

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของการดำเนินงานวิจัยตามแนวทางของหลักการออกแบบการทดลอง (Factorial Design) โดยการศึกษากระบวนการและสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาการแตกร้าวของหัวสกรูในอุตสาหกรรมการผลิตสกรูนั้น พิจารณาจากข้อมูลของเสียที่ทำการบันทึกไว้และทำการวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริงที่ส่งผลกระทบต่ออาการของปัญหาและวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้เกิดลักษณะอาการของปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้น เพื่อทำการลดปริมาณของเสียในกระบวนการขึ้นรูปหัวสกรู ซึ่งมีขั้นตอนตามลำดับดังนี้

4.1 การระบุปัญหา

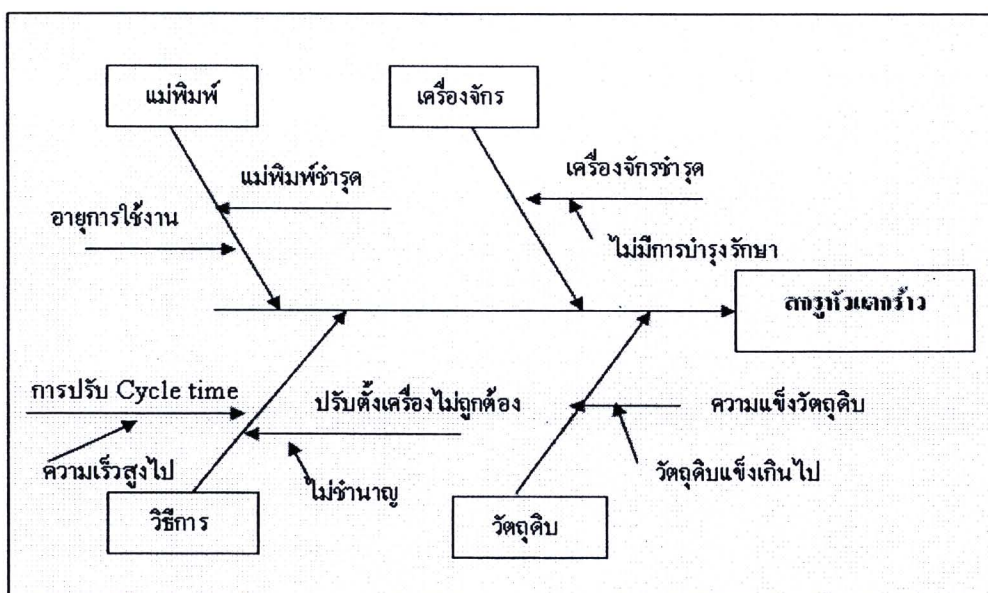
สำหรับปัญหาที่ได้นำมาทำการวิจัยในครั้งนี้ คือ การลดของเสียจากกระบวนการผลิตสกรูในขั้นตอนขึ้นรูปหัวสกรู ซึ่งในปัจจุบันพบว่ามียอดของเสียรวมทั้งหมดของการผลิตสกรูมีค่าเท่ากับ 2.66% ซึ่งจากการลำดับความสำคัญของปัญหาที่เกิดขึ้นพบว่าปัญหาสกรูหัวแตกร้าวมีปริมาณงานเสียและมูลค่าความเสียหายมากที่สุด คือ 2,180 กิโลกรัม 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 จึงทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาโดยใช้แผนภาพเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) หรือแผนภาพก้างปลา (Fish Bone Diagram) ในการวิเคราะห์ความผันแปรของการเกิดปัญหา เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและผลนั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการระดมสมอง (Brainstorming) จากผู้ที่มีความรู้เฉพาะทางหรือจากการทดสอบโดยอาศัยเทคโนโลยีเฉพาะทางเพื่อให้ได้มาซึ่งสาเหตุของปัญหาแล้วทำการพิสูจน์ตามข้อเท็จจริงสำหรับการแก้ไขต่อไป ในขั้นตอนการระดมสมองนั้นจะเปิดโอกาสให้ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตได้เสนอความคิดเห็น โดยผู้ที่ร่วมแสดงความคิดเห็นนั้นจะเป็นหัวหน้างาน พนักงานปฏิบัติการ หรือผู้ที่มีความชำนาญซึ่งมีความรู้ในเรื่องที่ทำการศึกษา ซึ่งในการเสนอความคิดเห็นนั้นจะไม่จำกัดปริมาณและคุณภาพของข้อมูลที่ได้เสนอมา เพื่อป้องกันการตกหล่นของสาเหตุที่มีผลกระทบต่อปัญหา สุดท้ายก็จะนำความคิดเห็นที่ได้มาจัดเป็นหมวดหมู่ด้วยแผนภาพสาเหตุและผลเพื่อให้เข้าใจถึงความสัมพันธ์ของสาเหตุหลักและสาเหตุย่อย ซึ่งจากการระดมสมองได้ปัจจัยต่างๆ ที่คาดว่าจะส่งผลทำให้เกิดปัญหาสกรูหัวแตกเร็ว ดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 แสดงแผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

จากภาพที่ 4.1 พบว่าสาเหตุหรือปัจจัยหลักที่คาดว่าจะมีอิทธิพลต่อการเกิดปัญหาทำให้สกรูหัวแตกร้าว ได้แก่

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

4.4 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องของผลกระทบ (FMEA)

หลังจากที่เราได้ทำการระดมสมองในการทำแผนภาพสาเหตุและผลแล้วจึงนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องของผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis : FMEA) หลักการนี้เป็นวิธีที่จะช่วยในการศึกษาปัญหาอย่างเป็นระบบเพื่อใช้ในการศึกษาปัญหาและป้องกันปัญหาที่จะเกิดขึ้นตามมาในภายหลัง วิธีการนี้เป็นวิธีการที่จะเพิ่มหลักการในการแก้ไขปัญหาให้กับวิศวกรหรือเจ้าหน้าที่ควบคุมคุณภาพในโรงงานอุตสาหกรรมได้ศึกษาปัญหาคด้วยหลักการของเหตุและผลซึ่งจะทำให้เกิดวิธีการแก้ปัญหาได้ดีที่สุด โดยเน้นไปที่ลำดับของการแก้ไขปัญหาก่อนหน้านี้ โดยเน้นไปที่การป้องกันปัญหาที่มีโอกาสเกิดขึ้น (Most Likely Failure) โดยในที่นี้ถือว่าการวิเคราะห์ถึงผลกระทบอันเนื่องมาจากลักษณะข้อบกพร่องในกระบวนการผลิต (FMEA process) ซึ่งจากการเก็บรวบรวมข้อมูลจากอดีตที่ผ่านมาเพื่อหาวิธีการลดของเสียโดยการรวบรวมและทำการแยกแยะออกมาว่าปัจจัยใดที่มีผลต่อการเกิดของเสียและปัจจัยนั้นสามารถแก้ไขได้หรือไม่ ซึ่งวิธีการประเมินทำได้โดยนำเอาความถี่ในการเกิดปัญหา (Occurrence: O), ความรุนแรงของปัญหา (Severity: S), และ โอกาสในการตรวจจับ (Detection: D) (ภาคผนวก ง) มาเป็นตัวตัดสินใจเพื่อที่จะเริ่มดำเนินการแก้ไขปัจจัยของปัญหาที่มีความสำคัญมากที่สุดก่อน โดยได้แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) อันเนื่องมาจากปัญหาหัวสกรูแตกร้าว

Process	Key Process Input (สาเหตุที่เกิดปัญหา)	Potential Failure Mode (ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น)	Potential Effect of Mode (ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น)	Severity (S)	Potential Cause Failure (สาเหตุที่เป็นไปได้)	โอกาสการเกิด (Occurrence) (O)	Current Process Control (การควบคุมในปัจจุบัน)	Detection (D)	RPN
Forming ชิ้นรูป	วัตถุดิบแข็งมากเกินไป	ขึ้นรูปยาก	หัวสกรูแตกร้าวไม่สามารถใช้งานได้	8	ไม่มีการกำหนดค่าความแข็งแรงของวัสดุดิบ	6	การทดสอบค่าความแข็งแรงก่อนใช้งาน	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 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตแข็งเกินไป กล่าวคือมีค่าความแข็งไม่เหมาะสมในการขึ้นรูปหัวสกรู โดยจะนำปัญหาที่มีค่า RPN สูงที่สุดมาทำการแก้ปัญหา (ตามทฤษฎีของפורิเมอร์) คือ หาช่วงของค่าความแข็งของวัตถุดิบที่เหมาะสมที่สุดในการนำมาใช้ผลิตสกรู

4.5 การออกแบบการทดลอง

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

จากการให้คะแนนเพื่อหาค่าความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ของแต่ละสมมติฐานของสาเหตุที่ทำให้เกิดสกรูหัวแตกร้าวในกระบวนการตีขึ้นรูปนั้น พบว่าสาเหตุที่เกิดจากค่าความแข็งของวัตถุดิบมีค่า RPN มากที่สุด จึงนำสาเหตุที่เกิดจากค่าความแข็งของวัตถุดิบมาทำการวิเคราะห์และแก้ไขปัญหา โดยพิจารณาที่ค่าความแข็งของวัตถุดิบลวดที่นำมาผลิตสกรูซึ่งในปัจจุบันทางโรงงานยังไม่มีกำหนดค่าความแข็งของวัตถุดิบเป็นมาตรฐานที่ชัดเจนในการซื้อขาย ซึ่งทำให้เกิดข้อเสียตามมาในกระบวนการผลิต

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

- ระดับที่ 1 ค่าความแข็ง 140 HV
- ระดับที่ 2 ค่าความแข็ง 160 HV
- ระดับที่ 3 ค่าความแข็ง 175 HV

เนื่องจากผู้ผลิตตรวจให้คำแนะนำค่าความแข็งที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการทดสอบที่สามารถผลิตให้ได้มา 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
- ใช้วัตถุดิบเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำชนิด SWRCH 22A จากผู้ผลิตเดียวกัน
- ช่วงปรับตั้งเครื่องคนเดียวกันและมีการควบคุม โดยหัวหน้างานอย่างเคร่งครัดในการทดลอง

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.		
Hardness	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 ฉ)

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

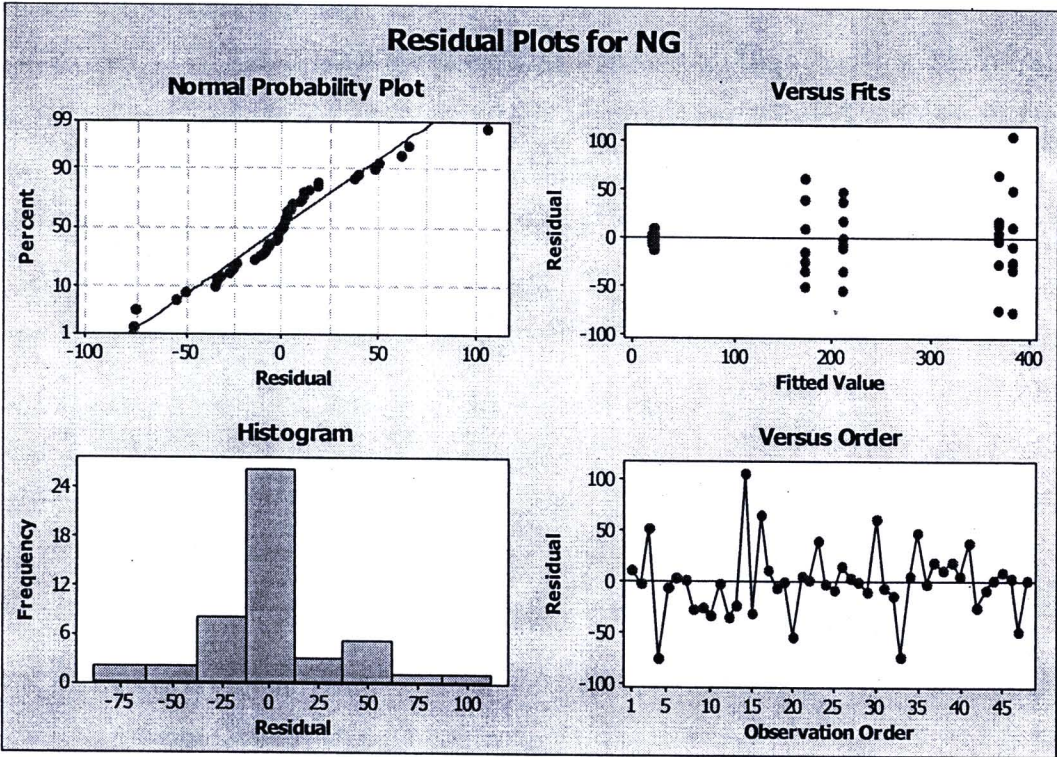
ตารางที่ 4.9 (ต่อ)

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 เป็นการตรวจสอบว่าค่าเฉลี่ยเหลือมีลักษณะการกระจายรอบค่าหนึ่งอย่างสมมาตรหรือไม่ ซึ่งกราฟที่ได้จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง แสดงว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติโดยจากภาพที่ 4.2 ภาพเล็กซ้ายด้านบน กล่าวคือข้อมูลที่ได้จากโรงงานเป็นข้อมูลที่ดีสามารถนำไปวิเคราะห์ต่อได้

จากการพิจารณาค่า $R^2 = 95.11\%$ แสดงว่าการทดลองได้รับการออกแบบมาดีแล้ว หากความผันแปรทั้งหมดมีค่า 100 หน่วย แล้วสามารถอธิบายความผันแปรจากทริสเมนต์ได้ถึง 95.11 หน่วย ส่วนที่เหลือไม่สามารถอธิบายได้ด้วยสาเหตุด้านรีพีทะบิลิตี้

ซึ่งเมื่อพิจารณาจากค่า $R^2 \text{ Adjust} = 94.53\%$ ซึ่งใกล้เคียงกับ $R^2 = 95.11\%$ แสดงว่าจำนวนข้อมูลที่ได้มาจากการทดลองมีจำนวนเพียงพอแล้ว 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

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

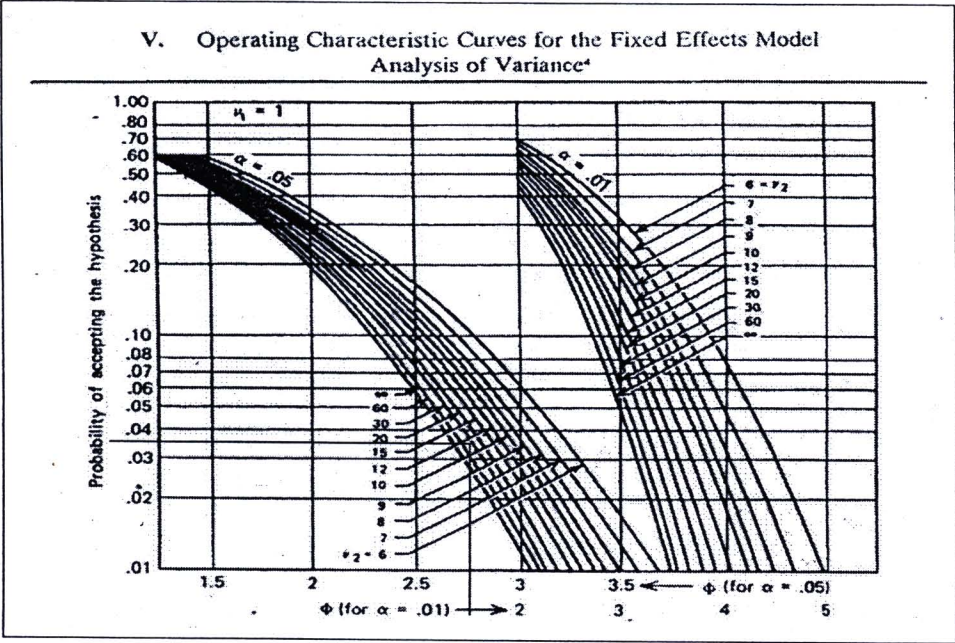
หมายเหตุ : สาเหตุที่เลือกสมการนี้เนื่องจากพิจารณาจากค่าความแตกต่างในแนวดิ่ง (Row) ซึ่งมีค่าน้อยที่สุดเมื่อกำนวนจากข้อมูลจริงจากภาพที่ 4.1 พบว่าค่าความแตกต่างที่น้อยที่สุดที่คำนวณจากแนวนอน (Row) และแนวดิ่ง (Column) ได้มาจากการคำนวณจากแนวดิ่ง (Row) คือเท่ากับ 16.64 แต่ค่าที่น้อยที่สุดที่ได้จากแนวดิ่ง (Column) 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)															
	140 HV				160 HV				175 HV							
0.5 Sec.	23	18	9	13	162	183	138	149	184	1384	367	343	435	375	2952	4498
	25	21	30	23		213	235	159	123		367	383	294	388		
0.75 Sec.	12	20	17	19	147	177	205	156	211	1690	434	307	356	490	3066	4903
	21	15	23	20		260	230	249	202		351	375	395	358		
					309					3074					6018	

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 หรือกล่าวได้ว่าการออกแบบการทดลองในครั้งนี้ข้อมูลที่ได้ถือว่าเพียงพอแล้วโดยมีความเชื่อมั่นเท่ากับ 96.5% ซึ่งเป็นการทดลองที่น่าเชื่อถือได้

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

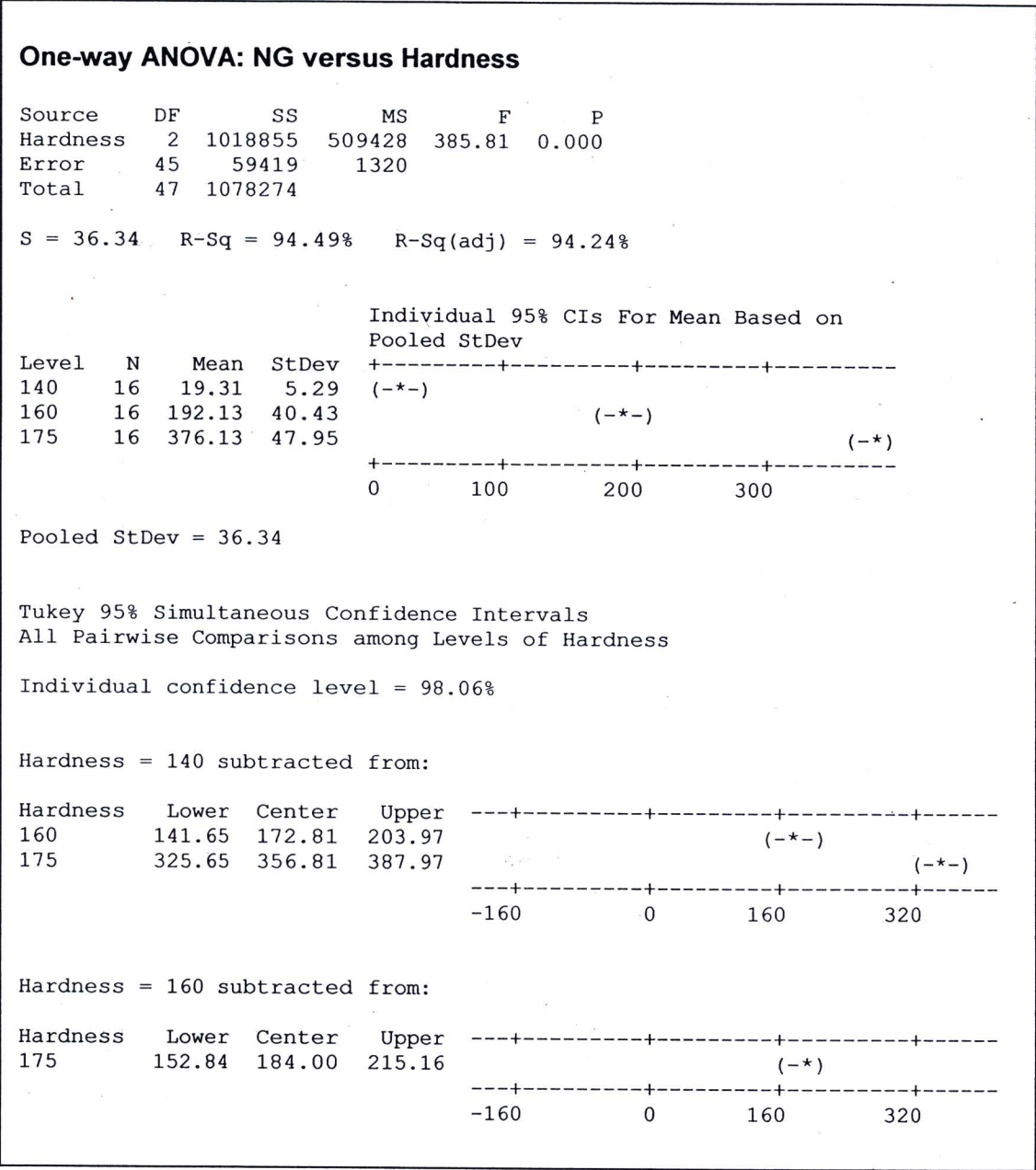
4.6.4 การทดสอบทางสถิติด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

วิธีการทางสถิติที่นิยมใช้กันอย่างทั่วไปในการตัดสินใจทางสถิติ คือ การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis testing) โดยทั่วไปการทดสอบสมมติฐานจะสันนิษฐานว่าสิ่งที่เราสนใจนั้นเป็นจริงก่อน แล้วจึงทำการพิสูจน์ด้วยข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง

การทดสอบสมมติฐานประกอบด้วย 2 ส่วนคือ สมมติฐานหลัก (เขียนแทนด้วย H_0) และสมมติฐานรอง (เขียนแทนด้วย H_1) สมมติฐานหลักเป็นข้อสันนิษฐานเบื้องต้น ซึ่งจะอ้างอิงจากผลการศึกษาวิจัยก่อนหน้านี้หรือความรู้โดยทั่วไป สมมติฐานรองคือสิ่งที่ต้องการพิสูจน์ว่าเป็นจริงจากการวิเคราะห์โดยกราฟก่อนหน้าและการวิเคราะห์ทางสถิติที่ผ่านมา เพื่อทดสอบว่า ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของจำนวนของเสียที่เป็นสกรูหัวแตกร้าว (ผลลัพธ์) ในแต่ละค่าความแข็งที่กำหนด (ปัจจัย) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่ ซึ่งสามารถตรวจสอบได้โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบปัจจัยเดียว (One-way ANOVA) โดยเป็นการทดสอบว่าค่าเฉลี่ยสำหรับข้อมูลสองกลุ่มขึ้นไปที่มีการแบ่งกลุ่มโดยปัจจัยเดียว นั้นเท่ากันหรือไม่ นอกจากนั้นจะทำการทดสอบการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละค่าความแข็งของเหล็กกลว 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

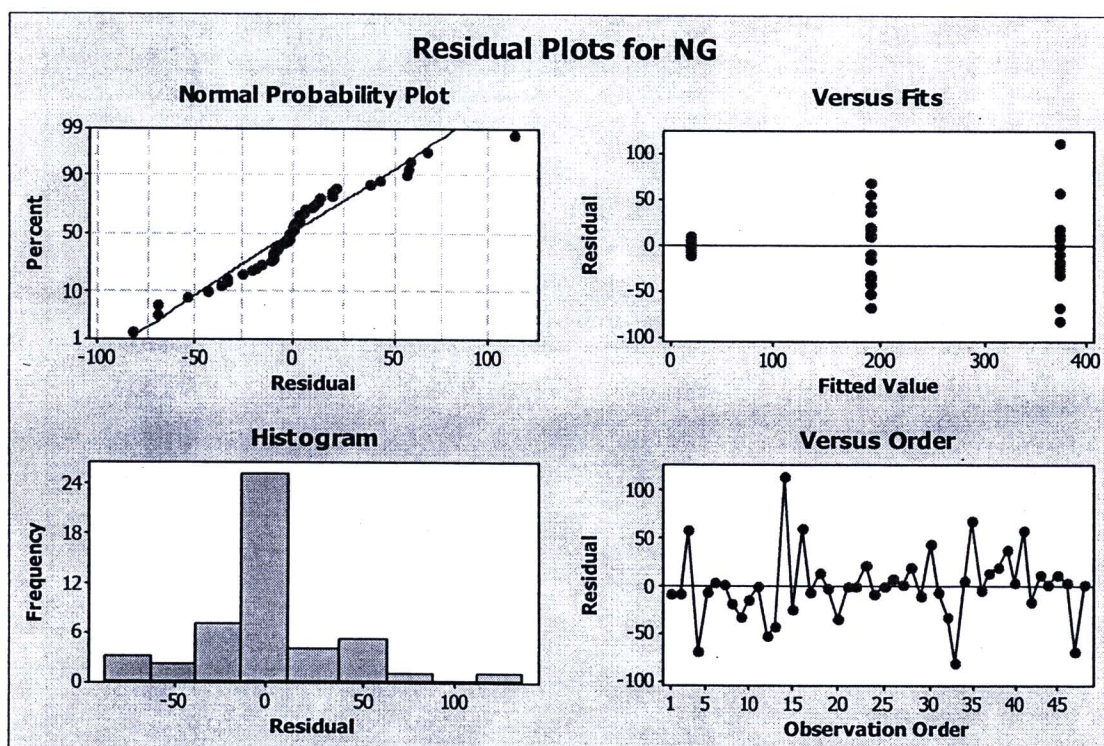
กระบวนการตัดสินใจสำหรับการทดสอบสมมติฐานนั้นอยู่บนพื้นฐานของความน่าจะเป็นทางสถิติหรือเราเรียกว่าค่า P-value ที่ได้จากการทดสอบ

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

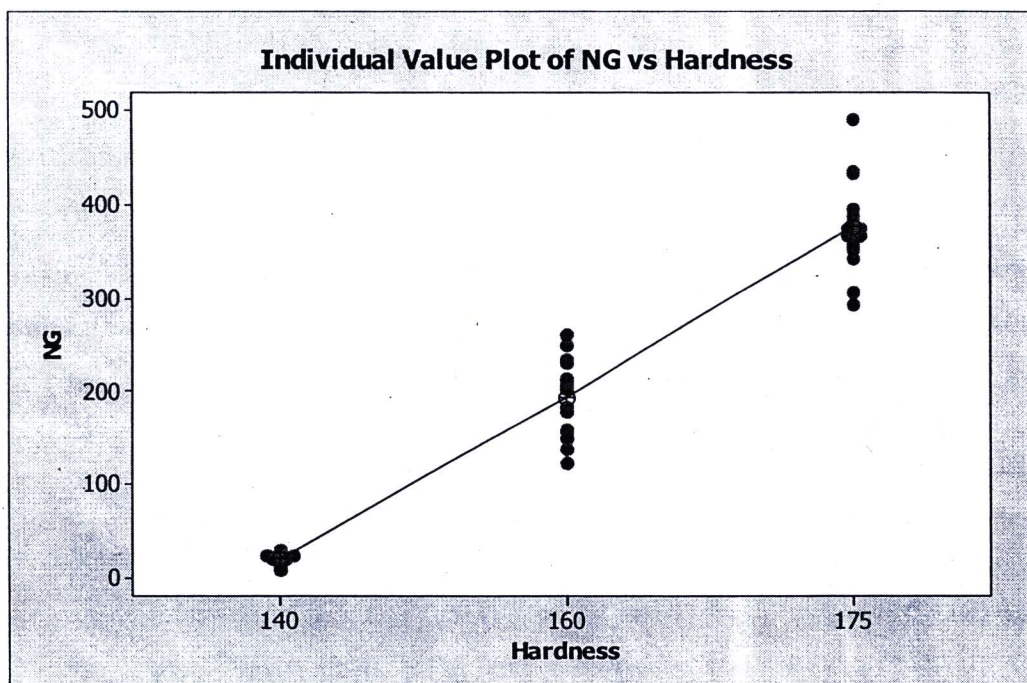
- ถ้าค่า P-Value มีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญที่ตั้งไว้ (α -Level) แสดงว่าไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ จึงไม่สามารถยอมรับสมมติฐานรอง

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

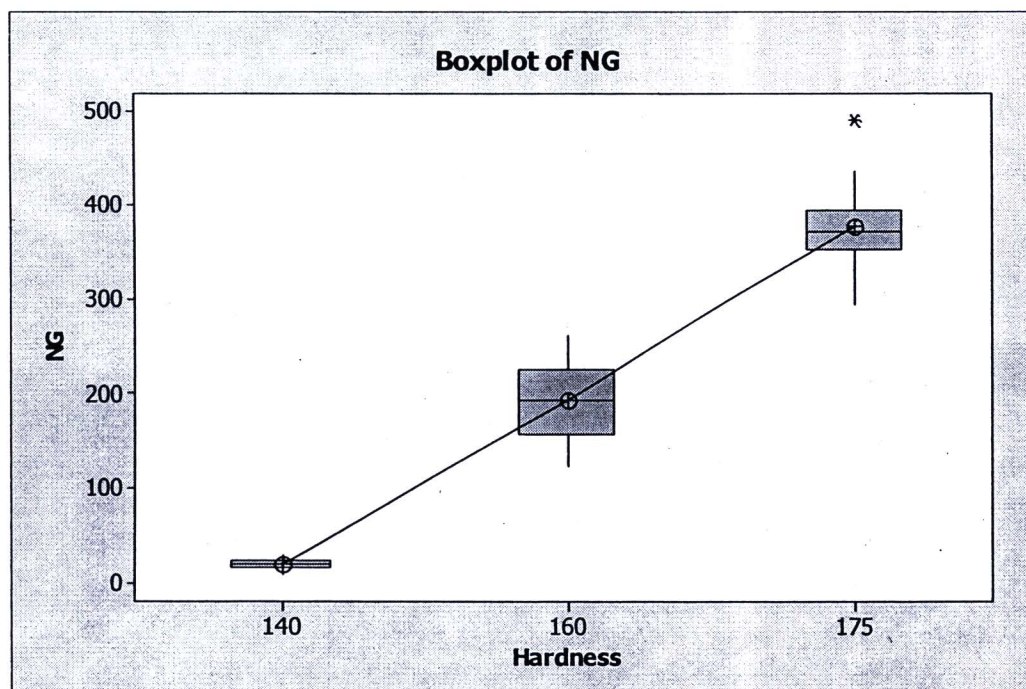
การทดสอบ Tukey ชุดอื่นๆได้ในการทำงานเดียวกัน ซึ่งสรุปได้ว่า ค่าเฉลี่ยของของเสียในแต่ละค่าความแข็งของเหล็กถด SWRCH 22A แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากช่วงความเชื่อมั่นทั้งหมดไม่ครอบคลุมค่า 0 และที่ค่าความแข็งเท่ากับ 140 HV มีปริมาณของเสีย น้อยที่สุดโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 19.31 ชิ้น



ภาพที่ 4.4 แสดงถึงความเป็นปกติของข้อมูลและความมีนัยสำคัญทางสถิติ



ภาพที่ 4.5 กราฟ Individual Value Plot แสดงปริมาณของเสียในแต่ละปัจจัยแตกต่างกัน



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

(2) การแปลผลจากกราฟ

กราฟ Individual Value Plot และ Boxplot แสดงให้เห็นว่าปริมาณของเสียในแต่ละช่วงค่าความแข็งของเหล็กเกรด 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

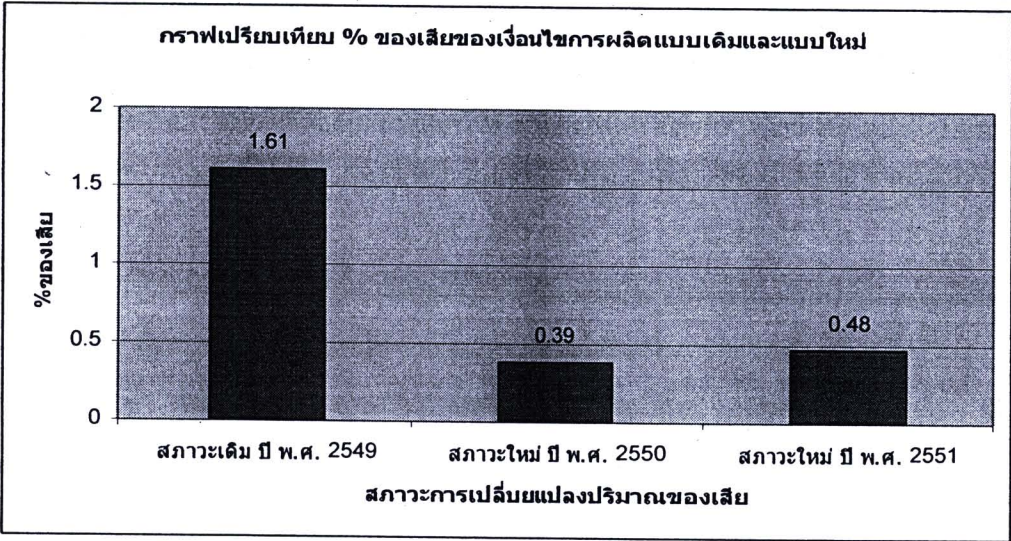
หลังจากที่ทางโรงงานได้นำค่าความแข็ง (Hardness) ของวัตถุดิบเหล็กเกรดคาร์บอนต่ำชนิด SWRCH 22A เท่ากับ 140 HV และความเร็วรอบ (Cycle Time) เท่ากับ 0.75 Sec. ไปทำการผลิตซึ่งส่งผลทำให้จำนวนของเสียลดลงได้โดยทำการเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากปี พ.ศ.2549 และหลังจากทำการปรับปรุงในปี พ.ศ.2550

ตารางที่ 4.14 แสดงสถานะการผลิตในปัจจุบันและสถานะการผลิตแบบใหม่

ปัจจัย	สถานะการผลิตสกรูแบบเก่า ปี พ.ศ.2549	สถานะการผลิตสกรูแบบใหม่ 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 ไม่เหมาะสมและจากการนำสภาวะการผลิตแบบใหม่ คือ การลดค่าความแข็งของวัตถุดิบเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำลงไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตจริง พบว่าเปอร์เซ็นต์ของเสียประเภทสกรูหัวแตกร้าวเฉลี่ยลดลงจาก 1.61% เหลือ 0.39% และ 0.48% ตามลำดับตามตารางที่ 4.13, 4.14 และภาพที่ 4.4

ภายหลังจากการนำสภาวะควบคุมกระบวนการผลิตแบบใหม่ไปกำหนดเป็นมาตรฐานในการผลิต พบว่าจำนวนปริมาณงานเสียที่เกิดขึ้นจากปัญหาประเภทสกรูหัวแตกร้าวลดลง ซึ่งหากเปรียบเทียบกับมูลค่าความเสียหายของมูลค่าวัตถุดิบที่สูงเสียในระหว่างกระบวนการผลิตที่เกิดขึ้นเฉพาะปัญหาสกรูหัวแตกร้าวก่อนดำเนินการแก้ไข 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

