC ของ ซิกซ์ ซิกม่า และการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k มาประยุกต์ใช้กับกระบวนการผลิตตัวล้อคดงมนิรภัย สามารถวิเคราะห์อิทธิพลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต รวมถึงการวิเคราะห์หาระดับของปัจจัยที่เหมาะสม โดยผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมมินิแทป (Minitab) ทำให้ทราบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ คือ ปัจจัยทั้งหมด 3 ปัจจัยที่ทำการศึกษาได้แก่ เวลาในการฉีด (Injection time), ความเร็วในการฉีด (Injection speed) และความเร็วสกรู (Screw speed) โดยได้ค่าทำนายค่าแรงดึงในกระบวนการผลิตเท่ากับ 51.1433 N. เมื่อกำหนดค่าปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัย ได้แก่ เวลาในการฉีด (Injection time) 1.8 วินาที ความเร็วในการฉีด (Injection speed) 90 มม./วินาที และความเร็วสกรู (Screw speed) 95 มม. จากผลการวิเคราะห์ข้างต้น เมื่อนำค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวมาทำการทดลองยืนยันผล โดยทำการสุ่มตัวอย่างจำนวน 30 ตัวอย่าง พบว่า ได้ค่าเฉลี่ยของค่าแรงดึงเท่ากับ 51.48 N. เมื่อเทียบค่าแรงดึงจากเดิมค่าเฉลี่ยเท่ากับ 71.27 และค่าเฉลี่ยหลังการปรับปรุงมีค่าต่ำกว่าก่อนการปรับปรุง 19.79 N. คิดเป็นร้อยละ 27.76

ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงสามารถใช้เป็นแนวทางการปรับปรุงและควบคุมค่าแรงดึงของกระบวนการผลิตตัวล้อคดงมนิรภัย รวมถึงการกำหนดค่าการออกแบบการตั้งค่าเครื่องจักรที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มกำลังการผลิตให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการที่เพิ่มขึ้น และลดการร้องเรียนของลูกค้า

5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางการแก้ไข

- ผู้วิจัยไม่มีความรู้ความชำนาญเกี่ยวกับหลักการทางด้านการออกแบบการทดลอง และหลักการทำงานของเครื่องฉีดพลาสติกอย่างแท้จริง จึงทำการแก้ไขโดยการศึกษาหาความรู้เพิ่มเติมจากหนังสือ อินเทอร์เน็ต และผู้เชี่ยวชาญ

- ผู้วิจัยไม่มีความชำนาญในการใช้โปรแกรมมินิแทป (Minitab) ที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง จึงทำให้ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์อาจมีความไม่ครอบคลุมและข้อผิดพลาดได้ จึงทำการแก้ไขโดยการศึกษาหาความรู้เพิ่มเติมจากหนังสือ อินเทอร์เน็ต และผู้เชี่ยวชาญ

- ผู้วิจัยไม่มีความชำนาญในการการวิเคราะห์ระบบการวัด Destructive Testing Measurement Systems Analysis (MSA) ที่ใช้ในการวิเคราะห์ระบบการวัด จึงทำให้ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์อาจมีความไม่ครอบคลุมและข้อผิดพลาดได้ จึงทำการแก้ไขโดยการศึกษาหาความรู้เพิ่มเติมจากหนังสือ อินเทอร์เน็ต และผู้เชี่ยวชาญ

5.3 ข้อเสนอแนะ

สำหรับการนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองไปปรับใช้ในกระบวนการผลิตจริงอาจมีความคลาดเคลื่อนกับผลลัพธ์ที่ควรเป็น ซึ่งอาจเนื่องมาจากปัจจัยรบกวนอื่น ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิต เช่น อุณหภูมิของอากาศภายนอกที่มีผลต่อการขึ้นรูปชิ้นงาน คุณภาพของ เม็ดพลาสติก และความคลาดเคลื่อนจากการทำงานของเครื่องฉีดพลาสติก เป็นต้น ซึ่งสาเหตุต่าง ๆ เหล่านี้อาจส่งผลทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์ในการทดลองได้รวมถึงสาเหตุจากการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องฉีดพลาสติกตามความเคยชินหรือจากประสบการณ์ของพนักงาน ดังนั้นจึงควรกำหนดเป็นขั้นตอนมาตรฐานในการปฏิบัติงานและจัดทำระบบควบคุมการทำงาน เพื่อให้ ผลการปรับปรุงมีความยั่งยืนและต่อเนื่อง

บรรณานุกรม

บริษัท ซี.ซี.ที กรุ๊ป (1997) จำกัด : ความรู้เกี่ยวกับเครื่องฉีดพลาสติกและงานฉีดพลาสติก.2560,

<https://www.cctgroup.co.th>

la Plastic :การทำงานของเครื่องฉีดพลาสติก

<https://www.laplastic.biz/operationinjection.html>

เกศินี โกศลเมธี : การเตรียมยางและสมบัติเชิงกลของยางคอมโพสิตเตรียมจากยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกผสมเส้นใยปอกระเจา , สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัย สงขลานครินทร์ , 2552.

ธีระพงษ์ ทับพร และ เอกพล ทับพร : การวิเคราะห์ระบบการวัดสำหรับป้องกันความผิดพลาดการตรวจชิ้นงานวาล์วลม กรณีศึกษา : บริษัทวีร์รับเบอร์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด

สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยธนบุรี

ปาพจน์ี ปาลกะวงศ์ ณ อยุธยา : การออกแบบการทดลองเพื่อลดของเสียในกระบวนการฉีดพลาสติกของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์

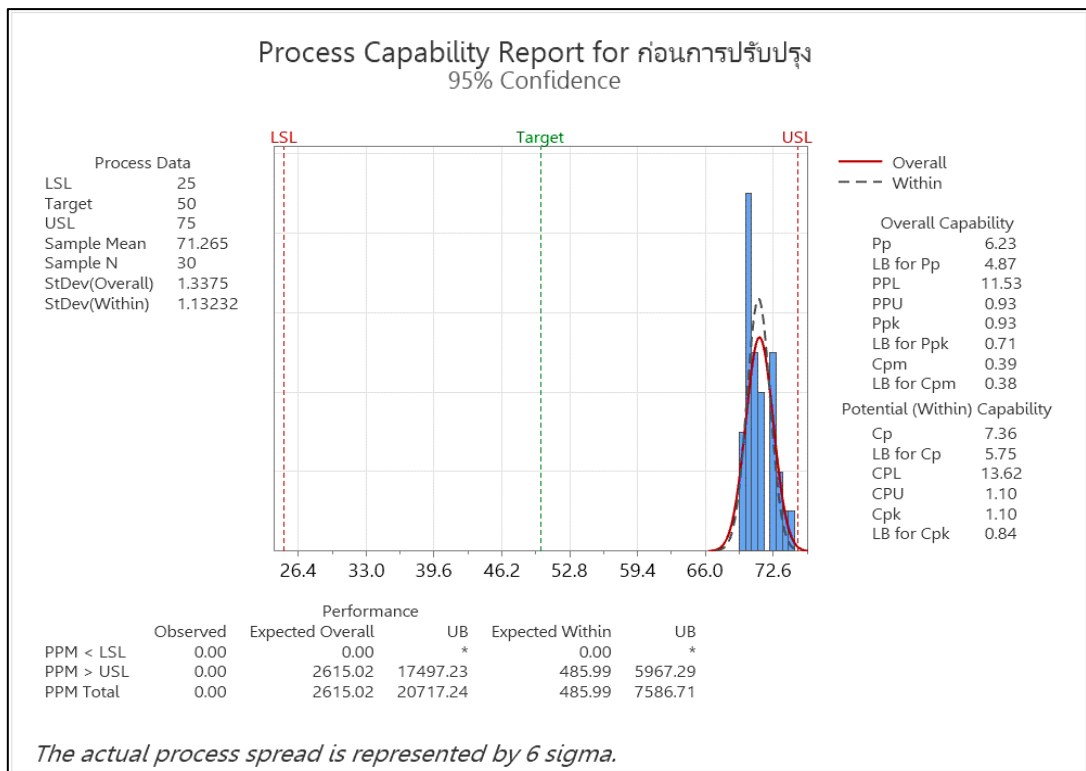
เรืองลักษณ์ บุตรเพชร, จุฑาวรรณ อันสุวรรณ และชิตาเดี่ยว มยุรีสุวรรณค์ : เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 ชนิด : สาขาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ , มหาวิทยาลัยขอนแก่น , 2557.

ธนกฤต แซ่เซ่ง : การลดของเสียในกระบวนการฉีดพลาสติก กรณีศึกษา : ของเสียประเภทจุดดำ , วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการทางวิศวกรรม , มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต , 2557.

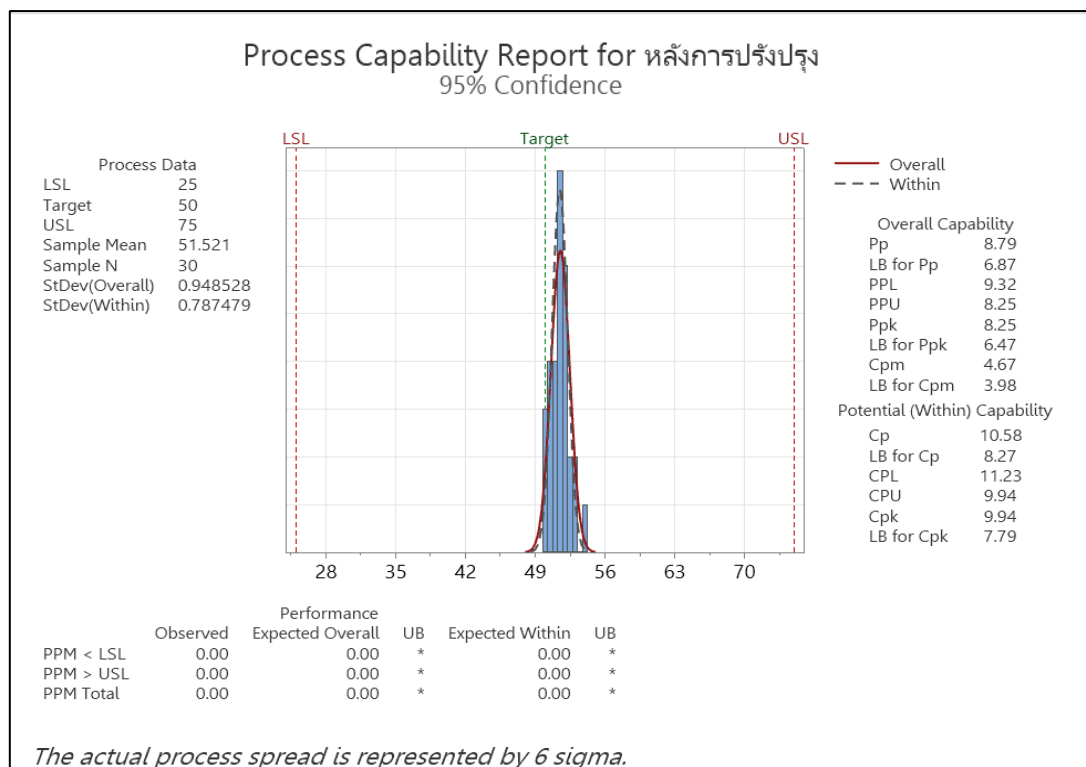
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การเปรียบเทียบผลก่อนและหลังการปรับปรุง



ภาพที่ ก.1 การเปรียบเทียบผลการดำเนินงานก่อนการปรับปรุง



ภาพที่ ก.2 การเปรียบเทียบผลการดำเนินงานหลังการปรับปรุง

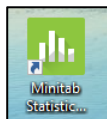
ภาคผนวก ข.

การใช้โปรแกรมมินิแทป (Minitab Statistical Software)

ข. การใช้โปรแกรมมินิแทป (Minitab Statistical Software) ในการออกแบบการทดลอง

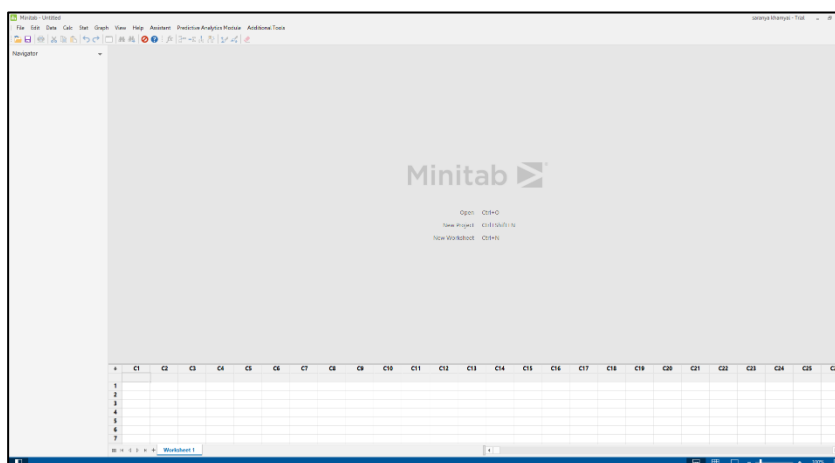
1. การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment : DOE) โดยใช้หลักการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k (2^k Full Factorial Design)

1.1 เข้าโปรแกรมมินิแทป (Minitab Statistical Software)



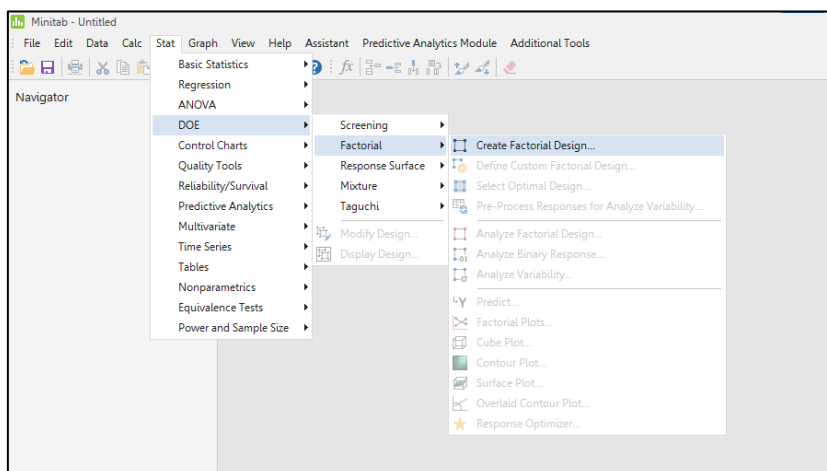
ภาพที่ ข.1 โปรแกรมมินิแทป (Minitab Statistical Software)

1.2 เมื่อเข้าสู่โปรแกรม หน้าแรกของโปรแกรมจะแสดงดังภาพที่ ข.2



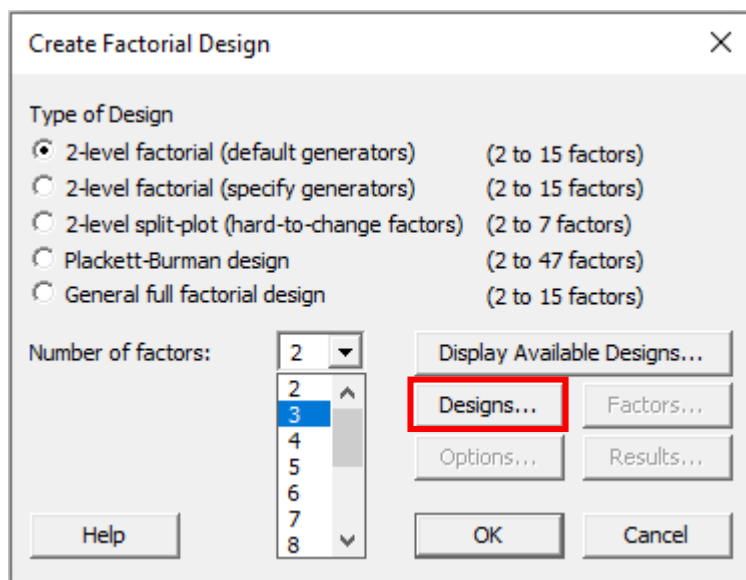
ภาพที่ ข.2 หน้าจอและส่วนประกอบของโปรแกรม (Minitab Statistical Software)

1.3 เลือกแถบเมนู Stat > DOE > Factorial > Create > Factorial Design ดังภาพที่ ข.3



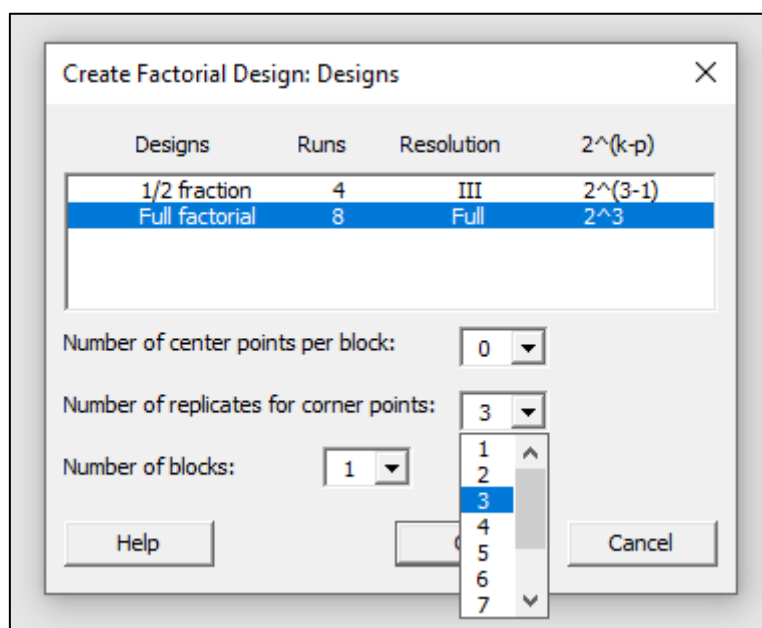
ภาพที่ ข.3 การสร้างการออกแบบการทดลอง

1.4 จะปรากฏหน้าต่างชื่อ Create Factorial Design ที่หัวข้อ Type of Design เลือก 2-level factorial (default generators) และที่หัวข้อ Number of factors ระบุจำนวนปัจจัย จากนั้นกดที่ปุ่ม Designs ดังภาพที่ ข.4



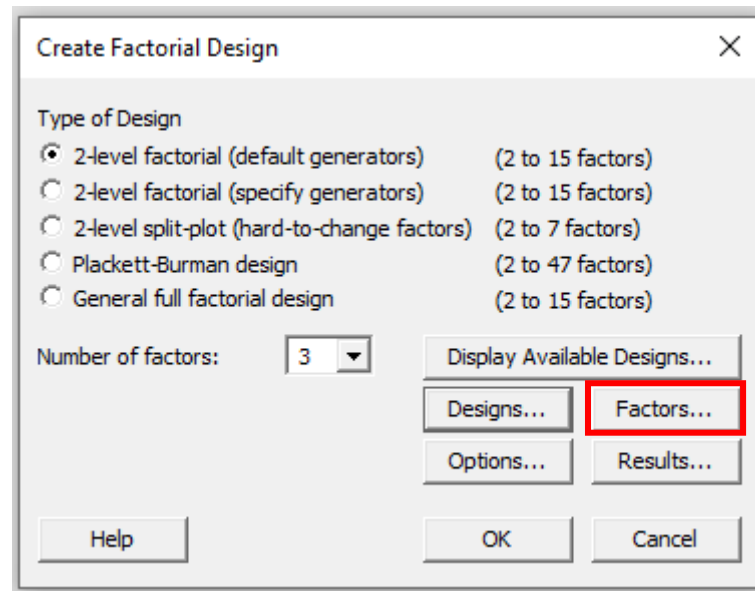
ภาพที่ ข.4 การเลือกรูปแบบของการออกแบบการทดลอง และระบุจำนวนปัจจัย

1.5 จะปรากฏหน้าต่างชื่อ Create Factorial Design – Designs เลือก full factorial และที่หัวข้อ Number of replicates for corner point ระบุจำนวน replicates จากนั้นกดปุ่ม OK



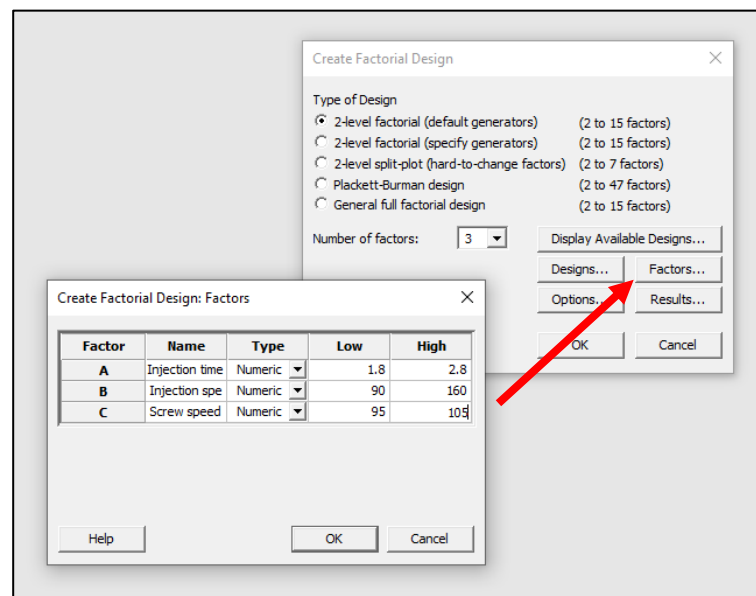
ภาพที่ ข.5 การระบุ (Replicates)

1.6 จะกลับมาปรากฏที่หน้าต่าง Create Factorial Design กดเลือกที่ปุ่ม Factors ดังภาพ
ที่ ข.6



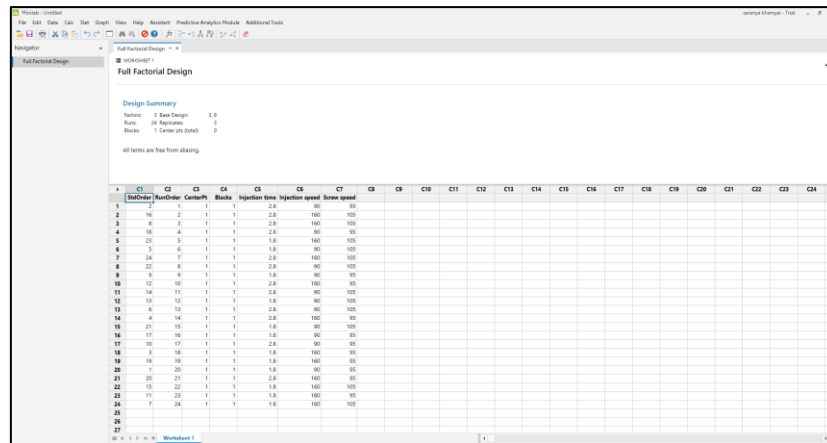
ภาพที่ ข.6 การเลือกคำสั่งในการระบุค่าปัจจัย

1.7 จะปรากฏหน้าต่างชื่อ Create Factorial Design – Factors ทำการใส่ข้อมูลที่ช่อง Name ระบุชื่อ, Type ระบุเป็น Numeric และใส่ค่าระดับของปัจจัยที่ Low กับ High จากนั้นกดปุ่ม OK ดังภาพที่ ข.7



ภาพที่ ข.7 การระบุค่าปัจจัยและใส่ค่าระดับของปัจจัยที่ Low กับ High

1.8 โปรแกรม Minitab จะทำการ Run แบบสุ่ม โดยจะปรากฏผลการออกแบบการทดลอง ดังภาพที่ ข.8

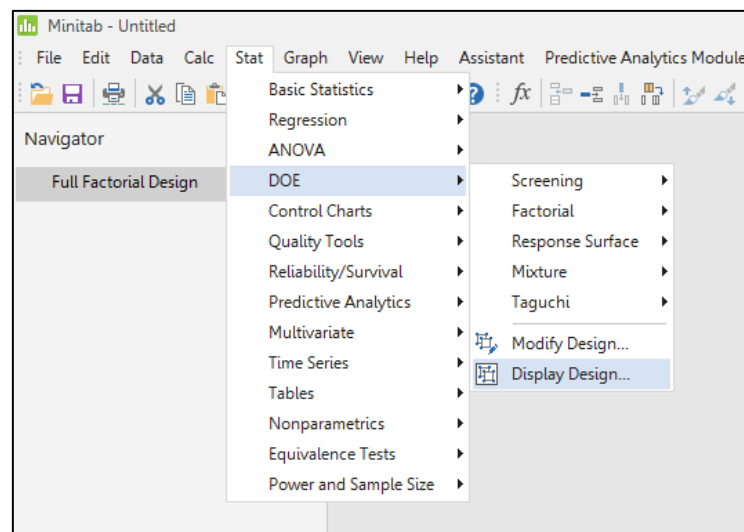


The screenshot shows the Minitab interface for a Full Factorial Design. The design is a 2k design with 2 factors and 2 levels. The design table is as follows:

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23	C24		
1	Factor 1	Factor 2	Response 1	Response 2	Response 3	Response 4	Response 5	Response 6	Response 7	Response 8	Response 9	Response 10	Response 11	Response 12	Response 13	Response 14	Response 15	Response 16	Response 17	Response 18	Response 19	Response 20	Response 21	Response 22	Response 23	Response 24
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1
20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1
21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1
23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1
24	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1
25	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1
26	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1
27	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2

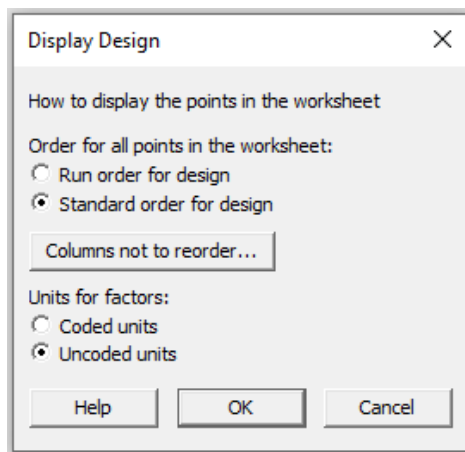
ภาพที่ ข.8 ผลการออกแบบการทดลองแบบ 2k Full Factorial Design

1.9 เลือก Stat > DOE > Display Design เพื่อจัดลำดับการทดลองดังภาพที่ ข.9



ภาพที่ ข.9 การเลือกคำสั่งในการจัดลำดับ

1.10 จะปรากฏหน้าต่างชื่อ Display Design เลือก Standard order for design และ Uncoded units ดังภาพที่ ข.10



ภาพที่ ข.10 การเลือกคำสั่งในการจัดลำดับการทดลอง (Standard order)

1.11 โปรแกรม Minitab จะทำการ Run จัดลำดับ StdOrder (Standard order) โดยจะปรากฏลำดับการทดลองเรียงจากน้อยไปมากดังภาพที่ ข.11

#	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Injection time	Injection speed	Screw speed							
1	1	17	1	1	1.0	90	95							
2	2	18	1	1	2.0	90	95							
3	3	22	1	1	1.0	160	95							
4	4	20	1	1	2.0	160	95							
5	5	13	1	1	1.0	90	105							
6	6	23	1	1	2.0	90	105							
7	7	19	1	1	1.0	160	105							
8	8	1	1	1	2.0	160	105							
9	9	7	1	1	1.0	90	95							
10	10	16	1	1	2.0	90	95							
11	11	15	1	1	1.0	160	95							
12	12	10	1	1	2.0	160	95							
13	13	21	1	1	1.0	90	105							
14	14	9	1	1	2.0	90	105							
15	15	14	1	1	1.0	160	105							
16	16	24	1	1	2.0	160	105							
17	17	4	1	1	1.0	90	95							
18	18	5	1	1	2.0	90	95							
19	19	8	1	1	1.0	160	95							
20	20	12	1	1	2.0	160	95							
21	21	11	1	1	1.0	90	105							
22	22	3	1	1	2.0	90	105							
23	23	6	1	1	1.0	160	105							
24	24	2	1	1	2.0	160	105							
25														

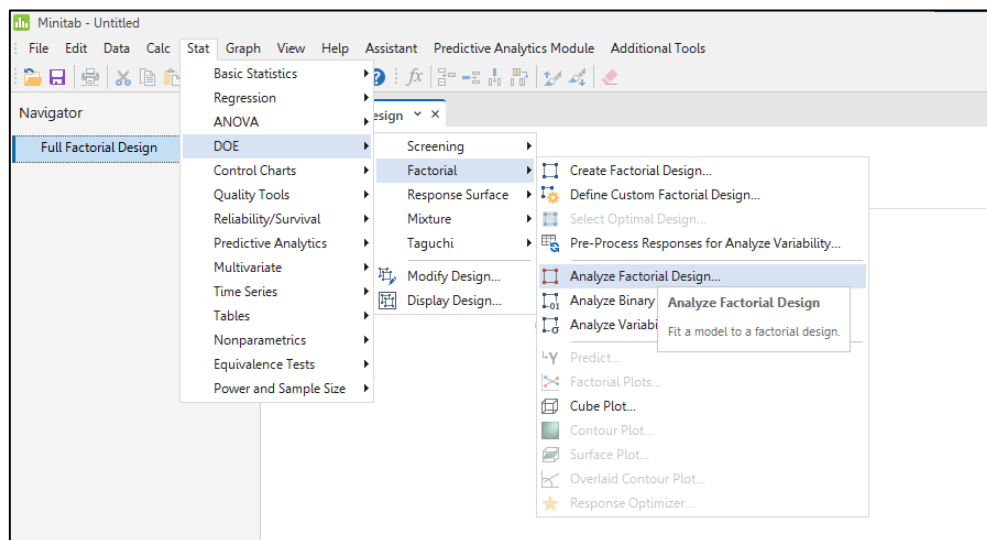
ภาพที่ ข.11 ผลการจัดลำดับการทดลอง (Standard order)

1.12 กำหนดชื่อย่อ Response และใส่ผลที่ได้จากทดลองตามลำดับดังภาพที่ ข.12

+	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Injection time	Injection speed	Screw speed	Tear Force
1	1	17	1	1	1.8	90	95	51.40
2	2	18	1	1	2.8	90	95	55.98
3	3	22	1	1	1.8	160	95	71.98
4	4	20	1	1	2.8	160	95	70.58
5	5	13	1	1	1.8	90	105	58.19
6	6	23	1	1	2.8	90	105	64.28
7	7	19	1	1	1.8	160	105	70.92
8	8	1	1	1	2.8	160	105	71.29
9	9	7	1	1	1.8	90	95	51.58
10	10	16	1	1	2.8	90	95	54.58
11	11	15	1	1	1.8	160	95	68.11
12	12	10	1	1	2.8	160	95	68.48
13	13	21	1	1	1.8	90	105	59.07
14	14	9	1	1	2.8	90	105	69.28
15	15	14	1	1	1.8	160	105	69.87
16	16	24	1	1	2.8	160	105	72.41
17	17	4	1	1	1.8	90	95	50.45
18	18	5	1	1	2.8	90	95	55.23
19	19	8	1	1	1.8	160	95	70.59
20	20	12	1	1	2.8	160	95	69.36
21	21	11	1	1	1.8	90	105	58.41
22	22	3	1	1	2.8	90	105	65.99
23	23	6	1	1	1.8	160	105	70.15
24	24	2	1	1	2.8	160	105	71.88

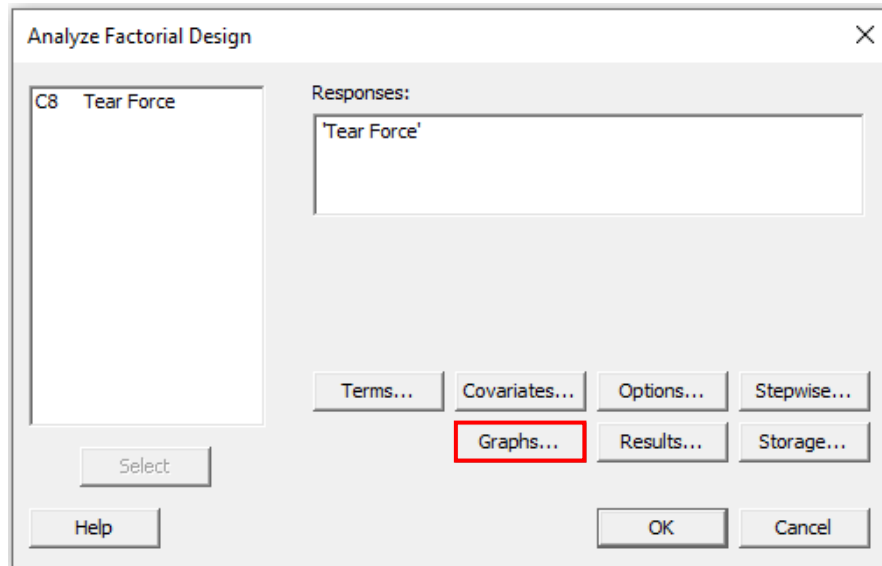
ภาพที่ ข.12 การใส่ผลการทดลอง (Response)

1.13 เลือก Stat > DOE > Factorial > Analyze Factorial Design เพื่อ วิเคราะห์ผลการทดลอง (Response) ดังภาพที่ ข.13



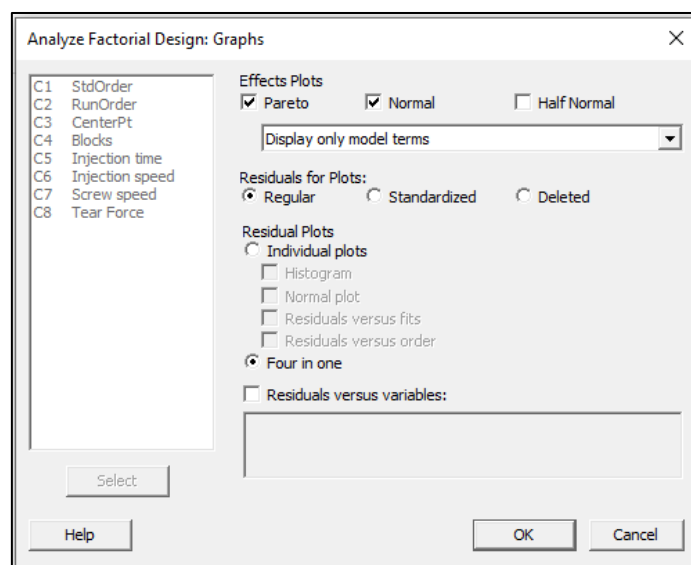
ภาพที่ ข.13 การเลือกคำสั่งในการวิเคราะห์ผลการทดลอง (Response)

1.14 จะปรากฏหน้าต่างชื่อ Analyze Factorial Design แล้วดับเบิลคลิกที่ Response ทางช่องด้านซ้าย แล้วสังเกตที่ช่องว่างด้านขวาใต้หัวข้อ Responses จะปรากฏ คำว่า Response จากนั้นกดปุ่ม Graphs ดังภาพที่ ข.14



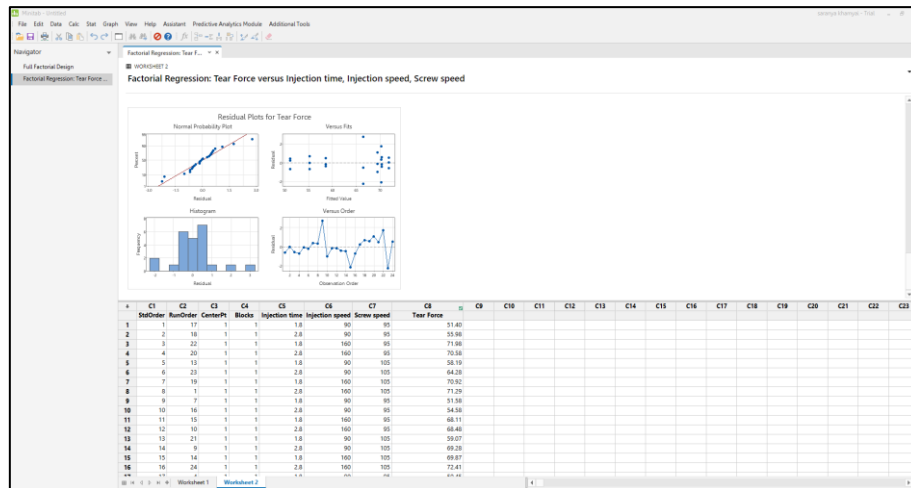
ภาพที่ ข.14 การเลือกคำสั่งในการวิเคราะห์ผลการทดลอง (Response)

1.15 จะปรากฏหน้าต่างชื่อ Analyze Factorial Design- Graphs เลือก Regular > Residuals เลือก Four in one จากนั้นกดปุ่ม OK ดังภาพที่ ข.15



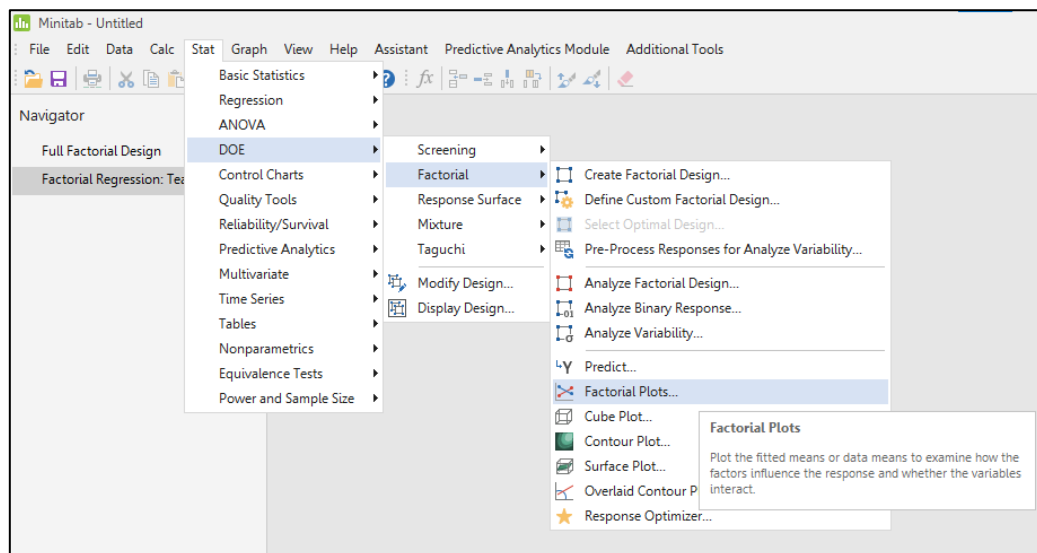
ภาพที่ ข.15 การเลือกคำสั่งตั้งกราฟ

1.16 โปรแกรมจะทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยจะปรากฏออกมาในรูปแบบ ตาราง ANOVA และกราฟ 4 แบบดังภาพที่ ข.16



ภาพที่ ข.16 ผลการวิเคราะห์ผลการทดลอง (Response)

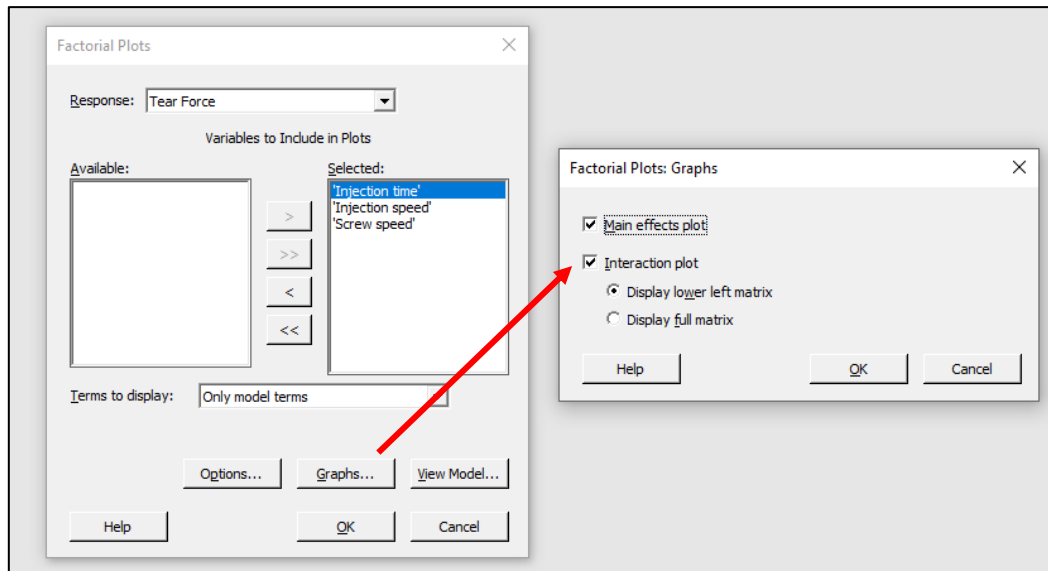
1.17 เลือก Stat > DOE > Factorial > Factorial Plots สร้างกราฟแสดง ผลกระทบร่วม (Interaction) ดังภาพที่ ข.17



ภาพที่ ข.17 การเลือกคำสั่ง (Factorial Plots)

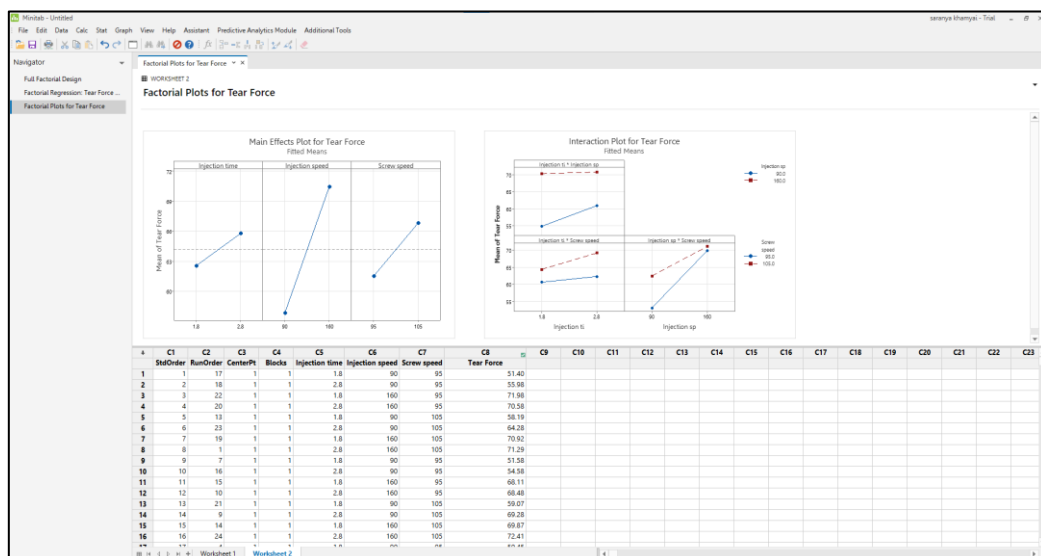
1.18 จะปรากฏหน้าต่างชื่อ Factorial Plots เลือก Graphs > Interaction Plot ดังภาพที่

ข.18



ภาพที่ ข.18 การเลือกคำสั่ง (Interaction Plot)

1.19 จะปรากฏ Interaction Plot แสดงผลกระทบร่วมดังภาพที่ ข.19

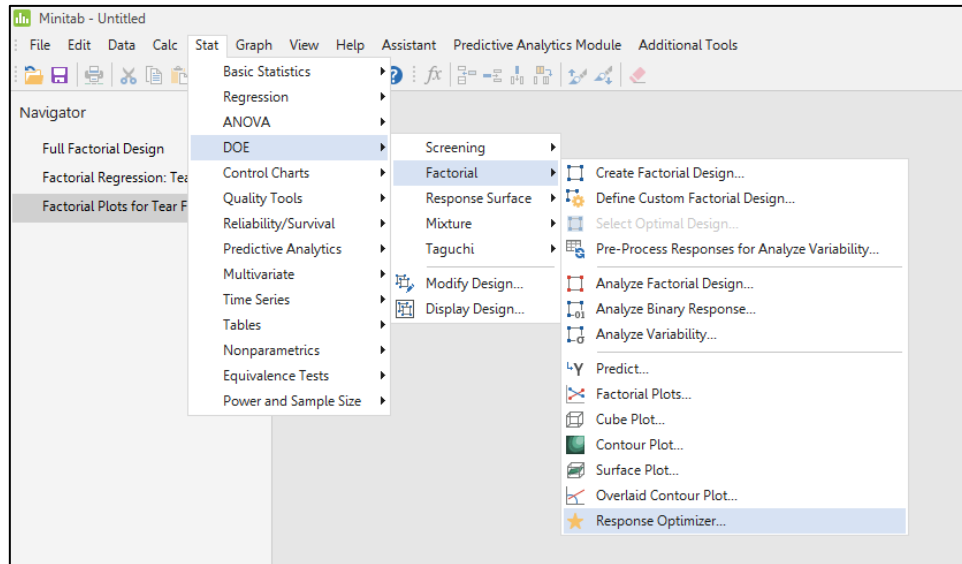


ภาพที่ ข.19 Interaction Plot

2. Response Optimization

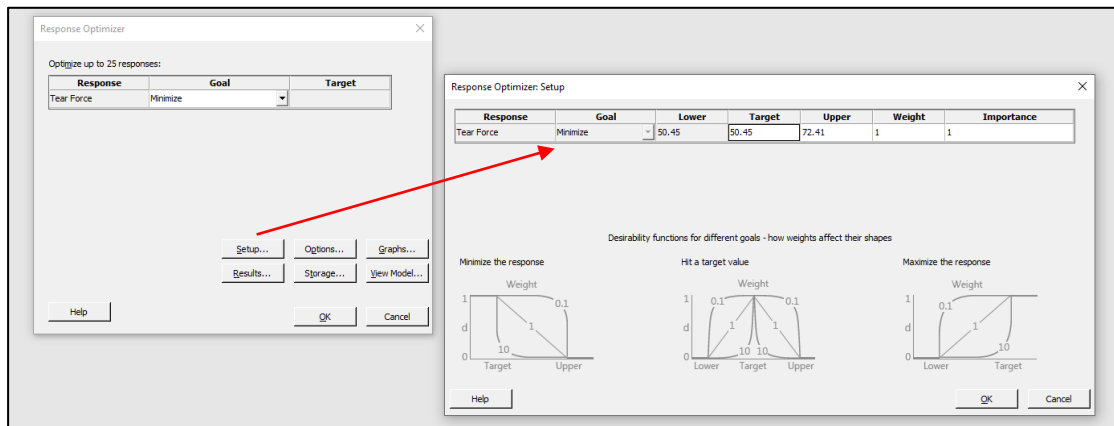
2.1 ทหารดับปัจจัยที่เหมาะสม เลือก Stat > DOE > Factorial > Response Optimizer

ดั่งภาพที่ ข.20



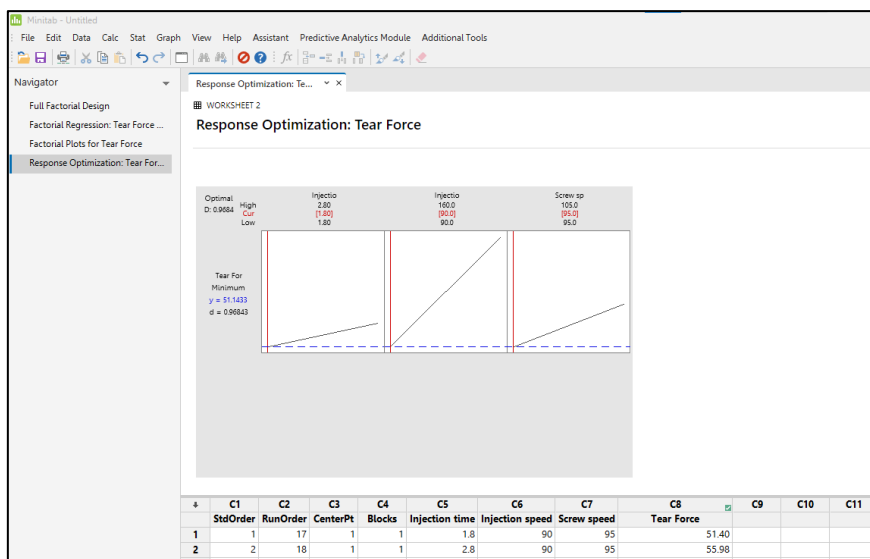
ภาพที่ ข.20 การเลือกคำสั่ง (Response Optimizer)

2.2 จะปรากฏหน้าต่างชื่อ Response Optimizer – Setup ที่หัวข้อ Goal เลือก Minimize จากนั้นกดปุ่ม OK ดั่งภาพที่ ข.21



ภาพที่ ข.21 การระบุค่า (Goal)

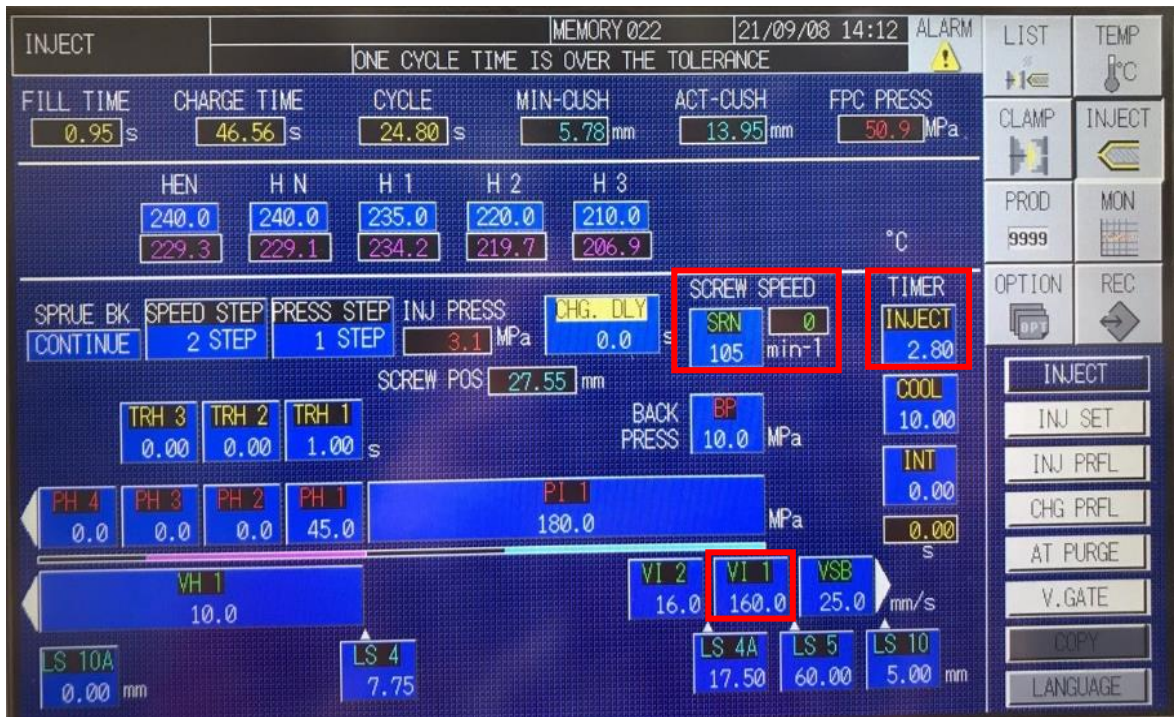
2.3 ผลของค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมจะปรากฏ โดยแสดงเป็นตัวอักษรสีแดงอยู่ในวงเล็บดัง
ภาพที่ ข.22



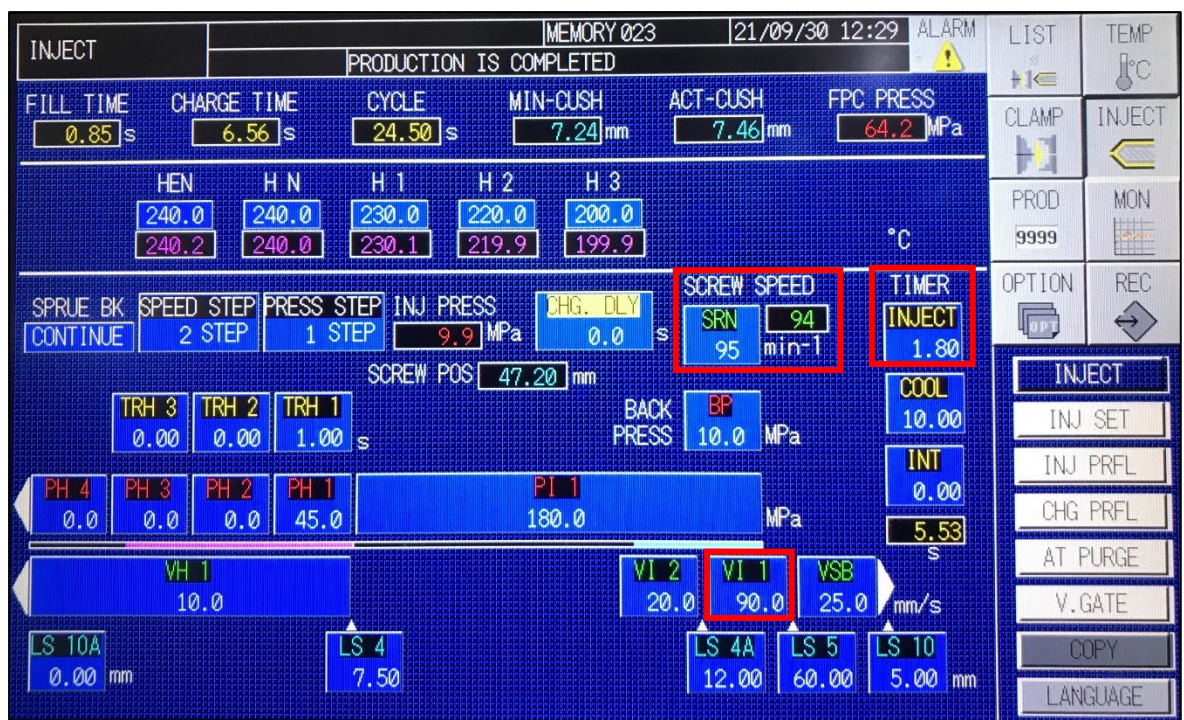
ภาพที่ ข.22 ผลของค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม

ภาคผนวก ค.

การปรับตั้งค่าเครื่องจักรก่อนการปรับปรุง – หลังการปรับปรุง



ภาพที่ ค.1 การปรับตั้งค่าเครื่องจักรก่อนการปรับปรุง



ภาพที่ ค.2 การปรับตั้งค่าเครื่องจักรหลังการปรับปรุง