



การลดของเสียในกระบวนการตีขึ้นรูปสกรู

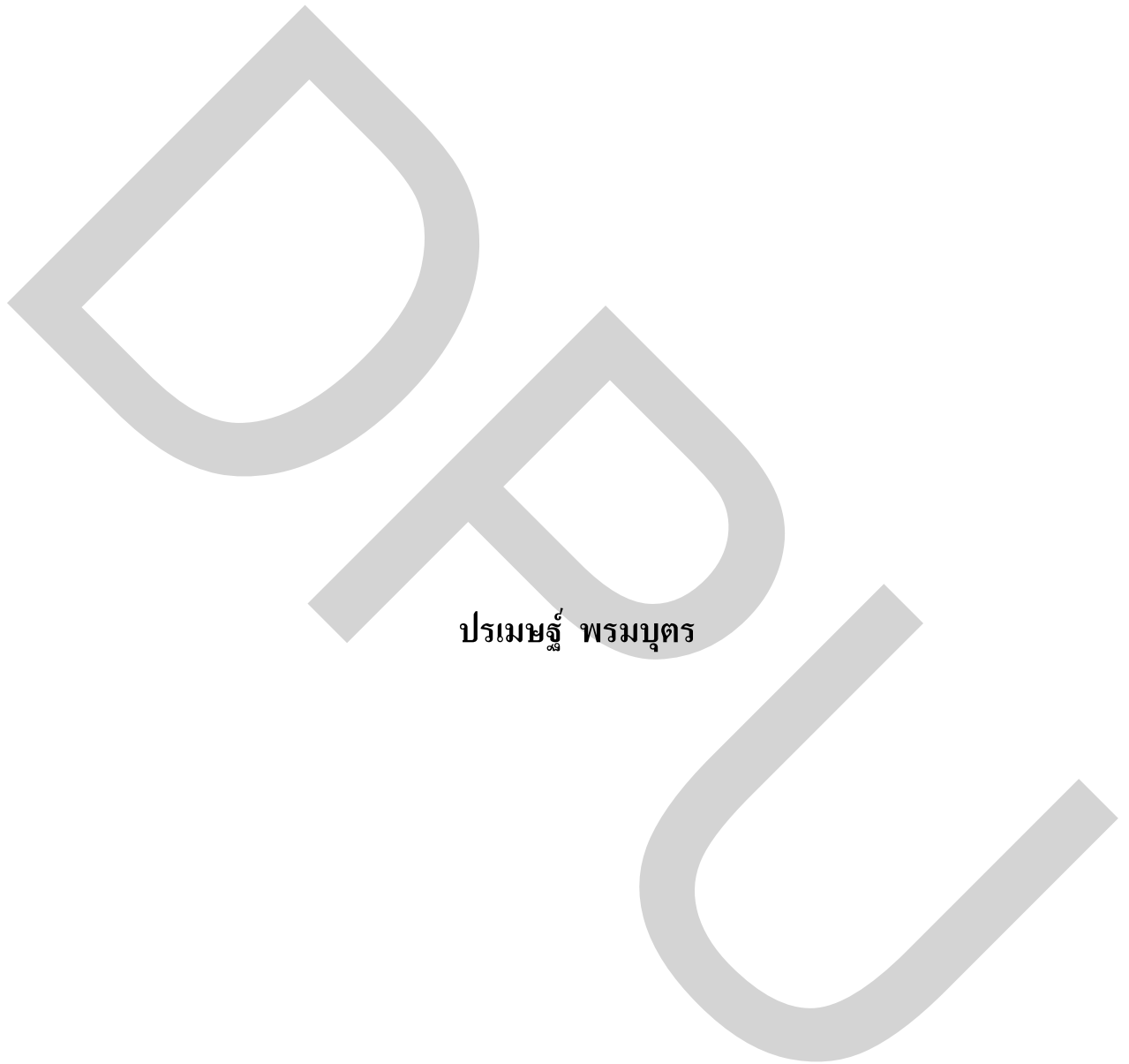
The defects reduction in the screw forming process

ปรเมษฐ์ พรมบุตร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

พ.ศ. 2553

การลดของเสียในกระบวนการตีขึ้นรูปสกรู

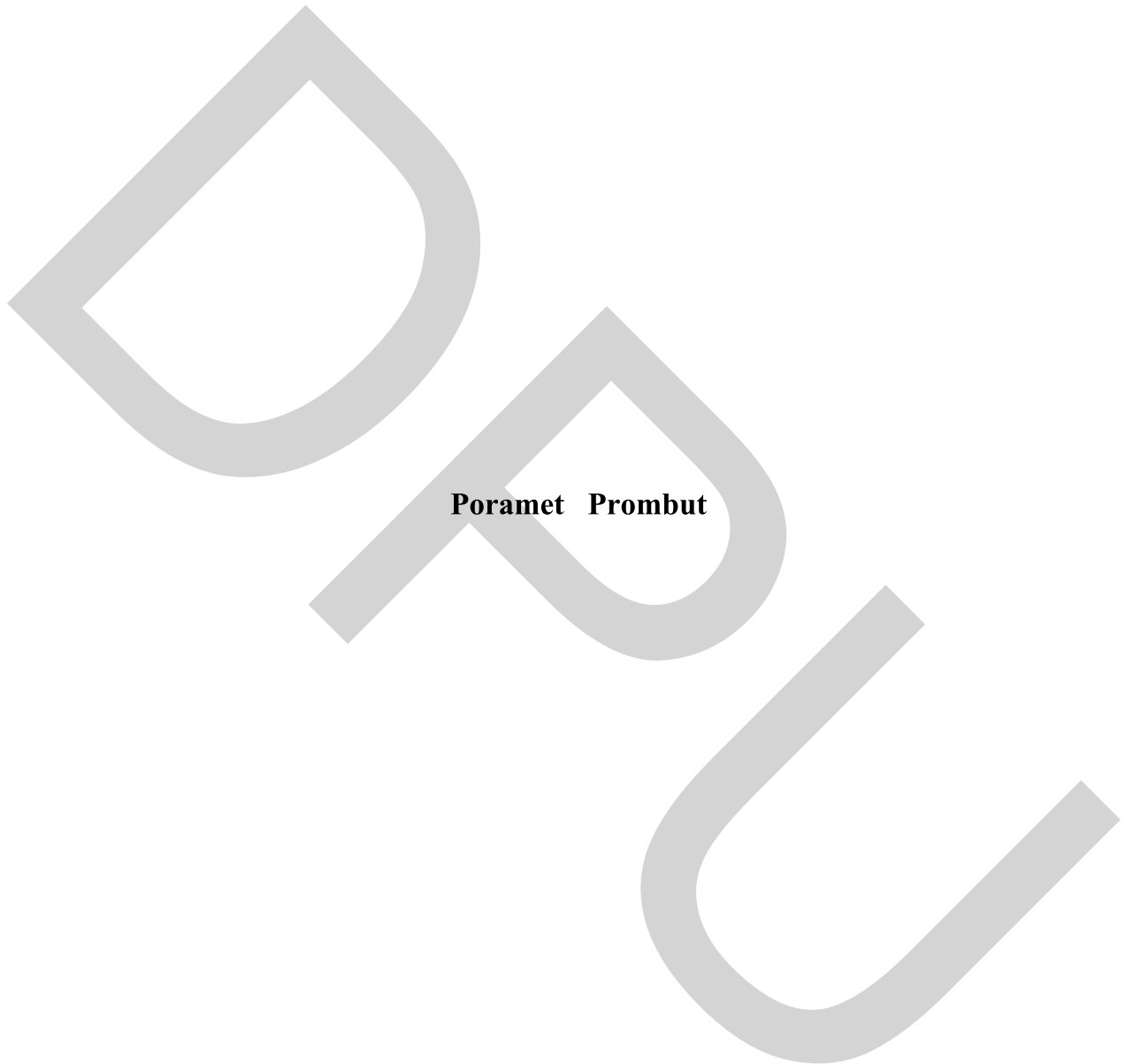


ประเมษฐ์ พรมบุตร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

พ.ศ. 2553

The defects reduction in the screw forming process



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Engineering Management

Graduate School, Dhurakij Pundit University

2010

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ ด้วยความกรุณาของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภรัชชัย วรรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ที่ให้คำปรึกษาและแนะแนวทางในการดำเนินงานวิจัยตั้งแต่เริ่มแรก จนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี รวมถึงคำแนะนำเพื่อแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ จากคณะกรรมการ เพื่อให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ผู้เขียนกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ผู้ทำวิจัยขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่าน ผู้ที่ให้ข้อมูล และคำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ หน่วยงานที่เป็นกรณีศึกษา และพนักงานทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในการให้ข้อมูลที่จำเป็นในการวิจัยครั้งนี้ ประโยชน์อันเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้ทำวิจัยขอมอบให้แก่บิดา มารดา และผู้ให้การสนับสนุนทุกท่าน หากมีข้อบกพร่องประการใด ผู้ทำวิจัยขอน้อมรับไว้แต่เพียงผู้เดียว

ปรเมษฐ์ พรมบุตร

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ฅ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญภาพ	ฌ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	5
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	5
1.4 คำนิยาม	6
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	7
2.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย	37
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	39
3. ระเบียบวิธีวิจัย	42
3.1 วิธีการวิจัยและการทดลอง	40
3.2 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล	41
3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล	42
4. ผลการวิจัย	45
4.1 การระบุปัญหา	45
4.2 ขั้นตอนในการเลือกปัจจัย	45
4.3 การศึกษาและวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาหลัก	46
4.4 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องของผลกระทบ (FMEA)	47
4.5 การออกแบบการทดลอง	49
4.6 การวิเคราะห์ผลจากการออกแบบการทดลอง	54

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.7 การเปรียบเทียบผลก่อนและหลังการดำเนินงาน	65
4.8 สรุปผลการทดลอง.....	67
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	68
5.1 สรุปผลการวิจัย	68
5.2 ข้อเสนอแนะ	69
บรรณานุกรม	71
ภาคผนวก	74
ภาคผนวก ก. ข้อมูลหน่วยงาน	75
ภาคผนวก ข. รายงานสรุปจำนวนชิ้นงานเสียจากกระบวนการผลิตสกรู	84
ภาคผนวก ค. ตัวอย่างใบสั่งซื้อ/ราคาขายเหล็กกลวดคาร์บอนต่ำชนิด SWRCH 22A	87
ภาคผนวก ง. เกณฑ์การให้คะแนน S, O, D.....	89
ภาคผนวก จ. มาตรฐาน JIS G3539	93
ภาคผนวก ฉ. การออกแบบการทดลองโดยโปรแกรมสำเร็จรูป Minitab	103
ภาคผนวก ช. การวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยฟังก์ชัน One way ANOVA	109
ประวัติผู้เขียน	115

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ข้อมูลยอดผลิตและชิ้นงานเสียในช่วงเดือนมกราคม 2549 ถึงเดือนธันวาคม 2549	2
1.2 มูลค่าของชิ้นงานเสียจากกระบวนการผลิตสกรู ตั้งแต่เดือนมกราคม 2549 ถึงเดือนธันวาคม 2549	3
1.3 จำนวนของเสียแต่ละปัญหา ตั้งแต่เดือนมกราคม 2549 ถึงเดือนธันวาคม 2549	4
2.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัย 2 ปัจจัย (ANOVA TABLE)	19
2.2 ตารางการใช้งานของเหล็กกล้าคาร์บอน	28
2.3 แสดงส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำชนิด SWRCH 22A (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	34
4.1 จำนวนเครื่องจักรที่เสนอการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) อันเนื่องมาจากปัญหาหัวสกรูแตกร้าว	48
4.2 จำนวนงานเสียที่ระดับค่าความแข็ง 140 HV ที่ความเร็วรอบ 0.5 Sec.	50
4.3 จำนวนงานเสียที่ระดับค่าความแข็ง 160 HV ที่ความเร็วรอบ 0.5 Sec.	51
4.4 จำนวนงานเสียที่ระดับค่าความแข็ง 175 HV ที่ความเร็วรอบ 0.5 Sec.	51
4.5 จำนวนงานเสียที่ระดับค่าความแข็ง 140 HV ที่ความเร็วรอบ 0.75 Sec.	52
4.6 จำนวนงานเสียที่ระดับค่าความแข็ง 160 HV ที่ความเร็วรอบ 0.75 Sec.	52
4.7 จำนวนงานเสียที่ระดับค่าความแข็ง 175 HV ที่ความเร็วรอบ 0.75 Sec.	53
4.8 สรุปจำนวนชิ้นงานเสียจากการผลิตสกรูภายใต้การทดสอบที่ตัวแปรสถานะต่างๆ	53
4.9 ผลการทดลองจากการออกแบบการทดลอง	54
4.10 การประเมินผลหาความมีนัยสำคัญของปัจจัยจากโปรแกรม Minitab	57
4.11 ข้อมูลปริมาณของเสียที่ได้จากการออกแบบการทดลองจาก 2 ปัจจัย	59
4.12 แสดงค่า β ที่ได้จากการเปิดตารางค่า V	59
4.13 การทดสอบทางสถิติด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)	62
4.14 แสดงสถานะการผลิตในปัจจุบันและสถานะการผลิตแบบใหม่	65
4.15 แสดงรายละเอียดผลจากการผลิตเมื่อนำค่าปัจจัยใหม่ไปใช้ในกระบวนการผลิต	66

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 แผนภูมิพาเรโตมูลค่าชิ้นงานเสียหายจากระบวนการผลิตสกรู ตั้งแต่เดือนมกราคม 2549 ถึงเดือนธันวาคม 2549	3
1.2 แผนภูมิพาเรโตปัญหาหางานเสียหายจากระบวนการผลิตสกรู ตั้งแต่เดือนมกราคม 2549 ถึงเดือนธันวาคม 2549	4
1.3 ลักษณะการแตกร้าวของหัวสกรูจากกระบวนการขึ้นรูป	5
2.1 แสดงถึงรูปแบบของกระบวนการหรือระบบ	8
2.2 แสดงอิทธิพลของปัจจัยร่วม (Interaction)	10
2.3 แสดงกราฟที่ไม่มีอิทธิพลของปัจจัยร่วม (Interaction)	23
2.4 แสดงการหาปัจจัยที่มีความสำคัญ (Important Effect)	24
2.5 แสดงสมบัติทางกลต่างๆ ของเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอนต่างๆ	29
2.6 แสดงตารางการทดสอบค่าความแข็ง	31
2.7 แสดงขั้นตอนทดสอบแรงดึงแบบแผ่นและแบบแท่ง	32
2.8 แม่พิมพ์ขึ้นรูปหลักจากการติดตั้ง.....	35
2.9 ฟังแสดงการไหลของกระบวนการผลิตสกรู	35
2.10 แสดงเตาชุบแข็ง.....	36
2.11 แสดงสกรูหลังจากผ่านกระบวนการชุบสี.....	37
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	42
4.1 แสดงแผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)	46
4.2 Residual Plots for NG	56
4.3 Operating Characteristic Curves for the Fixed Effects Model Analysis of Variance .	60
4.4 แสดงถึงความเป็นปกติของข้อมูลและความมีนัยสำคัญทางสถิติ.....	63
4.5 กราฟ Individual Value Plot แสดงปริมาณของเสียในแต่ละค่าปัจจัยแตกต่างกัน	64
4.6 กราฟ Boxplot สำหรับค่าความแข็ง 175 HV แสดงว่ามีหนึ่งข้อมูลที่อยู่ห่างจากกลุ่ม (outlier) ซึ่งแสดงด้วยสัญลักษณ์ * แสดงถึงมีปริมาณของเสียมากที่สุด.....	64
4.7 กราฟแท่งเปรียบเทียบการลดลงของข้อบกพร่องผลิตภัณฑ์.....	66

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การลดของเสียในกระบวนการตีขึ้นรูปสกรู
ชื่อผู้เขียน	ปรเมษฐ์ พรมบุตร
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภรัชชัย วรรัตน์
สาขาวิชา	การจัดการทางวิศวกรรม
ปีการศึกษา	2553

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตสกรู โดยหลักการออกแบบการทดลอง ด้วยการวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่มีผลต่อข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ประเภทสกรูหัวแตรกร้าว ซึ่งเกิดจากค่าความแข็งของวัตถุดิบเหล็กคาร์บอนต่ำ SWRCH 22A ไม่เหมาะสมในกระบวนการขึ้นรูปสกรู โดยการออกแบบการทดลองเพื่อหาสภาวะปัจจัยที่เหมาะสม การดำเนินงานเริ่มต้นด้วยการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ โดยผู้วิจัยเริ่มจากการศึกษา งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง แล้วจึงศึกษาข้อมูลการผลิตและสภาพการผลิตจริง เพื่อรวบรวมปัจจัยที่เกี่ยวข้อง หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์หาสาเหตุ โดยใช้แผนภูมิแก๊งปลาในการระดมสมองเพื่อหาสาเหตุของ ปัญหาแล้วนำปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อลักษณะข้อบกพร่องมาวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องของ ผลกระทบ (FMEA) เพื่อนำปัจจัยที่มีลำดับความสำคัญที่ได้มาทำการออกแบบการทดลองเพื่อ ทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยเหล่านี้ โดยวิธีการออกแบบการทดลองแบบ Factorial Design จากผลการออกแบบการทดลองพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ คือ ค่าความแข็ง (Hardness) ของวัตถุดิบซึ่งพบว่ามีนัยสำคัญต่อการเกิดของเสีย จากนั้นได้ทำการตรวจสอบข้อมูล เพื่อหาค่าความแข็งที่เหมาะสมเพื่อใช้สำหรับการผลิตงานสกรู พบว่า ค่าความแข็งเท่ากับ 140 HV เมื่อนำมาผลิตทำให้ปริมาณสกรูหัวแตรกร้าวลดลง ส่งผลให้ข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ลดลงและ พบว่าความเร็วรอบ (Cycle Time) ที่ 0.5 วินาทีและ 0.75 วินาที ไม่มีนัยสำคัญ ซึ่งหมายความว่าไม่มี ผลต่อการเกิดลักษณะบกพร่องของผลิตภัณฑ์ ผู้วิจัยจึงได้กำหนดสภาวะการควบคุมการผลิตแบบ ใหม่ของค่าความแข็งของเหล็กคาร์บอนต่ำ SWRCH 22A ที่ใช้ผลิตสกรูที่มีค่าความแข็งเท่ากับ 140 HV เป็นค่ามาตรฐานในการจัดซื้อและควบคุมคุณภาพกับผู้ผลิตหรือผู้จำหน่าย และเมื่อทำการติดตามผล การผลิตจริงเมื่อเปลี่ยนแปลงสภาวะการผลิตแบบใหม่ พบว่าของเสียที่เกิดจากปัญหาสกรูหัว แตรกร้าวตั้งแต่เดือนมกราคม 2549 ถึงเดือนธันวาคม 2550 ลดลงจาก 1.61 % เหลือเพียง 0.39% มูลค่า ความเสียหายของวัตถุดิบลดลงจากเดิม 87,200 บาทต่อปี เหลือเพียง 16,400 บาทต่อปี

Thesis Title	The defects reduction in the screw forming process
Author	Poramet Prombut
Thesis Advisor	Asst. Prof Dr. Supharatchai Vorarat
Department	Engineering Management
Academic Year	2010

ABSTRACT

This research was a study in order to reduce defects in screw forging process by the principle of experimental design with the analysis of factors that affect product defects under category of broken screw heads resulted from hardness value of low carbon steel of SWRCH 22A which was unsuitable for screw forging. The experimental design was therefore produced in order to find out suitable factors. The execution started by the studying of factors that affect product defects. The researcher began with the studying on relevant researches and studied production data and actual production condition in order to collect all related factors, and then conducted the analysis in order to search for causes by using fishbone diagram in brainstorming and searching for causes of the problem. The Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) were later conducted in order to use significant factors to design the experiment so that the test on significances of these factors can be performed by using the method of experimental design in type of factorial design. From the result of experimental design, it was found that factor affecting product defects was hardness of raw material in which it was significant for the formation of defects. After that, data verification was conducted in order to find suitable hardness value for use in producing screws. It was found that at hardness value of 140 HV when producing screws, the problem of broken heads was reduced, resulting in the defect reduction as well; and there was no significance with cycle time at 0.5 second and 0.75 second. It is meant that such cycle time did not affect product defects. The researcher therefore determined new production control condition of low hardness value carbon steel of SWRCH 22A that was used in producing screws, at the value of 140 HV as the standard value when procuring and controlling quality with the manufacturer or seller. When following up on the actual production after replacing with new production condition, it was found that defects resulted from broken screw heads from January 2006 to December 2007, were reduced from 1.61 % to only 0.39%; damage value of raw material was also reduced from 87,200 Baht per year to only 16,400 Baht per year.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

จากสภาพปัจจุบันบริษัท ก้าวหลิน (ไทยแลนด์) จำกัด (ภาคผนวก ก) ประสบปัญหาในด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์สกรูและของเสียดังกล่าวที่เกิดขึ้นจากกระบวนการขึ้นรูปสกรูที่มีปริมาณสูง ซึ่งปริมาณของเสียดังกล่าวนี้มีผลกระทบเป็นอย่างมากในกระบวนการผลิต และการควบคุมคุณภาพทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในส่วนของการผลิตที่ใช้ผลิตรวมถึงการสูญเสียเวลาในการคัดแยกระหว่างชิ้นงานดีและงานเสีย ที่สำคัญอาจส่งผลกระทบต่อความเชื่อมั่นในด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ อาจทำให้บริษัทเสียลูกค้าให้กับคู่แข่งได้ในที่สุด ในการระบุปัญหาในการทำโครงการวิจัยครั้งนี้ ผู้ทำการวิจัยจะพิจารณาถึงผลกระทบต่อองค์กรและต้นทุนการผลิตที่เกิดขึ้นเป็นหลัก ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นจากผลิตสกรูคือ สกรูหัวแตกร้าว, เกลียวสกรูล้ม, สกรูปน, เกลียวสกรูไหม้, หัวสกรูเสียดรูป, สกรูหัวเป็นรอย, สกรูหัวเล็ก, สกรูหัวใหญ่, งานเสียจากการตั้งเครื่อง ซึ่งข้อบกพร่องทั้ง 9 ประการที่กล่าวมานั้น เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นเป็นปริมาณสูงตามลำดับ

จากเหตุผลดังกล่าวทำให้บริษัทต้องทำการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์และพัฒนากระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ซึ่งแต่ละปัญหาที่เกิดขึ้นล้วนมีตัวแปรที่แตกต่างกัน ดังนั้นในการวิจัยการลดของเสียดังกล่าวในกระบวนการผลิตสกรูในครั้งนี้ ผู้วิจัยต้องทำการศึกษาและวิเคราะห์ถึงสาเหตุรากเหง้าของปัญหาที่เกิดขึ้นเพื่อออกแบบการทดลอง มาประยุกต์ใช้ในการศึกษาวิเคราะห์ถึงพารามิเตอร์ของกระบวนการว่าปัจจัยใดที่ส่งผลให้เกิดของเสียดังกล่าวในกระบวนการ เพื่อจะกำหนดเป็นเงื่อนไขในขั้นตอนการผลิต และจัดทำเป็นมาตรฐานเพื่อใช้ในการควบคุมการผลิตและควบคุมคุณภาพในกระบวนการผลิตสกรูต่อไปในอนาคต อย่างไรก็ตาม ปัญหาที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตสกรูในปัจจุบันยังเกิดขึ้นและยังไม่สามารถที่จะลดจำนวนลงได้ ซึ่งสาเหตุเกิดตั้งแต่ขั้นตอนกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานสกรู ซึ่งปัญหาที่พบในขั้นตอนนี้คือ ปัญหาสกรูหัวแตกร้าว, หัวสกรูเสียดรูป, สกรูหัวเป็นรอย, สกรูหัวเล็ก, สกรูหัวใหญ่ ส่วนขั้นตอนการทำเกลียวนั้นปัญหาที่พบคือ ปัญหาเกลียวล้ม, เกลียวไหม้ สำหรับปัญหาที่เกิดจากความชำนาญของช่างเทคนิคที่ไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ คือ ปัญหาชิ้นงานเสียจากการตั้งเครื่องจักรครั้งแรกก่อนผลิต และปัญหาที่เกิดจากกระบวนการเคลื่อนย้ายชิ้นงานที่ไม่มีการซีบ่งสถานะ คือ ปัญหางานปน โดยปัญหาที่เกิดขึ้นทั้งหมดที่กล่าวมานี้ต่างส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตสกรู ทำให้เกิดปริมาณของเสียเพิ่มขึ้นและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น

ดังนั้นเพื่อให้บริษัทสามารถลดต้นทุนในกระบวนการผลิตลดลง รวมถึงการรักษาความเชื่อมั่นด้านคุณภาพให้ลูกค้าพึงพอใจ การลดปริมาณของเสียจากกระบวนการผลิตจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่จะทำให้ได้ผลผลิตสูงขึ้น ลดโอกาสเสี่ยงที่จะมีชิ้นงานเสียหลุดไปถึงลูกค้า อีกทั้งยังสามารถใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ได้อย่างคุ้มค่า

จากผลการดำเนินงานที่ผ่านมา ผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลในอดีตเพื่อนำมาวิเคราะห์ผล โดยสรุปข้อมูลย้อนหลัง 1 ปี ตั้งแต่เดือนมกราคม 2549 ถึงเดือนธันวาคม 2549 (ภาคผนวก ข) พบว่ามีจำนวนชิ้นงานเสียจากกระบวนการผลิตสกรูทั้งหมด 3,597 กิโลกรัม จากยอดผลิต 135,000 กิโลกรัม คิดเป็น 2.66% แสดงดังตารางที่ 1.1 หากคิดเป็นมูลค่าความเสียหายทั้งหมดเท่ากับ 143,880 บาท (ภาคผนวก ค) แสดงดังตารางที่ 1.2 และจากภาพที่ 1.1 พบว่าปัญหาที่เกิดขึ้นมากที่สุด คือ ปัญหาสกรูหัวแตกร้าวมีสูงถึง 2,180 กิโลกรัม คิดเป็น 60.61% ดังแสดงดังตารางที่ 1.3

ตารางที่ 1.1 ข้อมูลยอดผลิตและชิ้นงานเสียในช่วงเดือนมกราคม 2549 ถึงเดือนธันวาคม 2549

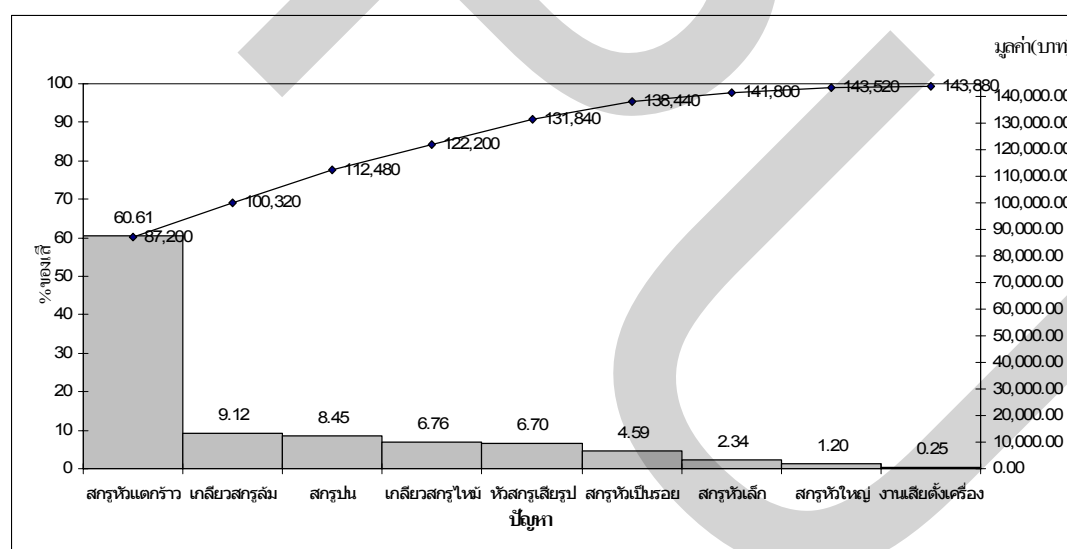
2549													
ข้อมูล	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รวม
ยอดผลิต (กก.)	14000	14000	11500	12000	13000	11500	13500	11000	8000	7500	9000	10000	135000
ของเสีย (กก.)	415	335	299	313	344	335	545	387	89	101	41	393	3597
%ของเสีย	2.96	2.39	2.60	2.61	2.65	2.91	4.03	3.52	1.11	1.35	0.45	3.93	2.66

ที่มา : บริษัท ก้าวหลิน (ไทยแลนด์) จำกัด

ตารางที่ 1.2 มูลค่าของชิ้นงานเสียหายจากกระบวนการผลิตสกรู ตั้งแต่เดือนมกราคม 2549 ถึงเดือน ธันวาคม 2549

ปัญหา	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	รวม	%	ราคาสะสม
สกรูหัวแตกร้าว	257.00	208.00	148.00	163.00	186.00	258.00	301.00	246.00	61.00	80.00	27.00	245.00	2,180.00	60.61	87200.00
เกลียวสกรูล้ม	27.00	41.00	26.00	10.00	11.00	10.00	47.00	18.00	5	4	1.00	128	328.00	9.12	100320.00
สกรูปน	62.00	10.00	62.00	78.00	48.00	2.00	20.00	8.00	21.00	0	5.00	0	304.00	8.45	112480.00
เกลียวสกรูใหม่	32.00	0	19.00	3.00	63.00	40.00	50.00	13.00	1.00	13.00	1.00	8.00	243.00	6.76	122200.00
หัวสกรูเสียรูป	15.00	25.00	24.00	40.00	30.00	9.00	32.00	65.00	1.00	0	0	0	241.00	6.70	131840.00
สกรูหัวเป็นรอย	16.00	0	12.00	11.00	1	14	94	10.00	0	2	5	0	165.00	4.59	138440.00
สกรูหัวเล็ก	7.00	40.00	3.00	6.00	0	0	0	16.00	0	0	0	12.00	84.00	2.34	141800.00
สกรูหัวใหญ่	8.00	11.00	5.00	4.00	5.00	2.00	1.00	5.00	0	2.00	0	0	43.00	1.20	143520.00
งานเสียตั้งเครื่อง	1.00	0	0	0	0	0	0	6.00	0	0	2.00	0	9.00	0.25	143880.00
รวม (กิโลกรัม)	415.00	335.00	299.00	313.00	344.00	335.00	545.00	387.00	88.00	101.00	41.00	393.00	3,597.00	100	

ที่มา : บริษัท ก้าวหลิน (ไทยแลนด์) จำกัด

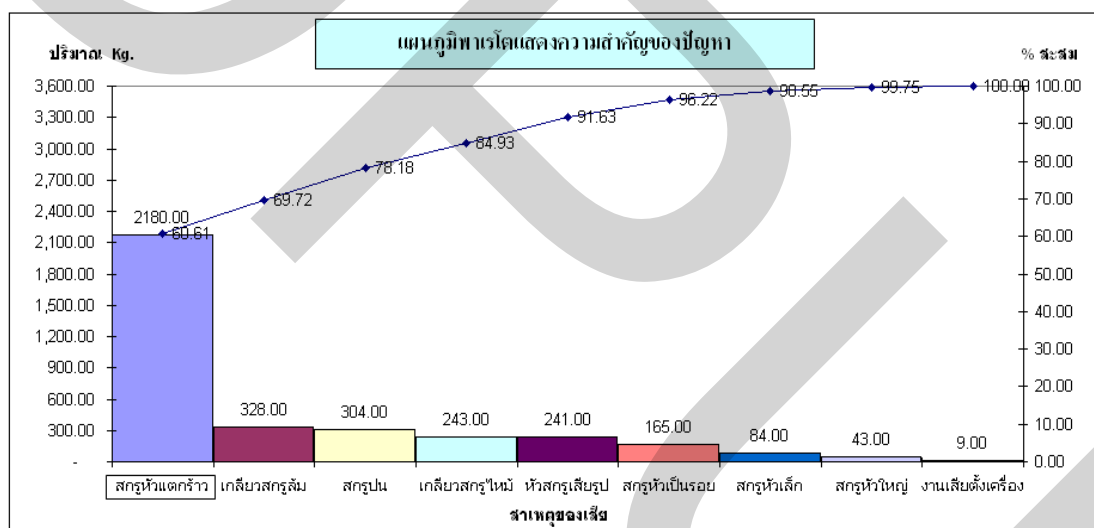


ภาพที่ 1.1 แผนภูมิพารโตมูลค่าชิ้นงานเสียหายจากกระบวนการผลิตสกรู ตั้งแต่เดือนมกราคม 2549 ถึงเดือนธันวาคม 2549

ตารางที่ 1.3 จำนวนของเสียแต่ละปัญหา ตั้งแต่เดือนมกราคม 2549 ถึงเดือนธันวาคม 2549

ปัญหา	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	รวม	% NG
สกรูหัวแตรั่ว	257.00	208.00	148.00	163.00	186.00	258.00	301.00	246.00	61.00	80.00	27.00	245.00	2,180.00	60.61
เกลียวสกรูล้อม	27.00	41.00	26.00	10.00	11.00	10.00	47.00	18.00	5	4	1.00	128	328.00	9.12
สกรูปน	52.00	10.00	62.00	76.00	48.00	2.00	20.00	8.00	21.00	0	5.00	0	304.00	8.45
เกลียวสกรูใหม่	32.00	0	19.00	3.00	63.00	40.00	50.00	13.00	1.00	13.00	1.00	8.00	243.00	6.76
หัวสกรูเสียรูป	15.00	25.00	24.00	40.00	30.00	9.00	32.00	65.00	1.00	0	0	0	241.00	6.70
สกรูหัวเป็นรอย	16.00	0	12.00	11.00	1	14	94	10.00	0	2	5	0	165.00	4.59
สกรูหัวเล็ก	7.00	40.00	3.00	6.00	0	0	0	16.00	0	0	0	12.00	84.00	2.34
สกรูหัวใหญ่	8.00	11.00	5.00	4.00	5.00	2.00	1.00	5.00	0	2.00	0	0	43.00	1.20
งานเสียดังเครื่อง	1.00	0	0	0	0	0	0	6.00	0	0	2.00	0	9.00	0.25
รวม (ก็โตกรัม)	415.00	335.00	299.00	313.00	344.00	335.00	545.00	387.00	89.00	101.00	41.00	393.00	3,597.00	100

ที่มา : บริษัท ก้าวหลิน (ไทยแลนด์) จำกัด



ภาพที่ 1.2 แผนภูมิพารโตปัญหาหางานเสียจากกระบวนการผลิตสกรู ตั้งแต่เดือนมกราคม 2549 ถึงเดือนธันวาคม 2549



ภาพที่ 1.3 ลักษณะการแตกร้าวของหัวสกรูจากกระบวนการขึ้นรูป

จากภาพที่ 1.1 แสดงให้เห็นถึงมูลค่าความเสียหายที่เกิดขึ้นจากปัญหาสกรูหัวแตกร้าวมีมูลค่าสูงถึง 87,200 บาทต่อปี หรือคิดเป็น 60.61% ของมูลค่าความเสียหายทั้งหมด โดยปัญหาที่เกิดขึ้นนั้นเป็นการผลิตสกรูโดยใช้วัตถุดิบเหล็กเกรดคาร์บอนต่ำชนิด SWRCH 22A จากภาพที่ 1.2 จะเห็นได้ว่าลักษณะข้อบกพร่องของปัญหาสกรูหัวแตกร้าวมีความสำคัญมากที่สุด เนื่องจากมีปริมาณของเสียและมูลค่าความเสียหายมากที่สุด มากกว่าปัญหาอื่นๆ โดยมีลักษณะของการแตกร้าวของหัวสกรูดังแสดงในภาพที่ 1.3

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกหัวข้อการลดของเสียในกระบวนการผลิตสกรูของบริษัท และเลือกลักษณะข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ปัญหาสกรูหัวแตกร้าว ในการทำการวิจัยเพื่อแก้ไขปัญหาในครั้งนี้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ลดจำนวนของเสียจากกระบวนการผลิตสกรู
2. ลดต้นทุนในการผลิตสกรู

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การดำเนินการวิจัย ผู้ทำการวิจัยจะศึกษาแนวทางในการลดจำนวนของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตสกรู เพื่อจะหาวิธีการที่เหมาะสมหรือหาปัจจัยที่เหมาะสมต่อกระบวนการผลิต โดยกำหนดขอบเขตของการวิจัยดังนี้

1. ผู้วิจัยศึกษากระบวนการผลิตสกรูในส่วนของกระบวนการขึ้นรูปสกรู จากการผลิตด้วยวัตถุดิบเหล็กเกรดคาร์บอนต่ำชนิด WRCH 22A เท่านั้น

2. ศึกษาและวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดลักษณะข้อบกพร่องของปัญหาสกรูหัวเตกร้าว
3. ศึกษาหาสภาวะในการควบคุมกระบวนการผลิตที่เหมาะสม โดยอาศัยการออกแบบการทดลอง

1.4 คำนิยาม

1. เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำชนิด SWRCH 22A คือ เหล็กกล้าที่มีปริมาณคาร์บอนน้อยกว่าร้อยละ 0.22
2. การออกแบบการทดลอง (Design Experiment) เป็นกระบวนการวางแผนของการทดลอง ซึ่งข้อมูลในการทดลองนั้นจะถูกระดมด้วยวิธีการทางสถิติ จนกระทั่งได้ข้อสรุปของวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ หลักการทางสถิติถูกนำมาใช้ในการออกแบบการทดลองเพื่อทำความเข้าใจในข้อมูล และสามารถหาผลสรุปออกมาได้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผลที่ได้จากการวิจัยสามารถที่จะนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ดังนี้

1. สามารถลดของเสียและลดต้นทุนจากการผลิตสกรู
2. บ่งชี้ได้ว่าตัวแปรใดบ้างที่เป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทสกรูหัวเตกร้าว
3. ปรับปรุงกระบวนการผลิตสกรูให้มีประสิทธิภาพเพื่อเพิ่มผลผลิต

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการทดลองแต่ละครั้งผู้ทดลองจำเป็นต้องเลือกแผนการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลองที่เหมาะสม เพื่อจะได้นำผลการทดลองไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งกลยุทธ์ของการทดลองนั้นมีหลายรูปแบบซึ่งแต่ละรูปแบบมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน ในบทนี้จะได้นำเสนอกลยุทธ์ในแบบต่างๆ ขั้นตอนในการออกแบบการทดลอง ตลอดจนการวิเคราะห์ข้อมูลตามหลักการทางสถิติที่จำเป็นต่อการออกแบบการทดลอง และได้อธิบายถึงแผนการทดลองในการออกแบบการทดลองในหลายรูปแบบพอสังเขป ในตอนท้ายจะเป็นการสำรวจงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 กลยุทธ์ของการทดลอง

การทดลองถูกสร้างขึ้นโดยผู้ทดลอง ซึ่งมาจากหลายสาขาอาชีพที่ต้องการค้นหาคำตอบจากกระบวนการหรือระบบที่ผู้ทดลองมีความสนใจ การทดลองในที่นี้อาจหมายถึงการทดสอบหรือชุดของการทดสอบที่คาดหมายว่าเมื่อเปลี่ยนตัวแปรป้อนข้อมูลเข้าของกระบวนการ หรือระบบจะเป็นผลให้ตัวแปรตอบสนองมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น ในงานทางด้านวิศวกรรมการทดลองมีบทบาทสำคัญในการออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ การพัฒนากรรมวิธีการผลิตของกระบวนการและการปรับปรุงกระบวนการผลิต บางกรณีอาจต้องการพัฒนากระบวนการที่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงจากแหล่งภายนอกกระบวนการจะมีผลกระทบไม่มากต่อกระบวนการ (Robust Design)

ตัวอย่างของการทดลอง เช่น ในงานวัสดุวิศวกรรมมีความสนใจที่จะศึกษาความแตกต่างของกระบวนการชุบแข็งสองกระบวนการ คือ กระบวนการชุบแข็งด้วยน้ำมันและกระบวนการชุบแข็งด้วยน้ำเกลือของโลหะผสมชนิดหนึ่ง วัตถุประสงค์ของการทดลอง คือ การหาว่าของเหลวชนิดใดให้ค่าความแข็งสูงสุดสำหรับโลหะผสมชนิดนั้น วิศวกรกำหนดจำนวนของชิ้นงานทดสอบสำหรับตัวกลางในการชุบแข็งแต่ละประเภท และทำการวัดค่าความแข็งหลังการชุบแข็งแล้วค่าเฉลี่ยของความแข็งของชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็งในของเหลวแต่ละนี้ จะช่วยทำให้ได้ของเหลวที่ดีที่สุดที่ใช้ในการชุบแข็งโลหะผสมชนิดนี้

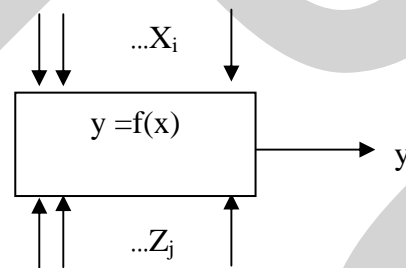
จากการทดลองที่กล่าวข้างต้นเราอาจมีคำถามที่มีความสำคัญเกิดขึ้น เช่น

- (1) มีของเหลวเพียง 2 ชนิดนี้หรือที่มีผลต่อกระบวนการชุบแข็งนี้

- (2) มีปัจจัยอื่นๆ อีกหรือไม่ที่อาจจะมีผลกระทบต่อความแข็งของโลหะผสม
- (3) จำนวนชิ้นงานเท่าไรที่ควรใช้ในการทดสอบในแต่ละของเหลว
- (4) ลำดับในการทดลองควรเป็นอย่างไร
- (5) การวิเคราะห์ข้อมูลควรใช้วิธีการอะไร
- (6) ความแตกต่างของความแข็งระหว่างการใช้ตัวกลางสองชนิดนี้ เท่าไรจึงถือว่ามีความสำคัญ

คำถามทั้งหมดข้างต้นหรือคำถามอื่นๆ จะต้องมีคำตอบที่น่าพอใจก่อนที่การทดลองจะเริ่มขึ้น นั่นคือในการวางแผนการทดลองต้องพิจารณาถึงขั้นตอนในการทำการทดลองทุกขั้นตอน และมีการเตรียมการอย่างมีระบบจึงจะทำให้การทดลองนั้นมีความน่าเชื่อถือได้

จากการทดลองการชุบแข็งข้างต้น ถ้าการทดลองการชุบในน้ำมันใช้ความร้อนค่าหนึ่ง แต่การทดลองชุบแข็งในน้ำเกลือใช้ความร้อนอีกค่าหนึ่ง เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความแข็ง วิศวกรไม่สามารถบอกได้ว่าผลการใช้ของเหลวในการชุบแข็งมีค่าความแข็งต่างกันเท่าไร และผลของการใช้ความร้อนมีค่าความแข็งต่างกันเท่าไร ดังนั้นวิธีการเก็บข้อมูลจะมีผลต่อการสรุปผลของการทดลองด้วย



Y คือ ตัวแปรตามหรือผลิตภัณฑ์

Z, X คือ ตัวแปรอิสระหรือปัจจัย

ภาพที่ 2.1 แสดงถึงรูปแบบของกระบวนการหรือระบบ

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$$

ซึ่ง μ คือ ค่าเฉลี่ย

τ_i คือ อิทธิพลที่เกิดจากปัจจัย

ϵ_{ij} คือ ความคลาดเคลื่อน

โดยทั่วไปการทดลองถูกใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการหรือระบบ (Process or System) ภาพที่ 2.1 แสดงถึงรูปแบบของกระบวนการหรือระบบ ส่วนใหญ่เราสามารถมองเห็นภาพของกระบวนการเป็นการร่วมกันของเครื่องจักร วิธีการ คน และทรัพยากรอื่นๆ เมื่อมีสิ่งป้อนเข้า (Input) ผู้กระบวนการจะถูกเปลี่ยนรูปจนออกมาได้เป็นผลลัพธ์ (Output) ซึ่งผลลัพธ์ดังกล่าวอาจมีได้ตั้งแต่หนึ่งค่าหรือมากกว่าหนึ่งค่า

จากภาพที่ 2.1 จะเห็นว่ากระบวนการยังประกอบด้วยปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors) คือ X_1, X_2, \dots, X_p และปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factors) คือ Z_1, Z_2, \dots, Z_q

ปัจจัย (Factor) ในกระบวนการผลิตสามารถแบ่งปัจจัยออกเป็น 2 ประเภท คือ

(1) ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในกระบวนการ ซึ่งเป็นผลดีต่อการทดลองเพราะโดยส่วนใหญ่ผู้ทำการทดลองต้องการกำหนดค่าต่างๆ ที่คิดว่ามีผลต่อค่าตอบสนองที่สนใจ

(2) ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่ไม่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในกระบวนการ อันเนื่องมาจากเทคโนโลยีไม่ทันสมัยพอ ต้นทุนในการควบคุมสูงมาก หรือมีความรู้ไม่เพียงพอ ฯลฯ ซึ่งอาจเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการอย่างมาก ผู้ทำการทดลองควรพยายามกำจัดปัจจัยลักษณะนี้ เพื่อให้เปลี่ยนเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้จึงจะเป็นประโยชน์ต่อการทดลอง

วัตถุประสงค์ของการทดลองอาจมีหัวข้อดังนี้

- (1) หาตัวแปรที่มีผลต่อค่าตอบสนอง y มากที่สุด
- (2) กำหนดค่า x ที่ทำให้ค่า y ใกล้เคียงค่าที่ต้องการ
- (3) กำหนดค่า x ที่ทำให้ค่า y มีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด
- (4) กำหนดค่า x ที่ทำให้ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factors) Z_1, Z_2, \dots, Z_q

มีผลน้อยมาก

กลยุทธ์ที่ใช้ในการทดลองพอสรุปได้ดังนี้

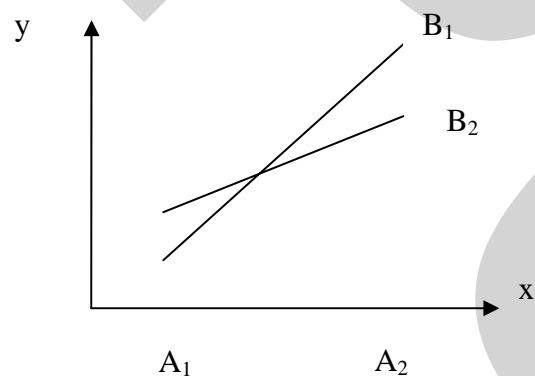
2.1.1.1 การคาดคะเนที่ดีที่สุด (Best-Guess Approach) เป็นการทดลองที่ลองปรับค่าของตัวแปรที่ควบคุมได้ตามความเชื่อหรือประสบการณ์ของผู้ทดลอง และพิจารณาค่าของตัวแปรตอบสนองที่ออกมาว่าได้ผลตามที่คาดคะเนไว้หรือไม่ การปรับค่าของตัวแปรที่ควบคุมได้ครั้งต่อไปจะพิจารณาจากผลการทดลองครั้งที่ผ่านมา แต่อย่างไรก็ตามวิธีนี้มีข้อเสียอยู่ 2 ประการ คือ

(1) การทดลองครั้งแรกจะไม่ได้ผลตอบสนองที่ต้องการ อาจต้องทำการทดลองหลายๆ ครั้งจึงจะได้ผลตอบสนองที่ต้องการ

(2) ถึงแม้การทดลองครั้งแรกจะได้ผลตอบสนองตามที่ต้องการ แต่ก็ไม่ได้ยืนยันว่าจะได้ผลตอบสนองที่ดีที่สุด

2.1.1.2 การพิจารณาครั้งละปัจจัย (One – Factor – at – a – Time) การทดลองลักษณะนี้ จะกำหนดปัจจัยที่พิจารณาก่อน และกำหนดระดับพื้นฐาน (Baseline) ของแต่ละปัจจัย การทดลอง จะทำการพิจารณาครั้งละปัจจัยโดยปัจจัยที่ถูกเลือกนั้นปรับค่าไปให้ครบทุกระดับ ขณะที่ปัจจัยอื่น กำหนดให้คงที่ ณ ระดับพื้นฐานทั้งหมด เมื่อทำการทดลองในปัจจัยแรกเสร็จก็จะเปลี่ยนไปทำการ ทดลองกับปัจจัยอื่นต่อไปจนครบทุกปัจจัยข้อเสียของวิธีการนี้ คือ อิทธิพลของปัจจัยร่วม (Interaction) จะไม่ถูกนำมาพิจารณาด้วย ซึ่งปัจจัยร่วมนี้แสดงดังภาพที่ 2.2 เมื่อปรับปัจจัย A จาก A_1 เป็น A_2 จะ ทำให้ค่า y เพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามจะขึ้นอยู่กับว่าปัจจัย B นั้นอยู่ในระดับ B_1 หรือ B_2 จะทำให้ค่า y ไม่เท่ากันจะนั้นในการทดลองจึงจำเป็นต้องพิจารณาถึงปัจจัยร่วมด้วย

2.1.1.3 การทดลองแบบแฟกทอเรียล (Factorial Design) การทดลองแบบนี้จะมีการ เปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยต่างๆ ไปพร้อมๆ กันทุกปัจจัย เช่น ปัจจัย A มีสองระดับ และปัจจัย B มีสามระดับจะทำให้ต้องมีการทำการทดลองทั้งหมด 2×3 เท่ากับ 6 ครั้ง การทดลองแบบแฟกทอเรียล จะพิจารณาถึงอิทธิพลของปัจจัยร่วม (Interaction) ด้วยซึ่งนับว่าเป็นข้อดีของวิธีนี้ การทดลองแบบ นี้ยังแบ่งย่อยเป็นการทดลองอีกหลายแบบ ดังจะได้กล่าวต่อไป



ภาพที่ 2.2 แสดงอิทธิพลของปัจจัยร่วม (Interaction)

2.1.2 การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองเป็นเครื่องมือสำคัญในระบบงานด้านวิศวกรรม สำหรับการเพิ่ม สมรรถนะของกรรมวิธีการผลิตของกระบวนการ ซึ่งมักจะทำให้เกิดการพัฒนาในกระบวนการใหม่ การประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองในการพัฒนากระบวนการสามารถพิจารณาในรูปแบบ ต่อไปนี้

- (1) การเพิ่มผลผลิตของกระบวนการ
- (2) ลดการผันแปรของกระบวนการและกระบวนการมีค่าใกล้เคียงกับเป้าหมายที่ต้องการ
- (3) ลดเวลาที่ต้องใช้ในการพัฒนา
- (4) ลดต้นทุนโดยรวมของกระบวนการ

วิธีการออกแบบการทดลองมีบทบาทอย่างมาก ในการออกแบบทางวิศวกรรมทำให้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ออกมา การประยุกต์การออกแบบการทดลองในการออกแบบทางวิศวกรรมจะรวมถึงสิ่งต่อไปนี้

- (1) การประเมินและเปรียบเทียบของพื้นฐานการออกแบบ
- (2) การประเมินทางเลือกของวัสดุ
- (3) เลือกพารามิเตอร์ของการออกแบบที่เมื่อพารามิเตอร์นั้นที่การเปลี่ยนแปลงจะไม่มีผล กระทบต่อผลิตภัณฑ์
- (4) หาพารามิเตอร์ในการออกแบบที่มีผลต่อสมรรถภาพของผลิตภัณฑ์

การใช้การออกแบบการทดลองในลักษณะนี้ สามารถส่งผลต่อผลิตภัณฑ์ คือ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีกรรมวิธีที่ง่ายกว่า มีความน่าเชื่อถือดีกว่า มีต้นทุนการผลิตต่ำกว่า และระยะเวลาในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่สั้นกว่า

2.1.4 การทดลองแบบแฟกทอเรียล (Factorial Design)

การออกแบบการทดลองเป็นกระบวนการวางแผนของการทดลองซึ่งข้อมูลในการทดลองนั้นจะถูกวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติ จนกระทั่งได้ข้อสรุปของวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้หลักการทางสถิติถูกนำมาใช้ในการออกแบบการทดลองเพื่อทำความเข้าใจในข้อมูล และหาผลสรุปออกมานั้นเอง หลักในการออกแบบการทดลองมีดังนี้

2.1.4.1 การทำซ้ำ (Replication)

การทำซ้ำ (Replication) คือ การทำการทดลองซ้ำในแต่ละข้อมูล เพื่อกำจัดผลของปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ออกไป การทำซ้ำมีความสำคัญ 2 ประการ คือ เพื่อการประมาณค่าความผิดพลาดของการทดลอง (Experimental Error) และเพื่อการประมาณค่าเฉลี่ยนั้นมีความมั่นใจมากขึ้น

2.1.4.2 การทำแบบสุ่ม (Randomization)

การทำแบบสุ่ม (Randomization) คือ การให้โอกาสในการเก็บข้อมูลของข้อมูลแต่ละตัวให้เท่ากัน เพื่อกระจายผลของปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ให้กับข้อมูลทุกระดับในการทดลองให้เท่าๆ กัน การทำแบบสุ่มสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 วิธีดังนี้

- (1) การทำแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomization)
- (2) การทำแบบสุ่มอย่างง่าย (Simple Randomization)

(3) การทำแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (Complete Randomization within Blocks)

2.1.4.3 การบล็อก (Blocking)

การบล็อก (Blocking) คือ การจัดกลุ่มทำการเก็บข้อมูลเป็นช่วง เพื่อลดผลจากปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ ทำให้การทดลองนั้นมีความเที่ยงตรงมากขึ้น การบล็อกส่วนใหญ่เกิดขึ้นกับวัสดุที่ใช้ในการทดลองนั้นไม่มีความสม่ำเสมอ จึงจำเป็นต้องแยกเอาผลของวัสดุที่แตกต่างออกไปจะสนใจผลการทดลองที่เกิดขึ้นแต่ละบล็อกเท่านั้น

คำจำกัดความ (Definition)

- ปัจจัย (Factor) หมายถึง สิ่งที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง และนำมาพิจารณาในการทดลอง ปัจจัยอาจมีลักษณะเชิงคุณภาพหรือเชิงปริมาณก็ได้ เช่น การทดลองการชุบแข็งเหล็กด้วยน้ำมันจะใช้ชนิดของน้ำมันและอุณหภูมิในการชุบแข็งเป็นปัจจัยในการทดลอง ในที่นี้ชนิดของน้ำมันจะมีลักษณะเป็นเชิงคุณภาพ แต่อุณหภูมิมีลักษณะเป็นเชิงปริมาณ

- อิทธิพลหรือผล (Effect) หมายถึง ผลของตัวแปรต้นที่มีตัวแปรตาม ในการทดลองอาจพิจารณาอิทธิพลที่เกิดขึ้นได้หลายตัว

- ระดับปัจจัย (Level of Factor) สถานะต่างๆ ของปัจจัยหนึ่งที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งในทุกๆ ปัจจัยที่ใช้ในการทดลองจำเป็นต้องมีระดับของปัจจัยอย่างน้อยสองปัจจัย

- ปัจจัยรบกวน (Noise Factor) หมายถึง ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองน้อยมาก และเป็นปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้

2.1.5 ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง

การใช้หลักการทางสถิติในการออกแบบและวิเคราะห์การทดลองเป็นสิ่งจำเป็น ผู้ทำการทดลองต้องมีความเข้าใจวิธีการในการเก็บข้อมูลตลอดจนการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้มา

2.1.5.1 การกำหนดปัญหา

เป็นการระบุว่าความต้องการในกระบวนการคืออะไร หรือต้องการรู้อะไรจากกระบวนการ ซึ่งเมื่อกำหนดปัญหาได้แล้วก็จะใช้เป็นวัตถุประสงค์ของการทดลอง บ่อยครั้งที่การกำหนดปัญหาใช้รูปแบบของกลุ่มโดยการรวมกันของหลายฝ่าย เช่น วิศวกร ฝ่ายประกันคุณภาพ ฝ่ายผลิต ฝ่ายการตลาด ผู้บริหาร ลูกค้า และพนักงานฝ่ายผลิต เป็นต้น

2.1.5.2 การเลือกปัจจัยที่มีอิทธิพล ระดับของปัจจัยและเรนจ์ (Ranges)

ขั้นตอนนี้จำเป็นต้องใช้หลักการทางทฤษฎี ประสบการณ์ที่ได้เรียนรู้จากการทำงานในกระบวนการ และการทดลองที่ได้ทำมาแล้วในอดีตเพื่อพิจารณาว่าปัจจัยใดบ้างที่ควรนำมาใช้ในการทดลอง และในแต่ละปัจจัยควรมีช่วง (Ranges) ในการทดลองเท่าไร เพื่อระบุระดับของปัจจัย

ในการทดลอง ซึ่งระดับของปัจจัยนั้นอาจเป็นค่าเชิงปริมาณหรือเชิงคุณภาพก็ได้ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่ถูกเลือกในการทดลอง

การกำหนดระดับของปัจจัยสามารถแบ่งเป็น 3 แบบ ดังนี้

(1) แบบกำหนดตายตัว (Fixed Levels) หมายถึง การกำหนดระดับของปัจจัยที่สามารถควบคุมได้คงที่แน่นอน โดยผู้ทดลองจะต้องกำหนดระดับของปัจจัยขึ้นเอง

(2) แบบสุ่ม (Random Levels) หมายถึง ระดับของปัจจัยที่ไม่สามารถกำหนดค่าได้แน่นอน ซึ่งผลการทดลองที่ได้จะเป็นตัวแทนของปัจจัย มิได้เป็นตัวแทนของระดับใดระดับหนึ่ง

(3) แบบสุ่ม (Mixed Levels) หมายถึง ระดับของปัจจัยที่เกิดจากแบบกำหนดตายตัวและสุ่มรวมกัน

2.1.5.3 การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Response Variables)

ในการเลือกตัวแปรตอบสนอง ผู้ทำการทดลองจะต้องมั่นใจว่าเลือกตัวแปรที่สามารถให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อกระบวนการที่ทำการศึกษา ค่าเฉลี่ยหรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าวัดจะใช้เป็นตัวแปรตอบสนอง โดยทั่วไปจะเก็บข้อมูลของตัวแปรตอบสนองเพียงค่าเดียวแต่ก็มีบางการทดลองที่ทำการวัดค่าตัวแปรตอบสนองหลายค่า การวัดค่าจะต้องมีความแม่นยำรวมทั้งความถูกต้องของเครื่องมือวัดด้วย

2.1.5.4 การเลือกแบบการทดลอง

จะต้องพิจารณาถึงขนาดของข้อมูลหรือจำนวนที่ใช้ในการทำซ้ำ (Replicate) ความเหมาะสมของระดับในการทดลอง ข้อจำกัดในการสุ่ม (Randomization) และการบล็อก (Blocking) ที่จำเป็นทั้งนี้ต้องนำมาเกี่ยวข้องโยงกันในด้านความเสี่ยง และต้นทุนที่ใช้ในการทดลอง

2.1.5.5 ดำเนินการทดลอง

เมื่อทำการทดลอง ต้องทำการตรวจสอบการทดลองอย่างระมัดระวัง ว่ามีการดำเนินการตามที่วางแผนไว้ ข้อควรระวังในขณะที่ทำการทดลอง คือ ความถูกต้องของกระบวนการเครื่องมือวัด และความสม่ำเสมอในการทดลอง เพื่อให้เกิดความผิดพลาด (Error) น้อยที่สุดเพราะความผิดพลาดในขั้นตอนนี้มักจะทำการทดลองล้มเหลวได้

2.5.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

หลักการทางสถิติถูกนำมาในการวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลจากการทดลอง การวิเคราะห์ข้อมูลอาจใช้ซอฟต์แวร์ (Software) เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ด้วย ซึ่งปัจจุบันมีซอฟต์แวร์อยู่หลายประเภทที่สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ได้ วิธีการถูกนำมาใช้อย่างได้ผล คือ กราฟอย่างง่าย โดยช่วยในการวิเคราะห์และตีความข้อมูลจากการทดลอง การตรวจสอบความเพียงพอของโมเดล (Model Adequacy Checking) เป็นสิ่งที่จำเป็นต้องทำการวิเคราะห์เพื่อความเชื่อมั่นของข้อมูลที่เก็บ

มาจากการทดลอง พึงจำไว้ว่าวิธีการทางสถิติไม่สามารถพิสูจน์ได้ว่าปัจจัยใดมีอิทธิพล (Effect) ได้แน่นอน เพียงแต่เป็นเครื่องมือที่ให้แนวทางในการวิเคราะห์ภายใต้ความเชื่อมั่น โดยระบบเป็นเปอร์เซ็นต์ในการสรุปผลการทดลอง แต่อย่างไรก็ดีการใช้หลักการทางสถิติช่วยให้การตัดสินใจเป็นนามธรรมมากขึ้น

2.1.5.7 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

เมื่อข้อมูลถูกวิเคราะห์จะต้องสรุปผลของการวิเคราะห์ซึ่งอาจแสดงในรูปแบบกราฟ ตาราง แผนภูมิ ฯลฯ ตลอดจนให้ข้อเสนอแนะจากการทดลอง เมื่อสรุปผลแล้วควรมีการทดสอบเพื่อยืนยันผลจากการทดลองอีกครั้งหนึ่ง

2.1.6 การใช้หลักการทางสถิติในการทดลอง

การใช้หลักการทางสถิติในการทดลองนั้นผู้ทำการทดลองต้องมีความเข้าใจประเด็นต่างๆ

(1) ใช้ความรู้ที่ไม่ใช่วิธีการทางสถิติในการพิจารณาปัญหาที่เกิดขึ้น ผู้ทำการทดลองต้องมีความเข้าใจเกี่ยวกับงานในสาขาที่ทำการทดลอง

(2) เลือกรูปแบบการทดลองและการวิเคราะห์ที่ง่ายและไม่สับสน

(3) เข้าใจถึงความแตกต่างระหว่างนัยสำคัญในทางปฏิบัติและนัยสำคัญทางสถิติ เพราะความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในการทดลองซึ่งเรียกว่าความแตกต่างทางด้านสถิตินั้นไม่สามารถประกันได้ว่าจะมีความแตกต่างมากเพียงพอที่จะใช้ในทางปฏิบัติจะต้องคำนึงต้นทุนว่าคุ้มค่าในการลงทุนหรือไม่

(4) ควรทำการทดลองซ้ำๆ หลายครั้งเพื่อให้มั่นใจว่าผลที่ได้ถูกต้อง

2.1.7 การตั้งสมมติฐานในการตรวจสอบ (Hypothesis Testing)

2.1.7.1 ความหมายของสมมติฐานทางสถิติ

สมมติฐาน คือ ความเชื่อของบุคคลใดบุคคลหนึ่งหรือของกลุ่มบุคคลใดๆ หรืออาจกล่าวได้ว่าสมมติฐานเป็นสิ่งที่บุคคลหรือองค์กรคาดว่าเกิดขึ้น ความเชื่อหรือสิ่งที่คาดนั้นอาจเป็นจริงหรือไม่ก็ได้

2.1.7.2 การตั้งสมมติฐานทางสถิติ

การทดสอบสมมติฐานโดยการเก็บข้อมูลจากการทดลองเพื่อสรุปว่าสมมติฐานนั้นจริงหรือไม่ สิ่งสำคัญที่สุดคือการตั้งสมมติฐานเพื่อการทดสอบ ซึ่งจะต้องประกอบด้วยสมมติฐาน 2 ชนิด ทุกครั้งของการทดลองคือ

(1) สมมติฐานว่าง (Null Hypothesis) ใช้สัญลักษณ์ H_0

(2) สมมติฐานแย้ง (Alternative Hypothesis) ใช้สัญลักษณ์ H_1 และสมมติฐาน

H_0 และ H_1 จะอยู่ในทิศทางที่ตรงกันข้ามเสมอ เช่น

H_0 : ระดับของปัจจัยไม่มีความแตกต่างกัน

H_1 : ระดับของปัจจัยมีความแตกต่างกัน

2.1.7.3 หลักเกณฑ์ในการตั้งสมมติฐาน

ถ้าสิ่งที่คาดหมายไว้มีเครื่องหมายเท่ากับอยู่ด้วยให้ไว้ใน H_0 และสมมติฐาน H_1 จะอยู่ในทิศทางตรงกันข้ามกับ H_0 เสมอ แต่ถ้าสิ่งที่คาดไว้ไม่มีเครื่องหมายเท่ากับให้ใส่ไว้ใน H_1 และใน H_0 อยู่ในทิศทางตรงกันข้าม เหตุที่นำสิ่งที่มีเครื่องหมายเท่ากับอยู่ใน H_0 เนื่องจากจะมีการนำค่าที่เท่ากับนั้นไปคำนวณหาค่าสถิติทดสอบเพื่อสรุปผลว่าจะยอมรับหรือปฏิเสธ H_0

2.1.7.4 ความผิดพลาดในการทดสอบสมมติฐานทางสถิติ ความผิดพลาดแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

(1) ความผิดพลาดประเภทที่ 1 (Type I Error) เป็นความผิดพลาดเนื่องจากไม่ยอมรับ H_0 เป็นจริง และมักจะเรียกความผิดพลาดนี้ว่า “ระดับนัยสำคัญ” (Level of Significance) และใช้สัญลักษณ์ α โดยที่ $\alpha = P(\text{ปฏิเสธ } H_0 \text{ โดยที่ } H_0 \text{ เป็นจริง})$

(2) ความผิดพลาดประเภทที่ 2 (Type II Error) เป็นความผิดพลาดเนื่องจากยอมรับ H_0 โดยที่ H_0 ไม่เป็นจริงและใช้สัญลักษณ์ β โดยที่ $\beta = P(\text{ยอมรับ } H_0 \text{ โดยที่ } H_0 \text{ ไม่เป็นจริง})$

ในการทดสอบสมมติฐานแต่ละครั้ง ผู้ทดลองย่อมต้องการที่จะให้มีความผิดพลาดทั้ง 2 ประเภท (α และ β) น้อยที่สุดแต่ถ้าลด α จะทำให้ β เพิ่มขึ้น ในทำนองเดียวกันถ้าลด β จะทำให้ α เพิ่มขึ้น การที่จะลดทั้งค่า α และ β จำเป็นต้องเพิ่มขนาดของตัวอย่าง (Sample Size) ให้มากขึ้น

การตั้งสมมติฐานในการออกแบบการทดลองจะแบ่งออกเป็น 3 กรณี คือ

(1) กรณีทดลองเป็นรูปแบบกำหนดตายตัว (Fixed Effects Model) จะทำการตรวจสอบว่าปัจจัยต่างๆ มีผลกระทบต่อกระบวนการหรือไม่ สามารถตั้งสมมติฐานได้ดังนี้

H_0 : ปัจจัยไม่มีผลต่อกระบวนการ

H_1 : ปัจจัยมีผลต่อกระบวนการ

หรือสามารถเขียนอยู่ในรูปสัญลักษณ์ μ เมื่อ μ คือค่าเฉลี่ยของปัจจัย

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_a$

$H_1 : \mu_i \neq \mu_j$; อย่างน้อยที่สุดหนึ่งคู่ (i, j)

หรือสามารถเขียนอยู่ในรูปสัญลักษณ์ τ เมื่อ τ คืออิทธิพลของปัจจัย (Treatment Effect)

$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_a = 0$

$H_1 : \tau_i \neq 0$; อย่างน้อยที่สุดหนึ่งคู่ i

(2) กรณีการทดลองเป็นแบบสุ่ม (Random Effects Model)

จะทำการตรวจสอบว่า ความแปรปรวนจะมีค่าเท่ากับ 0 หรือไม่ เพราะไม่สามารถหาค่าของอิทธิพล (Effect) ของระดับของปัจจัยที่เกิดขึ้นได้แน่นอน สามารถตั้งสมมติฐานได้ดังนี้

$$H_0 : \sigma_r^2 = 0$$

$$H_1 : \sigma_r^2 > 0$$

(3) กรณีการทดลองเป็นรูปแบบผสม (Mixed Model) เมื่อปัจจัยในการทดลองมีลักษณะเป็นแบบกำหนดตายตัว (Fixed Levels) และแบบสุ่ม (Random Levels) รวมกันอยู่จะต้องใช้การตั้งสมมติฐานของ 2 กรณีที่กล่าวข้างต้น โดยแยกตามลักษณะรูปแบบของปัจจัยนั้นๆ

2.1.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนจะทำให้สามารถทราบว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนอง หลักเกณฑ์สำคัญที่ใช้ในการทดสอบ คือ การแยกความแปรปรวนทั้งหมดของข้อมูลออกตามสาเหตุที่ทำให้ข้อมูลแตกต่างกันนั้น คือ แยกความแปรปรวนทั้งหมดของข้อมูลออกเป็น

- (1) ความผันแปร หรือความแตกต่างระหว่างทริทเมนต์
- (2) ความผันแปร หรือความแตกต่างภายในทริทเมนต์เดียวกัน

$$\text{ความผันแปรทั้งหมด} = \text{ความผันแปรระหว่างทริทเมนต์} + \text{ความแปรภายในทริทเมนต์เดียวกัน}$$

ถ้าความผันแปรระหว่างทริทเมนต์มีค่ามากเมื่อเทียบกับความผันแปรภายในทริทเมนต์เดียวกัน แสดงว่าความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของทริทเมนต์มากกว่าความแตกต่างภายในทริทเมนต์เดียวกัน ในกรณีเช่นนี้จะปฏิเสธสมมติฐาน H_0 ที่กำหนดว่าค่าเฉลี่ยของทริทเมนต์เท่ากันหรือสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยของทริทเมนต์อย่างน้อย 1 ทริทเมนต์ แต่ที่แตกต่างจากทริทเมนต์อื่น สามารถตีความหมายได้ว่าปัจจัยดังกล่าวนี้มีอิทธิพล (Effect) ต่อกระบวนการหรือมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองที่สนใจนั่นเอง

แต่ถ้าความผันแปรภายในทริทเมนต์เดียวกัน มีค่ามากกว่าความผันแปรระหว่างทริทเมนต์ หรือมีค่ามากเมื่อเทียบกับความผันแปรระหว่างทริทเมนต์ จะทำให้สรุปได้ว่า ค่าเฉลี่ยของทริทเมนต์ที่ต้องการทดสอบไม่แตกต่างกัน คือ ปฏิเสธ H_1 หรือยอมรับ H_0 นั่นเองซึ่งหมายถึงปัจจัยดังกล่าวไม่มีอิทธิพล (Effect) ต่อกระบวนการ

การวัดความผันแปรหรือความแปรปรวนจากข้อมูลในการทดลองนั้น จะใช้ตัวประมาณค่าของความแปรปรวน (Variance) ที่ดีที่สุด คือ ค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Mean Square: MS) โดยที่ค่า MS สามารถคำนวณจาก

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

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

ความผันแปรทั้งหมด = ความผันแปรระหว่างทรีทเมนต์ + ความผันแปรภายในทรีทเมนต์เดียวกัน

หรือ $SS_T = SS_{Tr} + SS_E$

โดยที่ $SS_T =$ ความผันแปรทั้งหมด
 $SS_{Tr} =$ ความผันแปรระหว่างทรีทเมนต์
 $SS_E =$ ความผันแปรภายในทรีทเมนต์เดียวหรือเรียกว่าผลบวกของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง
 $= SS_T - SS_{Tr}$

สำหรับชั้นของความอิสระ (Degree of Freedom) จะแบ่งออกเป็นสองส่วนเช่นเดียวกันดังนี้

ชั้นของความอิสระทั้งหมด = ชั้นของความอิสระ (ระหว่างทรีทเมนต์) + ชั้นของความอิสระ (ภายในทรีทเมนต์)

สถิติทดสอบ (Test Statistic) ที่นำมาเปรียบเทียบค่าความแปรปรวน คือ

$$F = \frac{MS_{Tr}}{MS_E}$$

เมื่อ MS_{Tr} (Mean Square for Treatment) คือ ค่าเฉลี่ยกำลังสองระหว่างทรีทเมนต์
 MS_E (Mean Square for Error) คือ ค่าเฉลี่ยกำลังสองภายในทรีทเมนต์เดียวกัน

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

เมื่อ	α	คือ ระดับนัยสำคัญ (Significance Level)
	v_1	คือ ชั้นของความอิสระระหว่างทรีทเมนต์ของปัจจัยนั้น
	v_2	คือ ชั้นของความอิสระภายในทรีทเมนต์เดียวกัน

2.1.8.1 โมเดลเชิงเส้นทางสถิติ (Linear Statistical Model)

ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนนั้นจำเป็นต้องมีการสร้างโมเดลเชิงเส้นขึ้นด้วยซึ่งลักษณะโมเดลเชิงเส้นจะขึ้นอยู่กับรูปแบบของแผนการทดลองดังจะแสดงตัวอย่างต่อไปนี้

การวิเคราะห์ความแปรปรวนกรณีที่มีปัจจัย 2 ปัจจัย

$$\text{โมเดลเชิงเส้น} : \gamma_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

โดยที่	I	=	1,2,...,a (ระดับของปัจจัย A)
	J	=	1,2,...,b (ระดับของปัจจัย B)
	k	=	1,2,...,n (จำนวนซ้ำ)
และ	γ_{ijk}	คือ	ค่าของตัวแปรตอบสนอง
	τ_i	คือ	ค่าที่เกิดจากอิทธิพลของปัจจัยที่ 1
	β_j	คือ	ค่าที่เกิดจากอิทธิพลของปัจจัยที่ 2
	$(\tau\beta)_{ij}$	คือ	ค่าที่เกิดจากอิทธิพลของปัจจัยร่วม (Interaction) ของ τ กับ β
	ε	คือ	ค่าความผิดพลาด (Random Error)

ข้อมูลจะถูกนำมาคำนวณและใส่ในตารางที่ 2.1 ซึ่งเป็นตารางของการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัย

ตารางที่ 2.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัย 2 ปัจจัย (ANOVA TABLE)

แหล่งความ ผันแปร	ผลรวมกำลังสอง (SS)	ชั้นของความ อิสระ (df.)	ค่าเฉลี่ยกำลังสอง (MS)	ค่าสถิติ ทดสอบ (F_0)
A	$\frac{\sum_{i=1}^a \gamma_{i.}^2}{bn} - \frac{\gamma_{...}^2}{abn}$	a-1	MS_A	$\frac{MS_A}{MS_E}$
B	$\frac{\sum_{j=1}^b \gamma_{.j}^2}{an} - \frac{\gamma_{...}^2}{abn}$	b-1	MS_B	$\frac{MS_B}{MS_E}$
A × B	$\frac{\sum_{i=1}^b \sum_{j=1}^a \gamma_{ij}^2}{n} - \frac{\gamma_{...}^2}{abn} - SS_A - SS_B$	(a-1)(b-1)	MS_{AB}	$\frac{MS_{AB}}{MS_E}$
Error	$S_T - S_A - S_B - S_{AB}$	ab(n-1)	MS_E	
Total	$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^a y_{ijk}^2 - \frac{\gamma_{...}^2}{abn}$	abn-1		

โดยที่

A คือ ปัจจัยที่ 1

B คือ ปัจจัยที่ 2

AB คือ ปัจจัยร่วมของปัจจัย A กับ B

 SS_A, SS_B, SS_{AB} คือ ผลรวมกำลังสองของ A, B และ AB ตามลำดับ SS_E คือ ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน MS_A, MS_B, MS_{AB} คือ กำลังสองเฉลี่ยของปัจจัย A, B และ AB ตามลำดับ MS_E คือ กำลังสองเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อน

การทดสอบสมมติฐานของการทดลอง จะใช้ค่าสถิติทดสอบที่มีการแจกจ่ายแบบเอฟ (F-Distribution) โดยกำหนดค่า α ก่อน หากค่า $F_0 \leq F_{\alpha, \nu_1, \nu_2}$ จะยอมรับ H_0 นั่นคือปัจจัยนั้นไม่มีผลต่อค่าตอบสนองอย่างนัยสำคัญ แต่ถ้าค่าของ $F_0 > F_{\alpha, \nu_1, \nu_2}$ จะปฏิเสธ H_0 นั่นคือปัจจัยนั้นมีผลต่อค่าตอบสนองอย่างนัยสำคัญ

2.1.8.2 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ (Model Adequacy Checking)

เงื่อนไขของการวิเคราะห์ความแปรปรวน

(1) ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution)

- (2) ค่าความแปรปรวนแต่ละทริทเมนต์ต้องเท่ากัน คือ $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_a^2$
 (3) การสุ่มตัวอย่างแต่ละชุดจากแต่ละทริทเมนต์จะเป็นอิสระต่อกัน

$$\text{สมการเชิงเส้นตรง : } y_{ij} = \mu + \tau_j + \epsilon_{ij}$$

โดยที่ μ คือ ค่าเฉลี่ย
 τ_j คือ ค่าที่เกิดจากอิทธิพลของปัจจัย
 ϵ_{ij} คือ ความคลาดเคลื่อน

ในการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) นั้น ข้อสมมติฐานที่สำคัญข้อหนึ่งคือ ความคลาดเคลื่อน (Random Error) หรือ ϵ_{ij} ต้องมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) และต้องมีการแจกแจงที่เป็นอิสระต่อกัน โดยเขียนสัญลักษณ์ได้เป็น $\epsilon_{ij} \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$ ซึ่งในการออกแบบการทดลองนั้นจำเป็นต้องทำการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบด้วยเพื่อความถูกต้องในการวิเคราะห์ข้อมูล

การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบมีอยู่ 3 ขั้นตอน คือ

- (1) การตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูลว่าเป็นการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) หรือไม่ โดยนำค่าเรสซิดิว (Residuals) ไปตรวจสอบค่าเรสซิดิวสามารถหาได้ดังนี้

$$l_{ij} = y_{ij} - \hat{y}_{ij}$$

โดยที่ l_{ij} คือ ผลต่างระหว่างค่าตัวแปรตอบสนองกับค่าเฉลี่ย (Residuals)
 y_{ij} คือ ค่าตัวแปรตอบสนอง
 \hat{y}_{ij} คือ ตัวประมาณค่าของ y_{ij}

$$\begin{aligned} \hat{y}_{ij} &= \hat{\mu} + \hat{\tau}_i \\ &= \bar{y}_{..} + (\bar{y}_i - \bar{y}_{..}) \\ &= \bar{y}_i \end{aligned}$$

โดยที่ $\bar{y}_i =$ คือค่าเฉลี่ยของทริทเมนต์นั้น

เมื่อกำหนดค่า ϵ_{ij} ได้แล้วจะนำไปทดสอบการแจกแจงแบบปกติโดยใช้

- การทดสอบแบบไคร้สแควร์ (χ^2 - Goodness of Fit Test)
- การทดสอบแบบโคลโมโกรอฟ – สเมอร์นอฟ (Kolmogorow – Smirnov Test)
- การทดสอบโดยใช้กระดาษตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติ (NOPP)

(2) การตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent)

ขั้นตอนนี้จะใช้การแผนภูมิการกระจาย (Scatter Plot) ระหว่างค่า l_{ij} กับลำดับที่ทำการทดลอง แล้วดูลักษณะของข้อมูลว่ามีการกระจายเป็นอิสระหรือมีลักษณะเป็นรูปแบบใดๆ หรือไม่

(3) การตรวจสอบความเสถียรความแปรปรวน (Variance Stability)

วิธีการตรวจสอบจะใช้แผนภูมิการกระจายซึ่งเป็นแผนภูมิระหว่างค่า l_{ij} (Resident) กับทริทเมนต์แต่ละทริทเมนต์ โดยรูปร่างที่ออกมาจะต้องมีลักษณะเป็นทรงกระบอก จึงจะถือว่าความแปรปรวนมีความเสถียรแต่ถ้ารูปของแผนภูมิมีลักษณะการเพิ่มขึ้นหรือลดลงเป็นลำดับ (Megaphone) แสดงว่าข้อมูลนั้นไม่มีความเสถียรของความแปรปรวน

2.1.9 ชนิดของแผนการทดลอง

2.1.9.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบมีปัจจัยเดียว (Single-Factor ANOVA)

การทดลองแบบนี้จะต้องเก็บข้อมูลโดยกำหนดระดับของปัจจัยหรือทริทเมนต์ (Treatment) เพื่อทดสอบว่าทริทเมนต์ต่างๆ มีผลต่อค่าตอบสนองหรือไม่ โดยการทดลองแบบมีปัจจัยเดียวสามารถแบ่งเป็น 2 แบบใหญ่ๆ คือ

2.1.9.1.1 การทดลองแบบสุ่มโดยสมบูรณ์ (Completely Randomized Design : CRD)

- เป็นการทดลองที่มีปัจจัยเดียว แต่จะทำการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างทริทเมนต์
- ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้มีผลกระทบน้อยและไม่มีปัจจัยรบกวน
- การทดลองนั้นใช้หลักการทำแบบสุ่ม (Randomization) และการทำซ้ำ (Replication)

ขั้นตอนในการทำการทดลอง

- (1) กำหนดตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) และปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factor) และตั้งสมมติฐานที่จะทดสอบ
- (2) ทำการทดลองโดยใช้การสุ่มแบบสมบูรณ์ (Completely Randomized)
- (3) วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)
- (4) สรุปผลการทดลอง

2.1.9.1.2 แผนการทดลองแบบสุ่มโดยสมบูรณ์ภายในบล็อก (Randomized Block Design)

เป็นการทดลองที่มีปัจจัยเดียว และมีปัจจัยรบกวน (Nuisance Factor) ที่มีผลกระทบต่อค่าตอบสนอง และเราต้องการกำจัดปัจจัยรบกวนดังกล่าวทิ้ง บางครั้งปัจจัยรบกวนนั้นเราไม่ทราบและไม่สามารถควบคุมได้ เราจะใช้วิธีการบล็อก (Blocking) ในการกำจัดผลของปัจจัยรบกวนออกได้ ซึ่งในการวิเคราะห์ความแปรปรวนจะต้องคำนวณค่าเฉลี่ยกำลังสองของบล็อก (MS block) แยกออกมาจากค่าเฉลี่ยกำลังสองของทรีตเมนต์ (MS Treatment) ทำให้การวิเคราะห์ความแปรปรวนนี้เป็นผลจากทรีตเมนต์อย่างเดียว

หลักการของการบล็อกสุ่ม คือ

(1) แบ่งการทดลองเป็น a ทรีตเมนต์ โดยให้แต่ละทรีตเมนต์แบ่งหน่วยทดลองเท่าๆ กัน คือ b หน่วย หรือ b บล็อก และให้ในแต่ละบล็อกมีลักษณะอื่นๆ ที่ผลต่อตัวแปรตอบสนองคล้ายคลึงกันมากที่สุด

(2) ทำการสุ่ม (Randomization)

(3) ทำซ้ำทุกๆ หน่วยทดลอง
ขั้นตอนในการทำการทดลอง

(1) ออกแบบและวางแผนการทดลอง

(2) เก็บและรวบรวมข้อมูล

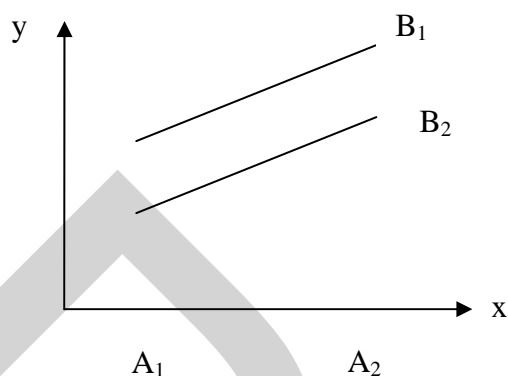
(3) วิเคราะห์การแปรปรวน (ANOVA)

(4) สรุปผลการทดลอง

2.1.9.2 แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Design)

เป็นการทดลองที่ใช้ในการศึกษาตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป โดยทั่วไปแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลเป็นวิธีการทดลองที่มีประสิทธิภาพ ความสัมพันธ์ที่จะเกิดขึ้นทั้งหมดของทุกปัจจัยถูกนำมาพิจารณา คือ จะพิจารณาทั้งอิทธิพลของปัจจัยหลัก (Main Effect) และอิทธิพลของปัจจัยร่วม (Interaction Effect)

อิทธิพลของปัจจัยร่วม (Interaction Effect) คือ อิทธิพลที่เกิดขึ้นจากหลายปัจจัยร่วมกัน เช่น เมื่อกำหนดปัจจัย B อยู่ที่ทรีตเมนต์หนึ่งแล้ว ทำการปรับค่าปัจจัย A จะส่งผลต่อค่าตอบสนองให้มีการเปลี่ยนแปลง และเมื่อเปลี่ยนค่าปัจจัย B ไปอีกทรีตเมนต์หนึ่งแล้วปรับค่าปัจจัย A จะส่งผลต่อค่าตอบสนองให้มีการเปลี่ยนแปลงในอีกทิศทางหนึ่ง ดังภาพที่ 2.2 ในทางตรงกันเมื่อไม่มีอิทธิพลของปัจจัยร่วมจะมีลักษณะดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 แสดงกราฟที่ไม่มีอิทธิพลของปัจจัยร่วม (Non Interaction)

แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลโดยทั่วไป จะประกอบด้วยปัจจัยตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป เช่น การทดลองหนึ่งมี 3 ปัจจัย คือ A, B, C โดยแต่ละปัจจัยจะมีจำนวนทรีทเมนต์เท่ากับ 3, 3, 2 ตามลำดับ และมีการทำซ้ำ 2 ครั้ง ฉะนั้นจะต้องมีการเก็บข้อมูลทั้งหมดเท่ากับ $3 \times 3 \times 2 \times 2 = 36$ ตัว

รูปแบบของแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลยังแบ่งย่อยในกรณีที่แผนการทดลองมีลักษณะเฉพาะตัวอีกดังนี้

2.1.9.2.1 2^k แฟคทอเรียล

เป็นการทดลองที่มี k แต่ละปัจจัย จะมีระดับของปัจจัยอยู่ 2 ระดับ การทดลองแบบนี้เหมาะสำหรับการทดลองที่มีปัจจัยมากๆ เป็นการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่มีอิทธิพลเบื้องต้นจะช่วยในการทำการทดลองที่ละเอียดต่อไป

2.1.9.2.1 3^k แฟคทอเรียล

เป็นการทดลองที่มี k ปัจจัย แต่ละปัจจัยจะมีระดับของปัจจัยอยู่ 3 ระดับ เช่น 3^3 แฟคทอเรียลหมายถึง เป็นการทดลองที่มี 3 ปัจจัยๆ ละ 3 ทรีทเมนต์

2.1.9.1.3 แผนการทดลองแบบแฟร็กชันนอลแฟคทอเรียล (Fractional Factorial Design)

เป็นรูปแบบการทดลองที่ใช้ในกรณีเมื่อการทดลองมีหลายปัจจัย ทำให้ต้องเสียเวลาเก็บข้อมูลมาก ดังนั้นจะทำให้ความสัมพันธ์ของทรีทเมนต์ (Treatment Combination) บางตัวถูกตัดออกโดยอาศัยหลักการของการคอนเฟวด์ (Confound) ซึ่งจะทำให้ข้อมูลที่ใช้ในการทดลองนั้นลดลง

- การคอนเฟวด์ (Confound) มีปัญหาส่วนหนึ่งไม่สามารถทำการทดลองให้สมบูรณ์ได้ในหนึ่งบล็อก การคอนเฟวด์เป็นวิธีการสำหรับปรับให้การทดลองแบบแฟคทอเรียล

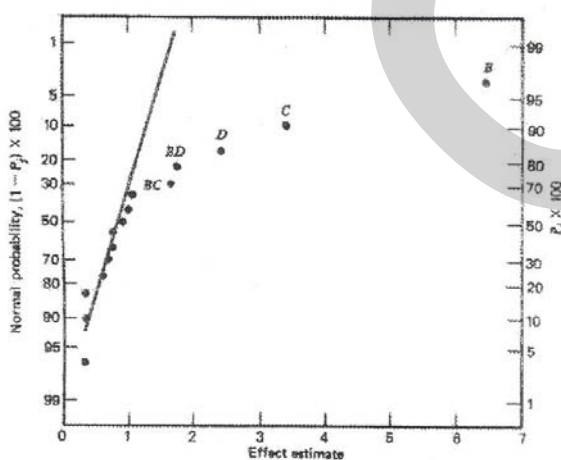
ลงในบล็อกที่กำหนด ซึ่งขนาดของจำนวนบล็อกจะน้อยกว่าจำนวนความสัมพันธ์ของทริทเมนต์ในการทำซ้ำหนึ่งครั้ง (One Replication) โดยส่วนใหญ่จะเลือกปัจจัยร่วมในลำดับสูงๆ (High-Order Interaction) เป็นตัวคอนเฟอว์ด

(1) แผนการทดลองแฟรคชันนอลแบบครึ่งหนึ่งของ 2^k แฟกทอเรียล การทดลองแบบนี้จะเป็นข้อมูลเพียงครึ่งหนึ่ง โดยสมมติฐานว่า ปัจจัยร่วมในระดับสูง (High-Order Interaction) ไม่มีอิทธิพลต่อค่าตอบสนอง จึงไม่จำเป็นต้องนำมาพิจารณา การวิเคราะห์ความแปรปรวนจะนำผล (Effect) ของปัจจัยร่วมในระดับสูง (High-order Interaction) ไปรวมกับ ผล (Effect) ของปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมในระดับต่ำ และใช้สัญลักษณ์เป็น 2^{k-1}

ตัวอย่างเช่น แผนการทดลอง 2^{5-1} แฟกทอเรียล คือ ผลการทดลองแฟรคชันนอลแบบครึ่งหนึ่งของ 2^5 แฟกทอเรียล โดยมีดีไฟนิงรีเลชัน (Defining Relation) $I = ABCDE$ จะมีผลของปัจจัยต่างๆ รวมกันดังนี้ คือ

A + BCDE	AB + CDE	BD + ACE
B + ACDE	AC + BDE	BE + ACD
C + ABDE	AD + BCE	CD + ABE
D + ABCE	AE + BCD	CE + ABD
E + ABCD	BC + ADE	DE + ABC

ในการหาปัจจัยที่มีความสำคัญจะพิจารณาจากกราฟของความสัมพันธ์ระหว่างค่าประมาณของผล (Effect Estimates) กับความน่าจะเป็นของลำดับ ในกระดาษตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติ (NOPP) ดังเช่นในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 แสดงการหาปัจจัยที่มีความสำคัญ (Important Effect)

จุด B, C, D, BC และ BD เป็นจุดที่ห่างจากแนวเส้นตรงชัดเจน ถือเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญ (Important Effect) จะใช้ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนต่อไป อิทธิพลของปัจจัยอื่นๆ ที่เหลือจะนำไปรวมกับความคลาดเคลื่อน (Error)

(2) แผนการทดลองแฟรคชันนอลแบบหนึ่งในสี่ของ 2^k แฟคทอเรียล

การทดลองแบบนี้จะใช้สัญลักษณ์เป็น 2^{k-2} จะมีลักษณะคล้ายแผนการทดลองแฟรคชันนอลแบบครึ่งหนึ่งของ 2^k แฟคทอเรียล แต่วิธีนี้จะเก็บข้อมูลเพียงหนึ่งในสี่ของแผนการทดลอง 2^k แฟคทอเรียล การวิเคราะห์ข้อมูลจะมีลักษณะคล้ายกับแผนการทดลองแบบครึ่งเดียวของ 2^k แฟคทอเรียลทุกประการ แผนการทดลองแบบนี้เหมาะสำหรับการทดลองที่มีปัจจัยมาก ใช้เวลาในการเก็บข้อมูลนาน

นอกจากนี้แผนการทดลองแบบแฟรคชันนอลแฟคทอเรียลสามารถใช้กับแผนการทดลองแบบ 3^k แฟคทอเรียลได้เช่นกัน โดยจะประยุกต์ใช้หลักการของการคอนฟาวด์ (Confound) เพื่อลดจำนวนข้อมูล และจากนั้นทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนต่อไป

2.1.9.4 แผนการทดลองอื่น ๆ

- (1) แผนการทดลองลาตินสแควร์ (Latin Squares Design)
- (2) แผนการทดลองเนสต์เต็ด (Nested Design)
- (3) แผนการทดลองสปีทพล็อต (Split-Plot Design)

2.1.10 การทดสอบสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R-Square)

เป็นสัมประสิทธิ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ว่าผลการทดลองที่ใช้นั้นมีความผันแปรส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากปัจจัยที่กำหนดหรือเกิดจากธรรมชาติของกระบวนการ

$$R^2 = \frac{SS_{Model}}{SS_{Total}}$$

โดยที่	R^2	คือ	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-Square)
	SS Model	คือ	ผลรวมกำลังสองของรูปแบบ (Model)
	SS Total	คือ	ผลรวมกำลังสองของทั้งหมด

ถ้าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-Square) สูง แสดงว่าความผันแปรส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นมาจากปัจจัยที่กำหนด แต่ถ้าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-Square) ต่ำ แสดงว่าความผันแปรเกิดขึ้นจากธรรมชาติของกระบวนการ แสดงว่าแผนการทดลองที่ใช้ไม่เหมาะสม และต้องกลับไปพิจารณาถึงปัจจัย

ที่ใช้ในการทดลองว่าอิทธิพลจริงหรือไม่ ตลอดจนตรวจสอบการเก็บรวบรวมข้อมูลว่ามีข้อผิดพลาดหรือไม่

2.1.11 การวิเคราะห์ถึงผลกระทบอันเนื่องมาจากข้อบกพร่อง (Failure Mode and Effect Analysis : FMEA)

FMEA เป็นเครื่องมือที่ใช้ช่วยในการวิเคราะห์ถึงผลกระทบอันเนื่องมาจากข้อบกพร่อง โดยการวิเคราะห์จะหาลักษณะของข้อบกพร่องที่คาดว่าจะเกิดและสาเหตุหรือกลไกที่ก่อให้เกิดข้อบกพร่องเพื่อทำการกำหนดแนวทางป้องกัน ซึ่งจะใช้หลักการในการให้คะแนนโดยให้ความสำคัญใน 3 เรื่อง คือ

(1) ความรุนแรง (Severity: S)

ความรุนแรงของผลจากข้อบกพร่อง หมายถึงอัตราที่บ่งชี้ถึงความรุนแรงของผลจากแนวโน้มของลักษณะของข้อบกพร่องของกระบวนการที่มีต่อลูกค้า โดยความรุนแรงนี้จะใช้พิจารณาจากผลของข้อบกพร่องเท่านั้น ถ้าหากลูกค้าที่ได้รับผลจากลักษณะข้อบกพร่อง คือ สายงานการประกอบหรือผู้ใช้ ผลิตภัณฑ์แล้ว การประเมินความรุนแรงจะออกนอกขอบเขตแห่งประสบการณ์หรือความรู้ของวิศวกรประจำกระบวนการผลิตหรือคณะทำงาน ซึ่งในสถานการณ์เช่นนี้จำเป็นต้องทำการศึกษาหรือปรึกษาจาก FMEA ของการออกแบบ วิศวกรออกแบบและ/หรือวิศวกรประจำกระบวนการผลิตในหน่วยงานผลิตถัดไปหรือในสารการประกอบ

(2) โอกาสในการเกิด (Occurrence: O)

โอกาสในการเกิด หมายถึง อัตราที่แสดงถึงจำนวนความถี่และ/หรือจำนวนข้อบกพร่องสะสมที่ได้คาดหมายไว้สำหรับสาเหตุหนึ่งๆ ภายใต้ระบบควบคุมที่มีอยู่ (โดยปกติจะมีการกำหนดค่านี้ให้กับกระบวนการนับตั้งแต่การออกแบบผลิตภัณฑ์) ในการชี้บ่งถึงโอกาสในการเกิด สามารถใช้ได้หลายวิธีด้วยกัน อาทิ

- วิศวกรรมความไว้วางใจ (Reliability Engineering)
- SPC จากดัชนี Cp และ Cpk
- ใช้ความถี่คาดหมาย
- ใช้จำนวนสะสมของชิ้นส่วนประกอบที่บกพร่อง (Cumulative Number of

Component Failure : CNF)

ในการประมาณค่าโอกาสในการเกิดนี้ จะใช้คะแนน 1 ถึง 10 โดยการประเมินนี้จะประเมินจากลักษณะข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นเท่านั้น มิได้ประเมินจากโอกาสในการตรวจจับข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น

(3) การตรวจจับ (Detection: D)

การตรวจจับ หมายถึง การประเมินถึงโอกาสที่มีการใช้ในการควบคุมกระบวนการในการประเมินนั้นให้สมมุติว่า เมื่อมีข้อบกพร่องเกิดขึ้นแล้วให้ประเมินถึงความสามารถของการ

ควบคุมในปัจจุบันที่จะป้องกันการส่งมอบผลิตภัณฑ์ที่มีข้อบกพร่องหรือตำหนิ ทั้งนี้ห้ามประเมินว่าการตรวจจับอันดับที่ต่ำ (คือมีการตรวจจับเวลาที่มีความสามารถ) เนื่องจากการเกิดข้อบกพร่องมีค่าต่ำ แต่จะต้องประเมินถึงความสามารถในการควบคุมกระบวนการเพื่อตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องที่เมื่อนานๆ เกิด 1 ครั้งก็ตาม

ในการประเมินการตรวจจับการควบคุมที่ถูกต้องควรอาศัยหลักการชั่งสิ่งตัวอย่างตัวเลขแสดงลำดับก่อนหลังของความเสี่ย (Risk Priority Number: RPN) ในการจัดลำดับก่อนหลังของความเสี่ย จะได้มาจากผลคูณของความรุนแรง โอกาสในการเกิดและการตรวจจับตามที่ได้ประเมินไว้ กล่าวคือ

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

ค่า RPN จะขึ้นไปตามเกณฑ์ของหลักการพารโต โดยมีคะแนนระหว่าง 1 ถึง 1000 โดยค่า RPN ที่มีค่าสูงๆ มีความจำเป็นต้องดำเนินการปฏิบัติการแก้ไขเพื่อลดค่า RPN ลงและไม่ว่า RPN จะมีค่าเท่าใดก็ตาม เราควรที่จะเอาใจใส่เป็นกรณีพิเศษถ้าหากคะแนนของความรุนแรงมีค่าสูงมาก

2.1.12 เทคนิคที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตสกรู

2.12.1 กระบวนการขึ้นรูปโลหะ (Fabrication Process)

กระบวนการขึ้นรูปโลหะ อาจแบ่งเป็นการขึ้นรูปร้อน (hot working) และการขึ้นรูปเย็น (Cold working) เมื่อโลหะเกิด plastic deformation ความแข็งจะเพิ่มขึ้นแต่อัตราการเกิด work hardening ลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ถ้าโลหะเกิด plastic deformation ที่อุณหภูมิสูงจะเกิดผล 2 อย่างในเวลาเดียวกัน คือ ความแข็งที่เกิดจาก plastic deformation และจะอ่อนลงเนื่องจาก recrystallization อุณหภูมิที่เริ่มเกิด recrystallization เรียกว่า recrystallization temperature การขึ้นรูปโลหะที่อุณหภูมิสูงกว่า recrystallization temperature เรียกว่า การขึ้นรูปร้อน ถ้าขึ้นรูปที่อุณหภูมิต่ำกว่า recrystallization temperature เรียกว่า การขึ้นรูปเย็น อุณหภูมิที่จะเกิด recrystallization ของแต่ละโลหะจะไม่เท่ากัน เช่น ตะกั่วและดีบุก มี recrystallization temperature ต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง ฉะนั้นการขึ้นรูปที่อุณหภูมิห้องจะเป็นการขึ้นรูปร้อน (hot working) ขณะที่ recrystallization temperature ของเหล็กอยู่ประมาณ 550 องศาเซลเซียส ทำให้การขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นการขึ้นรูปเย็น (Cold working) Recrystallization เป็นการจัดเรียงตัวของอะตอมของโมเลกุลของของแข็งใหม่ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงด้านสมบัติต่างๆ เช่น ค่าความแข็ง และสมบัติยึดดึงต่างๆ Recrystallization มีผลทำให้เกิดเกรนและการโตของเกรนใหม่ เกรนที่ถูกดึงยึดเนื่องจาก Cold working หายไปและเกิดเกรนใหม่แทน อัตรา

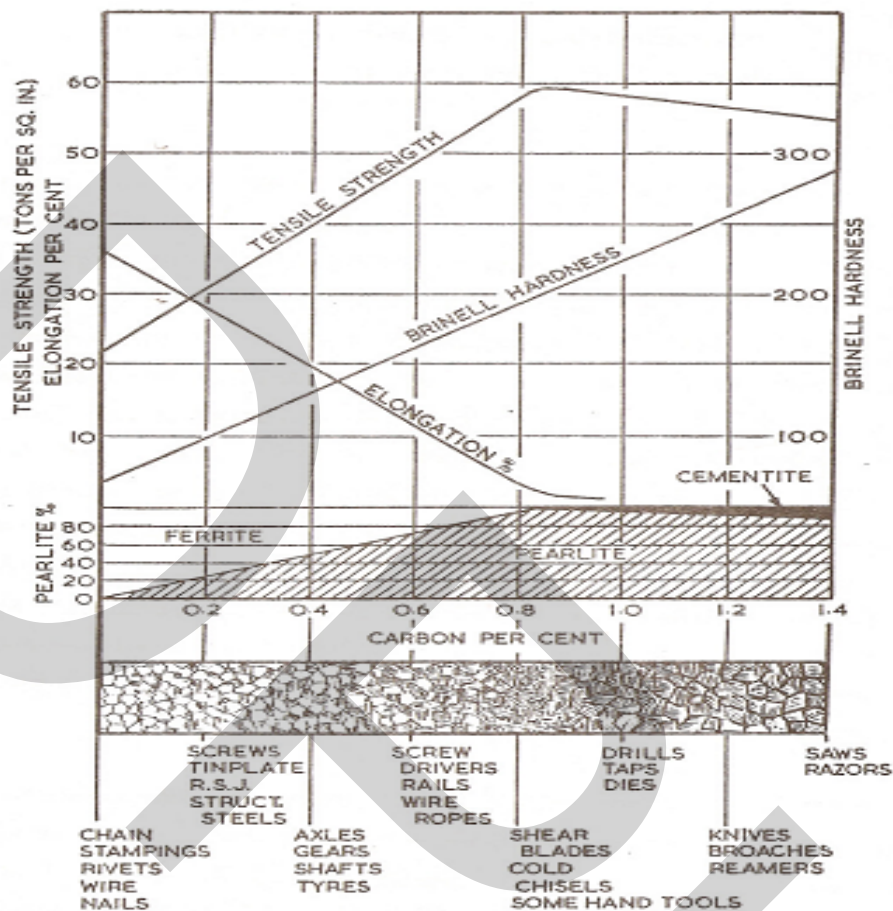
การโตของเกรนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ ถ้าเกรนโตมากไปอาจทำให้ผิวขรุขระและอาจแตกหักได้

2.12.2 เหล็กกล้าคาร์บอน โดยทั่วไปถือว่าเป็นโลหะผสมของเหล็กและคาร์บอน ที่มีคาร์บอนในปริมาณขึ้นไปถึงร้อยละ 1.7 เหล็กกล้าคาร์บอนยังประกอบด้วย แมงกานีสที่เหลืออกจากขบวนการดีออกซิเดชันเล็กน้อย ความแข็งของเหล็กกล้าคาร์บอนจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของคาร์บอนในเหล็ก จะแบ่งเหล็กกล้าคาร์บอนออกเป็นพวกๆ ตามปริมาณคาร์บอน เหล็กกล้าคาร์บอนที่มีปริมาณคาร์บอนต่ำและปานกลางจะใช้งานในด้านการก่อสร้าง ส่วนเหล็กกล้าคาร์บอนที่มีปริมาณคาร์บอนสูงจะใช้งานด้านการทำเครื่องมือและชิ้นงานที่ต้องการความแข็งและความต้านทานต่อการเสียดสี

ตารางที่ 2.2 ตารางการใช้งานของเหล็กกล้าคาร์บอน

ชนิดของเหล็กคาร์บอน	ปริมาณคาร์บอน %	ประโยชน์
Dead mild	0.05 – 0.15	ลวด ตะปู ท่อ แผ่นเหล็ก หมุดย้ำ
Mild	0.01 – 0.30	เหล็กก่อสร้าง สกรู ชิ้นส่วนเครื่องจักร
Medium Carbon	0.30 – 0.60	แกนเพลลาต่างๆ เกียร์ สปริง
High Carbon	0.60 – 0.90	ไขควง เลื่อย สว่าน ค้อน เครื่องเจาะ
Tool Steels	0.90 – 1.40	สปริง ตะไบ มีด ขวาน ใบมีด

ภาพที่ 2.4 จะแสดงสมบัติทางกลต่างๆ ของเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอนต่างๆ สมบัติทางกลที่แสดงในภาพ คือ ความต้านแรงดึง (tensile strength) ความแข็งบริเนลล์ (Brinell hardness) ความยืด (elongation) ส่วนด้านล่างของรูปแสดงถึงโครงสร้างของเหล็กว่ามีประโยชน์อย่างไรในปริมาณคาร์บอนต่างๆ กัน



ภาพที่ 2.5 แสดงสมบัติทางกลต่างๆ ของเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอนต่างๆ

2.12.3 อิทธิพลของธาตุผสมในเหล็กกล้าคาร์บอน

เหล็กกล้าทั่วไป มักจะมีส่วนประกอบของแมงกานีสที่เหลือจากขบวนการดีออกซิเดชัน นอกจากแมงกานีสแล้ว ยังมีมีสารเจือปนพวก ซิลิกอน ชัลเฟอร์ และฟอสฟอรัส ผลกระทบของธาตุผสมต่อคุณสมบัติทางกลขึ้นอยู่กับธาตุผสมเหล่านี้จะกระจายทั่วในโครงสร้างของเหล็กหรือไม่ โดยแมงกานีสจะช่วยให้เหล็กกล้าคาร์บอนเพิ่มความแข็งแรง (Strength) และความเหนียว (Toughness) ดีขึ้น แต่ปริมาณของแมงกานีสไม่ควรเกินร้อยละ 0.3 ในเหล็กกล้าคาร์บอนสูง เพราะจะเกิดการแตกเนื่องจากการชุบแข็ง โดยเฉพาะการชุบแข็งโดยใช้น้ำ ซิลิกอนช่วยให้สมบัติการไหลตัว (Fluidity) ดีขึ้น ปริมาณซิลิกอนในเหล็กประเภทนี้จะมีปริมาณถึงร้อยละ 0.3 ฟอสฟอรัสในเหล็กจะเกิดเป็นฟอสไฟด์ซึ่งมีคุณสมบัติเปราะและละลายได้ในเหล็กมีผลทำให้เหล็ก

มีคุณสมบัติแข็งขึ้น แต่ต้องควบคุมปริมาณของฟอสฟอรัสให้อยู่ในช่วงร้อยละ 0.05 หรือน้อยกว่า เพราะถ้ามากกว่านี้เหล็กจะเปราะ

สำหรับซัลเฟอร์จะเป็นธาตุผสมที่มีอันตรายมากที่สุดเพราะจะเกิดเป็นซัลไฟด์ที่เปราะมาก ต้องมีการระวังการใช้เป็นอย่างดี ซัลไฟด์นี้จะละลายได้ในเหล็กเหลว แต่เมื่อเกิดการแข็งตัว ความสามารถในการละลายได้จะลดลงอย่างมาก เทียบได้กับซัลเฟอร์ร้อยละ 0.03 ซึ่งไม่ควรจะมีค่าเกินมากกว่านี้เพราะจะทำให้เกิดการแข็งเปราะ

2.12.4 การทดสอบค่าความแข็ง (Hardness Test)

ความแข็ง คือ ความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างถาวรที่เนื่องมาจากการกดหรือขีด เทคนิคการเปลี่ยนแปลงความแข็งแบบต่างๆ ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อสามารถวัดค่าความแข็งได้ครอบคลุมวัสดุที่มีความแข็งต่างๆ กัน ค่าความแข็งที่ได้จากทุกวิธีเป็นค่าเปรียบเทียบ (Not absolute) แต่ละวิธีมีสเกลเฉพาะและไม่มีความสัมพันธ์โดยตรงระหว่างกันและกัน ความแข็งไม่ได้ใช้ในการออกแบบแต่ก็จะระบุไว้ในสมบัติของวัสดุและในแบบ นอกจากนี้ความแข็งมักใช้ในการควบคุมคุณภาพอีกด้วย





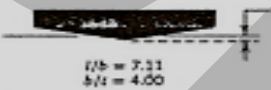





การทดสอบค่าความแข็งของโลหะจะเป็นลักษณะใช้หัวกดขึ้นทดสอบ โดยหัวกดแรงที่ใช้และสภาวะการทดสอบต้องเป็นไปตามมาตรฐาน รอยกดที่เกิดขึ้นบนชิ้นทดสอบนำมาหาค่าความแข็ง ในการทดสอบหาค่าความแข็งที่ใช้กันมี 4 แบบ คือ บริเนลล์ วิกเกอร์ส คุนูป และร็อกเวลล์ดั่งภาพ ในการวิจัยอุตสาหกรรมการผลิตสกรูนี้จะกล่าวถึงการหาค่าความแข็งแบบ Vickers hardness เท่านั้น การทดสอบความแข็งมีอยู่หลายวิธี แต่ที่ใช้กันมากที่สุดมี 3 วิธี คือ

(1) การทดสอบความแข็งแบบบริเนล (Brinell Hardness Test) วิธีการคือ ใช้ลูกบอลเหล็กที่ผ่านการชุบแข็งมาอย่างดี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มม. กดลงบนผิวเรียบของวัสดุที่จะวัด โดยใช้แรง 3,000 กิโลกรัมสำหรับวัสดุแข็ง และ 500 กิโลกรัมสำหรับวัสดุอ่อน โดยใช้เวลา 30 วินาที เป็นมาตรฐาน จากนั้นวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยบุ๋ม (Indentation) นำค่าที่ได้ไปคำนวณจะได้ค่าความแข็งแรงแบบบริเนล (Brinell Hardness Number) การทดสอบความแข็งแบบบริเนลนี้ไม่เหมาะสมกับวัสดุแข็ง เนื่องจากความแข็งของหัวกดไม่มากนัก นอกจากนี้ยังไม่เหมาะสมกับชิ้นทดสอบที่บางกว่าขนาดของรอยบุ๋ม

(2) การทดสอบความแข็งแบบร็อกเวล (Rockwell Hardness Test) การทดสอบแบบนี้คล้ายกับการทดสอบแบบบริเนล แต่ใช้หัวกดเล็กกว่าและแรงน้อยกว่า ค่าของแรงที่ใช้และชนิดหรือขนาดของหัวกดจะเปลี่ยนได้ขึ้นกับสเกลของความแข็งแบบร็อกเวลที่เราจะเลือกใช้ให้เหมาะสมกับชนิดของวัสดุที่จะทดสอบ การอ่านค่าความแข็งจะอ่านโดยตรงจากเครื่อง กล่าวคือ ถ้าความลึกของรอยกดลงไปตื้น ค่าของตัวเลขจะสูง แสดงว่าวัสดุมีความแข็งมาก วิธีการทดสอบจะให้

แรงกระทำเล็กน้อยคือ 10 กิโลกรัม จากนั้นจะเพิ่มแรงกระทำขึ้น ซึ่งอาจจะมีตั้งแต่ 60-100 กิโลกรัม ขึ้นอยู่กับขนาดและชนิดของหัวกด นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่จะทดสอบด้วย หัวกดที่ใช้ อาจจะเป็นลูกบอลเหล็กหรือเพชรที่มีรูปกรวย การทดสอบแบบรอกเวลล์นี้นิยมใช้อย่างกว้างขวาง เพราะสามารถใช้วัดความแข็งของวัสดุชนิดต่างๆ ได้มากกว่า สามารถวัดความแข็งของวัสดุที่การทดสอบแบบบริเนลล์ไม่ได้ การใช้งานสะดวกอ่านค่าได้รวดเร็ว เพราะอ่านโดยตรงจากเครื่อง และเนื่องจากรอยบุ๋มมีขนาดเล็กจึงไม่ทำลายผิวของชิ้นทดสอบ

(3) การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ (Vickers Hardness Test) การทดสอบแบบวิกเกอร์นี้คล้ายกับบริเนลในแง่ที่ว่า ค่าที่ได้เป็นอัตราส่วนระหว่างแรงที่ใช้ต่อพื้นที่ของรอยกด แต่ต่างกันว่าหัวกดที่ใช้เป็นเพชรรูปปิระมิด แรงที่ใช้มีตั้งแต่ 5-120 กิโลกรัม ขึ้นอยู่กับความแข็งของวัสดุ

การทดสอบ	หัวกด	รูปร่างหัวกด	
		มองจากด้านบน	มองจากด้านบน
บริเนลล์	ทรงกลม		
วิกเกอร์	เพชรรูปปิระมิด		
คูลูป	เพชรรูปปิระมิด		
รอกเวลล์	เพชรรูปกรวย หรือ ทรงกลม 1/16, 1/8, 1/4, 1/2 นิ้ว	 	 

ภาพที่ 2.6 แสดงตารางการทดสอบค่าความแข็ง

การทดสอบแรงดึงใช้สำหรับการประเมินความแข็งแรงของโลหะ หรือโลหะผสม ด้วยการใช้วิธีดึงจนขาดในช่วงเวลาสั้นๆ ด้วยอัตราคงที่ ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบจะมีลักษณะแตกต่างกันไปสำหรับโลหะอาจทำเป็นแผ่นหรืออาจทำเป็นแท่ง โดยข้อมูลที่ได้คือกราฟระหว่างความเค้นกับความเครียดทางวิศวกรรมหรือแรงและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชิ้นงาน



ภาพที่ 2.7 แสดงชิ้นทดสอบแรงดึงแบบแผ่นและแบบแท่ง

ความต้านทานแรงดึงสูงสุด (Ultimate tensile strength) คือความแข็งแรงสูงสุดของวัสดุ พิจารณาจากความเค้นทางวิศวกรรม สูงสุดในแผนภาพความเค้นและความเครียดค่านี้ไม่ค่อยใช้มากในงานออกแบบทางวิศวกรรมก่อสร้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับพวกโลหะอ่อน (ductile alloy) เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างถาวรขึ้น อย่างมากก่อนถึงค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด แต่อย่างไรก็ตามค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดนี้ ยังสามารถบ่งชี้ได้ว่าโลหะนั้นมีความสมบูรณ์หรือไม่ถ้าโลหะนั้นไม่สมบูรณ์ เช่น มีรูพรุน (Porosity) จะทำให้ค่า strength ลดลง

เปอร์เซ็นต์การยืดตัว (Percent elongation (%Strain) ปริมาณเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชิ้นงานตัวอย่างภายใต้แรงดึง เมื่อเทียบกับระยะการวัด (gage length) ของชิ้นงานทดสอบ และยังเป็นค่าที่ใช้บอกถึงความอ่อน (ductile) ของวัสดุ โดยทั่วไปโลหะยิ่งอ่อนยิ่งมีค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวมากแสดงว่าโลหะนั้นเปลี่ยนรูปมาก สำหรับโลหะอลูมิเนียมบริสุทธิ์ที่เป็นแผ่นหนา 0.062 นิ้ว (1.6 mm) จะมีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวสูงถึง 35% แต่ถ้าเป็นโลหะอลูมิเนียมผสม (ความแข็งแรงสูงกว่า) 7075-T6 ที่หนาเท่ากัน จะมีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวเพียง 11% เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดที่ขาดมีความสำคัญทางด้านวิศวกรรมมาก เพราะนอกจากจะทำให้เราทราบว่าโลหะนั้นอ่อนเพียงใดแล้วยังจะเป็นดัชนีที่ชี้ให้เห็นว่าโลหะนั้นมีคุณภาพอย่างไร

2.12.5 กรรมวิธีทางความร้อนของเหล็กกล้า

กรรมวิธีทางความร้อนในที่นี้ รวมถึงกรรมวิธีทางความร้อนอื่นๆ นอกเหนือจากการคลายความเค้น (Stress relief annealing) เหล็ก - คาร์บอนเป็นโลหะผสมที่สามารถนำมาผ่านกรรมวิธีทางความร้อนเพื่อปรับปรุงสมบัติทางกลต่างๆ เช่น ความแข็ง ความแข็งแรง ความเหนียว สมบัติยึดดึง ซึ่งสามารถเลือกกรรมวิธีทางความร้อนที่เหมาะสม ตามปริมาณคาร์บอนในเหล็ก

กระบวนการที่มีความจำเป็นในการปรับปรุงคุณสมบัติของเหล็กกล้าคาร์บอนที่จะนำมาใช้ในการผลิตสกรูนั้น สกรูบางประเภทต้องการการอบอ่อน (Annealing) โดยการอบอ่อนสามารถแบ่งออกได้หลายแบบตามลักษณะและผลที่ได้รับจากการอบอ่อนนั้น การอบอ่อนเพื่อลดความเค้น (Stress relief annealing) อุณหภูมิของการตกผลึกใหม่ของเหล็กกล้าจะอยู่ที่ประมาณอุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ดังนั้นการขึ้นรูปรีดร้อนจะมีการตกผลึกใหม่ขึ้น และความเค้นที่เกิดจากการขึ้นรูปก็จะถูกลดลงทันที แต่ในบางกรณีเราจำเป็นต้องใช้วิธีการขึ้นรูปเย็น เช่น การดึงเป็นเส้น อุณหภูมิที่ใช้ไม่สูงพอที่จะเกิดการตกผลึกใหม่ ดังนั้นความเค้นจะเกิดขึ้นในชิ้นงาน ทำให้เหล็กแข็งและเปราะ การลดความเค้นจึงจำเป็น การอบอ่อนเพื่อลดความเค้นนี้เป็นขบวนการอบเหล็กที่อุณหภูมิประมาณ 650 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิของการตกผลึกใหม่ การตกผลึกใหม่จะเกิดขึ้นในเวลาไม่นานที่หลังจากอุณหภูมิขึ้นจนถึงอุณหภูมิสูงสุด และการทิ้งไว้ที่อุณหภูมิสูงนานเกินไป ก็จะทำให้เกิดผลเสียได้ เนื่องจากเกรนจะมีขนาดโตขึ้น จะทำให้ความแข็งแรงลดลงถึงแม้สมบัติยึดดึงเพิ่มขึ้นก็ตาม

2.12.6 การชุบแข็ง (Hardening)

การชุบแข็ง คือ การอบชุบความร้อนวิธีหนึ่งเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของเหล็กกล้าคาร์บอนในด้านความแข็งและความต้านทานการขัดสี กระบวนการนี้เริ่มต้นด้วยการให้ความร้อนแก่เหล็กจนถึงอุณหภูมิที่โครงสร้างเปลี่ยนเป็นออสเทนไนท์ ปล่อยให้ทิ้งไว้ในเตาจนกระทั่งได้โครงสร้างออสเทนไนท์ที่สม่ำเสมอ แล้วทำให้เย็นตัวด้วยอัตราเร็วพอที่ทำให้เกิดโครงสร้างมาร์เทนไซต์ หรืออัตราการเย็นตัววิกฤต (Critical cooling rate) เพื่อที่จะให้ได้โครงสร้างมาร์เทนไซต์ที่สม่ำเสมอ ปัจจัยที่เกี่ยวข้องมีดังต่อไปนี้

(1) ปริมาณของธาตุคาร์บอน : เหล็กกล้าที่มีปริมาณร้อยละของธาตุคาร์บอนยิ่งสูง จะทำให้มีโอกาสในการเกิดโครงสร้างมาร์เทนไซต์มากขึ้น นอกจากนั้น ธาตุผสมอื่น เช่น นิกเกิล โครเมียม และ โมลิบดีนัม ยังช่วยเพิ่มความสามารถในการชุบแข็ง (Hardenability) โดยการลดอัตราการเย็นตัววิกฤตอีกด้วย

(2) อัตราการเย็นตัว : อัตราการเย็นตัวที่ต้องการเพื่อให้ได้โครงสร้างมาร์เทนไซต์นั้น ไม่ควรต่ำกว่าอัตราการเย็นตัววิกฤต และมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

- ผิวของชิ้นงานจะมีอัตราการเย็นตัวมากกว่าใจกลางเสมอ นอกจากนั้น ยิ่งชิ้นงานมีขนาดใหญ่อัตราเร็วการเย็นตัวตลอด ชิ้นก็จะต่ำลงด้วย ด้วยเหตุนี้ที่สภาวะเดียวกัน ชิ้นงานที่ยิ่งเล็กจะยิ่งมีโอกาสที่จะได้โครงสร้างมาร์เทนไซต์ที่สมบูรณ์

- ตัวกลางการเย็นตัวที่ต่างกัน จะให้อัตราเร็วการเย็นตัวที่ต่างกันด้วย เช่น น้ำและน้ำเกลือ (น้ำที่มีโซเดียมคลอไรด์หรือแคลเซียมคลอไรด์ละลายอยู่ด้วยปริมาณหนึ่ง) จะให้

อัตราการเย็นตัวที่รวดเร็วกว่าน้ำมัน นอกจากนั้นการปั่นกวนสารตัวกลางยังเป็นการเพิ่มอัตราการเย็นตัวอีกวิธีหนึ่งด้วย

2.12.7 ลักษณะของผลิตภัณฑ์สกรู

สกรู คือ สลักเกลียวประเภทหนึ่งที่ใช้ยึดจับกับชิ้นส่วนต่างๆ เพื่อให้ยึดติดกันหรือประกอบกันให้เป็นชิ้นส่วนเดียวกัน โดยสิ่งที่สำคัญที่สุดของสกรูคือเกลียว เพราะจะมีส่วนสำคัญต่อการใช้งาน แต่จุดอื่นๆ ก็มีความสำคัญเพื่อให้ชิ้นงานมีความสมบูรณ์และให้มีลักษณะภายนอกที่สวยงาม

2.12.7.1 วัตถุดิบและกระบวนการผลิตสกรู

วัตถุดิบที่ใช้ทำสกรู คือ เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำชนิด SWRCH 22A ซึ่งปัจจุบันในประเทศไทยยังไม่มีโรงงานผลิตเหล็กประเภทนี้ จึงต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศในรูปของ Wire rod ซึ่งต้องนำเข้าสู่กรรมวิธีการดึงลดขนาดและผ่านขั้นตอนการอบเพื่อลดความเค้นของเหล็ก ดังนั้นการควบคุมกระบวนการดึงเส้นลวดเพื่อลดขนาดจึงต้องมีวิธีการควบคุมคุณภาพที่ดี เพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบต่อการใช้งานใช้ผลิตสกรู โดยเฉพาะกระบวนการแรก คือ กระบวนการตีขึ้นรูป

ตารางที่ 2.3 แสดงส่วนผสมทางเคมี SWRCH 22A (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

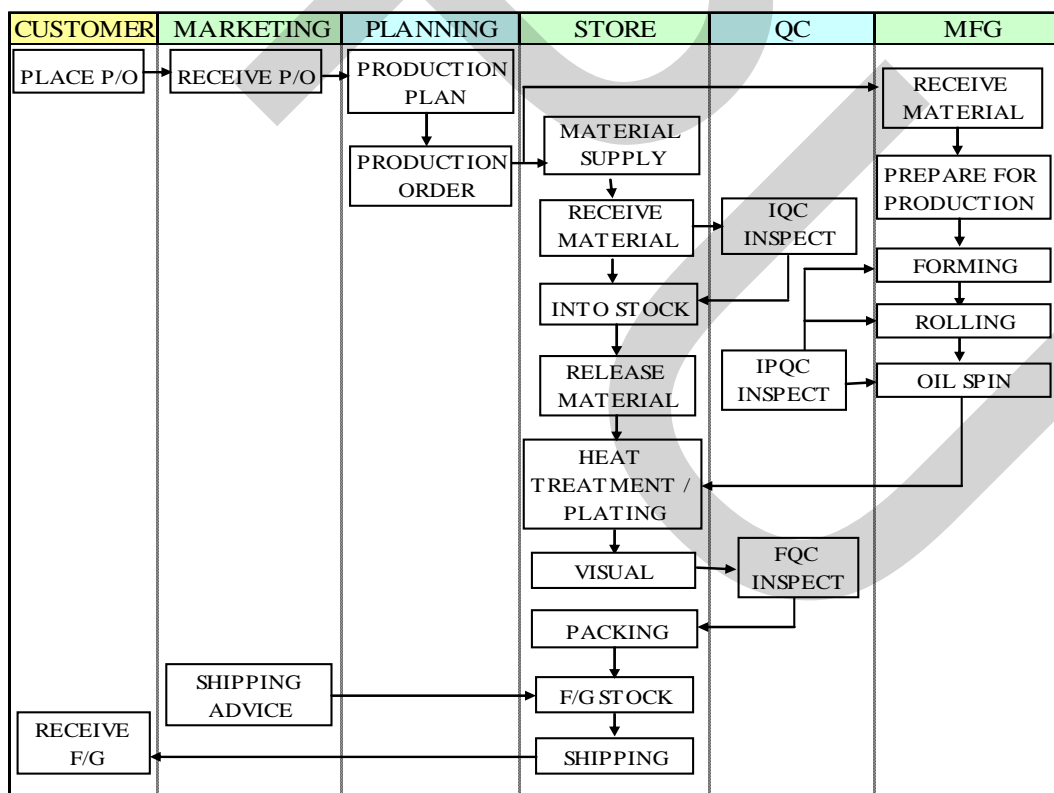
SWRCH 22A	C	Si	Mn	P	S	Al
	0.18~0.23	0.10max	0.70~1.00	0.030max	0.035max	0.02 min

การทำให้เส้นเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำชนิด SWRCH 22A เป็นสกรู คือ การนำเส้นลวดมาผ่านเข้าเครื่องจักรตีขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์ (Mold) ขึ้นรูป 2 ส่วน คือ ส่วนแรกใช้สำหรับการขึ้นรูปหัวสกรู โดยเครื่องจักรจะตีขึ้นรูปเป็นจันทะแรกและส่วนที่สองใช้สำหรับการตีให้ได้ลักษณะหัวสกรูตามแบบและทำช่องขัน (Driver) พร้อมกัน โดยเครื่องจักรจะตีขึ้นรูปเป็นจันทะที่สองซึ่งถือว่าการเสร็จสมบูรณ์ของกระบวนการตีขึ้นรูป



ภาพที่ 2.8 แม่พิมพ์ชิ้นรูปหลักจากการติดตั้ง

2.12.8 ขั้นตอนการผลิตสกรู



ภาพที่ 2.9 ฟังแสดงการไหลของกระบวนการผลิตสกรู

2.12.8.1 ขั้นตอนการออกใบสั่งผลิต (Production Sheet) การออกใบสั่งผลิต ต้องกำหนดรายละเอียดของผลิตภัณฑ์ที่ต้องทำการผลิตให้ครบถ้วนและชัดเจน ใบสั่งผลิตจะได้ ข้อมูลมาจากการอนุมัติชิ้นส่วนและแบบที่ลูกค้าอนุมัติ ข้อมูลในใบสั่งผลิตแสดงรายละเอียดของ แม่พิมพ์ (Mold)

2.12.8.2 ขั้นตอนการขึ้นรูป (Forming Process) การขึ้นรูปสกรูเป็นกระบวนการ ที่มีความสำคัญมากเป็นอันดับแรก เนื่องจากต้องควบคุมตัวแปรต่างๆ ในกระบวนการผลิตให้คงที่ เพื่อให้การขึ้นรูปตรงตามมาตรฐานที่กำหนดและเมื่อนำเข้าสู่กระบวนการถัดไป คือการทำเกลียวก็ จะทำให้ได้ขนาดของเกลียวที่ต้องการ การขึ้นรูปสกรูนอกจากขนาดจะถูกต้องตามมาตรฐานแล้ว ลักษณะภายนอกต้องมีความสวยงามไม่แตก บิ่น และต้องไม่มีรอยตำหนิต่างๆ โดยเฉพาะบริเวณหัว สกรูที่ถือได้ว่าเป็นจุดที่สำคัญต่อการมองเห็นของกลุ่มลูกค้า จึงต้องมีการควบคุมในเรื่องขนาด พร้อมกับความสวยงามไปพร้อมกัน

2.12.8.3 ขั้นตอนการรีดเกลียว (Rolling Process) การรีดเกลียวเป็นกระบวนการ ที่ต่อเนื่องจากกระบวนการขึ้นรูป ซึ่งเกลียวของสกรูนั้นจะมีขนาดที่ถูกต้องตามแบบหรือตาม มาตรฐานถึงจะสามารถนำไปใช้งานได้ หากสกรูที่ผ่านกระบวนการรีดเกลียวแล้วพบว่า เกลียวไม่ ถูกต้องตามมาตรฐานหรือตามแบบของลูกค้า สกรูก็จะไม่สามารถใช้งานได้เพราะในอุตสาหกรรม การผลิตชิ้นส่วนต่างๆ ที่ต้องใช้สกรูต้องการเวลาในการประกอบค่อนข้างสั้น ดังนั้นการควบคุม ขนาดของเกลียวถือว่าเป็นสิ่งสำคัญต่อการนำไปใช้งาน

2.12.8.4 ขั้นตอนการชุบแข็ง (Hardening) การชุบแข็งสกรูเป็นการเพิ่มคาร์บอน เข้าไปในเนื้อเหล็กเพื่อให้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ไม่เสี่ยงต่อการแตกหักเมื่อนำมาใช้งาน การชุบแข็ง สกรูต้องพิจารณาถึงเกรดของเหล็กด้วยเพราะเหล็กแต่ละชนิดมีปริมาณคาร์บอนไม่เท่ากัน จึงต้อง ควบคุมทั้งปริมาณคาร์บอน อุณหภูมิและเวลาการชุบแข็งในเตาชุบแข็งด้วย



ภาพที่ 2.10 แสดงเตาชุบแข็ง

2.12.8.5 ขั้นตอนการชุบสี (Plating) สกรูที่ผ่านการชุบแข็งแล้วหรือสกรูบางประเภทที่ไม่ต้องผ่านกระบวนการชุบแข็ง เมื่อกระบวนการต่างๆ เสร็จสมบูรณ์แล้วต้องนำเข้าสู่กระบวนการชุบสี เพื่อป้องกันการเกิดสนิมและเพื่อความสวยงามเมื่อยึดกับชิ้นส่วนต่างๆ การชุบสีของสกรูนั้นจะมีการชุบสีต่างๆ ตามความต้องการของลูกค้า โดยจะมีการควบคุมความหนาของผิวไม่ให้บางเกินไปหรือหนาเกินไป เพราะหากการชุบสีบางเกินไปก็จะทำให้ไม่สามารถทนต่อการเกิดสนิมหรือมีโอกาสที่สีจะเปลี่ยนแปลงไปในระยะเวลาที่สั้นและหากการชุบสีหนาไปก็อาจส่งผลให้เกลียวของสกรูใช้งานไม่ได้เช่นกัน



ภาพที่ 2.11 แสดงสกรูหลังจากผ่านกระบวนการชุบสี

2.12.8.6 กระบวนการบรรจุ (Packing) เมื่อสกรูผ่านการชุบสี ซึ่งถือว่าเป็นขั้นตอนสุดท้ายของการผลิตสกรูแล้วต้องทำการบรรจุตามมาตรฐานการบรรจุ (Packing Standard) เพื่อจัดเก็บเข้าคลังสินค้าก่อนส่งมอบให้ลูกค้าต่อไป

2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

2.2.1 แผนภาพพारेโต (Pareto Diagram)

แผนภูมิพारेโตเป็นเครื่องมือที่จะตรวจสอบปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในสถานประกอบการ เช่น จำนวนคุณภาพสินค้าไม่ดี ข้อบกพร่องต่างๆ คำร้องเรียนจากลูกค้า โดยการนำเอาสาเหตุเหล่านั้นมาแบ่งแยกประเภท แล้วเรียงลำดับตามจำนวนสินค้าที่ไม่ดีหรือความสูญเสียเปล่าทางการเงิน ซึ่งจะ

เรียงลำดับจากมากไปหาน้อย โดยจะแสดงขนาดความมากน้อยด้วยกราฟแท่ง แผนภูมิพาเรโต เป็นแผนภูมิที่แสดงว่ามูลเหตุใดเป็นมูลเหตุสำคัญที่สุด วิธีการเขียนแผนภูมิพาเรโตเริ่มจากการใช้ตารางตรวจสอบเก็บข้อมูลก่อน แล้วจึงจำแนกข้อมูลออกเป็นหมวดหมู่ตามสาเหตุต่างๆ นอกจากจะแสดงมูลเหตุที่สำคัญที่สุดและเรียงมูลเหตุอื่นๆ ตามลำดับความสำคัญ แล้วก็จะแสดงกราฟสะสมไว้ด้วย

2.2.2 ผังก้างปลา (Fish Bone Diagram)

ผังก้างปลาหรือแผนภาพแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Analysis) คือ แผนภาพที่จัดแจงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะสมบัติ (ผล) ที่มีปัญหาจำต้องหาทางแก้ไขกับสิ่งที่เราคิดว่าเป็นสาเหตุสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการเกิดปัญหาไว้เป็นอย่างระเบียบเรียบร้อย โดยรวบรวมไว้มีลักษณะคล้ายก้างปลา แผนภาพแสดงเหตุและผลนับเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในอันที่จะดำเนินการควบคุมและปรับปรุงกระบวนการผลิตให้ดีขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ สิ่งที่จะออกจะง่ายแต่ทำได้ยากได้แก่ วิธีการเขียนแผนภาพแสดงเหตุและผลที่สามารถใช้งานได้อย่างดีนั้น จะต้องมีการเข้าร่วมจากบุคคลหลายๆ ฝ่ายที่เกี่ยวข้องกับปัญหา มีการถกเถียงถึงจุดมุ่งหมายของปัญหาอย่างแจ่มชัด แล้วถึงแสดงความคิดเห็นต่างๆ ออกมาเพื่อเขียนออกมาเป็นแผนภาพเพื่อแสดงเหตุและผลของลักษณะปัญหาที่เกิดขึ้น

2.2.3 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องของผลกระทบ (Fail Mode and Effect Analysis)

FMEA เป็นเครื่องมือที่ใช้ช่วยในการวิเคราะห์ถึงผลกระทบอันเนื่องมาจากข้อบกพร่อง โดยการวิเคราะห์จะหาลักษณะของข้อบกพร่องที่คาดว่าจะเกิดและสาเหตุหรือกลไกที่ก่อให้เกิดข้อบกพร่องเพื่อทำการกำหนดแนวทางป้องกัน ซึ่งจะใช้หลักการในการให้คะแนนโดยให้ความสำคัญใน 3 เรื่อง คือ ความรุนแรง (Severity: S), โอกาสในการเกิด (Occurrence: O), การตรวจจับ (Detection: D) นำความสำคัญทั้ง 3 เรื่องมาหาค่า RPN (Risk Priority Number) โดยค่า RPN ที่มีค่าสูงๆ มีความจำเป็นต้องดำเนินการปฏิบัติการแก้ไขเพื่อลดค่า RPN ลงและไม่ว่า RPN จะมีค่าเท่าใดก็ตาม เราควรที่จะเอาใจใส่เป็นกรณีพิเศษถ้าหากคะแนนของความรุนแรงมีค่าสูงมาก

2.2.4 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล (Factorial Design)

การทดลองส่วนมากในทางปฏิบัติจะเกี่ยวข้องกับการศึกษาถึงผลของปัจจัย (Factor) ตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป ในกรณีของการออกแบบการทดลองนี้ เรียกว่า การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล (Factorial Design) จะเป็นวิธีการทดลองที่มีประสิทธิภาพสูงสุด การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล หมายถึง การทดลองที่พิจารณาถึงผลที่เกิดจากการรวมกันของระดับ (Level) ของปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการทดลองนั้น ตัวอย่างเช่น กรณี 2 ปัจจัย ถ้าปัจจัย A ประกอบไปด้วย a ระดับและปัจจัย B ประกอบไปด้วย b ระดับ ในการทดลอง 1 เรพลิต (Replicate) จะประกอบด้วยทดลอง

ทั้งหมด ab การทดลอง และเมื่อปัจจัยที่เกี่ยวข้องถูกนำมาจัดให้อยู่ในรูปแบบของการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล จะกล่าวได้ว่าปัจจัยเหล่านี้มีการไขว้ (Crossed) ซึ่งกันและกัน

2.2.5 โปรแกรม Minitab

โปรแกรม Minitab เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่ช่วยประมวลผลข้อมูลทางสถิติที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในภาคการศึกษา ในด้านวิจัย และภาคอุตสาหกรรม ใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์ข้อมูล, แสดงรายละเอียดข้อมูลออกมาในรูปแบบกราฟ และมีเครื่องมือในการปรับปรุงคุณภาพ ในปัจจุบันเป็นที่รู้จักกันดีสำหรับผู้ที่กำลังเพิ่มประสิทธิภาพหรือปรับปรุงคุณภาพการผลิตที่ต้องการผลวิเคราะห์ที่แม่นยำ ต้องการแสดงผลทั้งผลเชิงตัวเลขและการนำเสนอผลการวิเคราะห์ในรูปแบบกราฟ นิยมใช้ Minitab ในการวิเคราะห์สถิติ การประยุกต์ใช้กับงานด้านคุณภาพ และการออกแบบการทดลอง

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ณัฐพล สตินตระการผล (2543) ศึกษาการลดปริมาณผลิตภัณฑ์บกพร่องของเพลาช่างรถยนต์ในกระบวนการตีขึ้นรูป โดยได้ทำการศึกษาดังปัจจัยหลักที่ทำให้มีผลต่อการเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทหน้าแปลนไม่เต็ม ซึ่งพบว่าเกิดจากสาเหตุจากพารามิเตอร์ต่างๆ สามตัวด้วยกัน ประกอบด้วยค่า Upsetting Temperature, Spindle Pressure, Forging Force จากนั้นทำการหาความสัมพันธ์ของการเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทหน้าแปลนไม่เต็ม โดยความสัมพันธ์เป็นดังนี้ ถ้าให้ Spindle Pressure มีความดันเพิ่มขึ้น 1 Kg/cm^2 แล้วจะทำให้จำนวนผลิตภัณฑ์บกพร่องลดลง 335 ppm ถ้าให้ Upsetting Temperature มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียสแล้วจะทำให้ผลิตภัณฑ์บกพร่องลดลง 719 ppm และถ้าให้ Forging Force ลดลง 1 Ton แล้วจะทำให้จำนวนผลิตภัณฑ์บกพร่องเพิ่มขึ้น 563 ppm ซึ่งในการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ จะไม่ทำการศึกษาดังอิทธิพลร่วมของ Upsetting Temperature และ Spindle Pressure ต่อการเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทหน้าแปลนไม่เต็ม, Upsetting Temperature และ Forging Force ต่อการเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทหน้าแปลนไม่เต็ม, Spindle Pressure และ Forging Force ต่อการเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องหน้าแปลนไม่เต็ม รวมทั้งไม่ศึกษาดังอิทธิพลร่วมของทั้ง 3 ปัจจัย คือ ทั้ง Upsetting Temperature, Spindle Pressure และ Forging Force ต่อการเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องหน้าแปลนไม่เต็มจากนั้นทำการหาค่าที่ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทหน้าแปลนไม่เต็มน้อยที่สุด พบว่ามีสภาวะคือ ให้ปรับค่า Upsetting Temperature เท่ากับ 1200 องศาเซลเซียส, Spindle Pressure เท่ากับ 70 kg/cm^2 และ Forging Force เท่ากับ 1250 ตัน ในการควบคุมให้คุณภาพของฝ่ายผลิตที่ทำการศึกษาให้มีคุณภาพดีขึ้นนั้น จะทำการควบคุมค่าของพารามิเตอร์โดยอ้างอิงผลจากการทดลองและวิจัย ซึ่งสามารถสรุปได้ คือ

การเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทหน้าแปลนไม่เต็มนั้นเป็นผลมาจากแรงอัดในการขึ้นรูปร้อนและอุณหภูมิในการขึ้นรูปร้อนด้วยเครื่อง Electric Upsetter ซึ่งในทางปฏิบัติใช้เครื่องยี่ห้อ GOHSYU ดังนั้นค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ได้จึงใช้ได้เฉพาะเครื่องรุ่นนี้เท่านั้น โดยการปรับค่าพารามิเตอร์สำหรับการผลิตให้ปรับเครื่องดังนี้ ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 1,200 องศาเซลเซียส และตั้งค่าของ Spindle Pressure ไว้ที่ 70 kg/cm² และค่าของแรงที่ใช้ในการตีขึ้นรูปที่เครื่อง Screw Press ยี่ห้อ ENOMOTO โดยการปรับค่าของ Down Power Set เท่ากับ 39

อภิชาติ ศรีณนิตย์ (2548) ได้ศึกษาวิธีการลดของเสียในโรงงานอุตสาหกรรมฉีดพลาสติก โดยศึกษาพารามิเตอร์ต่างๆ ซึ่งจากการศึกษาพบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ Mold ให้สูงขึ้นแล้วทำให้ขนาดของชิ้นงานลดลง เพราะการเย็นตัวของชิ้นงานพลาสติกเกิดจากไม่สามารถถ่ายเทความร้อนได้เร็ว จึงเป็นผลทำให้ชิ้นงานมีขนาดลดลง ในส่วนของระยะเวลาการฉีดนั้นสามารถอธิบายได้ว่าเนื่องจากพลาสติกทุกชนิดมีคุณสมบัติในการหดตัวอยู่แล้วเมื่อเราทำการฉีดพลาสติกเหลวเข้าไปในแบบพลาสติกจะเริ่มมีการหดตัวเพื่อถ่ายเทความร้อนแต่เมื่อระยะเวลาในการเย็นตัวใน Mold นานจะทำให้พลาสติกไม่สามารถหดตัวได้อย่างอิสระจึงทำให้ขนาดไม่สามารถลดลงได้ แต่ถ้าระยะเวลาในการเย็นตัวใน Mold น้อยเวลาที่นำชิ้นงานออกจาก Mold ชิ้นงานจะสามารถถ่ายเทความร้อนสู่อากาศและเกิดการหดตัวได้อย่างอิสระ จึงทำให้ขนาดลดลงจากนั้นได้ทำการคัดเลือกหาปัจจัยป้อนเข้าที่น่าจะส่งผลกระทบต่อการศึกษาของเสียแบบขนาดโตของผลิตภัณฑ์ UZQ02600100 โดยผ่านเครื่องมือคือ แผนภาพแสดงสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) ภายใต้การระดมสมองและการวิเคราะห์ถึงผลกระทบอันเนื่องมาจากลักษณะข้อบกพร่อง (FMEA) โดยทำการวิเคราะห์ผ่าน Pareto พบว่าปัจจัยที่มีความสำคัญส่งผลกระทบต่อปัญหาที่ทำการศึกษา คือ อุณหภูมิ Mold, Cycle Time, Holding Pressure ผลการทดลองสรุปได้ว่าที่ Mold Temp เท่ากับ 75 องศาเซลเซียส Cycle Time เท่ากับ 22 วินาที และ Holding Pressure เท่ากับ 10 MPa ทำให้ได้ขนาดของชิ้นงานอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้คือ 99.75 – 100.05 มิลลิเมตร

กฤษดา อัสวรุ่งแสงกุล (2542) ได้ทำการปรับปรุงคุณภาพของหัวอ่านเขียนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์โดยประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง ซึ่งจากการศึกษาพบว่าได้ปัจจัยที่จะใช้ในการทดลองเบื้องต้น 5 ปัจจัย คือ ความเร็วรอบในการตัด อัตราการป้อนตัด จำนวนครั้งในการเดินลับไบมีด ความลึกของไบมีดในการตัด และทิศทางในการตัด หลังจากนั้นใช้แผนการทดลองแฟกซ์นอลแบบครึ่งหนึ่งของ 2^k แฟกทอเรียล เพื่อวิเคราะห์หัวปัจจัยทั้ง 5 นั้นมีอิทธิพลต่อการเกิดรอยบิ่นและรอยร้าวหรือไม่ หลังจากทำการเก็บข้อมูลโดยการออกแบบการทดลองและทำการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่ามี 2 ปัจจัย ที่มีผลต่อรอยบิ่นและรอยร้าวอย่างมีนัยสำคัญคือความเร็วรอบในการตัด ทิศทางในการตัด จากการพิจารณาค่าในตารางของตัวแปรตอบสนองพบว่าสภาวะการตัดที่เหมาะสม

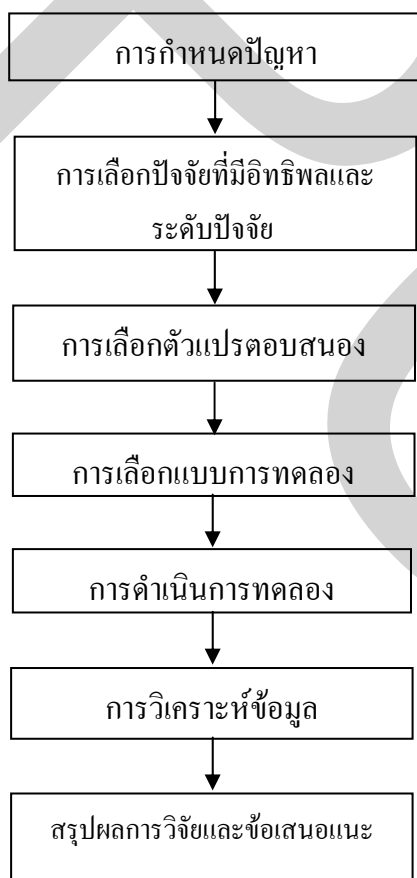
เพื่อให้จำนวนรอยบิ่นและรอยร้าวลดลง คือ ความเร็วรอบ 8,500 รอบต่อนาที และทิศทางการตัด จากด้าน Pole สู่ด้าน Taper จากนั้นได้ทำการทดลองเพื่อยืนยันผล โดยเปรียบเทียบสภาวะการตัดที่ใช้อยู่ในปัจจุบันกับสภาวะการตัดที่เหมาะสมพบว่ามีผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ของเสียลดลงไม่ได้มากตามที่ต้องการ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปัจจัยทั้ง 2 มีนัยสำคัญต่อการเกิดรอยบิ่นและรอยร้าว แต่ไม่มีนัยสำคัญเพียงพอที่จะทำให้จำนวนรอยบิ่นและรอยร้าวลดลงในการใช้งานจริงตามที่ตั้งวัตถุประสงค์ไว้ ผู้วิจัยจึงได้พยายามหาปัจจัยใหม่ที่น่าจะมีผลต่อการเกิดปัญหา ซึ่งได้พิจารณาถึงความคมของใบมีด จึงได้เลือกปัจจัยคือ ความถี่ในการลับใบมีดระหว่างการตัดมาใช้ในการทดลองเพิ่มเติมนี้ โดยใช้แผนการทดลองแบบปัจจัยเดียว และมีระดับของปัจจัยเท่ากับ 3 ระดับ จากการทดลองเพิ่มเติม นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ตามหลักการทางสถิติพบว่าปัจจัยนี้มีผลต่อการเกิดรอยบิ่นและรอยร้าวอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจากการวิเคราะห์จากกราฟของ Response Plot พบว่าที่การลับใบมีดทุกๆ CUT และเดินลับเพียงครั้งเดียวจะมีจำนวนรอยบิ่นและรอยร้าวต่ำที่สุด

จากทฤษฎีการออกแบบการทดลองและทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องรวมถึงการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องนั้นจะได้ใช้เป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบการทดลองที่เหมาะสม โดยจะใช้ขั้นตอนการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลและวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเป็นแนวทางในการทดลองต่อไป

บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงกรอบแนวคิดวิธีการวิจัยและการทดลองในกระบวนการผลิตสกรู ให้การหาปัจจัยที่เกี่ยวข้องที่ส่งผลกระทบต่อข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ได้ถูกต้อง แล้วนำปัจจัยหลักที่มีผลต่อข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ไปทำการทดลองปรับเปลี่ยนเพื่อให้ได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด อีกทั้งจะกล่าวถึงเครื่องมือที่จะใช้ในการวิจัย วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลและการนำข้อมูลมาวิเคราะห์ผล

3.1 วิธีการวิจัยและการทดลอง



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินการดังเริ่มจาก การกำหนดปัญหา ระดมสมองเพื่อเลือกปัจจัยที่มีอิทธิพล ทำการวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆ เพื่อให้ทราบปัจจัยที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์บกพร่อง ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลปัจจัยต่างๆ เพื่อแยกปัญหาในกระบวนการผลิตสกรู วิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ โดยการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) กำหนดหาจุดที่ดีที่สุดของตัวแปรที่สามารถปรับปรุงได้ในกระบวนการผลิต ควบคุมตัวแปรที่ได้ทำการเปลี่ยนแปลงและดูแนวโน้มของผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น เสนอวิธีการควบคุมปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อความผันแปรของคุณภาพผลิตภัณฑ์ต่อทางโรงงานเพื่อกำหนดเป็นมาตรฐานในการดำเนินงานต่อไป

3.2 ปัญหาและอุปสรรคในสภาพการทำงานปัจจุบัน

โรงงานอุตสาหกรรมการผลิตสกรู แบ่งเป็น 2 กระบวนการหลักๆ คือ กระบวนการขึ้นรูปหัวและลำตัวสกรูและกระบวนการทำเกลียวสกรู ซึ่งในแต่ละกระบวนการผลิตจะมีของเสียเกิดขึ้น โดยของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตสกรูนั้นส่วนมากไม่สามารถนำไปแก้ไขหรือซ่อมแซมได้ เนื่องจากหน้าที่การใช้งานของสกรูก่อนข้างมีความสำคัญต่อการนำไปประกอบกับผลิตภัณฑ์หลัก เพื่อใช้ในการจับยึดชิ้นส่วนต่างๆ เช่น เมื่อเกิดการแตกร้าวของหัวสกรูต้องมีการคัดแยกออกเพราะไม่สามารถใช้งานได้ หรือมีส่วนน้อยที่เป็นของเสียแล้วสามารถแก้ไขได้ เช่น เกิดปัญหาเกี่ยวกับเกลียวสกรู แต่ก็ค่อนข้างยากเพราะต้องนำเข้าสู่กระบวนการผลิตใหม่อีกครั้งหนึ่ง ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ออกมาอาจมีของเสียหลุดออกมาจากกระบวนการแก้ไขด้วย อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิตให้สูงขึ้น ในการทำวิจัยนี้เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตสกรู เพื่อลดปัญหาสกรูหัวแตกร้าวในกระบวนการขึ้นรูปสกรู ที่เกิดปริมาณของเสียมากที่สุด ซึ่งปัจจัยหลักที่มีผลต่อปัญหาสกรูหัวแตกร้าวคือ ค่าความแข็ง (Hardness) ของเหล็กวดคาร์บอนต่ำชนิด SWRCH 22A ดังนั้นผู้วิจัยจะต้องทำการศึกษาทดลองเพื่อเปรียบเทียบค่าของค่าความแข็งที่เหมาะสม โดยการทดลองเพิ่มและลดค่าความแข็งของเหล็กวดคาร์บอนต่ำชนิด SWRCH 22A จากมาตรฐานเดิมแล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วยหลักการออกแบบการทดลอง (Factorial Design) เพื่อตรวจสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์และติดตามความแตกต่างที่เกิดขึ้นกับชิ้นงาน หลังจากได้ค่าที่เหมาะสมจึงเริ่มทดลองเปลี่ยนจากมาตรฐานเดิมและทดลองผลิตตามค่าที่เหมาะสมจากการทดลองในขั้นตอนปกติทำการเก็บตัวอย่างชิ้นงาน โดยการเก็บรวบรวมข้อมูลเป็นระยะเวลา 1 ปี เพื่อนำมาสรุปเปรียบเทียบกับจำนวนของเสียในอดีตว่าของเสียที่เกิดขึ้นลดลงจากเดิมหรือไม่

3.3 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลของเสียในกระบวนการผลิตสกรู ตั้งแต่เดือนมกราคม 2549 ถึงเดือนธันวาคม 2549 โดยได้ข้อมูลจากการรายงานของเสียประจำวันของเจ้าหน้าที่แผนกควบคุมคุณภาพ โดยรวบรวมเป็นการสรุปผลของเสียประจำเดือนเพื่อรายงานต่อผู้บริหารระดับสูงในการประชุมคุณภาพประจำสัปดาห์ (Weekly Quality Meeting)

หลังจากนั้นนำปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นมาคำนวณสัดส่วนของชิ้นงานเสียและคิดเป็นมูลค่าความเสียหายที่เกิดขึ้น โดยคำนวณจากมูลค่าของราคาค่าวัตถุดิบที่ซื้อมาจากผู้ผลิตเหล็กถลุงคาร์บอนต่ำชนิด SWRCH 22A

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

จากข้อมูลในอดีตเดือนมกราคม 2549 ถึง เดือนธันวาคม 2549 ของกระบวนการผลิตสกรู พบว่ามูลค่าความเสียหายที่เกิดขึ้นคือ 143,880 บาทต่อปี ซึ่งมีปริมาณของเสียรวม 3,597 กิโลกรัม จากยอดผลิตทั้งหมด 135,000 กิโลกรัม คิดเป็นของเสียเท่ากับ 2.66% และคิดเป็นมูลค่าความเสียหายเฉลี่ยต่อเดือนเป็นมูลค่า 11,990 บาทต่อเดือน

ดังนั้นในการวิจัยนี้ผู้ทำการวิจัยต้องการลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตสกรูในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตสกรู โดยคัดเลือกจากปัญหาที่มีปริมาณของเสียมากที่สุดและมีมูลค่าความเสียหายมากที่สุด คือ ปัญหาสกรูหัวแตกร้าว มีมูลค่าความเสียหายเท่ากับ 87,200 บาทต่อปี คิดเป็น 60.61% ของมูลค่าของเสียทั้งหมด และคิดเป็นมูลค่าความเสียหายเฉลี่ยต่อเดือนเป็นมูลค่า 7,267 บาทต่อเดือน ทั้งนี้หากสามารถหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ได้แล้ว สามารถปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์เพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตสกรูได้ ก็จะช่วยให้บริษัทมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำลง ลดขั้นตอนการแก้ไขงานเสียและยังลดโอกาสเสี่ยงต่อการส่งของเสียหลุดไปถึงลูกค้า จึงเป็นที่มาของการทำงานวิจัยฉบับนี้

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของการดำเนินงานวิจัยตามแนวทางของหลักการออกแบบการทดลอง (Factorial Design) โดยการศึกษากระบวนการและสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาการแตกร้าวของหัวสกรูในอุตสาหกรรมการผลิตสกรูนั้น พิจารณาจากข้อมูลของเสียที่ทำการบันทึกไว้และทำการวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริงที่ส่งผลกระทบต่ออาการของปัญหาและวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้เกิดลักษณะอาการของปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้น เพื่อทำการลดปริมาณของเสียในกระบวนการขึ้นรูปหัวสกรู ซึ่งมีขั้นตอนตามลำดับดังนี้

4.1 การระบุปัญหา

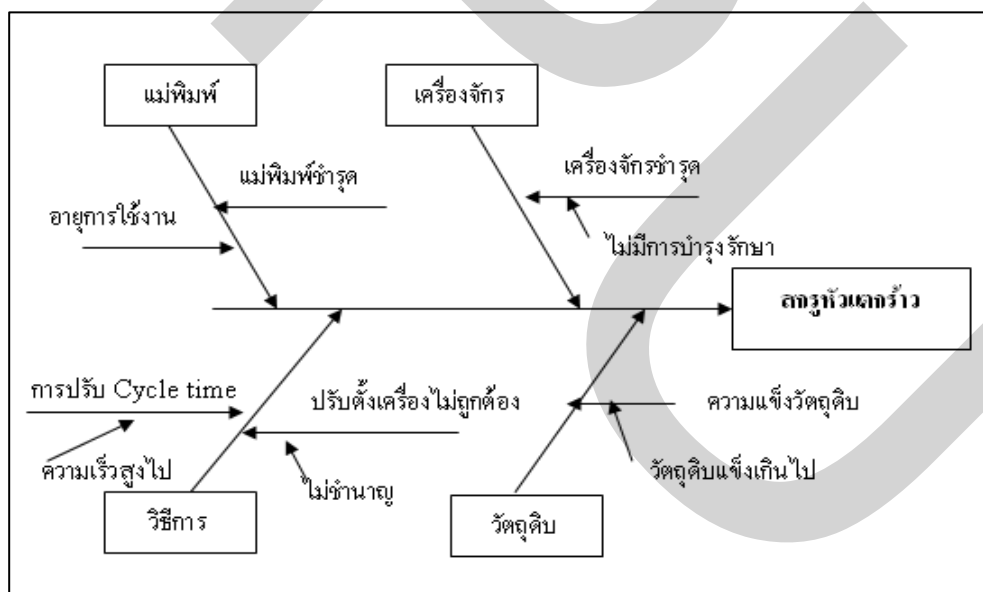
สำหรับปัญหาที่ได้นำมาทำการวิจัยในครั้งนี้ คือ การลดของเสียจากกระบวนการผลิตสกรูในขั้นตอนขึ้นรูปหัวสกรู ซึ่งในปัจจุบันพบว่าปริมาณของเสียรวมทั้งหมดของการผลิตสกรูมีค่าเท่ากับ 2.66% ซึ่งจากการลำดับความสำคัญของปัญหาที่เกิดขึ้นพบว่าปัญหาสกรูหัวแตกร้าวมีปริมาณงานเสียและมูลค่าความเสียหายมากที่สุด คือ 2,180 กิโลกรัม คิดเป็นมูลค่า 87,200 บาทต่อปีตามลำดับ คิดเป็น 60.61% ของปริมาณของเสียทั้งหมดที่เกิดขึ้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการวิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะอาการแตกร้าวของหัวสกรู ซึ่งมีรายละเอียดอยู่ในหัวข้อถัดไป

4.2 ขั้นตอนในการเลือกปัจจัย

ในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาเพื่อรวบรวมสาเหตุหรือปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่ออาการสกรูหัวแตกร้าวโดยอาศัยผังก้างปลา (Fish Bone Diagram) เพื่อรวบรวมสาเหตุหลังจากการระดมสมองจากผู้ที่มีประสบการณ์ในการผลิตสกรูและช่างเทคนิคหน้างาน โดยอาศัยหลักการและเทคนิคในด้านการควบคุมคุณภาพเพื่อรวบรวมปัจจัยที่เป็นไปได้ทั้งหมดให้ได้มากที่สุด แล้วทำการคัดเลือกปัจจัยของปัญหาที่มีความสำคัญต่ออาการแตกร้าวของหัวสกรูขณะที่ขึ้นรูปหัวสกรูมาทำการออกแบบการทดลอง (Factorial Design) เพื่อหาความมีนัยสำคัญเพื่อยืนยันความเชื่อว่าปัจจัยที่เลือกมีผลต่อการเกิดปัญหาสกรูหัวแตกร้าว

4.3 การศึกษาและวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาหลัก

เพื่อให้ทราบถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อปัญหา จึงทำการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาโดยใช้แผนภาพเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) หรือแผนภาพก้างปลา (Fish Bone Diagram) ในการวิเคราะห์ความผันแปรของการเกิดปัญหา เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและผลนั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการระดมสมอง (Brainstorming) จากผู้ที่มีความรู้เฉพาะทางหรือจากการทดสอบโดยอาศัยเทคโนโลยีเฉพาะทางเพื่อให้ได้มาซึ่งสาเหตุของปัญหาแล้วทำการพิสูจน์ตามข้อเท็จจริงสำหรับการแก้ไขต่อไป ในขั้นตอนการระดมสมองนั้นจะเปิดโอกาสให้ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตได้เสนอความคิดเห็น โดยผู้ที่ร่วมแสดงความคิดเห็นนั้นจะเป็นหัวหน้างาน พนักงานปฏิบัติการ หรือผู้ที่มีความชำนาญซึ่งมีความรู้ในเรื่องที่ทำการศึกษา ซึ่งในการเสนอความคิดเห็นนั้นจะไม่จำกัดปริมาณและคุณภาพของข้อมูลที่ได้อธิบายมา เพื่อป้องกันการตกหล่นของสาเหตุที่มีผลกระทบต่อปัญหา สุดท้ายก็จะนำความคิดเห็นที่ได้มาจัดเป็นหมวดหมู่ด้วยแผนภาพสาเหตุและผลเพื่อให้เข้าใจถึงความสัมพันธ์ของสาเหตุหลักและสาเหตุย่อย ซึ่งจากการระดมสมองได้ปัจจัยต่างๆ ที่คาดว่าจะส่งผลทำให้เกิดปัญหาสกรูหัวแตกเร็ว ดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 แสดงแผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

จากภาพที่ 4.1 พบว่าสาเหตุหรือปัจจัยหลักที่คาดว่าจะมีอิทธิพลต่อการเกิดปัญหาทำให้สกรูหัวแตกเร็ว ได้แก่

1. วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตแข็งเกินไป
2. ไม่มีความชำนาญในการตั้งเครื่อง
3. ความเร็วรอบในการผลิตเร็วเกินไป
4. แม่พิมพ์ขึ้นรูปชำรุด
5. เครื่องจักรที่ใช้ผลิตชำรุด

4.4 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องของผลกระทบ (FMEA)

หลังจากที่เราได้ทำการระดมสมองในการทำแผนภาพสาเหตุและผลแล้วจึงนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องของผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis : FMEA) หลักการนี้เป็นวิธีที่จะช่วยในการศึกษาปัญหาอย่างเป็นระบบเพื่อใช้ในการศึกษาปัญหาและป้องกันปัญหาที่จะเกิดขึ้นตามมาในภายหลัง วิธีการนี้เป็นวิธีการที่จะเพิ่มหลักการในการแก้ไขปัญหาให้กับวิศวกรหรือเจ้าหน้าที่ควบคุมคุณภาพในโรงงานอุตสาหกรรมได้ศึกษาปัญหาด้วยหลักการของเหตุและผลซึ่งจะทำให้เกิดวิธีการแก้ปัญหาได้ดีที่สุด โดยเน้นไปที่ลำดับของการแก้ไขปัญหาให้ก่อนหน้า โดยเน้นไปที่การป้องกันปัญหาที่มีโอกาสเกิดขึ้น (Most Likely Failure) โดยในที่นี้ถือว่าเป็นการวิเคราะห์ถึงผลกระทบอันเนื่องมาจากลักษณะข้อบกพร่องในกระบวนการผลิต (FMEA process) ซึ่งจากการเก็บรวบรวมข้อมูลจากอดีตที่ผ่านมาเพื่อหาวิธีการลดของเสียโดยการรวบรวมและทำการแยกแยะออกมาว่าปัจจัยใดที่มีผลต่อการเกิดของเสียและปัจจัยนั้นสามารถแก้ไขได้หรือไม่ ซึ่งวิธีการประเมินทำได้โดยนำเอาความถี่ในการเกิดปัญหา (Occurrence: O), ความรุนแรงของปัญหา (Severity: S), และโอกาสในการตรวจจับ (Detection: D) (ภาคผนวก ง) มาเป็นตัวตัดสินใจเพื่อที่จะเริ่มดำเนินการแก้ไขปัจจัยของปัญหาที่มีความสำคัญมากที่สุดก่อน โดยได้แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) อันเนื่องมาจากปัญหาหัวสกรูแตกร้าว

Process	Key Process Input (สาเหตุที่เกิดปัญหา)	Potential Failure Mode (ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น)	Potential Effect of Mode (ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น)	ความรุนแรง (Severity) (S)	Potential Cause Mechanism of Failure (สาเหตุที่เป็นไปได้)	โอกาสการเกิด (Occurrence) (O)	Current Process Control (การควบคุมในปัจจุบัน)	การตรวจจับ (Detection) (D)	RPN
Forming ขึ้นรูป	วัตถุดิบแข็งมากเกินไป	ขึ้นรูปยาก	หัวสกรูแตกร้าวไม่สามารถใช้งานได้	8	ไม่มีการกำหนดค่าความแข็งของวัตถุดิบ	6	การทดสอบค่าความแข็งก่อนใช้งาน	5	240
	Cycle time ในการขึ้นรูป	Cycle time เร็วเกินไป	หัวสกรูเสียรูปทรง	7	ขาดมาตรฐานควบคุมการปฏิบัติงาน	6	ไม่มีการควบคุม	3	126
	ปรับตั้งเครื่อง	ปรับตั้งเครื่องไม่ตรงศูนย์กลาง	ชิ้นงานไม่สมบูรณ์ หัวแตกร้าว	5	พนักงานขาดความชำนาญ	4	ไม่มีการควบคุมการปฏิบัติงาน	3	60

เมื่อพิจารณาจากการวิเคราะห์ FMEA (Fail Mode and Effect Analysis) โดยค่า RPN (Risk Priority Number) ที่สูงควรนำมาแก้ไขก่อนเสมอ จากตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าข้อมูลที่ได้จากการพิจารณาค่า RPN ที่จะแสดงให้เห็นว่า ปัจจัยที่มีความสำคัญที่สุดที่ส่งผลกระทบต่อปัญหาหัวสกรูแตกร้าว คือ วัสดุคิปที่ใช้ในการผลิตแข็งเกินไป กล่าวคือมีค่าความแข็งไม่เหมาะสมในการขึ้นรูปหัวสกรู โดยจะนำปัญหาที่มีค่า RPN สูงที่สุดมาทำการแก้ปัญหา (ตามทฤษฎีของพอร์เมอร์) คือ หาช่วงของค่าความแข็งของวัสดุคิปที่เหมาะสมที่สุดในการนำมาใช้ผลิตสกรู

4.5 การออกแบบการทดลอง

การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหานั้นทำได้จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่อง ซึ่งปัจจัยป้อนเข้านั้นแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ตัวแปรที่สามารถควบคุมได้ (Controllable Factor) และตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Uncontrollable Factor) ในการหาปัจจัยป้อนเข้าที่เกี่ยวข้องนั้น ได้ทำการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของวัสดุคิปที่จะสามารถนำมาขึ้นรูปผลิตสกรูได้ แล้วนำมาประกอบการพิจารณาปัจจัยต่างๆ ในการผลิต โดยในขั้นแรกได้ทำการระดมสมองจากแผนกต่างๆ และผู้ที่มีความชำนาญในกระบวนการผลิตสกรู โดยให้เสนอแนวความคิดว่าการตีขึ้นรูปสกรูแล้วพบว่าสกรูหัวแตกร้าว นั้นเกิดจากสาเหตุอะไรบ้าง โดยสาเหตุต่างๆ ที่ได้ทำการสรุปออกมานั้นเป็นเพียงสมมติฐานเท่านั้น ดังนั้นจึงนำความคิดเห็นเหล่านั้นมาทำการวิเคราะห์ด้วยหลักการวิเคราะห์ลักษณะบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) เพื่อหาค่า RPN ที่มากที่สุดเพื่อนำมาทำการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น

จากการให้คะแนนเพื่อหาค่าความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ของแต่ละสมมติฐานของสาเหตุที่ทำให้เกิดสกรูหัวแตกร้าวในกระบวนการตีขึ้นรูปนั้น พบว่าสาเหตุที่เกิดจากค่าความแข็งของวัสดุคิปมีค่า RPN มากที่สุด จึงนำสาเหตุที่เกิดจากค่าความแข็งของวัสดุคิปมาทำการวิเคราะห์และแก้ไขปัญหา โดยพิจารณาที่ค่าความแข็งของวัสดุคิปลวดที่นำมาผลิตสกรูซึ่งในปัจจุบันทางโรงงานยังไม่มีกำหนดค่าความแข็งของวัสดุคิปเป็นมาตรฐานที่ชัดเจนในการซื้อขาย ซึ่งทำให้เกิดของเสียตามมาในกระบวนการผลิต

จากมาตรฐานของ JIS G3539 (ภาคผนวก จ) ระบุไว้ว่า เหล็กลวดคาร์บอนต่ำชนิด SWRCH 22A ที่จะใช้ในกระบวนการผลิตสกรูที่เหมาะสมจะมีค่าความแข็งไม่เกิน 88 HRB ซึ่งหากแปลงหน่วยไปเป็น HV ตามหน่วยวัดของทางโรงงาน คือ ต้องมีค่าความแข็งไม่เกิน 175 HV ดังนั้นจึงทำการทดสอบเพื่อหาค่าที่เหมาะสมของค่าความแข็งของเหล็กลวดคาร์บอนต่ำชนิด SWRCH 22A ที่นำมาผลิตสกรูแล้วเกิดของเสียในกระบวนการผลิตน้อยที่สุด โดยแบ่งการทดสอบออกเป็นค่าความแข็งระดับต่างๆ 3 ระดับ โดยแบ่งการทดสอบดังต่อไปนี้

ระดับที่ 1 ค่าความแข็ง 140 HV

ระดับที่ 2 ค่าความแข็ง 160 HV

ระดับที่ 3 ค่าความแข็ง 175 HV

เนื่องจากผู้ผลิตลวดให้คำแนะนำค่าความแข็งที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการทดลองที่สามารถผลิตให้ได้มา 3 ระดับ ซึ่งไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิตของผู้ผลิต จึงได้ดำเนินการทดสอบการขึ้นรูปสกรู โดยกำหนดเงื่อนไขขึ้นดังต่อไปนี้

- ใช้เครื่องจักรขึ้นรูปสกรูเครื่องเดียวกัน เป็นเครื่อง 2 จังหวะ เพื่อใช้ตีขึ้นรูปลำตัวและหัวสกรู

- ความเร็วรอบ (Cycle Time) ในการขึ้นรูป คือ 0.5 และ 0.75 วินาที

- น้ำหนักวัตถุดิบทั้ง 3 ระดับในการทดลอง ประมาณ 50 กิโลกรัม

- ใช้วัตถุดิบเหล็กลวดคาร์บอนต่ำชนิด SWRCH 22A จากผู้ผลิตเดียวกัน

- ช่างปรับตั้งเครื่องคนเดียวกันและมีการควบคุมโดยหัวหน้างานอย่างเคร่งครัดในการ

ทดลอง

4.5.1 การทดสอบที่ระดับค่าความแข็ง 140 HV ที่ความเร็วรอบ 0.5 Sec. ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.2 จำนวนงานเสียที่ระดับค่าความแข็ง 140 HV ที่ความเร็วรอบ 0.5 Sec.

ลำดับ Item	จำนวนชิ้นงาน Quantity (Pcs.)	จำนวนชิ้นงานดี OK (Pcs.)	จำนวนชิ้นงานเสีย NG (Pcs.)	ค่าเฉลี่ยชิ้นงานเสีย NG Average (Pcs.)
1	4200	4177	23	20
2	4200	4182	18	
3	4200	4191	9	
4	4200	4187	13	
5	4200	4175	25	
6	4200	4179	21	
7	4200	4170	30	
8	4200	4177	23	

4.5.2 การทดสอบที่ระดับค่าความแข็ง 160 HV ที่ความเร็วรอบ 0.5 Sec. ได้ผลการทดลองดัง
ตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 จำนวนงานเสียที่ระดับค่าความแข็ง 160 HV ที่ความเร็วรอบ 0.5 Sec.

ลำดับ Item	จำนวนชิ้นงาน Quantity (Pcs.)	จำนวนชิ้นงานดี OK (Pcs.)	จำนวนชิ้นงานเสีย NG (Pcs.)	ค่าเฉลี่ยชิ้นงานเสีย NG Average (Pcs.)
1	4200	4017	183	173
2	4200	4062	138	
3	4200	4051	149	
4	4200	4016	184	
5	4200	3987	213	
6	4200	3965	235	
7	4200	4041	159	
8	4200	4077	123	

4.5.3 การทดสอบที่ระดับค่าความแข็ง 175 HV ที่ความเร็วรอบ 0.5 Sec. ได้ผลการทดลองดัง
ตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 จำนวนงานเสียที่ระดับค่าความแข็ง 175 HV ที่ความเร็วรอบ 0.5 Sec.

ลำดับ Item	จำนวนชิ้นงาน Quantity (Pcs.)	จำนวนชิ้นงานดี OK (Pcs.)	จำนวนชิ้นงานเสีย NG (Pcs.)	ค่าเฉลี่ยชิ้นงานเสีย NG Average (Pcs.)
1	4200	3833	367	369
2	4200	3857	343	
3	4200	3765	435	
4	4200	3825	375	
5	4200	3833	367	
6	4200	3817	383	
7	4200	3906	294	
8	4200	3812	388	

4.5.4 การทดสอบที่ระดับค่าความแข็ง 140 HV ที่ความเร็วรอบ 0.75 Sec. ได้ผลการทดลองดัง
ตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 จำนวนงานเสียที่ระดับค่าความแข็ง 140 HV ที่ความเร็วรอบ 0.75 Sec.

ลำดับ Item	จำนวนชิ้นงาน Quantity (Pcs.)	จำนวนชิ้นงานดี OK (Pcs.)	จำนวนชิ้นงานเสีย NG (Pcs.)	ค่าเฉลี่ยชิ้นงานเสีย NG Average (Pcs.)
1	4200	4188	12	18
2	4200	4180	20	
3	4200	4183	17	
4	4200	4181	19	
5	4200	4179	21	
6	4200	4185	15	
7	4200	4177	23	
8	4200	4180	20	

4.5.5 การทดสอบที่ระดับค่าความแข็ง 160 HV ที่ความเร็วรอบ 0.75 Sec. ได้ผลการทดลองดัง
ตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 จำนวนงานเสียที่ระดับค่าความแข็ง 160 HV ที่ความเร็วรอบ 0.75 Sec.

ลำดับ Item	จำนวนชิ้นงาน Quantity (Pcs.)	จำนวนชิ้นงานดี OK (Pcs.)	จำนวนชิ้นงานเสีย NG (Pcs.)	ค่าเฉลี่ยชิ้นงานเสีย NG Average (Pcs.)
1	4200	4023	177	211
2	4200	3995	205	
3	4200	4044	156	
4	4200	3989	211	
5	4200	3940	260	
6	4200	3970	230	
7	4200	3951	249	
8	4200	3998	202	

4.5.6 การทดสอบที่ระดับค่าความแข็ง 175 HV ที่ความเร็วรอบ 0.75 Sec. ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 จำนวนงานเสียที่ระดับค่าความแข็ง 175 HV ที่ความเร็วรอบ 0.75 Sec.

ลำดับ Item	จำนวนชิ้นงาน Quantity (Pcs.)	จำนวนชิ้นงานดี OK (Pcs.)	จำนวนชิ้นงานเสีย NG (Pcs.)	ค่าเฉลี่ยชิ้นงานเสีย NG Average (Pcs.)
1	4200	3766	434	383
2	4200	3893	307	
3	4200	3844	356	
4	4200	3710	490	
5	4200	3849	351	
6	4200	3825	375	
7	4200	3805	395	
8	4200	3842	358	

จากการทดสอบโดยเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรระดับความแข็งที่ค่าต่างๆ ได้แก่ 140 HV, 160 HV และ 175 HV ตามลำดับ และที่ค่าความเร็วรอบที่ 0.5 Sec. และ 0.75 Sec. ตามลำดับ ได้ผลสรุปดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 สรุปจำนวนชิ้นงานเสียจากการผลิตสกรูภายใต้การทดสอบที่ตัวแปรสถานะต่างๆ

Cycle time	0.5 Sec.			0.75 Sec.		
	140 HV	160 HV	175 HV	140 HV	160 HV	175 HV
จำนวนชิ้นงานเสีย (ชิ้น)	20	173	369	18	211	383

4.6 การวิเคราะห์ผลจากการออกแบบการทดลอง

จากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบหาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดของเสียในหัวข้อ 4.5 ที่ทำการทดลองโดยการเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วรอบ (Cycle Time) ในการตีขึ้นรูปและค่าความแข็ง (Hardness) ของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำชนิด SWRCH 22A จะต้องนำมาวิเคราะห์ตามหลักการออกแบบการทดลองในบทที่ 2 ซึ่งจะใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยเพื่อพิจารณาว่าปัจจัยใดมีผลต่อการเกิดการแตกร้าวของหัวสกรูในกระบวนการตีขึ้นรูป โดยใช้ปริมาณของจำนวนงานเสีย (NG) ที่เกิดขึ้นจากการทดลองปรับตั้งค่าของส่วนของโรงงาน และนำข้อมูลที่ได้มาตรวจสอบผลและออกแบบการทดลองในโปรแกรม Minitab เพื่อยืนยันผลความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ได้จากการทดลองในส่วนของท่านโรงงาน เพื่อกำหนดมาตรฐานในการกำหนดคุณสมบัติของวัตถุดิบและค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิต เพื่อลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น

เนื่องจากมี 2 ปัจจัยที่ทำให้เกิดชิ้นงานเสียและการหาขนาดของสิ่งของตัวอย่าง (Sample Size) เท่ากับ 8 Replicates โดยมีค่า Power เท่ากับ 1 จึงทำการทดลองทั้งหมด 48 การทดลองโดยข้อมูลดังแสดงในตาราง 4.9

ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองจากการออกแบบการทดลองในโปรแกรม Minitab (ภาคผนวก จ)

Std Order	Run Order	Pt Type	Blocks	Cycle time	Hardness	NG
32	1	1	1	0.50	160	183
3	2	1	1	0.50	175	367
12	3	1	1	0.75	175	434
18	4	1	1	0.75	175	307
4	5	1	1	0.75	140	12
25	6	1	1	0.50	140	23
34	7	1	1	0.75	140	20
42	8	1	1	0.75	175	356
15	9	1	1	0.50	175	343
11	10	1	1	0.75	160	177
37	11	1	1	0.50	140	18
20	12	1	1	0.50	160	138
38	13	1	1	0.50	160	149
36	14	1	1	0.75	175	490

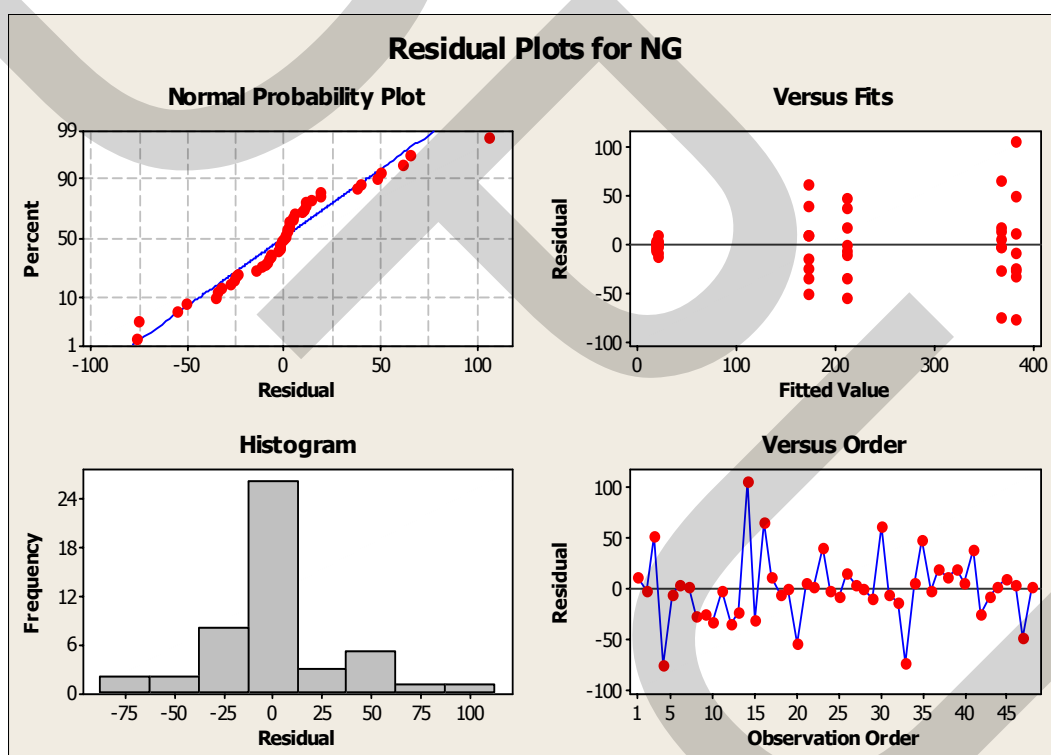
ตารางที่ 4.9 (ต่อ)

Std Order	Run Order	Pt Type	Blocks	Cycle time	Hardness	NG
24	15	1	1	0.75	175	351
45	16	1	1	0.50	175	435
26	17	1	1	0.50	160	184
17	18	1	1	0.75	160	205
28	19	1	1	0.75	140	17
23	20	1	1	0.75	160	156
33	21	1	1	0.50	175	375
46	22	1	1	0.75	140	19
2	23	1	1	0.50	160	213
27	24	1	1	0.50	175	367
6	25	1	1	0.75	175	375
9	26	1	1	0.50	175	383
40	27	1	1	0.75	140	21
35	28	1	1	0.75	160	211
1	29	1	1	0.50	140	9
8	30	1	1	0.50	160	235
7	31	1	1	0.50	140	13
44	32	1	1	0.50	160	159
39	33	1	1	0.50	175	294
13	34	1	1	0.50	140	25
29	35	1	1	0.75	160	260
10	36	1	1	0.75	140	15
21	37	1	1	0.50	175	388
48	38	1	1	0.75	175	395
47	39	1	1	0.75	160	230
22	40	1	1	0.75	140	23
5	41	1	1	0.75	160	249
30	42	1	1	0.75	175	358
41	43	1	1	0.75	160	202
43	44	1	1	0.50	140	21

ตารางที่ 4.9 (ต่อ)

Std Order	Run Order	Pt Type	Blocks	Cycle time	Hardness	NG
31	45	1	1	0.50	140	30
19	46	1	1	0.50	140	23
14	47	1	1	0.50	160	123
16	48	1	1	0.75	140	20

4.6.1 ตรวจสอบคุณสมบัติของข้อมูล



ภาพที่ 4.2 Residual Plots for NG

4.6.1.1 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล

การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลนั้น เป็นการตรวจสอบว่าค่าเศษเหลือมีลักษณะการกระจายรอบค่าหนึ่งอย่างสมมาตรหรือไม่ ซึ่งกราฟที่ได้จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง แสดงว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติโดยจากภาพที่ 4.2 ภาพเล็กซ้ายด้านบน กล่าวคือข้อมูลที่ได้จากโรงงานเป็นข้อมูลที่ดีสามารถนำไปวิเคราะห์ต่อได้

4.6.1.2 การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล

การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูลนั้น พิจารณาได้โดยวิเคราะห์ผ่านแผนภูมิควบคุมในภาพที่ 4.2 ภาพเล็กขวาด้านล่าง โดยแกน X คือลำดับของการทดลอง และแกน Y คือ ค่าเศษเหลือ ซึ่งกราฟที่ได้นี้จะแสดงพฤติกรรมของค่าเศษเหลือตลอดช่วงการทดลอง พิจารณาจากแผนภูมิควบคุมพบว่าข้อมูลมีลักษณะสุ่ม กล่าวคือข้อมูลแต่ละตัวเป็นอิสระต่อกันไม่มีความลำเอียง

4.6.1.3 การทดสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวน

การทดสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวนนั้น เพื่อตรวจสอบว่าข้อมูลที่ได้มาจากการทดลองของโรงงานมีการสุ่มรอบค่าศูนย์หรือไม่ ซึ่งวิเคราะห์ผ่านแผนภาพทดสอบความมีเสถียรภาพ (Residual & Fitted) ในภาพที่ 4.2 ภาพเล็กขวาด้านบน พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวรอบค่าศูนย์ ซึ่งถือว่ามี การสุ่ม

จากการประเมินคุณสมบัติทั้ง 3 ประการของข้อมูลสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีคุณสมบัติทั้ง 3 ประการ ได้แก่ ความสุ่ม, ความเป็นปกติ และความผันแปรของข้อมูลมีเสถียรภาพซึ่งสามารถนำมาทำการวิเคราะห์ในขั้นต่อไปได้

4.6.2 การวิเคราะห์ผลจากโปรแกรม Minitab

ตารางที่ 4.10 การประเมินผลหาความมีนัยสำคัญของปัจจัยจากโปรแกรม Minitab

Multilevel Factorial Design						
Factors:	2	Replicates:	8			
Base runs:	6	Total runs:	48			
Base blocks:	1	Total blocks:	1			
Number of levels: 2, 3						
General Linear Model: NG versus Cycle time, Hardness						
Factor	Type	Levels	Values			
Cycle time	fixed	2	0.50, 0.75			
Hardness	fixed	3	140, 160, 175			
Analysis of Variance for NG, using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Cycle time	1	3417	3417	3417	2.72	0.106
Hardness	2	1018855	1018855	509428	405.68	0.000
Cycle time*Hardness	2	3261	3261	1631	1.30	0.284
Error	42	52740	52740	1256		
Total	47	1078274				
S = 35.4362 R-Sq = 95.11% R-Sq(adj) = 94.53%						

จากการพิจารณาค่า $R^2 = 95.11\%$ แสดงว่าการทดลองได้รับการออกแบบมาดีแล้ว หากความผันแปรทั้งหมดมีค่า 100 หน่วย แล้วสามารถอธิบายความผันแปรจากทริสมেন্টได้ถึง 95.11 หน่วย ส่วนที่เหลือไม่สามารถอธิบายได้ด้วยสาเหตุด้านรีพีทอะบิลิตี

ซึ่งเมื่อพิจารณาจากค่า $R^2 \text{ Adjust} = 94.53\%$ ซึ่งใกล้เคียงกับ $R^2 = 95.11\%$ แสดงว่าจำนวนข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองมีจำนวนเพียงพอแล้ว จากนั้นดูที่ค่า P-Value ของแต่ละปัจจัย ซึ่งแสดงค่า P-Value ต่ำ (เทียบกับค่า 0.05) แสดงว่าปัจจัยนั้นมีนัยสำคัญหรือมีผลจากการวิเคราะห์จากโปรแกรมพบว่า ค่าความแข็ง (Hardness) เป็นปัจจัยเดียวที่มีผลหรือมีนัยสำคัญ (Significant) ที่ทำให้เกิดของเสียในกระบวนการผลิต ซึ่งเป็นการยืนยันได้ว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองของทางโรงงาน เมื่อนำมาทำการออกแบบการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab มีความน่าเชื่อถือและมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันคือ ค่าความแข็ง (Hardness) เป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดการแตกร้าวของหัวสกรู

4.6.3 การหาค่าความเชื่อมั่นของการออกแบบการทดลองจากสมการทางคณิตศาสตร์

การทดลองส่วนมากในทางปฏิบัติจะเกี่ยวข้องกับการศึกษาถึงผลของปัจจัย (Factor) ตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป สำหรับงานวิจัยนี้มีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 2 ปัจจัย คือ ความเร็วรอบ (Cycle time: A) ของเครื่องจักรที่ใช้ในการตีขึ้นรูปสกรู ซึ่งมีอยู่ 2 (a) ระดับ คือ ที่ความเร็วรอบ 0.5 วินาที และที่ความเร็วรอบ 0.75 วินาที อีกปัจจัยหนึ่ง คือ ค่าความแข็ง (Hardness: B) ของวัตถุดิบ เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำชนิด SWRCH 22A ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตสกรูซึ่งจะทำการทดลอง 3 (b) ระดับ คือ ที่ค่าความแข็งที่ 140 HV, 160 HV และ 175 HV ตามคำแนะนำของผู้ผลิตวัตถุดิบเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำชนิด SWRCH 22

จากสมการ
$$\phi^2 = \frac{nbD^2}{2a\sigma^2}$$

หมายเหตุ : สาเหตุที่เลือกสมการนี้เนื่องจากพิจารณาจากค่าความแตกต่างในแนวตั้ง (Row) ซึ่งมีค่าน้อยที่สุดเมื่อคำนวณจากข้อมูลจริงจากภาพที่ 4.1 พบว่าค่าความแตกต่างที่น้อยที่สุดที่คำนวณจากแนวนอน (Row) และแนวตั้ง (Column) ได้มาจากการคำนวณจากแนวตั้ง (Row) คือเท่ากับ 16.64 แต่ค่าที่น้อยที่สุดที่ได้จากแนวตั้ง (Column) ได้เท่ากับ 172.75 ดังนั้นจึงเลือกใช้สมการดังกล่าวในการคำนวณหาค่า ϕ^2 (ทางโรงงานกำหนดค่า $D = 40$ เนื่องจากเป็นค่าที่ทางโรงงานรับได้ในการทดลองเพื่อให้เห็นความแตกต่างของจำนวนของเสีย จากการทดลองปรับเปลี่ยนค่าความแข็งของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำชนิด SWRCH 22A ในแต่ละค่าความแข็ง)

ตารางที่ 4.11 ข้อมูลปริมาณของเสียที่ได้จากการออกแบบการทดลองจาก 2 ปัจจัย

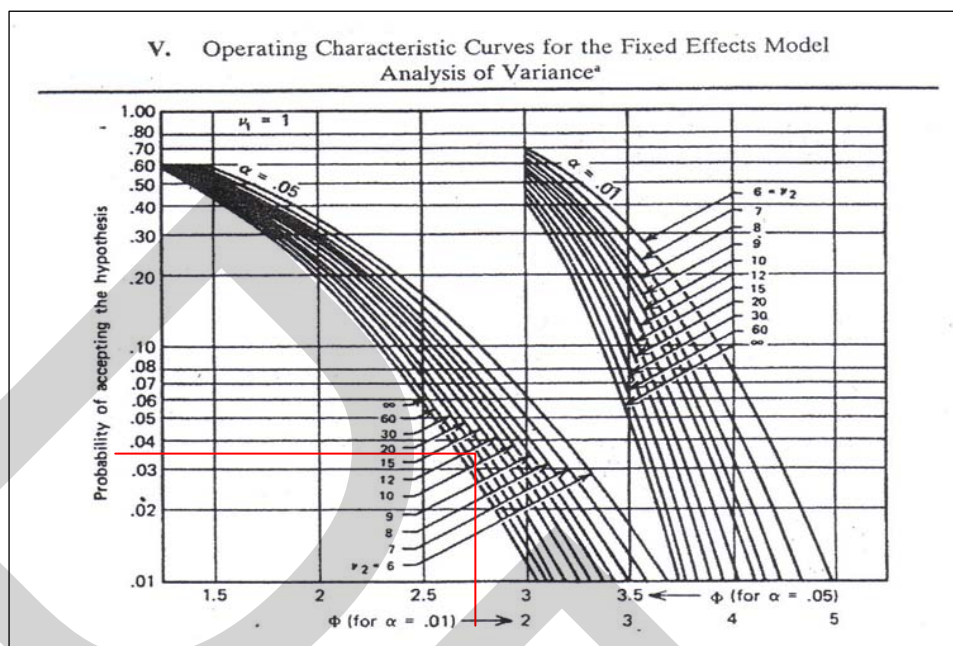
Cycle Time (Sec.)	Hardness (HV)												Row			
	140 HV				160 HV				175 HV							
0.5 Sec.	23	18	9	13	183	138	149	184	367	343	435	375	162	1384	2952	4498
	25	21	30	23	213	235	159	123	367	383	294	388				
0.75 Sec.	12	20	17	19	177	205	156	211	434	307	356	490	147	1690	3066	4903
	21	15	23	20	260	230	249	202	351	375	395	358				
													309	3074	6018	

Column

ตารางที่ 4.12 แสดงค่า β ที่ได้จากการเปิดตารางค่า V

n	ϕ^2	ϕ	v_1	v_2	β
8	7.68	2.77	1	42	0.035
9	8.64	2.93	1	48	0.020
10	9.60	3.10	1	54	0.010

v_1 = Numerator Degrees of Freedom
 v_2 = Error Degrees of Freedom



ภาพที่ 4.3 Operating Characteristic Curves for the Fixed Effects Model Analysis of Variance

ที่มา : 6th Design and Analysis of Experiments. United States of America, 2005

จากนั้นพิจารณาค่าความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องที่ได้จากการทดลองซึ่งจะทำการวิเคราะห์หาค่าความเชื่อมั่นจากการทดลองได้ตามสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$\phi^2 = \frac{nbD^2}{2a\sigma^2}$$

$$\phi^2 = \frac{n(3)40^2}{2(2)35.43^2}$$

$$= 0.96 n$$

ที่ค่าต่ำที่สุดของ ϕ^2 จากการกำหนดให้ $\alpha = 0.05$ สามารถเปิดตารางค่า V จากข้อมูลที่ได้จากตารางที่ 4.11 เพื่อหาจำนวนขนาดของตัวอย่าง (Sample Size) หรือจำนวน Replicates (n) เพื่อตรวจสอบค่าความเชื่อมั่นที่ได้จากการออกแบบการทดลอง

จากการคำนวณข้างต้นและจากตารางที่ 4.11 พบว่าที่ $n = 8$ replicates ให้ค่า β ประมาณ 0.035 หรือกล่าวได้ว่าการออกแบบการทดลองในครั้งนี้ข้อมูลที่ได้ถือว่าเพียงพอแล้วโดยมีค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 96.5% ซึ่งเป็นการทดลองที่น่าเชื่อถือได้

ดังนั้นจากข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลของทางโรงงานตามตารางที่ 4.2 ถึง ตารางที่ 4.7 และข้อมูลที่ได้จากการออกแบบการทดลอง ตารางที่ 4.9 พบว่าค่าความแข็งที่ดีที่สุดที่ทำให้มีปริมาณของเสียน้อยที่สุดที่ไม่ทำให้เกิดการแตกร้าวของหัวสกรู คือ ค่าความแข็งของเหล็กสวดคาร์บอนต่ำชนิด SWRCH 22A เท่ากับ 140 HV โดยไม่มีนัยสำคัญกับค่าความเร็วยรอบ (Cycle Time) ผู้วิจัยจึงได้เลือกค่าของค่าความแข็งที่ 140 HV เป็นค่ามาตรฐานในการควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบเหล็กคาร์บอนต่ำจากผู้ผลิตหรือผู้จำหน่าย

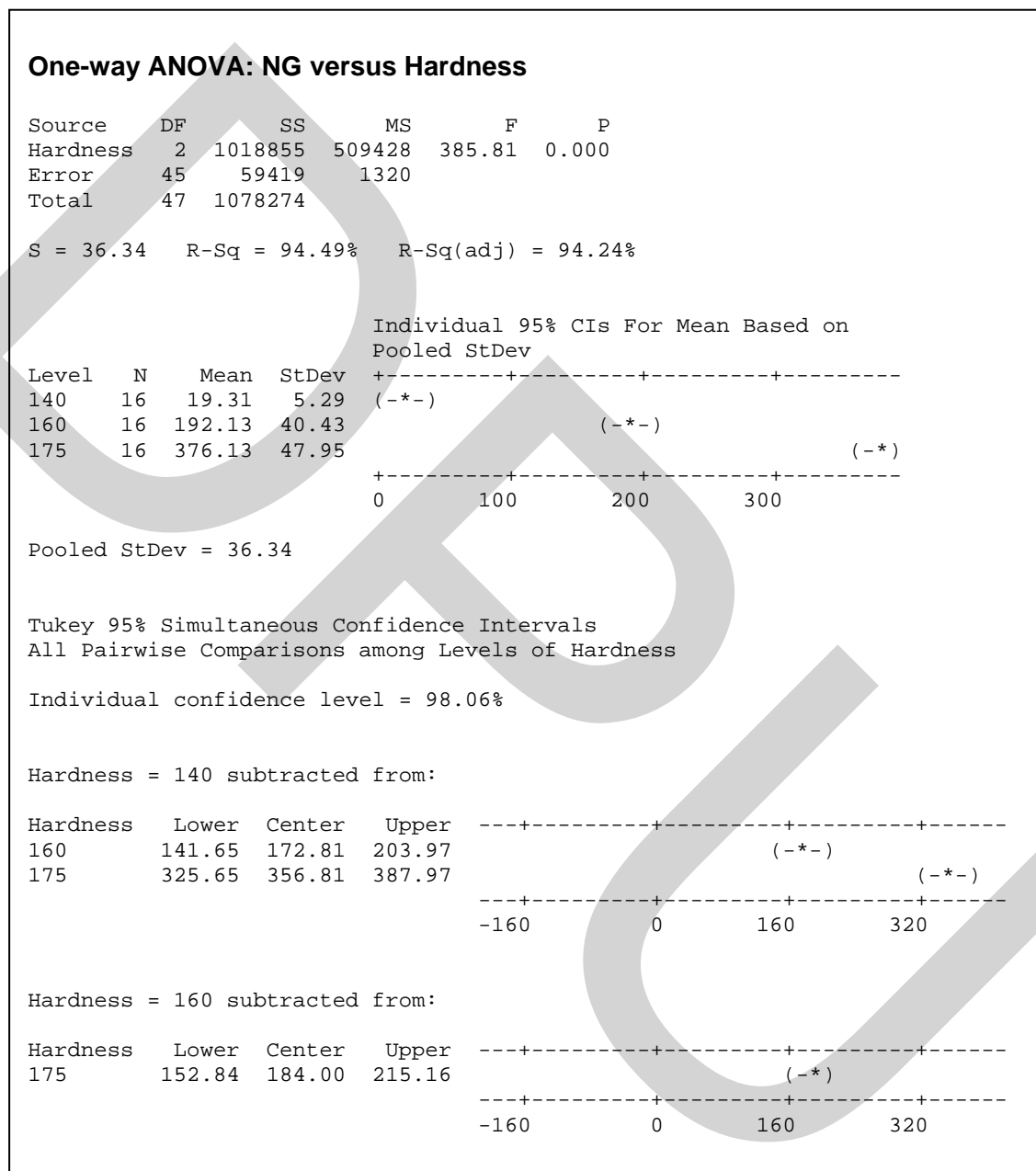
4.6.4 การทดสอบทางสถิติด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

วิธีการทางสถิติที่นิยมใช้กันทั่วไปในการตัดสินใจทางสถิติ คือ การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis testing) โดยทั่วไปการทดสอบสมมติฐานจะสันนิษฐานว่าสิ่งที่เราสนใจนั้นเป็นจริงก่อน แล้วจึงทำการพิสูจน์ด้วยข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง

การทดสอบสมมติฐานประกอบด้วย 2 ส่วนคือ สมมติฐานหลัก (เขียนแทนด้วย H_0) และสมมติฐานรอง (เขียนแทนด้วย H_1) สมมติฐานหลักเป็นข้อสันนิษฐานเบื้องต้น ซึ่งจะอ้างอิงจากผลการศึกษาวิจัยก่อนหน้าหรือความรู้โดยทั่วไป สมมติฐานรองคือสิ่งที่ต้องการพิสูจน์ว่าเป็นจริงจากการวิเคราะห์โดยกราฟก่อนหน้าและการวิเคราะห์ทางสถิติที่ผ่านมา เพื่อทดสอบว่า ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของจำนวนของเสียที่เป็นสกรูหัวแตกร้าว (ผลลัพท์) ในแต่ละค่าความแข็งที่กำหนด (ปัจจัย) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่ ซึ่งสามารถตรวจสอบได้โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบปัจจัยเดียว (One-way ANOVA) โดยเป็นการทดสอบว่าค่าเฉลี่ยสำหรับข้อมูลสองกลุ่มขึ้นไปที่มีการแบ่งกลุ่มโดยปัจจัยเดียว นั้นเท่ากันหรือไม่ นอกจากนี้จะทำการทดสอบการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละค่าความแข็งของเหล็กสวด 3 ค่า คือ 140 HV, 160 HV และ 175 HV ว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ ด้วยวิธี Tukey's multiple comparison test

การวิเคราะห์ความแปรปรวนจากโปรแกรม MINITAB (ภาคผนวก ข) ได้ผลดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.13 การทดสอบทางสถิติด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)



(1) การแปลผลจากตาราง

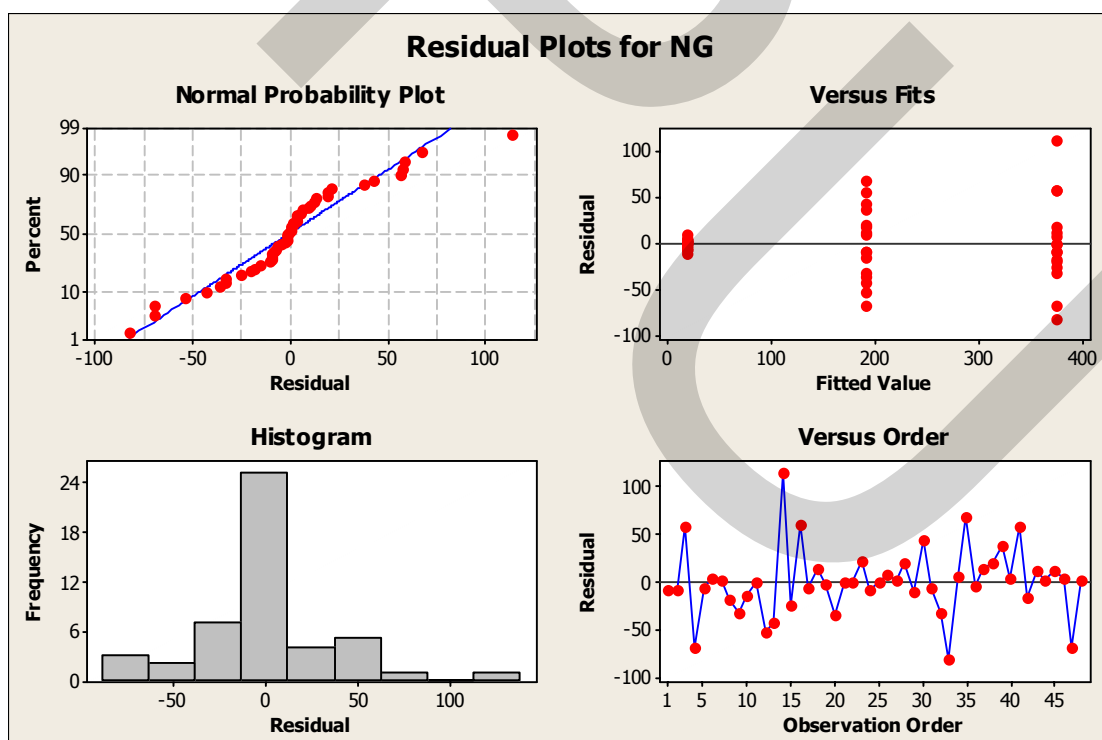
กระบวนการตัดสินใจสำหรับการทดสอบสมมติฐานนั้นอยู่บนพื้นฐานของความน่าจะเป็นทางสถิติหรือเราเรียกว่าค่า P-value ที่ได้จากการทดสอบ

- ถ้าค่า P-Value มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับระดับนัยสำคัญที่ตั้งไว้ (α -Level) ให้ปฏิเสธสมมติฐานหลักและยอมรับสมมติฐานรอง

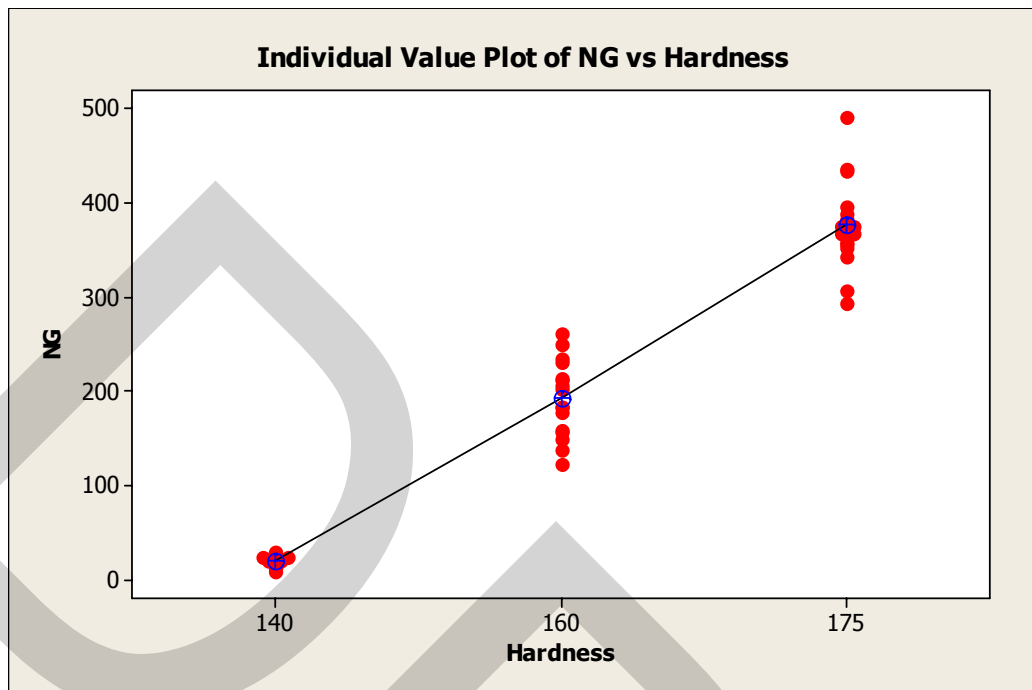
- ถ้าค่า P-Value มีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญที่ตั้งไว้ (α -Level) แสดงว่าไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ จึงไม่สามารถยอมรับสมมติฐานรอง

ในตาราง ANOVA ค่า P-Value เท่ากับ 0.000 จึงสรุปได้ว่ามีอย่างน้อยหนึ่งค่าของความแข็งเหล็กกลวด SWRCH22A ที่มีค่าเฉลี่ยของของเสียที่เป็นสกรูหัวแตกร้าวแตกต่างจากค่าความแข็งอื่นๆ เมื่อค่าระดับนัยสำคัญอยู่ที่ 0.05 ในตารางแสดง ช่วงความเชื่อมั่น 95% ของค่าเฉลี่ยแต่ละศูนย์ สันเกตว่าไม่มีช่วงความเชื่อมั่นของกลุ่มใดเหลื่อมกัน นั่นก็เป็นส่วนสนับสนุนว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

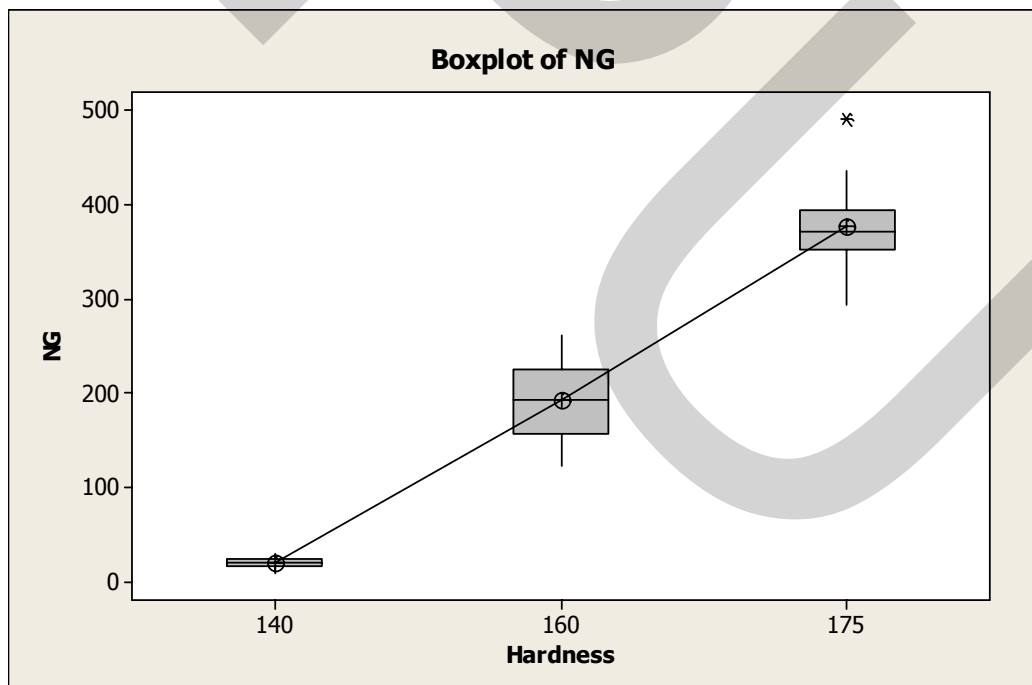
การทดสอบ Tukey ชุดอื่นๆ ได้ในทำนองเดียวกัน ซึ่งสรุปได้ว่า ค่าเฉลี่ยของของเสียในแต่ละค่าความแข็งของเหล็กกลวด SWRCH 22A แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากช่วงความเชื่อมั่นทั้งหมดไม่ครอบคลุมค่า 0 และที่ค่าความแข็งเท่ากับ 140 HV มีปริมาณของเสีย น้อยที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 19.31 ชิ้น



ภาพที่ 4.4 แสดงถึงความเป็นปกติของข้อมูลและความมีนัยสำคัญทางสถิติ



ภาพที่ 4.5 กราฟ Individual Value Plot แสดงปริมาณของเสียในแต่ละค่าปัจจัยแตกต่างกัน



ภาพที่ 4.6 กราฟ Boxplot สำหรับค่าความแข็ง 175 HV แสดงว่ามีหนึ่งข้อมูลที่อยู่ห่างจากกลุ่ม (outlier) ซึ่งแสดงด้วยสัญลักษณ์ * แสดงถึงมีปริมาณของเสียมากที่สุด

(2) การแปลผลจากกราฟ

กราฟ Individual Value Plot และ Boxplot แสดงให้เห็นว่าปริมาณของเสียในแต่ละช่วงค่าความแข็งของเหล็กถวด SWRCH22A มีความแตกต่างกัน โดยที่ค่าความแข็ง 140 HV มีปริมาณของเสียน้อยที่สุด ซึ่งสอดคล้องกันกับการออกแบบการทดลองแล้ว กราฟ Boxplot สำหรับค่าความแข็งที่ 175 HV แสดงว่ามีหนึ่งข้อมูลที่อยู่ห่างจากกลุ่ม (outlier) ซึ่งแสดงด้วยสัญลักษณ์ * แสดงถึงมีปริมาณของเสียมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความแข็งทั้งหมดที่ได้ทำการเปรียบเทียบกัน ในกราฟเศษเหลือแบบ 4 กราฟใน 1 รูป (four-in-one) ไม่แสดงลักษณะใดๆซึ่งขัดแย้งกับลักษณะที่อธิบายไว้ข้างต้น ดังนั้นสรุปได้ว่าผลการวิเคราะห์ one-way ANOVA นี้อธิบายเกี่ยวกับข้อมูลได้อย่างดี

4.7 การเปรียบเทียบผลก่อนและหลังการดำเนินงาน

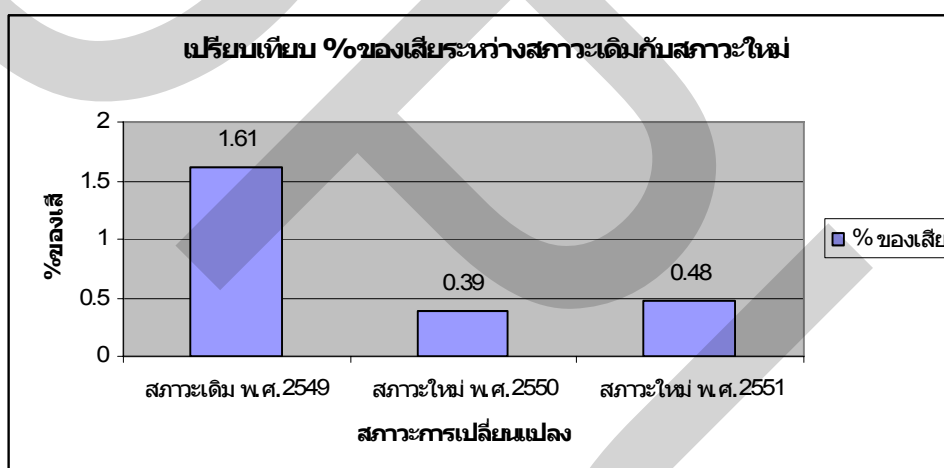
หลังจากที่ทางโรงงานได้นำค่าความแข็ง (Hardness) ของวัตถุดิบเหล็กถวดคาร์บอนต่ำ ชนิด SWRCH 22A เท่ากับ 140 HV และความเร็วรอบ (Cycle Time) เท่ากับ 0.75 Sec. ไปทำการผลิตซึ่งส่งผลทำให้จำนวนของเสียลดลงได้โดยทำการเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากปี พ.ศ.2549 และหลังจากทำการปรับปรุงในปี พ.ศ.2550

ตารางที่ 4.14 แสดงสภาวะการผลิตในปัจจุบันและสภาวะการผลิตแบบใหม่

ปัจจัย	สภาวะการผลิตสกรูแบบเก่า ปี พ.ศ.2549	สภาวะการผลิตสกรูแบบใหม่ เริ่ม ปี พ.ศ.2550
ค่าความแข็งของวัตถุดิบ (HV)	160 ~ 180 HV	140 HV
ความเร็วรอบ (Cycle Time)	0.5 Sec. / 0.75 Sec.	0.75 Sec.

ตารางที่ 4.15 แสดงรายละเอียดผลจากการผลิตเมื่อนำค่าปัจจัยใหม่ไปใช้ในกระบวนการผลิต

เหล็กถลุง คาร์บอนต่ำ ชนิด SWRCH 22A	ยอดผลิต ทั้งหมด (กก.)	จำนวนดี (กก.)	จำนวนเสีย (กก.)	ราคาต่อ กิโลกรัม (บาท)	มูลค่าความ สูญเสีย (บาท)	% ของเสีย
ปี พ.ศ. 2549	135,000	132,820	2,180	40	87,200	1.61
ปี พ.ศ. 2550	105,000	104,590	410	40	16,400	0.39
ปี พ.ศ. 2551	110,000	109,470	530	40	21,200	0.48



ภาพที่ 4.7 กราฟแท่งเปรียบเทียบการลดลงของข้อบกพร่องผลิตภัณฑ์

จากตารางที่ 4.13, 4.14 และภาพที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าเมื่อนำค่าพารามิเตอร์ใหม่ คือ ค่าความแข็งของเหล็กถลุงคาร์บอนต่ำชนิด SWRCH 22A มาใช้ในกระบวนการผลิตสกรูทำให้สามารถลดอาการสกรูหัวแตกร้าวได้ ทำให้ของเสียที่เกิดขึ้นลดลงจากเดิมอย่างมากโดยเปอร์เซ็นต์ของเสียเดิม 1.61% ลดลงมาเป็น 0.39% และ 0.48% ตามลำดับ ซึ่งมูลค่าความสูญเสียจากเดิม 87,200 บาท ลดลงมาเหลือเพียง 16,400 บาท และ 21,200 บาท ตามลำดับ

4.8 สรุปผลการทดลอง

จากการดำเนินการทดลองได้ทำการทดสอบสมมุติฐานปัจจัย 2 ปัจจัย ทั้งหมด 6 ชุดทดลอง ชุดทดลองละ 8 Replicates ซึ่งผลจากการวิเคราะห์เพื่อยืนยันผลจากตารางที่ 4.2 ถึงตารางที่ 4.7 และจากตารางที่ 4.9 สรุปได้ว่าปัจจัยหลักที่มีผลต่อการขึ้นรูปหัวสกรูที่ส่งผลให้หัวสกรูเกิดการแตกร้าว คือ ค่าความแข็ง (Hardness) เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำชนิด SWRCH 22A ไม่เหมาะสมและจากการนำสถานะการผลิตแบบใหม่ คือ การลดค่าความแข็งของวัตถุดิบเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำลงไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตจริง พบว่าเปอร์เซ็นต์ของเสียประเภทสกรูหัวแตกร้าวเฉลี่ยลดลงจาก 1.61% เหลือ 0.39% และ 0.48% ตามลำดับตามตารางที่ 4.13, 4.14 และภาพที่ 4.4

ภายหลังจากการนำสถานะควบคุมกระบวนการผลิตแบบใหม่ไปกำหนดเป็นมาตรฐานในการผลิต พบว่าจำนวนปริมาณงานเสียที่เกิดขึ้นจากปัญหาประเภทสกรูหัวแตกร้าวลดลง ซึ่งหากเปรียบเทียบกับมูลค่าความเสียหายของมูลค่าวัตถุดิบที่สูญเสียในระหว่างกระบวนการผลิตที่เกิดขึ้น เฉพาะปัญหาสกรูหัวแตกร้าวก่อนดำเนินการแก้ไข กล่าวคือมูลค่าความเสียหายต่อปีเท่ากับ 87,200 บาทต่อปี หลังจากการแก้ไขแล้วพบว่ามูลค่าความเสียหายลดลง คือ ในปี พ.ศ.2550 มีมูลค่าความเสียหายเท่ากับ 16,400 บาทต่อปี และในปี พ.ศ.2551 มีมูลค่าความเสียหายเท่ากับ 21,200 บาทต่อปี ตามลำดับ

สรุปได้ว่าการนำค่าพารามิเตอร์ในการควบคุมมาตรฐานของวัตถุดิบในกระบวนการผลิตแบบใหม่ไปใช้งานจริงในกระบวนการผลิตสกรู มีส่วนช่วยในการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตให้สูงขึ้นและทำให้สัดส่วนของของเสียในกระบวนการผลิตมีแนวโน้มลดลง

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินการวิจัยอุตสาหกรรมการผลิตสกรู โดยอาศัยหลักการออกแบบการทดลอง เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปัญหาสกรูหัวแตกร้าวในกระบวนการผลิต ซึ่งได้กล่าวไว้เป็นลำดับขั้นตอนอย่างละเอียดในบทที่ 2 และบทที่ 4 แล้วนั้น สามารถสรุปผลการดำเนินงานวิจัยได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยอุตสาหกรรมการผลิตสกรูครั้งนี้ได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท ก้าวหลิน (ไทยแลนด์) จำกัด ซึ่งหัวข้อที่ได้ทำการวิจัยครั้งนี้ คือ การลดของเสียในกระบวนการผลิตสกรู โดยหลักการออกแบบการทดลอง ในการดำเนินการวิจัยเพื่อแก้ปัญหาคุณภาพซึ่งเป็นแนวทางการควบคุมคุณภาพและควบคุมการผลิต ประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ คือ กระบวนการระบุปัญหา และสำรวจสภาพปัจจุบัน, ขั้นตอนการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา เป็นต้น การดำเนินงานในการควบคุมคุณภาพของกระบวนการผลิตสกรูเป็นการศึกษาเพื่อเป็นแนวทางในการควบคุมคุณภาพและควบคุมการผลิตให้กับทางโรงงานผลิต โดยจะเน้นถึงการดำเนินงานด้านคุณภาพและการผลิตให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น เพื่อเป็นการลดต้นทุนและลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการผลิตและเพื่อรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ก่อนส่งมอบให้กับลูกค้าต่อไป

จากผลการดำเนินงานวิจัย ผู้ทำวิจัยได้นำปัจจัยต่างๆ ที่ได้จากการระดมสมองผ่านผังก้างปลา (Fish Bone Diagram) หรือแผนภาพแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Analysis) พบว่าสาเหตุหลักที่ก่อให้เกิดปัญหาสกรูหัวแตกร้าวในกระบวนการผลิต มีสาเหตุมาจากค่าความแข็งของวัตถุดิบเหล็กคาร์บอนต่ำ SWRCH 22A ที่ไม่เหมาะสม เนื่องจากมีค่าความแข็งมากเกินไป แต่เป็นการแข็งประปรายทำให้ในกระบวนการขึ้นรูปหัวสกรูเกิดการแตกร้าวบริเวณหัวสกรู และอีกปัจจัยที่มีผลทำให้เกิดการแตกร้าวของหัวสกรู คือ ค่าความเร็วรอบของเครื่องจักร หลังจากนั้นได้ทำการวิเคราะห์ถึงผลกระทบอันเนื่องมาจากลักษณะบกพร่อง (Failure Mode and Effect Analysis: FMEA) โดยการหาค่า RPN ที่มีค่ามากที่สุดเพื่อระบุถึงปัจจัยที่คาดว่าจะมีอิทธิพลต่อปัญหาสกรูหัวแตกร้าว เพื่อนำไปออกแบบการทดลองพบว่ามี 2 ปัจจัย คือ ค่าความแข็ง (Hardness) ของวัตถุดิบ และค่าความเร็วรอบ (Cycle Time) ของเครื่องจักรในการผลิต

จากนั้นทำการทดลองโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบ General Factorial Design เพื่อที่จะให้ทราบว่าปัจจัยที่คาดว่าจะมีอิทธิพลต่อการเกิดปัญหา คือ ค่าความแข็ง (Hardness) และ ความเร็วรอบ (Cycle Time) มีผลหรือไม่อย่างไร โดยการวิเคราะห์ผ่านโปรแกรม Minitab พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดของเสีย คือ ค่าความแข็งของวัตถุดิบ ซึ่งมีนัยสำคัญเพียงปัจจัยเดียว สำหรับ ค่าความเร็วรอบในการขึ้นรูปสกรูนั้น ไม่มีนัยสำคัญในการทดลองในครั้งนี้

การทดสอบผ่านโปรแกรม Minitab พบว่าการออกแบบการทดลองนั้น ได้ถูกออกแบบ มาดีแล้วเมื่อพิจารณาจากค่า R^2 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 95.11% และจากที่ได้คำนวณหาค่าความเชื่อมั่นในการ ทดลองครั้งนี้ผ่านสมการทางคณิตศาสตร์ พบว่าได้ค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 96.5% ซึ่งเป็นค่าที่น่าพอใจ สำหรับการออกแบบการทดลอง

จากผลการวิเคราะห์ปัจจัยถึงสาเหตุหลัก ทางโรงงานผลิตจึงได้นำค่าความแข็งของเหล็ก คาร์บอนต่ำเกรด SWRCH 22A เท่ากับ 140 HV มาใช้เป็นพารามิเตอร์ใหม่ในการผลิตเพื่อการ ทดสอบในปี พ.ศ.2550 พบว่าทำให้เกิดของเสียลดลงเมื่อเทียบกับค่าพารามิเตอร์เดิมของทาง โรงงาน กล่าวคือในปี พ.ศ.2549 ก่อนเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์พบว่าของเสียที่เกิดจากปัญหาสกรู หัวแตกร้าวมีค่าเท่ากับ 1.61% คิดเป็นมูลค่าความเสียหายของวัตถุดิบเท่ากับ 87,200 บาทต่อปี แต่ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ใหม่ที่ได้จากการออกแบบการทดลองพบว่าในปี พ.ศ.2550 ปริมาณ ของเสียลดลงเหลือ 0.39% คิดเป็นมูลค่าความเสียหายของวัตถุดิบเท่ากับ 16,400 บาทต่อปี และในปี พ.ศ.2551 ปริมาณของเสียเท่ากับ 0.48% มีมูลค่าของเสียหายของวัตถุดิบเท่ากับ 21,200 บาทต่อปี ซึ่ง มีแนวโน้มลดลงจากเดิม แสดงให้เห็นว่าการนำค่าพารามิเตอร์ใหม่ไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการ ผลิตสกรู สามารถลดประมาณของเสียที่เกิดจากปัญหาสกรูหัวแตกร้าวลงได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

หลังจากที่มีการดำเนินงานวิจัยอุตสาหกรรมการผลิตสกรูครั้งนี้ ทำให้สามารถทราบปัจจัย ที่มีอิทธิพลต่อการเกิดการแตกร้าวของหัวสกรู และสามารถแก้ปัญหาและลดปริมาณของเสียลงได้ แล้วนั้น อย่างไรก็ตามก็ยังมีปัญหาอื่นๆ ในกระบวนการผลิตสกรูยังมีเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งต้องเข้าไปสำรวจ และทำการแก้ปัญหาอย่างจริงจัง ในการทำวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยขอเสนอแนะแนวทางของการวิจัยไว้ดังนี้

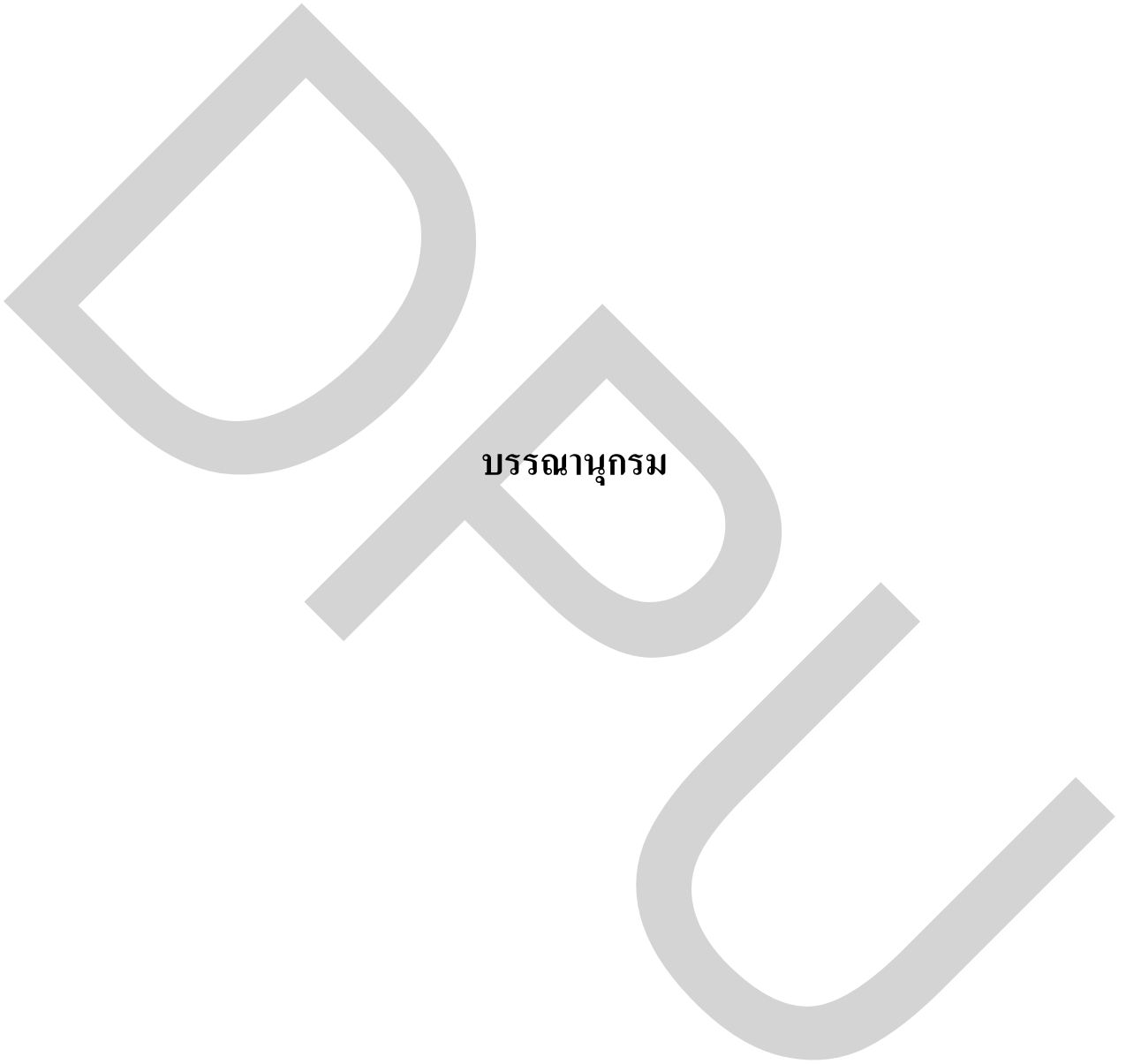
5.2.1 งานวิจัยครั้งนี้ทำการศึกษาเกี่ยวกับวัตถุดิบเหล็กคาร์บอนต่ำเกรด SWRCH 22A เท่านั้น ซึ่งเป็นวัตถุดิบทดแทนเกรด SWRCH 18A เพื่อเป็นการลดต้นทุนในกระบวนการผลิตให้ลดลง ดังนั้นในการผลิตสกรูอาจมีการใช้วัตถุดิบที่แตกต่างกัน ซึ่งผู้ผลิตต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของวัตถุดิบ ที่นำมาใช้เพื่อจะได้ไม่ส่งผลกระทบต่อในด้านคุณภาพเมื่อถูกนำไปใช้งาน

5.2.2 เครื่องจักรที่ใช้ในกาทดลองเป็นเครื่องจักร 2 จังหวะ คือ จังหวะแรกตีขึ้นรูป ลำตัวสกรูและจังหวะที่สองเป็นการตีขึ้นรูปหัว ซึ่งเป็นที่มาของอาการปัญหาหัวแตกร้าว โดยการปรับตั้งเครื่องจักรต้องอาศัยความชำนาญของช่างเทคนิค หากช่างเทคนิคไม่มีความชำนาญในการปรับตั้งเครื่องจักรก็สามารถทำให้เกิดของเสียในกระบวนการผลิตสกรูได้ง่าย

5.2.3 การออกแบบการทดลองครั้งนี้เป็นการนำข้อมูลดิบที่ได้จากการทดลองของทางโรงงาน เพื่อนำมาวิเคราะห์ผ่านโปรแกรม Minitab เพื่อตรวจสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยที่กำหนดลงไปในสาเหตุที่มีอิทธิพลต่อการเกิดปัญหา ซึ่งมีความถูกต้องและเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับสมมติฐานของทางโรงงาน

5.2.4 ในการผลิตสกรูนั้นวัตถุดิบแต่ละแหล่งผลิตหรือแต่ละประเทศมีความแตกต่างกัน ดังนั้นแต่ละโรงงานผลิตอาจต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ในการแก้ปัญหาด้านคุณภาพด้วย เพื่อให้เกิดการแตกร้าวของหัวสกรูน้อยที่สุด

5.2.5 ผู้วิจัยขอละเว้นไม่นำอายุการใช้งานของแม่พิมพ์มาทำการออกแบบการทดลองในครั้งนี้ เนื่องจากผู้ที่มีความรู้และประสบการณ์ในโรงงานให้ข้อมูลว่าไม่ส่งผลกระทบต่ออาการแตกร้าวของหัวสกรู ถ้าปัญหาที่เกิดจากแม่พิมพ์จะเป็นปัญหาการทำให้หัวสกรูเป็นรอย ผิวไม่เรียบเท่านั้น จึงไม่ได้นำมาเป็นส่วนหนึ่งของปัจจัย



บรรณานุกรม

ภาษาไทย

หนังสือ

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. (2547). ระบบการควบคุมคุณภาพที่หน่วยงาน : คิวซีเซอร์เคิล (ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ : บริษัท เทคนิคคอล แอป โพรซ เคาน์เซลลิ่ง แอนด์ เทรนนิ่ง จำกัด.

จิราวัลย์ จิตรถเวช. (2552). การวางแผนและวิเคราะห์การทดลอง. กรุงเทพฯ : โครงการส่งเสริมและพัฒนาเอกสารวิชาการ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

ประไพศรี สุทัศน์. (2551). การออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด.

สมบูรณ์ ต้นสกุล. (2543). สถิติวิศวกรรม. กรุงเทพฯ : ศูนย์การพิมพ์แก่นจันทร์.

สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). (2549). การบริหารคุณภาพทั่วทั้งองค์กร. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สถาบันส่งเสริมเทคโนโลยี.

สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). (2544). QC Prize. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : สถาบันส่งเสริมเทคโนโลยี.

วิทยานิพนธ์

กฤษดา อัครรุ่งแสงกุล. (2542). การปรับปรุงคุณภาพของหัวอ่านเขียนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ โดยประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ณัฐพล สันตระการผล. (2543). การลดปริมาณผลิตภัณฑ์บกพร่องของเพลาลังรถยนต์ในกระบวนการตีขึ้นรูป. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

อภิชาติ ศรีณนิตย์. (2548). การลดของเสียในโรงงานอุตสาหกรรมฉีดพลาสติก. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมระบบการผลิต. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ภาษาต่างประเทศ

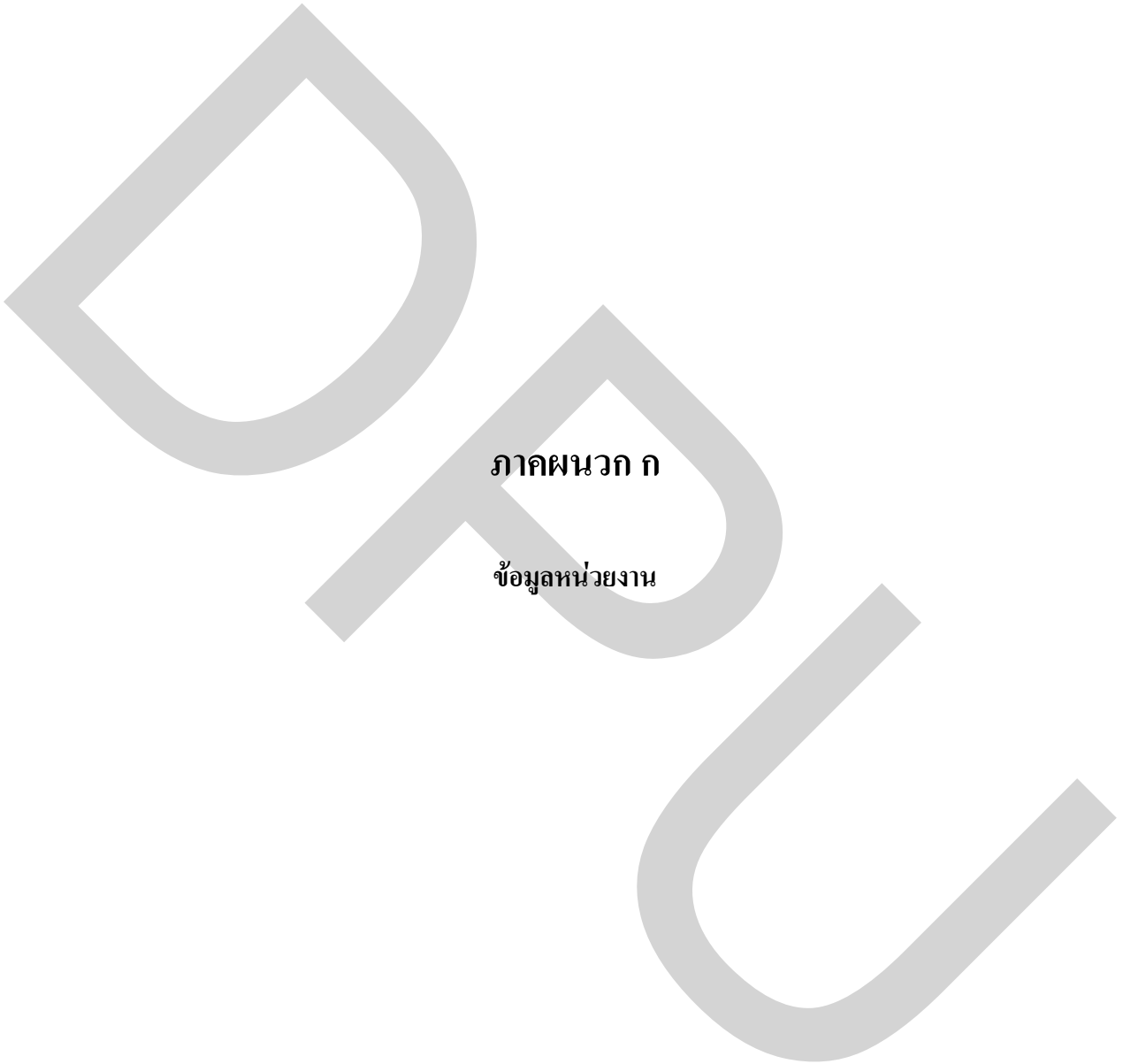
BOOKS

Douglas C.Montgomery. (2005). **6th Design and Analysis of Experiments. United States of America** : John Wiley& Sons, Inc.



ภาคผนวก





ภาคผนวก ก

ข้อมูลหน่วยงาน



KL HISTORY

- | | |
|-----------------------------|--|
| 1. COMPANY NAME | : KUAO LENG (THAILAND) CO.,LTD. |
| 2. ESTABLISHED | : JUL , 1999 |
| 3. CAPITALIZED AT | : 100,000,000 BAHT |
| 4. OFFICE & FACTORY LOCATED | : AMATA NAKORN CHONBURI (THAILAND) |
| 5. PRESIDENT | : MR.HUANG SHIH SHU |
| 6. MANAGING DIRECTOR | : MR.HUANG SHIH CHAO |
| 7. EMPLOYEE | : 140 PERSON |
| 8. QUALITY SYSTEM | : ISO9001 : 2008 BY BVC |
| | : RoHS ACTIVITY / 5 S / QCC / P D C A / KAIZEN |



不接收, 不製造, 不流出不良品

No Receive Defected, No Produce Defected, No Delivery Defected

Không nhận hàng lỗi, Không sản xuất hàng lỗi, không giao hàng lỗi

BRIEF INTRODUCTION

Kuao leng screw Co., Ltd. was established in Taiwan in 1965. As a multinational company, There are it's plant in Taiwan, China (Dong Guan of Guang Dong and Su Zhou), Thailand , Malaysia , Vietnam. It has invested huge capital in purchasing hundreds of advanced precision machine : Heading Forming machine, Thread Rolling machine , Heat treatment machine , Zinc Electro plating , CNC and the advanced precision inspection instruments. There are more than 500 technicians and operator. We are over 40 years have provided tens of thousands of screw and fasteners products for our regular and new customer, and always taken the management policy is

“Global Customer Satisfaction”

COMPANY INTRODUCTION

Nowadays, Kuao leng screw Co., Ltd. Is ready 22 st century, We take the policy “Best to Best” as the idea of developing the market and services the customer, is in order to develop and innovation in effort in the field of manufacturing high precision screw and fasteners. We will provide the excellent new Hi-tech products and new technology and sincerely cooperation with our regular and new customer to open up a brilliant future.

The whole staff is the most important source of our company, The valuable staff with excellent idea and advance technology is the motive force for continuous development of our company, That is why we keep giving the whole staff continuous education and training program.

COMPANY INTRODUCTION

Headquarter

- Kuao Leng Screw Enterprise (Taipei, Taiwan)

Factories

- Kuao Leng (Thailand) Co., Ltd. (Chonburi, Thailand)
- Kuao Leng Enterprise Co., Ltd. (Hong Kong)
- Kuao Leng Screw Co. Ltd. (DongGuan, China)
- Kuao Leng Co., Ltd. (SuZhou, China)
- Kuao Leng Co., Ltd. (Penang, Malaysia)
- Kuao Leng Co.,Ltd (Vietnam)

QUALITY POLICY ★ **QUALITY POLICY** ★

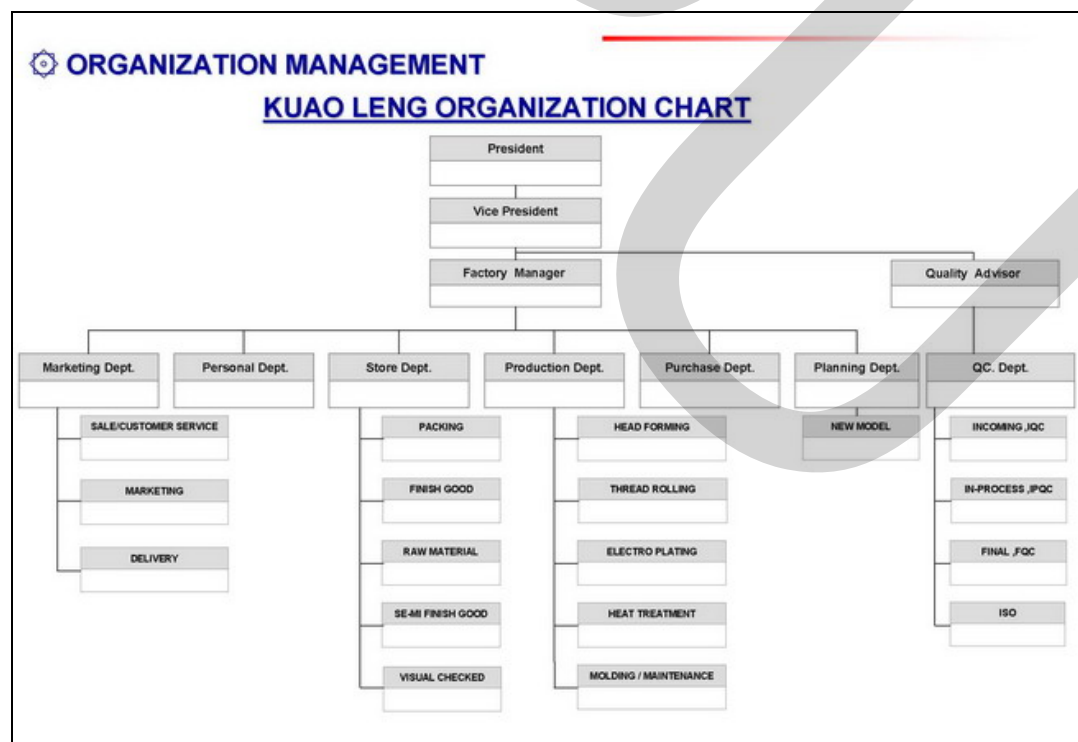
**“Creating Product Quality, Delivery on time
Customer Satisfaction and continuous Improvement”**

“持續改善，高品質，高交期，高滿意度”

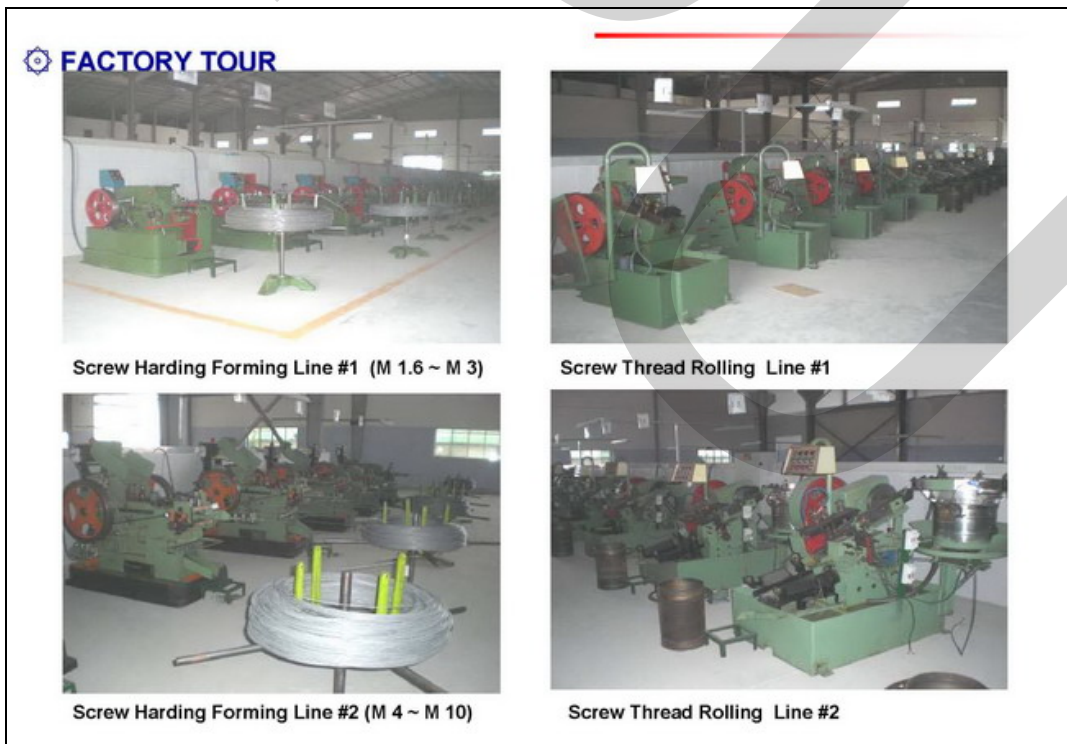
**“Đạt chỉ tiêu chất lượng, Giao hàng đúng thời gian
Thoả mãn yêu cầu khách hàng và không ngừng cải tiến”**



Global Customer Satisfaction







FACTORY TOUR

Heat treatment / Zinc Electro plating Factory



This is **Automatic Hardening** line. We are prepare customer part in to the production line follow with customer order as well.

Hardening is a heat treatment technique to increase the hardness of material, abrasion resistance and sufficient toughness

These are **zinc electro plating** lines, KKL is capable of performing plating on products of various sizes from extremely small parts of 1.4 mm to auto parts. From environmental point of view, acid zinc and non - hexavalent chromium solutions are used for plating.

Heat treatment Machine



Electro Zinc Plating Line



FACTORY TOUR

Main Equipment






1. No. 0 High speed Heading machine
2. No. 1 Heading machine
3. No. 1/2 Heading machine
4. No. 1/4 Heading machine
5. No. 1/8 Heading machine
6. No. 3/8 Heading machine
7. No. 3/16 Thread rolling machine
8. No. 5/16 Thread rolling machine
9. No. 0 Thread rolling machine
10. No. 1/4 Thread rolling machine
11. No. 3/8 Thread rolling machine
12. No. 3/16 Thread rolling machine
13. No. 15# High precision bench lathe
14. HH 2415n 2-Die 4 -Blow Headers machine
15. HH 2425n 2-Die 4 -Blow Headers machine

QUALITY CONTROL
Test Instrument

1. Grinding Polishing
2. Mounting presses
3. Cutting machine
4. Salt spray test
5. Vernier calipers
6. Precision Micrometers
7. Torque wrenches
8. Micro-vickers hardness

CUSTOMER REFERENCE

Customer Reference

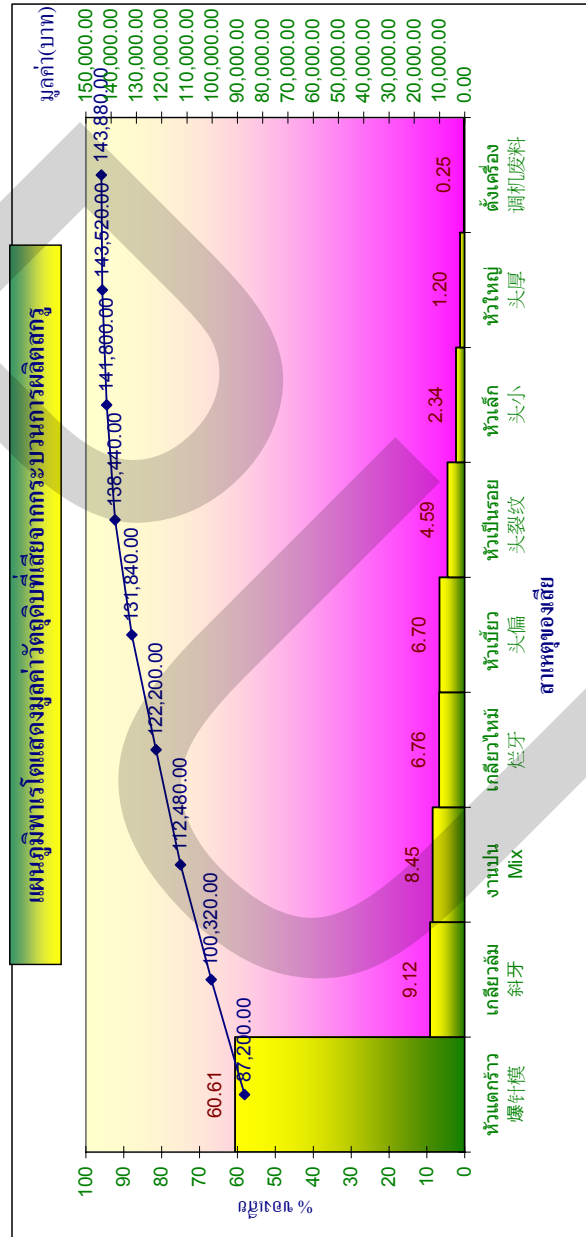
REFERENCE KUAO LENG (THAILAND) CO.,LTD.

ภาคผนวก ข

รายงานสรุปจำนวนชิ้นงานเสียจากกระบวนการผลิตสกรู
(ตั้งแต่เดือนมกราคม 2549 ถึงเดือนธันวาคม 2549)

ของเสียจากกระบวนการผลิต สกรู เดือน มกราคม 2006 - ธันวาคม 2006

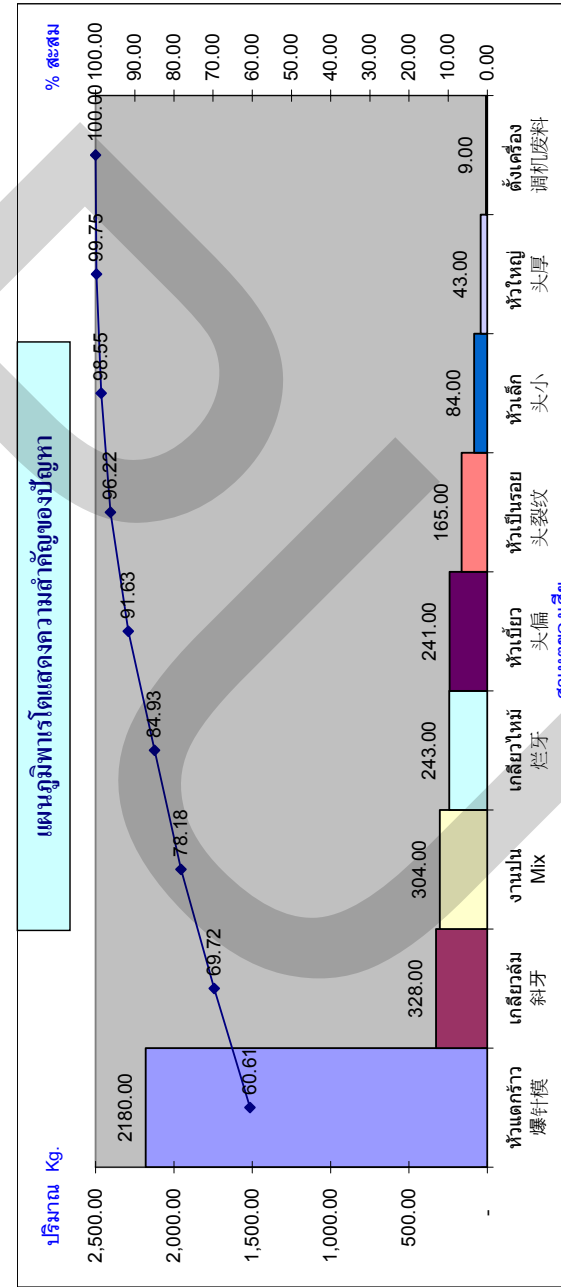
Problem	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total	%	Price ๙๖๙๙	% ๙๖๙๙
หัวแตกร้าว 爆针模	257.00	208.00	148.00	163.00	186.00	258.00	301.00	246.00	61.00	80.00	27.00	245.00	2,180.00	60.61	87200.00	60.61
เกลียวล้น 斜牙	27.00	41.00	26.00	10.00	11.00	10.00	47.00	18.00	5	4	1.00	128	328.00	9.12	100320.00	69.72
งานปน Mix	52.00	10.00	62.00	76.00	48.00	2.00	20.00	8.00	21.00	0	5.00	0	304.00	8.45	112480.00	78.18
เกลียวไม่มัน 烂牙	32.00	0	19.00	3.00	63.00	40.00	50.00	13.00	1.00	13.00	1.00	8.00	243.00	6.76	122200.00	84.93
หัวเบี้ยว 头偏	15.00	25.00	24.00	40.00	30.00	9.00	32.00	65.00	1.00	0	0	0	241.00	6.70	131840.00	91.63
หัวเบี้ยวรอย 头裂纹	16.00	0	12.00	11.00	1	14	94	10.00	0	2	5	0	165.00	4.59	138440.00	96.22
หัวเล็ก 头小	7.00	40.00	3.00	6.00	0	0	0	16.00	0	0	0	12.00	84.00	2.34	141800.00	98.55
หัวใหญ่ 头厚	8.00	11.00	5.00	4.00	5.00	2.00	1.00	5.00	0	2.00	0	0	43.00	1.20	143520.00	99.75
ตั้งเครื่อง 漏机废料	1.00	0	0	0	0	0	0	6.00	0	0	2.00	0	9.00	0.25	143880.00	100.00
Total kg.	415.00	335.00	299.00	313.00	344.00	335.00	545.00	387.00	89.00	101.00	41.00	393.00	3,597.00	100		



ISSUED BY
CHECKED BY
APPROVED

ของเสียจากกระบวนการผลิต สกรู เดือน มกราคม 2006 - ธันวาคม 2006

Problem	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total	%	Price	% สะสม
หัวแตกร้าว 爆针模	257.00	208.00	148.00	163.00	186.00	258.00	301.00	246.00	61.00	80.00	27.00	245.00	2,180.00	60.61	87200.00	60.61
เกลี้ยงกลม 斜牙	27.00	41.00	26.00	10.00	11.00	10.00	47.00	18.00	5	4	1.00	128	328.00	9.12	100320.00	69.72
งานปน Mix	52.00	10.00	62.00	76.00	48.00	2.00	20.00	8.00	21.00	0	5.00	0	304.00	8.45	112480.00	78.18
เกลี้ยงหน้า 烂牙	32.00	0	19.00	3.00	63.00	40.00	50.00	13.00	1.00	13.00	1.00	8.00	243.00	6.76	122200.00	84.93
หัวเบี้ยว 头偏	15.00	25.00	24.00	40.00	30.00	9.00	32.00	65.00	1.00	0	0	0	241.00	6.70	131840.00	91.63
หัวเป็นรอย 头裂纹	16.00	0	12.00	11.00	1	14	94	10.00	0	2	5	0	165.00	4.59	138440.00	96.22
หัวเล็ก 头小	7.00	40.00	3.00	6.00	0	0	0	16.00	0	0	0	12.00	84.00	2.34	141800.00	98.55
หัวใหญ่ 头厚	8.00	11.00	5.00	4.00	5.00	2.00	1.00	5.00	0	2.00	0	0	43.00	1.20	143520.00	99.75
ตั้งเครื่อง 调机废料	1.00	0	0	0	0	0	0	6.00	0	0	2.00	0	9.00	0.25	143880.00	100.00
Total kg.	415.00	335.00	299.00	313.00	344.00	335.00	545.00	387.00	89.00	101.00	41.00	393.00	3,597.00	100		



ISSUED BY	
CHECKED BY	
APPROVED	

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างใบสั่งซื้อ/ราคาขายเหล็กสวดคาร์บอนต่ำชนิด SWRCH 22A



บริษัท ก้าวหลิน (ไทยแลนด์) จำกัด

KUAO LENG (THAILAND) CO.,LTD.

89 MOO 1 T.BANKAO A.PANTHONG
CHONBURI 20160

TEL : (038)744125-7 FAX : (038) 744128

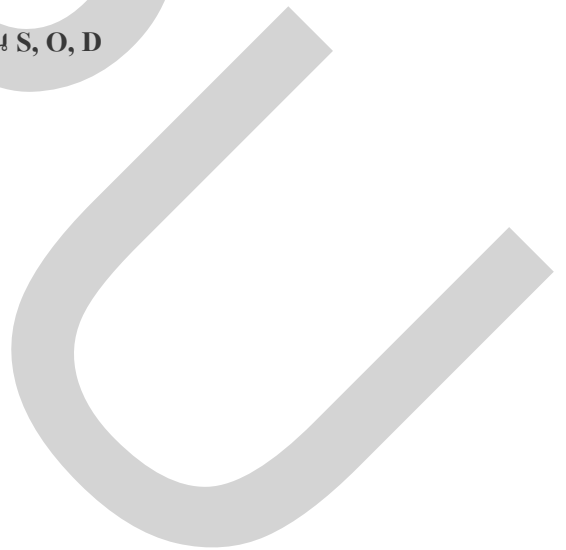
Purchase Order 採購單

Vendor address: NEW BEST WIRE INDUSTRY CO.,LTD. NO. 12 - 19 LAI GUAN LIAU, CHIA - LIE JENG TAINAN , TAIWAN , R.O.C.		Date of order : 2010 - JAN - 5		
		PO No.: KL100105		
		Delivery 備註: 2010 - APR - 05		
		Payment Term: 60 DAY		
No.	Description 種類	Quantity 數量	Unit Price 價格	Amount 總額
1	WIRE ROD SWRCH 22A (3.15)	50,000 kg	40.00	2,000,000.00
		TOTAL		2,000,000.00
		VALUE ADDED TAX		140,000.00
		GRAND TOTAL		2,140,000.00
製圖 Drawing				
HARDNESS SPEC. = 140 HV				
核准 Approved		經理 Manager	採購 Purchase	回覆 Respondent
RAGER H.		Poramet P.	SUPRANEE	

ได้รับ PO. แล้วกรุณา Fax Confirm กลับด้วย

เมื่อมาส่งสินค้า กรุณาแนบ P.O. มาด้วยทุกครั้ง มิฉะนั้นจะไม่รับสินค้า

FPC-005/00-1Y



ภาคผนวก ง

เกณฑ์การให้คะแนน S, O, D

ตารางที่ 1. แสดงเกณฑ์การประเมินอัตราความรุนแรง (Severity : S) ของผลกระทบ

ผลจากข้อบกพร่อง	ความรุนแรงของผลจากข้อบกพร่อง	คะแนน
ก่อให้เกิดอันตรายโดย ไม่มีการเตือน	อาจทำให้เกิดอันตรายต่อเครื่องจักรหรือพนักงาน ความรุนแรงอาจถือว่าสูง มากถ้าหากทำให้เกิดความปลอดภัยในการทำงานหรือขัดต่อกฎหมาย ข้อบกพร่องเกิดขึ้นโดยไม่มีการตีล่วงหน้า	10
ก่อให้เกิดอันตรายโดย มีการเตือน	อาจทำให้เกิดอันตรายต่อเครื่องจักรหรือพนักงาน ความรุนแรงอาจถือว่าสูง มากถ้าหากทำให้เกิดความปลอดภัยในการทำงานหรือขัดต่อกฎหมาย ข้อบกพร่องเกิดขึ้นโดยไม่มีการตีล่วงหน้า	9
สูงมาก	มีผลต่อสายการผลิตมาก ผลิตภัณฑ์ทั้งหมด (100%) อาจจะต้องได้รับการ กำจัดทิ้งเพราะความไม่มีคุณภาพ ผลิตภัณฑ์ไม่สามารถนำไปใช้งานได้ มี การสูญเสียในสถานะหน้าที่หลัก ลูกคามีความไม่พอใจมาก	8
สูง	มีผลต่อสายการผลิตเล็กน้อย ผลิตภัณฑ์อาจต้องผ่านการตรวจสอบแบบ คัดเลือก (Sorting) และอาจมีผลิตภัณฑ์บกพร่องบางส่วน (น้อยกว่า 100%) ได้รับการกำจัดทิ้งเพราะความไม่มีคุณภาพ ผลิตภัณฑ์สามารถนำไปใช้งาน ได้ด้วยคุณภาพที่ลดลง ลูกคามีความไม่พอใจ	7
ปานกลาง	มีผลต่อสายการผลิตเล็กน้อย ผลิตภัณฑ์บกพร่องบางส่วนอาจจะต้องได้รับ การกำจัดทิ้งเพราะความไม่มีคุณภาพ (โดยไม่มีการคัดเลือก) ผลิตภัณฑ์ สามารถนำไปใช้งานได้ แต่ความสะดวกสบายลดลง ลูกค้ำขาดความ สะดวก	5
ต่ำ	มีผลต่อสายการผลิตน้อย ผลิตภัณฑ์ทั้งหมด (100%) อาจต้องนำมาทำใหม่ ผลิตภัณฑ์สามารถนำไปใช้งานได้ดี แต่ด้านความสะดวกสบายสามารถ ดำเนินการได้ด้วยสมรรถนะต่ำลง ลูกค้ำไม่ค่อยจะพอใจ	5
ต่ำมาก	มีผลต่อสายการผลิตเล็กน้อย ผลิตภัณฑ์อาจต้องได้รับการคัดเลือกและ ผลิตภัณฑ์บางส่วน (น้อยกว่า 100%) อาจต้องนำมาทำใหม่ คุณภาพของ ผลิตภัณฑ์อาจไม่ดีนัก ลูกค้ำส่วนใหญ่ มักจะถือว่าผลิตภัณฑ์มีความ บกพร่อง	4
เล็กน้อย	มีผลต่อสายการผลิตเล็กน้อย ส่วนหนึ่งของผลิตภัณฑ์ (น้อยกว่า 100%) อาจจะได้รับการนำมาทำใหม่ในสายการผลิตแต่อกจุดปฏิบัติงาน ผลิตภัณฑ์มีความเรียบร้อยดี ลูกค้ำโดยเฉลี่ยจะถือว่าผลิตภัณฑ์มีความ บกพร่อง	3
เล็กน้อยมาก	มีผลต่อสายการผลิตเล็กน้อย ส่วนหนึ่งของผลิตภัณฑ์ (น้อยกว่า 100%) อาจจะได้รับการนำมาทำใหม่ในสายการผลิต และที่ตำแหน่งปฏิบัติงาน ผลิตภัณฑ์มีความเรียบร้อยดี ลูกค้ำจำนวนเพียงเล็กน้อยจะถือว่าผลิตภัณฑ์มี ความบกพร่อง	2
ไม่มี	ไม่มีผลกระทบ	1

ตารางที่ 2. แสดงเกณฑ์การประเมินความถี่ของปัญหา(Occurrence : O)ผลิตภัณฑ์บร็อก

โอกาสในการเกิดขึ้นของสาเหตุ หนึ่งๆ	อัตราข้อบกพร่องที่เป็นไปได้ (ppm)	คะแนน
สูงมาก : เกิดข้อบกพร่องเป็นประจำ	≥ 100000 (หรือ 10%)	10
	50000 (หรือ 5%)	9
สูง : เกิดข้อบกพร่องบ่อย	20000 (หรือ 2%)	8
	10000 (หรือ 1%)	7
ปานกลาง : เกิดข้อบกพร่องเป็นครั้ง คราว	5000 (หรือ 0.5%)	6
	2000 (หรือ 0.2%)	5
	1000 (หรือ 0.1%)	4
ต่ำ : เกิดข้อบกพร่องค่อนข้างน้อย	500	3
	100	2
ห่างไกล : เกือบไม่มีโอกาส ข้อบกพร่องเลย	≤ 10	1

ตารางที่ 3. แสดงเกณฑ์การประเมินการกำหนดโอกาสในการตรวจจับหรือโอกาสความเป็นไปได้ในการ
แก้ปัญหา (Detection : D) ข้อบกพร่อง

การตรวจจับ	กฎเกณฑ์ : การประเมินการกำหนดโอกาสในการตรวจจับหรือโอกาส ความเป็นไปได้ในการแก้ปัญหา	คะแนน
เกือบเป็นไปได้	ไม่ทราบถึงวิธีการควบคุมที่จะตรวจจับหรือแก้ปัญหาลักษณะ ข้อบกพร่อง	10
ห่างไกลมาก	มีระบบการควบคุมแต่ไม่สามารถตรวจจับข้อบกพร่องได้	9
ห่างไกล	มีระบบการควบคุมแต่มีโอกาสน้อยมากที่จะตรวจจับข้อบกพร่องได้	8
น้อยมาก	มีโอกาสน้อยมาก ที่วิธีการควบคุมจะตรวจจับหรือแก้ปัญหาลักษณะ ข้อบกพร่อง	7
น้อย	มีโอกาสน้อย ที่วิธีการควบคุมจะตรวจจับหรือแก้ปัญหาลักษณะ ข้อบกพร่องได้	6
ปานกลาง	มีโอกาสมoderate ที่วิธีการควบคุมจะตรวจจับหรือแก้ปัญหาลักษณะ ข้อบกพร่องได้	5
ค่อนข้างสูง	มีโอกาสมoderate สูงมาก ที่วิธีการควบคุมจะตรวจจับจะสามารถ ตรวจจับข้อบกพร่องได้	4
สูง	มีระบบควบคุมและมีโอกาสสูงที่จะสามารถตรวจจับข้อบกพร่องได้	3
สูงมาก	มีระบบควบคุมและเกือบจะมั่นใจได้ว่าจะสามารถตรวจจับข้อบกพร่องได้	2
เกือบแน่นอน	มีโอกาสเกือบ 100% ที่วิธีการควบคุมจะตรวจจับหรือแก้ปัญหาลักษณะ ข้อบกพร่อง	1

ภาคผนวก จ

มาตรฐาน JIS G3539

(แสดงคุณลักษณะของเหล็กถลุงคาร์บอนต่ำชนิด SWRCH 22A)

JIS G 3539
(1988)

Carbon Steel Wires for Cold Heading and Cold Forging

1. Scope

This Japanese Industrial Standard specifies the carbon steel wires, hereinafter referred to as the "wires", to be used for the manufacture of various types of screws such as bolts, nuts, rivets, machine screws and tapping screws and various parts by cold heading and cold forging.

Remark: The units and numerical values given in { } in this Standard are based on the International System of Units (SI) and are appended for informative reference.

Further, the traditional units accompanied by numerical values in this Standard shall be converted to the SI units and numerical values on Jan. 1, 1991.

2. Types and Symbols

The wires shall be classified into 6 types for rimmed steel, 10 types for aluminium killed steel and 21 types for killed steel, and their symbols shall be as given in Tables 1-1 and 1-2 or Tables 2-1 and 2-2.

3. Mechanical Properties

The mechanical properties of the wires shall be tested in accordance with 10.1 and the results shall conform to Table 1-1 or Table 1-2 for the product by process D and to Table 2-1 or Table 2-2 for the product by process DA. The mechanical properties, however, when the product is worked by processes other than D and DA, shall be predetermined by agreement between the purchaser and the manufacturer.

—G 3539—

Table 2-1. Mechanical Properties of Wires Manufactured by Process DA
(Applicable till the end of 1990)

Type symbol	Tensile strength kgf/mm ² [N/mm ²]	Reduction of area %	Informative reference	
			Elongation (1) %	Hardness HRR
SWCH 6R SWCH 8R SWCH 10R SWCH 6A SWCH 8A SWCH 10A	30 min. [294] min.	55 min.	15 min.	80 max.
SWCH 12R SWCH 15R SWCH 12A SWCH 15A SWCH 10K SWCH 12K	35 min. [343] min.	55 min.	14 min.	83 max.
SWCH 17R SWCH 16A SWCH 18A SWCH 20A SWCH 15K	38 min. [373] min.	55 min.	13 min.	85 max.
SWCH 19A SWCH 16K SWCH 17K SWCH 18K SWCH 20K	42 min. [412] min.	55 min.	13 min.	86 max.
SWCH 22A SWCH 22K SWCH 25K	45 min. [441] min.	55 min.	12 min.	88 max.
SWCH 24K SWCH 27K	48 min. [471] min.	55 min.	12 min.	92 max.
SWCH 30K SWCH 33K SWCH 35K	63 max. [618] max.	55 min.	12 min.	92 max.
SWCH 38K SWCH 40K SWCH 43K	68 max. [667] max.	55 min.	11 min.	94 max.
SWCH 41K SWCH 45K SWCH 48K SWCH 50K	72 max. [706] max.	55 min.	10 min.	97 max.

Note (1) The gauge length for the tensile test piece shall be set at 5 *D*, with *D* as the wire diameter

Remark: For the low carbon steel wires given as SWCH 27 and downwards to be used for the products which are to be heat-treated, the lower limit of the tensile strength may be settled for lower values than that given in Table 2-1 by agreement.

— G 3539 —

Table 2-2. Mechanical Properties of Wires Manufactured by Process DA
(Applicable on and after Jan. 1, 1991)

Type symbol	Tensile strength N/mm ²	Reduction of area %	Informative reference	
			Elongation ⁽¹⁾ %	Hardness HRB
SWCH 6R SWCH 8R SWCH 10R SWCH 6A SWCH 8A SWCH 10A	290 min.	55 min.	15 min.	80 max.
SWCH 12R SWCH 15R SWCH 12A SWCH 15A SWCH 10K SWCH 12K	340 min.	55 min.	14 min.	83 max.
SWCH 17R SWCH 16A SWCH 18A SWCH 20A SWCH 15K	370 min.	55 min.	13 min.	85 max.
SWCH 19A SWCH 16K SWCH 17K SWCH 18K SWCH 20K	410 min.	55 min.	13 min.	86 max.
SWCH 22A SWCH 22K SWCH 25K	440 min.	55 min.	12 min.	88 max.
SWCH 24K SWCH 27K	470 min.	55 min.	12 min.	92 max.
SWCH 30K SWCH 33K SWCH 35K	620 max.	55 min.	12 min.	92 max.
SWCH 38K SWCH 40K SWCH 43K	670 max.	55 min.	11 min.	94 max.
SWCH 41K SWCH 45K SWCH 48K SWCH 50K	710 max.	55 min.	10 min.	97 max.

Note ⁽¹⁾ The gauge length for the tensile test piece shall be set at 5 *D*, with *D* as the wire diameter.

Remark: For the low carbon steel wires given as SWCH 27 and downwards to be used for the products which are to be heat-treated, the lower limit of the tensile strength may be settled for lower values than that given in Table 2-2 by agreement.

—G 3539—

4. Tolerances on Wire Diameters and Diametric Disparity

Tolerances on wire diameter and diametric disparity shall be as specified in Table 3.

Table 3. Tolerances on Wire Diameter and Diametric Disparity

Unit: mm

Grade of tolerances Wire diameter	Grade 9 (h 9)		Grade 10 (h 10)	
	Tolerances	Permissible disparity	Tolerances	Permissible disparity
Up to and incl. 3	0 - 0.025	0.013 max.	0 - 0.040	0.020 max.
Over 3, up to and incl. 6	0 - 0.030	0.015 max.	0 - 0.048	0.024 max.
Over 6, up to and incl. 10	0 - 0.036	0.018 max.	0 - 0.058	0.029 max.
Over 10, up to and incl. 18	0 - 0.043	0.022 max.	0 - 0.070	0.035 max.
Over 18, up to and incl. 30	0 - 0.052	0.026 max.	0 - 0.084	0.042 max.
Over 30	0 - 0.062	0.031 max.	0 - 0.100	0.050 max.

Remarks 1. The diametric disparity is defined as the difference between the largest and the smallest wire diameters measured in the same cross section.

2. The grade symbols given in parentheses are based on JIS B 0401.

5. Appearance and Surface Defects

The surface of the wires shall be free from harmful scale defects, rust and the like as well as surface defects and the like harmful to cold heading and cold forging.

6. Depth of Decarburized Layer

If specified by the purchaser, the wires of SWCH 30 K to SWCH 50 K shall be tested in accordance with 10.3, and the permissible limits of mean depth of decarburized layer shall be as specified in Table 4.

Table 4. Permissible Limits of Mean Depth of Decarburized Layer

Unit: mm

Wire diameter	Depth of ferrite decarburized layer	Total depth of decarburized layer
Up to and incl. 8	0.03 max.	0.12 max.
Over 8, up to and incl. 14	0.04 max.	0.15 max.
Over 14, up to and incl. 20	0.05 max.	0.20 max.
Over 20	0.06 max.	0.25 max.

—G 3539—

7. Spheroidized Structure

If specified by the purchaser, the wires produced by process DA shall be tested in accordance with 10.4, and the grade of spheroidized structure shall be as agreed upon by the purchaser and the manufacturer.

In this case, the grades of the spheroidized structure of SWCH 30 K to SWCH 50 K shall be based on Photo Plates No. 1 to No. 6 in Figure.

8. Material

The wire rods to be used for the manufacture of the wires shall conform to JIS G 3507.

9. Manufacturing Method

The manufacturing method shall be as follows:

- (1) The wires shall be manufactured by process D or DA. However, manufacturing processes other than given above may be selected by agreement between the purchaser and the manufacturer.

Process D: To work up the wire rods into wires by cold-drawing.

Process DA: Either to anneal the wire rods having been cold-drawn and work up by cold-drawing or to anneal the wire rods and work up by cold-drawing.

- (2) The type of coating over the wire surface may be specified by the purchaser.

10. Tests

10.1 Tensile Test The testing method shall be as specified in JIS Z 2241.

10.2 Measurement of Wire Diameter By means of a micrometer specified in JIS B 7502, measure the largest and the smallest wire diameters in the same arbitrarily selected cross section.

10.3 Decarburization Detection Test The testing method shall be as specified in 4. in JIS G 0558. In this case, obtain the mean depth of decarburized layer in a wire section from the values measured at four places quartering the circumference passing the point right above the largest decarburized depth.

10.4 Spheroidized Structure Test Observe the face to be examined with a microscope of 400 magnifications, and grade the spheroidizing into No. 1 to No. 6 by the aid of Figure.

11. Inspection

The inspection shall be as follows:

- (1) For the tests of mechanical properties, depth of decarburized layer and the spheroidized structure in accordance with 10.1, 10.3 and 10.4, one test piece shall be taken from each lot of the same heat, size and heat treatment, and the results shall comply with the requirements of 3., 6. and 7.

—G 3539—

- (2) The wire diameter shall be tested in accordance with 10.2 and the results shall conform to the requirements of 4.
- (3) The appearance and surface defects of the wires shall be inspected visually, and the results shall comply with the requirements of 5.

12. Marking

The wires which have passed the inspection shall be clearly marked with the following particulars on each coil by suitable means. Some of the items below, however, may be omitted, if approved by the purchaser.

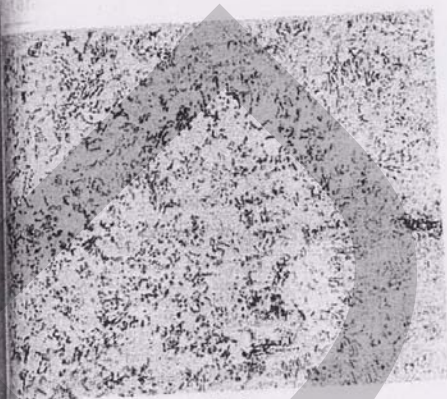
- (1) Type symbol
- (2) Symbol of manufacturing process, with D for process D and DA for process DA
- (3) Wire diameter and its tolerance grade
- (4) Mass of coil
- (5) Manufacture number or coil number
- (6) Heat number or inspection number
- (7) Year and month of manufacture
- (8) Manufacturer's name or its abbreviation

13. Report

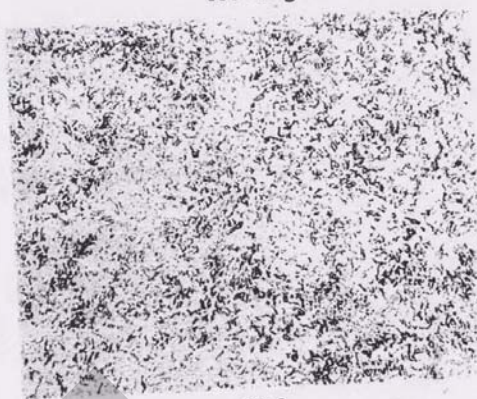
The manufacturer shall submit the test report carrying the specified items, if required by the purchaser.

—G 3539—

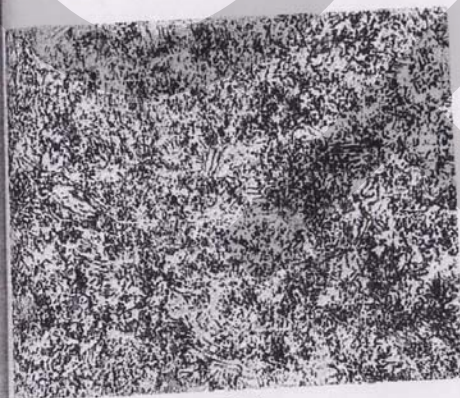
Figure. Grades of Spheroidized Structures
400 magnifications



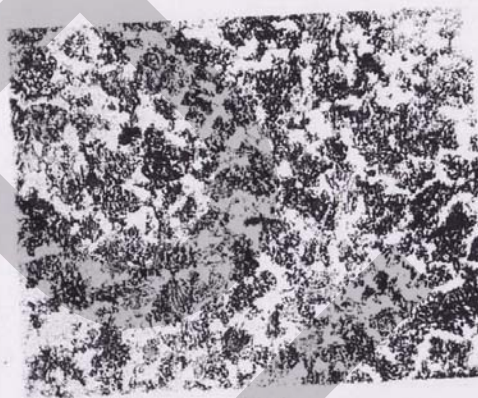
No. 1



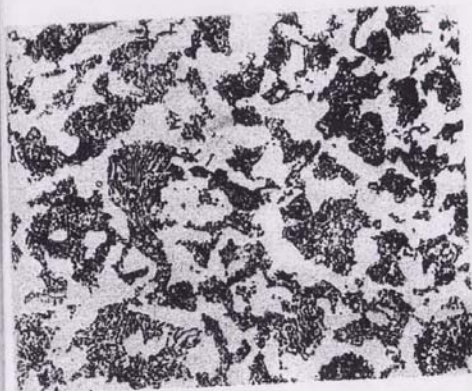
No. 2



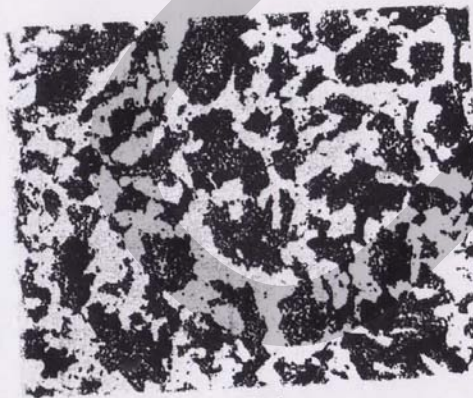
No. 3



No. 4



No. 5



No. 6

— G 3539 —

Reference. Chemical Composition of Carbon Steel Wire Rods for Cold Heading and Cold Forging (Values Obtained by Ladle Analysis)

Type symbol	Chemical composition %					
	C	Si	Mn	P	S	Al
SWRCH 6R	0.08 max.	—	0.60 max.	0.040 max.	0.040 max.	—
SWRCH 8R	0.10 max.	—	0.60 max.	0.040 max.	0.040 max.	—
SWRCH 10R	0.08 to 0.13	—	0.30 to 0.60	0.040 max.	0.040 max.	—
SWRCH 12R	0.10 to 0.15	—	0.30 to 0.60	0.040 max.	0.040 max.	—
SWRCH 15R	0.13 to 0.18	—	0.30 to 0.60	0.040 max.	0.040 max.	—
SWRCH 17R	0.15 to 0.20	—	0.30 to 0.60	0.040 max.	0.040 max.	—
SWRCH 6A	0.08 max.	0.10 max.	0.60 max.	0.030 max.	0.035 max.	0.02 min.
SWRCH 8A	0.10 max.	0.10 max.	0.60 max.	0.030 max.	0.035 max.	0.02 min.
SWRCH 10A	0.08 to 0.13	0.10 max.	0.30 to 0.60	0.030 max.	0.035 max.	0.02 min.
SWRCH 12A	0.10 to 0.15	0.10 max.	0.30 to 0.60	0.030 max.	0.035 max.	0.02 min.
SWRCH 15A	0.13 to 0.18	0.10 max.	0.30 to 0.60	0.030 max.	0.035 max.	0.02 min.
SWRCH 16A	0.13 to 0.18	0.10 max.	0.60 to 0.90	0.030 max.	0.035 max.	0.02 min.
SWRCH 18A	0.15 to 0.20	0.10 max.	0.60 to 0.90	0.030 max.	0.035 max.	0.02 min.
SWRCH 19A	0.15 to 0.20	0.10 max.	0.70 to 1.00	0.030 max.	0.035 max.	0.02 min.
SWRCH 20A	0.18 to 0.23	0.10 max.	0.30 to 0.60	0.030 max.	0.035 max.	0.02 min.
SWRCH 22A	0.18 to 0.23	0.10 max.	0.70 to 1.00	0.030 max.	0.035 max.	0.02 min.
SWRCH 10K	0.08 to 0.13	0.10 to 0.35	0.30 to 0.60	0.030 max.	0.035 max.	—
SWRCH 12K	0.10 to 0.15	0.10 to 0.35	0.30 to 0.60	0.030 max.	0.035 max.	—
SWRCH 15K	0.13 to 0.18	0.10 to 0.35	0.30 to 0.60	0.030 max.	0.035 max.	—
SWRCH 16K	0.13 to 0.18	0.10 to 0.35	0.60 to 0.90	0.030 max.	0.035 max.	—
SWRCH 17K	0.15 to 0.20	0.10 to 0.35	0.30 to 0.60	0.030 max.	0.035 max.	—
SWRCH 18K	0.15 to 0.20	0.10 to 0.35	0.60 to 0.90	0.030 max.	0.035 max.	—
SWRCH 20K	0.18 to 0.23	0.10 to 0.35	0.30 to 0.60	0.030 max.	0.035 max.	—
SWRCH 22K	0.18 to 0.23	0.10 to 0.35	0.70 to 1.00	0.030 max.	0.035 max.	—
SWRCH 24K	0.19 to 0.25	0.10 to 0.35	1.35 to 1.65	0.030 max.	0.035 max.	—
SWRCH 25K	0.22 to 0.28	0.10 to 0.35	0.30 to 0.60	0.030 max.	0.035 max.	—
SWRCH 27K	0.22 to 0.29	0.10 to 0.35	1.20 to 1.50	0.030 max.	0.035 max.	—
SWRCH 30K	0.27 to 0.33	0.10 to 0.35	0.60 to 0.90	0.030 max.	0.035 max.	—
SWRCH 33K	0.30 to 0.36	0.10 to 0.35	0.60 to 0.90	0.030 max.	0.035 max.	—
SWRCH 35K	0.32 to 0.38	0.10 to 0.35	0.60 to 0.90	0.030 max.	0.035 max.	—
SWRCH 38K	0.35 to 0.41	0.10 to 0.35	0.60 to 0.90	0.030 max.	0.035 max.	—
SWRCH 40K	0.37 to 0.43	0.10 to 0.35	0.60 to 0.90	0.030 max.	0.035 max.	—
SWRCH 41K	0.36 to 0.44	0.10 to 0.35	1.35 to 1.65	0.030 max.	0.035 max.	—
SWRCH 43K	0.40 to 0.46	0.10 to 0.35	0.60 to 0.90	0.030 max.	0.035 max.	—
SWRCH 45K	0.42 to 0.48	0.10 to 0.35	0.60 to 0.90	0.030 max.	0.035 max.	—
SWRCH 48K	0.45 to 0.51	0.10 to 0.35	0.60 to 0.90	0.030 max.	0.035 max.	—
SWRCH 50K	0.47 to 0.53	0.10 to 0.35	0.60 to 0.90	0.030 max.	0.035 max.	—

Remark: The letters R, A and K suffixed to the type symbols stand for the rimmed steel, the aluminium killed steel and the killed steel, respectively.

JIS G 3540
(1988)

Wire Ropes for Mechanical Control

1. Scope

This Japanese Industrial Standard specifies the wire ropes of relatively small diameters, hereinafter referred to as the "ropes", to be used mainly for mechanical control.

Remark: The units and numerical values given in { } in this Standard are based on the International System of Units (SI) and are appended for informative reference.

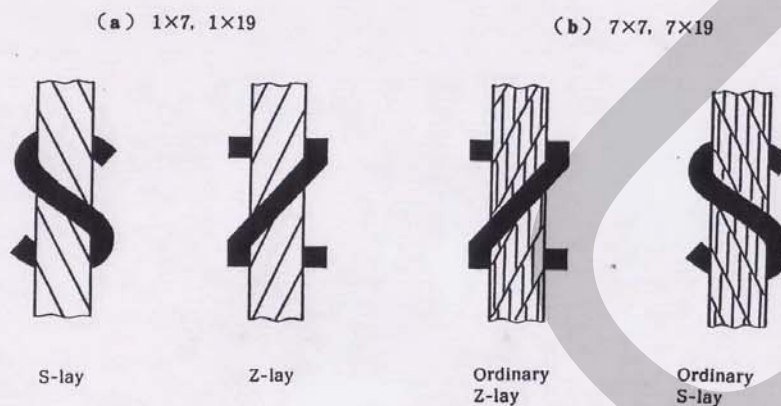
Further, the traditional units accompanied by numerical values in this Standard shall be converted to the SI units and numerical values on Jan. 1, 1991.

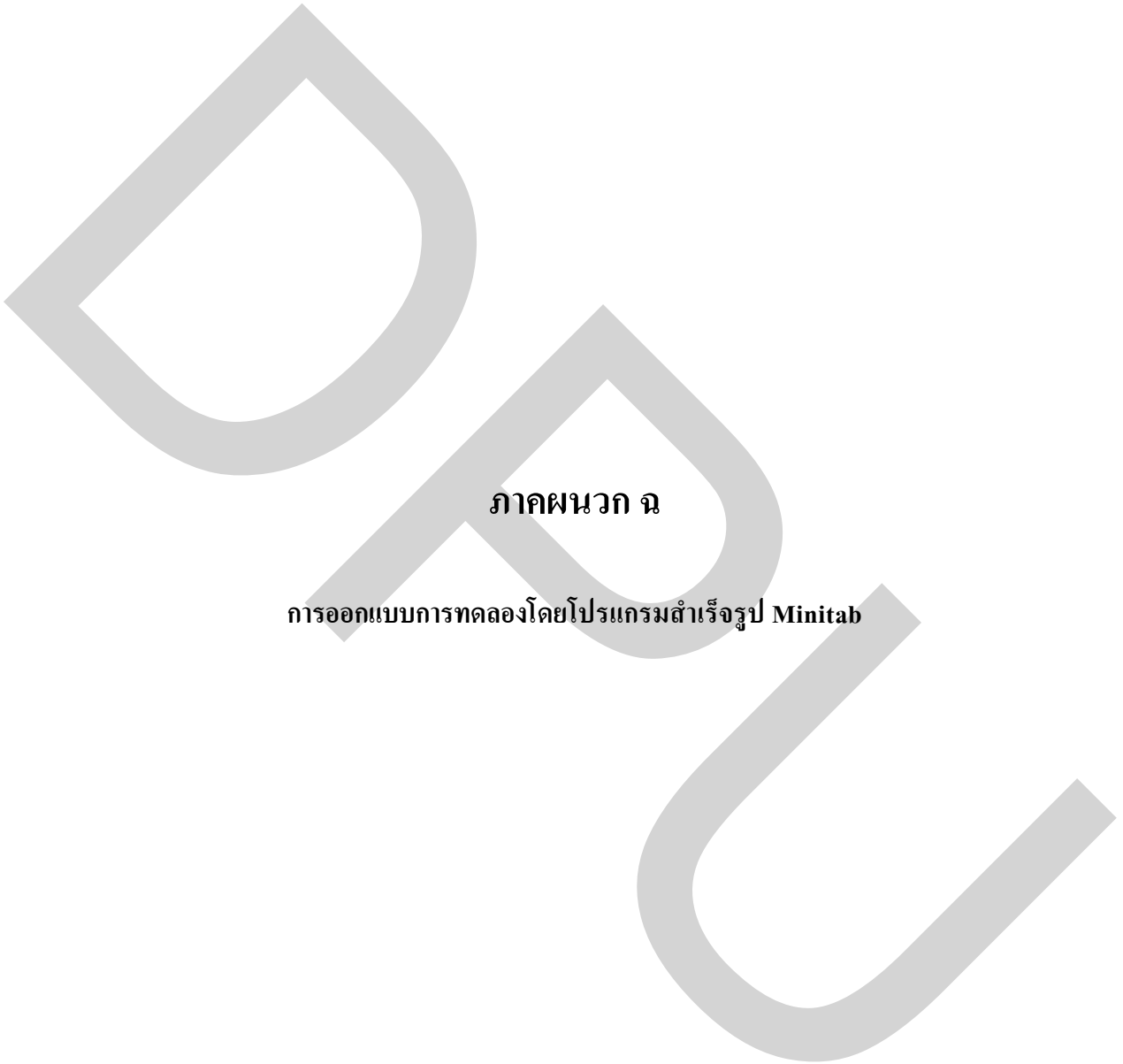
2. Definitions

2.1 lay direction The direction in which a wire is laid or twisted to form a rope. There are two lay directions: Z-lay and S-lay as shown in Figure.

2.2 lay type The type in which the lay direction of a rope and that of a strand is combined. The lay type in which the lay directions of rope and strand are opposite to each other as shown in Fig. (b) is termed the ordinary lay.

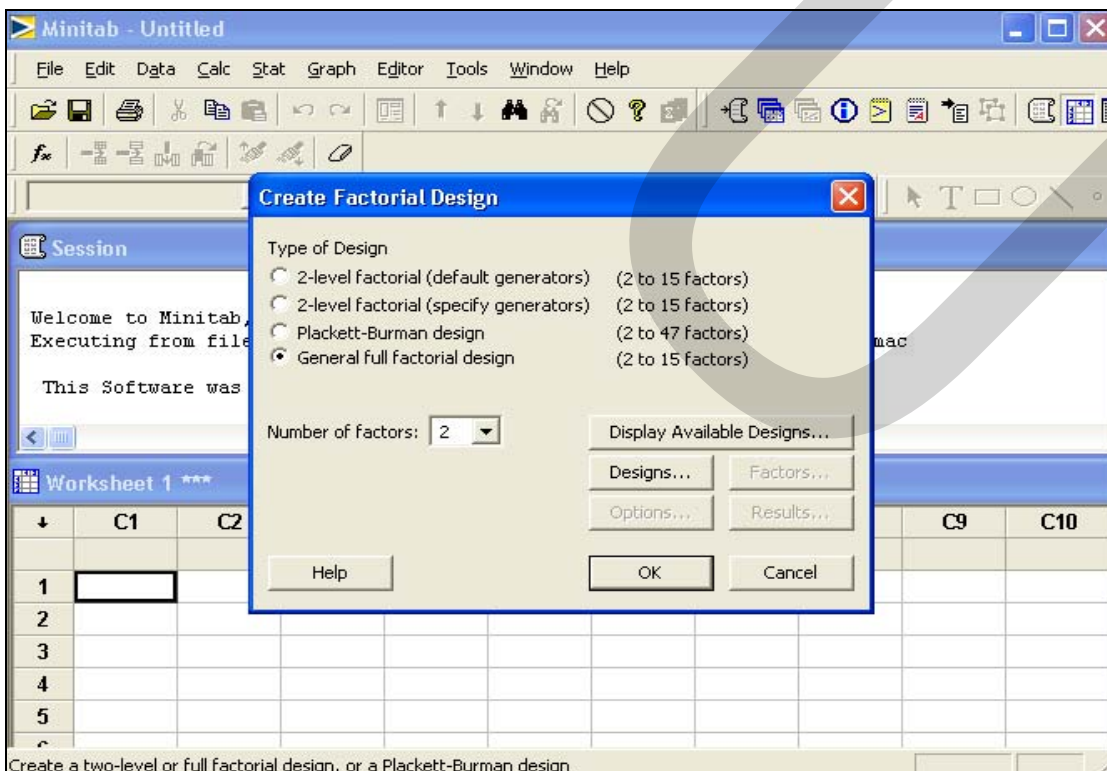
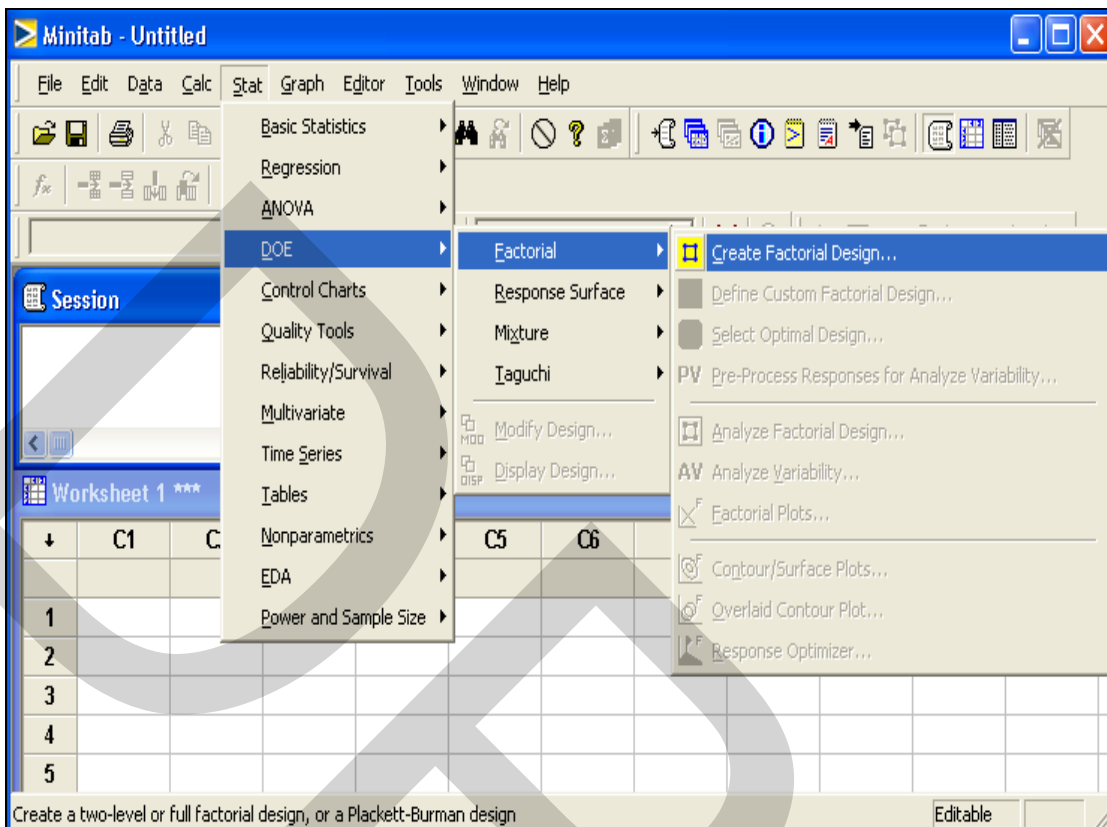
Figure. Type and Direction of Lay

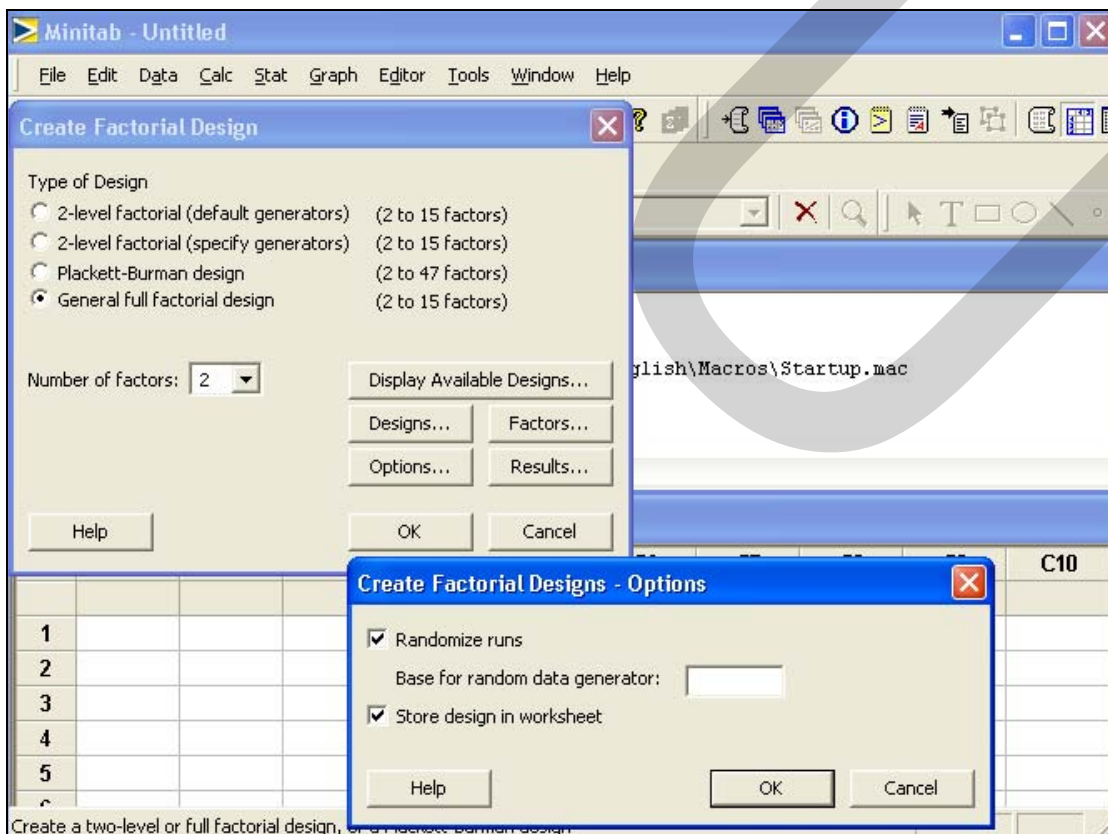
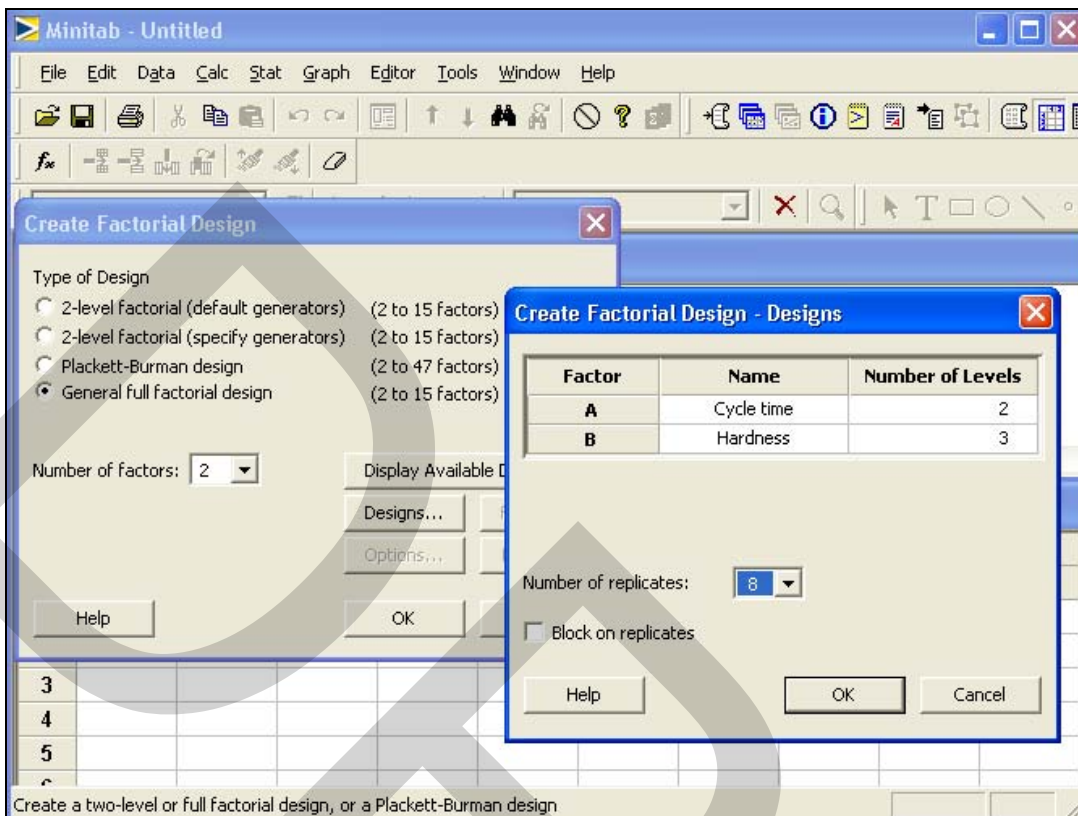




ภาคผนวก ฉ

การออกแบบการทดลองโดยโปรแกรมสำเร็จรูป Minitab





Minitab - Untitled

File Edit Data Calc Stat Graph Editor Tools Window Help

Commercial use of the Software is prohibited.

Multilevel Factorial Design

Factors: 2 Replicates: 8
 Base runs: 6 Total runs: 48
 Base blocks: 1 Total blocks: 1

Number of levels: 2, 3

Worksheet 1 ***

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
	StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Cycle time	Hardness	NG			
1	10	1	1	1	2	1				
2	25	2	1	1	1	1				
3	29	3	1	1	2	2				
4	38	4	1	1	1	2				
5	47	5	1	1	2	2				

Minitab - Untitled

File Edit Data Calc Stat Graph Editor Tools Window Help

Commercial use of the Software is prohibited.

Multilevel Factorial Design

Factors: 2
 Base runs: 6
 Base blocks: 1

Number of levels:

Stat > DOE > Factorial > Analyze Factorial Design...

Worksheet 1 ***

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
	StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Cycle time	Hardness	NG			
1	10	1	1	1	2	1				
2	25	2	1	1	1	1				
3	29	3	1	1	2	2				
4	38	4	1	1	1	2				
5	47	5	1	1	2	2				

Minitab - MINITAB 8 REPLICATE.MPJ [Session]

File Edit Data Calc Stat Graph Editor Tools Window Help

24/8/2008 21:54:15

Welcome to Minitab, press F1 for help.

Power and Sample Size

Test for One Proportion

Testing proportion = 0.002 (versus not = 0.002)
Alpha = 0.05

Alternative Proportion	Sample Size	Target Power	Actual Power
0.0048	3957	0.9	0.900051
0.0412	68	0.9	0.901524
0.0879	20	0.9	0.900418
0.0044	5159	0.9	0.900035
0.0503	50	0.9	0.902188
0.0913	19	0.9	0.901461

Power Curve for Test for One Proportion

Multilevel Factorial Design

Factors: 2 Replicates: 8
Base runs: 6 Total runs: 48
Base blocks: 1 Total blocks: 1

Number of levels: 2, 3

General Linear Model: NG versus Cycle time, Hardness

Open a Minitab project file

start Master Degree Program Unfiled Document - ... Master Degree Program Minitab - MINITAB 8 ... EN 11:36 AM

Minitab - MINITAB 8 REPLICATE.MPJ [Session]

File Edit Data Calc Stat Graph Editor Tools Window Help

General Linear Model: NG versus Cycle time, Hardness

Factor	Type	Levels	Values
Cycle time	fixed	2	0.50, 0.75
Hardness	fixed	3	140, 160, 175

Analysis of Variance for NG, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Cycle time	1	3417	3417	3417	2.72	0.106
Hardness	2	1018855	1018855	509428	405.68	0.000
Cycle time*Hardness	2	3261	3261	1631	1.30	0.284
Error	42	52740	52740	1256		
Total	47	1078274				

S = 35.4362 R-Sq = 95.11% R-Sq(adj) = 94.53%

Unusual Observations for NG

Obs	NG	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
4	307.000	383.250	12.529	-76.250	-2.30 R
14	490.000	383.250	12.529	106.750	3.22 R
33	294.000	369.000	12.529	-75.000	-2.26 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Residual Plots for NG

7/31/2010 11:35:17 AM

Open a Minitab project file

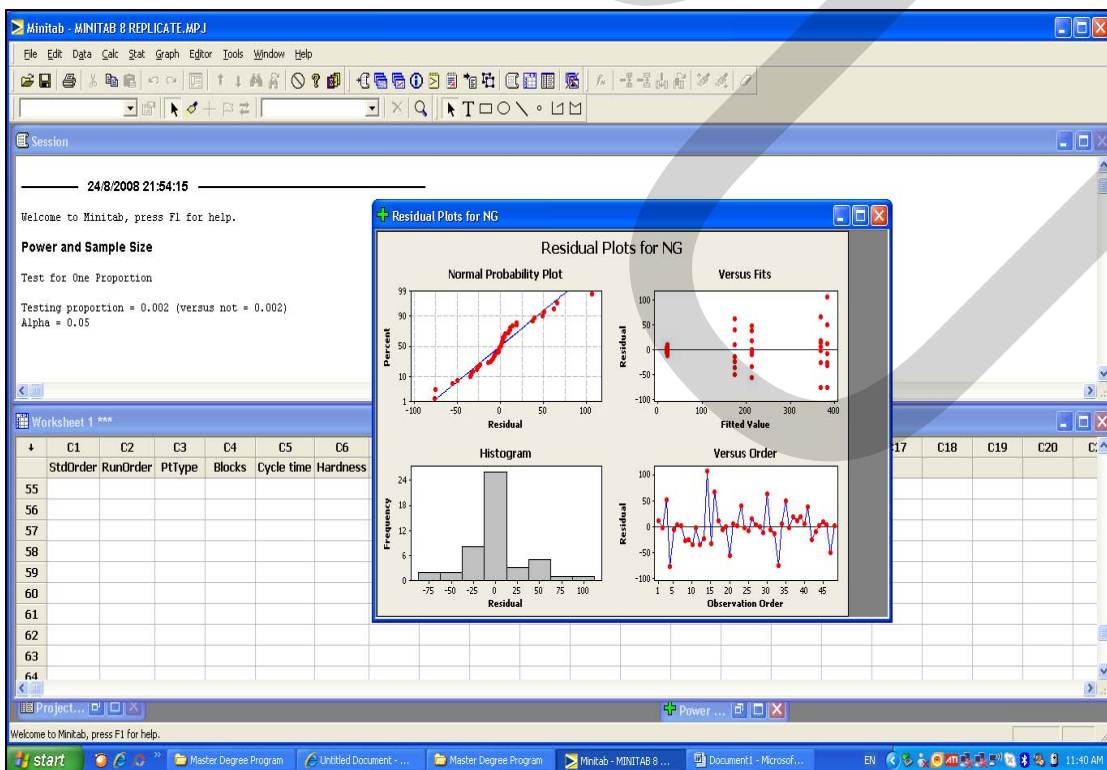
start Master Degree Program Unfiled Document - ... Master Degree Program Minitab - MINITAB 8 ... Document1 - Microsof... EN 11:37 AM

Minitab - MINITAB 8 REPLICATE.MPJ - [Worksheet 1 ***]

File Edit Data Calc Stat Graph Editor Tools Window Help

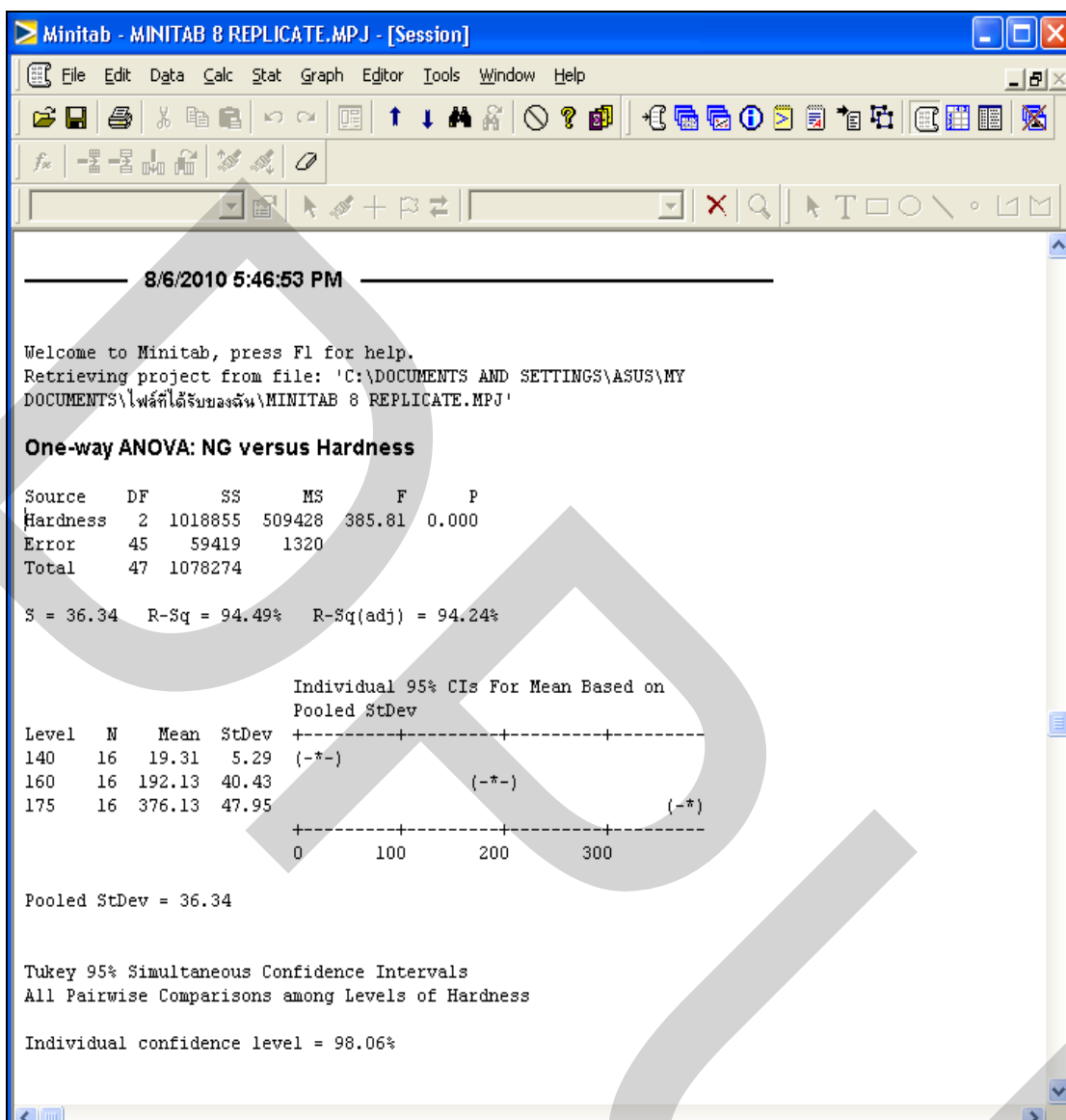
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21
	StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Cycle time	Hardness	NG														
1	32	1	1	1	0.50	160	183														
2	3	2	1	1	0.50	175	367														
3	12	3	1	1	0.75	175	434														
4	18	4	1	1	0.75	175	307														
5	4	5	1	1	0.75	140	12														
6	25	6	1	1	0.50	140	23														
7	34	7	1	1	0.75	140	20														
8	42	8	1	1	0.75	175	356														
9	15	9	1	1	0.50	175	343														
10	11	10	1	1	0.75	160	177														
11	37	11	1	1	0.50	140	18														
12	20	12	1	1	0.50	160	138														
13	38	13	1	1	0.50	160	149														
14	36	14	1	1	0.75	175	490														
15	24	15	1	1	0.75	175	351														
16	45	16	1	1	0.50	175	435														
17	26	17	1	1	0.50	160	184														
18	17	18	1	1	0.75	160	205														
19	28	19	1	1	0.75	140	17														
20	23	20	1	1	0.75	160	156														
21	33	21	1	1	0.50	175	375														
22	46	22	1	1	0.75	140	19														
23	2	23	1	1	0.50	160	213														
24	27	24	1	1	0.50	175	367														
25	6	25	1	1	0.75	175	375														
26	9	26	1	1	0.50	175	383														

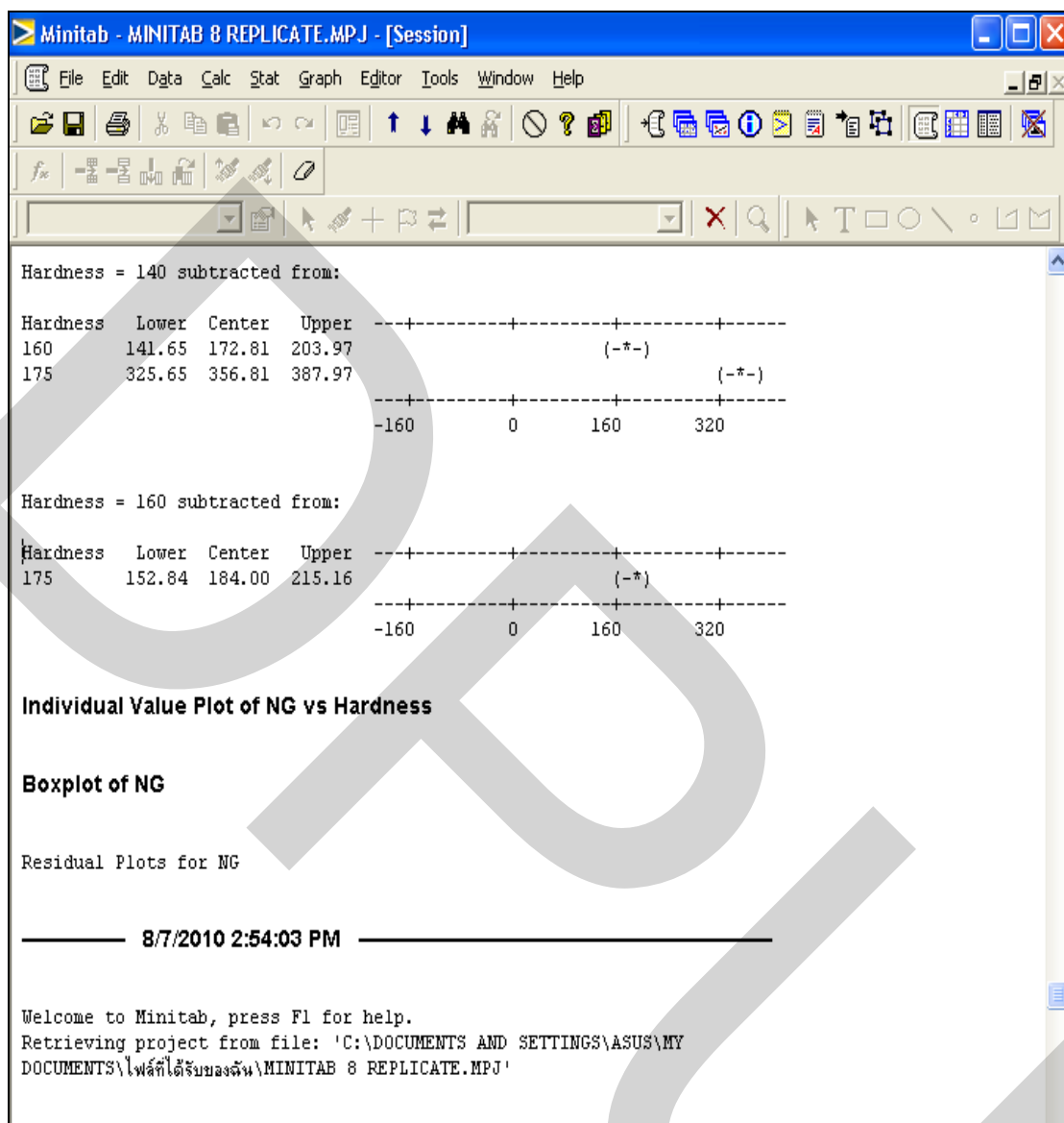
Current Worksheet: Worksheet 1

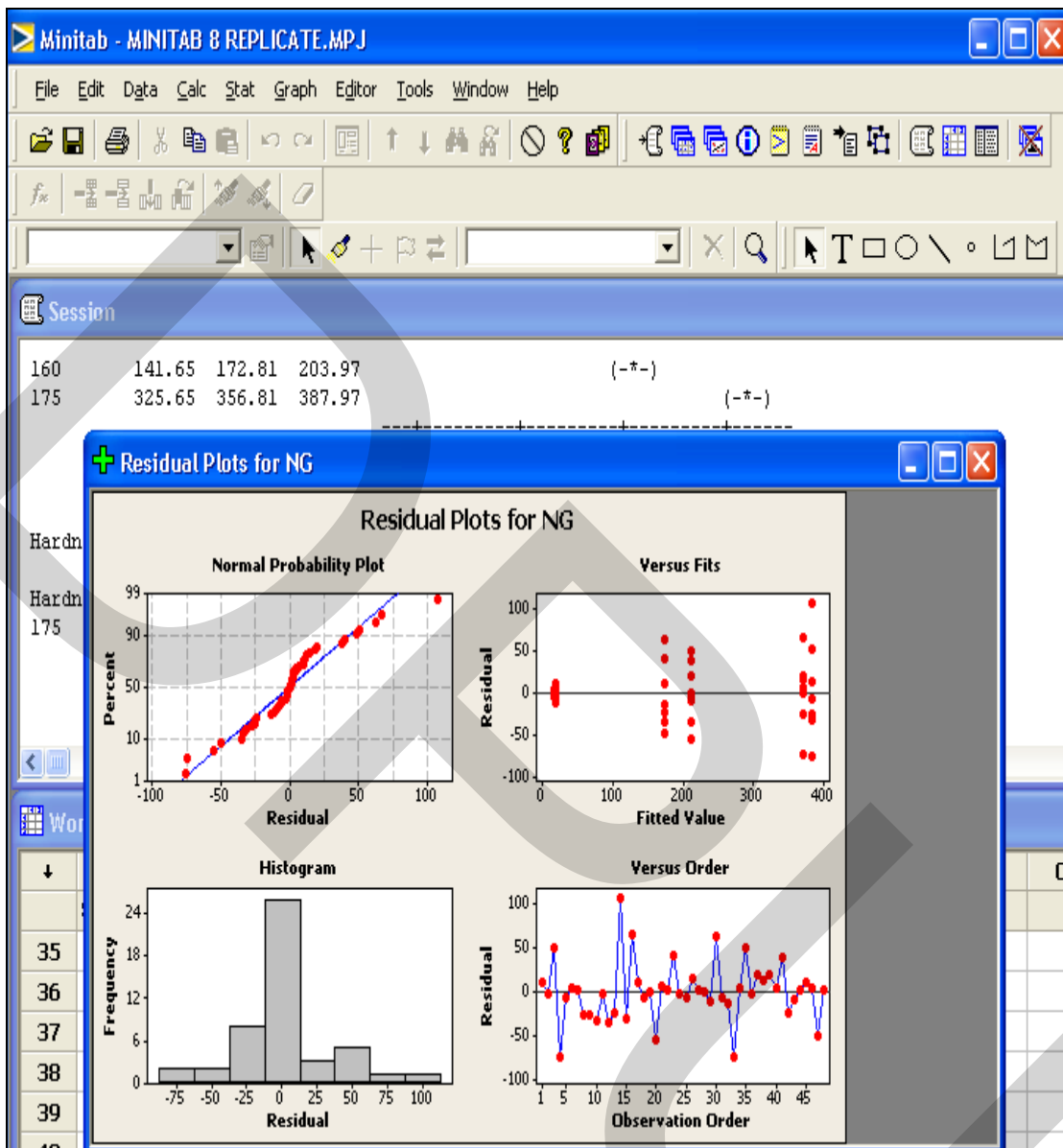


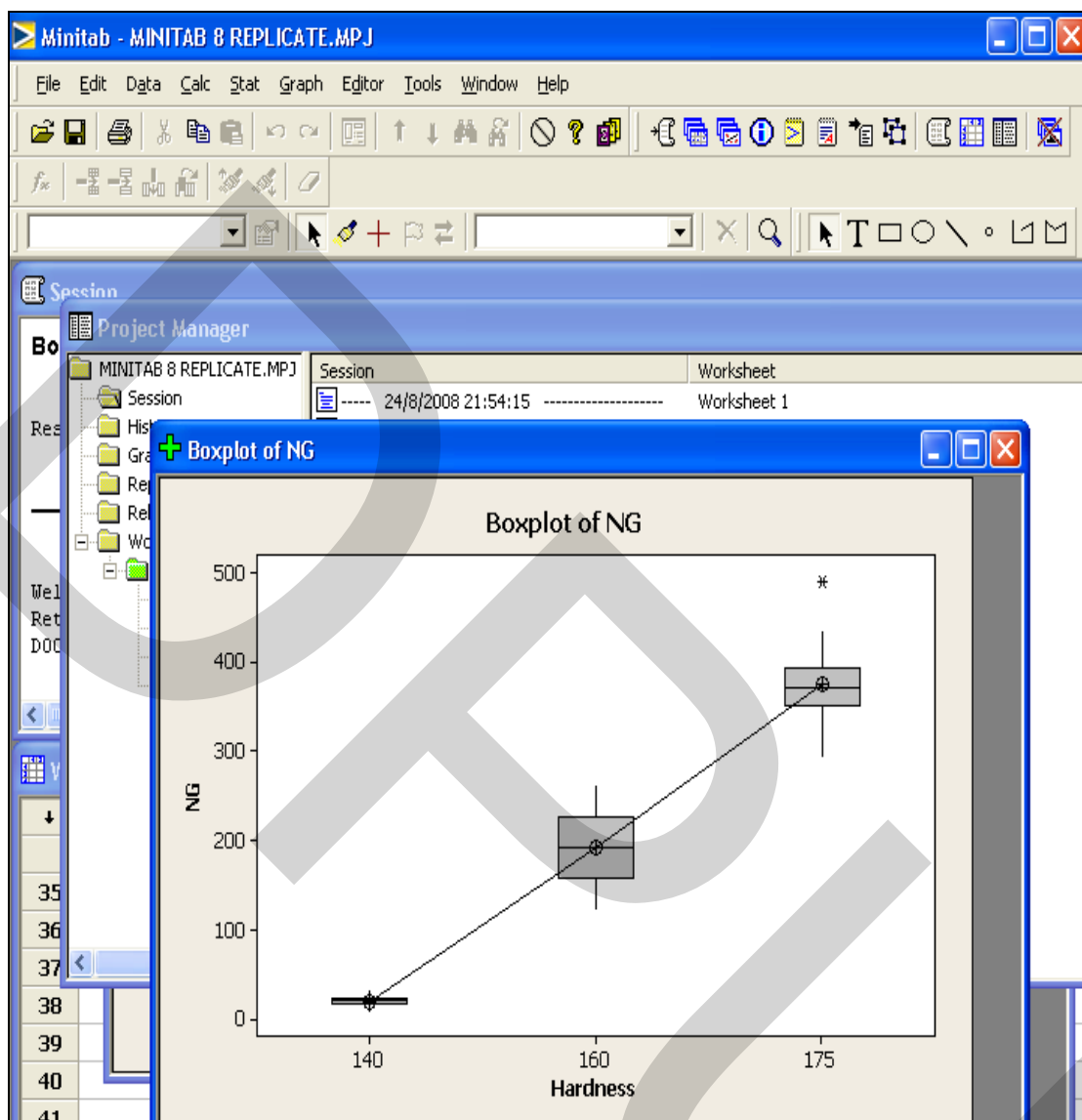
ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยฟังก์ชัน One way ANOVA









ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล

ประวัติการศึกษา

ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน

นายปรเมษฐ์ พรมบุตร

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

2546

ผู้ช่วยผู้จัดการทั่วไป

บริษัท ก้าวหลิน (ไทยแลนด์) จำกัด

บริษัทไทย จีน เจ็อ เซอร์เฟส ตรีสมেন্ট จำกัด

(ในเครือกลุ่มบริษัทก้าวหลินฯ)