

การลดของเสียที่เกิดจากการรับน้ำหนักกดของชุดหัวอ่านสำเร็จไม่ได้ตามข้อกำหนดใน
กระบวนการประกอบหัวอ่านโดยใช้แนวทางซิกซ์ ซิกม่า



นางสาวภัทรา อายุวัฒน์

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-3739-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEFECT REDUCTION OF GRAMLOAD OUT OF SPECIFICATION IN HEAD STACK
ASSEMBLY PROCESS BY SIX SIGMA APPROACH



Miss Pattara Aryuwat

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2003

ISBN 974-17-3739-4

ภัทรา อายุวัฒน์ : การลดของเสียที่เกิดจากค่าการรับน้ำหนักกดของชุดหัวอ่านสำเร็จ ไม่ได้ตามข้อกำหนดในกระบวนการประกอบหัวอ่านโดยใช้แนวทางซิกซ์ ซิกมา) DEFECT REDUCTION OF GRAMLOAD OUT OF SPECIFICATION IN HEAD STACK ASSEMBLY PROCESS BY SIX SIGMA APPROACH) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.ปารเมศ ชุติมา, 264 หน้า.

การวิจัยนี้เสนอแนวทางการควบคุมคุณภาพโดยใช้แนวทางของซิกซ์ ซิกมา เพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการประกอบชุดหัวอ่านสำเร็จ อันเนื่องมาจากข้อบกพร่องต่างๆ โดยนำวิธีการตามแนวทางซิกซ์ ซิกมา มาประยุกต์ใช้ปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อศึกษาหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าการรับน้ำหนักกด (Gramload) ของชุดหัวอ่านสำเร็จ ซึ่งเป็นข้อกำหนดด้านผลิตภัณฑ์ของลูกค้า และหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยดังกล่าวในการผลิตที่จะทำให้ปริมาณของเสียลดลง โดยหน่วยวัดผลระดับการปรับปรุงของการวิจัยที่กำหนดคือ ปริมาณของของเสียที่เกิดขึ้นในหน่วย Defect Part Per Million (DPPM) ซึ่งก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิตมีของเสียเท่ากับ 8,872 DPPM

ขั้นตอนการวิจัยจะดำเนินตามขั้นตอนตามวิธีการทางซิกซ์ ซิกมา ทั้ง 5 ขั้นตอน โดยเริ่มจากขั้นตอนนิยามปัญหา ขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ และขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิต ตามลำดับ ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ของกระบวนการ คือ สามารถกำหนดค่าของระดับของปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญที่ส่งผลต่อค่าการรับน้ำหนักกด (Gramload) ของชุดหัวอ่าน ในกระบวนการผลิตชุดหัวอ่านสำเร็จรูป มีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจากเดิมโดยการนำปัจจัยนำเข้าทั้ง 4 ปัจจัยมาทำการออกแบบการทดลอง โดยใช้วิธีการของพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Method) ในขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ แล้วนำไปวิเคราะห์หาระดับที่เหมาะสมของการปรับค่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องนั้น เพื่อให้ได้ค่าการรับน้ำหนักกด (Gramload) ของชุดหัวอ่านเข้าใกล้ค่ากลางของข้อกำหนดมากที่สุดที่สามารถทำได้คือ 2.5 กรัม โดยการกำหนดค่าความสูงของฐาน เท่ากับ 12.170 มิลลิเมตร ความหนาของ 1st key เท่ากับ 2.274 มิลลิเมตร ระยะห่างของ Comb Tower Pin Slot เท่ากับ 7.655 มิลลิเมตร สำหรับ shuttle และความเร็วรอบเท่ากับ 2,600 rpm สำหรับเครื่อง swaging แล้วทำการทดสอบเพื่อยืนยันผลก่อนนำไปใช้งานจริงในกระบวนการผลิต จากนั้นทำการควบคุมปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้งสี่ด้วยกระบวนการเชิงสถิติในขั้นตอนการควบคุมกระบวนการ

จากข้อมูลหลังการปรับปรุงกระบวนการพบว่า มีปริมาณของเสียเกิดขึ้น 720 DPPM ซึ่งคิดเป็น 91.88 เปอร์เซ็นต์ ของจำนวนของเสียที่ลดลงได้ก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิต

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ
สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา 2546

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

4471471021 : MAJOR INDUSTRY ENGINEERING

KEY WORD : SIX SIGMA / GRAMLOAD OUT OF SPECIFICATION IN HEAD STACK ASSEMBLY / DEFECT PART PER MILLION / DEFINE PHASE / MEASURE PHASE / ANALYZE PHASE / IMPROVE PHASE / CONTROL PHASE

PATTARA ARYUWAT : DEFECT REDUCTION OF GRAMLOAD OUT OF SPECIFICATION IN HEAD STACK ASSEMBLY PROCESS BY SIX SIGMA APPROACH THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. PARAMES CHUTIMA, Ph.D., 264 pp.

The objective of this research is to reduce the number of defects in head stack assembly process. Six Sigma Approach is applied not only to study the factors influencing the gramload and the product specification limit, but also to identify the appropriate operative conditions for reducing defects. The efficient improvement is measure by the number of defects in Defect Part Per Million (DPPM) unit. The current process has 8,872 DPPM

The study has been proceeded according to the five-phase improvement models of Six Sigma methodology. The process begins with defining phase, measuring phase, analyzing phase, improving phase and controlling phase respectively. The results of the process is to determine KPIVs that significantly effect to increase Gramload value in head stack assembly process. Four KPIVs have been used to perform and experiment with response surface in improvement phase. It is found that the appropriate average Gramlaod is 2.5 gram, the base plate height is 12.170 millimeter, the 1st key thickness is 2.274 millimeter, the comb tower pin slot gap is 7.655 millimeter for shuttle setting and swaging machine speed is 2,600 rpm. The preliminary experiments are conducted to confirm the results before applying to production line. Finally, the results of statistical analysis are set at the process of control phase.

The data of Gramload defect after process improvement show 720 DPPM which is equal to 91.88 % of amount of defect before process improvement.

Department of Industrial Engineering

Field of study Industrial Engineering

Academic year 2003

Student' s signature

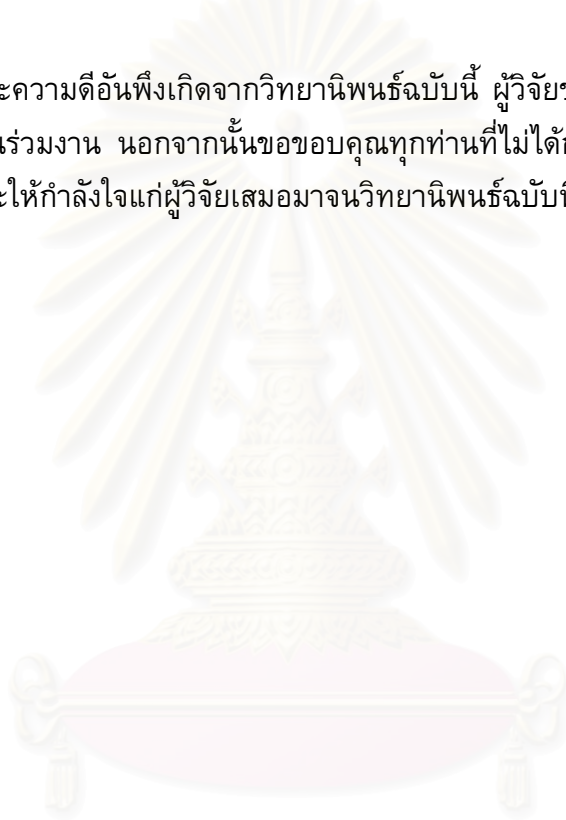
Advisor' s signature

Co-advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้ทำวิจัยขอกราบขอบพระคุณต่อ รองศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุตินา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งเป็นผู้ที่ให้ความรู้ทางทฤษฎี หลักการ ตลอดจนคำแนะนำแก้ไขและชี้แนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ด้วยดี และขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดำรง ทวีแสงสกุลไทย ประธานกรรมการ รองศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์ และอาจารย์ ดร. นภัสสวงศ์ โอสภาศิลป์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ พร้อมทั้งตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องภายในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ประโยชน์และความดีอันพึงเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแต่ บิดา มารดา พี่น้อง เพื่อนนิสิต และเพื่อนร่วมงาน นอกจากนั้นขอขอบคุณทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวไว้ในที่นี้ ที่กรุณาให้ความร่วมมือช่วยเหลือ และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จด้วยดี



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญรูป	ณ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ประวัติความเป็นมาของโรงงานกรณีศึกษา	2
1.3 การศึกษาสภาพปัญหาปัจจุบัน	2
1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.5 ขอบเขตของการวิจัย	4
1.6 แนวทางการดำเนินงานวิจัย	4
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 การสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 การสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.2 การสำรวจทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	10
บทที่ 3 การนิยามปัญหา	
3.1 บทนำ	25
3.2 การกำหนดทีมงานดำเนินงาน	25
3.3 การศึกษากระบวนการผลิต	27
3.4 สภาพปัญหาในปัจจุบัน	28
3.5 การกำหนดปัญหา	29
3.6 การกำหนดขั้นตอนการดำเนินงานและเครื่องมือที่เลือกใช้	33
3.7 สรุปการนิยามปัญหา	36

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา	
4.1 บทนำ	37
4.2 การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (GR&R)	37
4.3 การวิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุ (Cause & Effect Diagram)	54
4.4 การวิเคราะห์ปัญหาจากการหาความสัมพันธ์สาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix)	60
4.5 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA)	63
4.6 สรุปผลขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา	76
บทที่ 5 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา	
5.1 บทนำ	78
5.2 ปัจจัยนำเข้าที่นำมาทดสอบสมมติฐาน	78
5.3 สรุประดับของแต่ละปัจจัยนำเข้าที่นำมาทดสอบสมมติฐาน	98
5.4 การวิเคราะห์ผลการทดสอบสมมติฐาน	99
5.5 สรุปปัจจัยที่ระดับของปัจจัยมีความแตกต่างกันจากการทดสอบ สมมติฐาน	184
บทที่ 6 การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ	
6.1 บทนำ	186
6.2 ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ	186
6.3 ตัวแปรตอบสนอง	187
6.4 การออกแบบการทดลอง	187
6.5 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง	190
6.6 การวิเคราะห์ผลการทดลอง	193
6.7 ค่าเงื่อนไขของปัจจัยที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ	197
6.8 การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางที่มีการเพิ่ม จุดศูนย์กลาง (Central Composite Design with Center Point)	198
6.9 สรุปขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ	205

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 7 การทดสอบยืนยันผล	
7.1 บทนำ	206
7.2 ขั้นตอนการทดสอบยืนยันผล	206
7.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง	207
7.4 สรุปขั้นตอนการทดสอบยืนยันผล	208
บทที่ 8 การควบคุมกระบวนการผลิต	
8.1 บทนำ	209
8.2 แผนการควบคุม	209
8.3 ข้อมูลหลังการปรับปรุงการผลิต	219
8.4 สรุปผลขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิต	221
บทที่ 9 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	
9.1 บทนำ	222
9.2 สรุปผลขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา	222
9.3 สรุปปัจจัยที่ระดับของปัจจัยมีความแตกต่างกันจากการ ทดสอบสมมติฐาน	223
9.4 สรุปขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ	224
9.5 สรุปผลขั้นตอนการควบคุมการผลิต	225
9.6 ข้อจำกัดในการทดลอง	225
9.7 ข้อเสนอแนะ	226
รายการอ้างอิง	227
ภาคผนวก.....	229
ภาคผนวก ก รายละเอียดของขั้นตอนการวัดค่าการรับน้ำหนักการกด (Gramload) ของชุดหัวอ่านสำเร็จ.....	230
ภาคผนวก ข กระบวนการผลิตอย่างละเอียดในการผลิตชุดหัวอ่านสำเร็จ.....	234
ภาคผนวก ค ค่าผลการทดสอบค่าความแม่นยำการของระบบการวัด.....	237

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ง แบบฟอร์มการให้คะแนนเพื่อทำการวิเคราะห์ปัญหาจาก การหาความสัมพันธ์ของเหตุและผล (Cause & Effect Matrix) 242	
ภาคผนวก จ ค่าผลการทดสอบสมมติฐานของปัจจัยทั้งหมด.....	248
ภาคผนวก ฉ ผลการทดลองการปรับปรุงกระบวนการ	257
ภาคผนวก ช ค่าผลการทดสอบการยืนยันผลการทดสอบ.....	260
ภาคผนวก ซ ค่าผลการปรับปรุงกระบวนการผลิต.....	262
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	264



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ข้อมูลบางส่วนของผลิตภัณฑ์ในองค์กร.....	30
3.2 ค่า Defect, DPU, DPPM	32
3.3 เครื่องมือที่เลือกใช้และตัววัดผลของขั้นตอนต่างๆ	33
4.1 ผลการวิเคราะห์การประเมินความผันแปรของการวัดเครื่องวัด Gramload เครื่องที่ 1 สำหรับ HD0	38
4.2 ผลการวิเคราะห์การประเมินความผันแปรของการวัดเครื่องวัด Gramload เครื่องที่ 1 สำหรับ HD1	40
4.3 ผลการวิเคราะห์การประเมินความผันแปรของการวัดเครื่องวัด Gramload เครื่องที่ 2 สำหรับ HD0	43
4.4 ผลการวิเคราะห์การประเมินความผันแปรของการวัดเครื่องวัด Gramload เครื่องที่ 2 สำหรับ HD1	44
4.5 ผลการวิเคราะห์การประเมินความผันแปรของการวัดเครื่องวัด Gramload เครื่องที่ 3 สำหรับ HD0	47
4.6 ผลการวิเคราะห์การประเมินความผันแปรของการวัดเครื่องวัด Gramload เครื่องที่ 3 สำหรับ HD1	48
4.7 ผลการวิเคราะห์การประเมินความผันแปรของการวัดเครื่องวัด Gramload เครื่องที่ 4 สำหรับ HD0	51
4.8 ผลการวิเคราะห์การประเมินความผันแปรของการวัดเครื่องวัด Gramload เครื่องที่ 4 สำหรับ HD1	52
4.9 การวิจัยภายในและภายนอกที่มีผลต่อค่า Gramload	55
4.10 แสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล	60
4.11 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่อง.....	69
4.12 เรียงลำดับสาเหตุปัญหาและ RPN.....	75
5.1 ระดับปัจจัยของขนาดลูกบอลที่ใช้กับเครื่อง swaging.....	97
5.2 สรุปปัจจัยและระดับของปัจจัยในการทดสอบสมมติฐาน.....	99
5.3 จำนวนสิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน.....	100
5.4 ตารางแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากวัดถู ดียบ A และ B สำหรับ HD0.....	104
5.5 ตารางแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากวัดถู ดียบ A และ B สำหรับ HD1.....	105

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.6 ตารางแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากวัตุติบ A และ B สำหรับ HD0.....	106
5.7 ตารางแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากวัตุติบ A และ B สำหรับ HD1.....	107
5.8 ตารางแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากการ เคลื่อนย้าย และไม่เคลื่อนย้าย shuttle สำหรับ HD0.....	111
5.9 ตารางแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากการ เคลื่อนย้าย และไม่เคลื่อนย้าย shuttle สำหรับ HD1.....	112
5.10 ตารางแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากการ เคลื่อนย้าย และไม่เคลื่อนย้าย shuttle สำหรับ HD0.....	114
5.11 ตารางแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากการ เคลื่อนย้าย และไม่เคลื่อนย้าย shuttle สำหรับ HD1.....	115
5.12 ตารางแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากมุมของ stand plate สำหรับ HD0.....	119
5.13 ตารางแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากมุมของ stand plate สำหรับ HD1.....	120
5.14 ตารางแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากมุมของ stand plate สำหรับ HD0.....	121
5.15 ตารางแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากมุมของ stand plate สำหรับ HD1.....	123
5.16 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากความสูงของ ฐาน shuttle สำหรับ HD0.....	126
5.17 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากความสูงของ ฐาน shuttle สำหรับ HD1.....	127
5.18 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากความสูงของ ฐาน shuttle สำหรับ HD0.....	129
5.19 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากความสูงของ ฐาน shuttle สำหรับ HD1.....	130

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.20 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากการความ หนาของ 1st key ของ shuttle สำหรับ HD0.....	134
5.21 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากการความ หนาของ 1st key ของ shuttle สำหรับ HD1.....	135
5.22 ตารางแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจาก ความหนาของ 1st key ของ shuttle สำหรับ HD0.....	136
5.23 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากความหนาของ 1st key ของ shuttle สำหรับ HD1.....	137
5.24 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากความหนา ของ 2nd key สำหรับ HD0.....	141
5.25 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากความหนา ของ 2nd key สำหรับ HD1.....	142
5.26 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากความหนาของ 2nd key สำหรับ HD0.....	144
5.27 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากความหนาของ 2nd key สำหรับ HD1.....	145
5.28 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากการระยะห่าง Comb Tower Pin Slot ของ shuttle สำหรับ HD0.....	149
5.29 แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากระยะห่าง Comb Tower Pin Slot ของ shuttle สำหรับ HD1.....	150
5.30 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากระยะห่าง Comb Tower Pin Slot ของ shuttle สำหรับ HD0.....	151
5.31 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากระยะห่าง Comb Tower Pin Slot ของ shuttle สำหรับ HD1.....	152
5.32 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากวิธีการทำงาน แบบปัจจุบันกับแบบใหม่ สำหรับ HD0.....	156
5.33 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากวิธีการทำงาน แบบปัจจุบันกับแบบใหม่ สำหรับ HD1.....	157
5.34 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากวิธีการทำงานแบบ ปัจจุบันและวิธีการทำงานแบบใหม่ สำหรับ HD0.....	159

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.35 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากวิธีการทำงานแบบปัจจุบันและวิธีการทำงานแบบใหม่ สำหรับ HD1.....	160
5.36 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากจำนวนลูกบอลที่ใช้ในการ swaging สำหรับ HD0.....	164
5.37 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากจำนวนลูกบอลที่ใช้ในการ swaging สำหรับ HD1.....	165
5.38 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากจำนวนลูกบอลที่ใช้ในการ swaging สำหรับ HD0.....	166
5.39 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากจำนวนลูกบอลที่ใช้ในการ swaging สำหรับ HD1.....	167
5.40 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากความเร็วรอบของเครื่อง swaging สำหรับ HD0.....	171
5.41 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากความเร็วรอบของเครื่อง swaging สำหรับ HD1.....	172
5.42 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากความเร็วรอบของเครื่อง swaging สำหรับ HD0.....	174
5.43 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากความเร็วรอบของเครื่อง swaging สำหรับ HD1.....	175
5.44 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากขนาดของลูกบอลของเครื่อง swaging สำหรับ HD0.....	179
5.45 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากขนาดของลูกบอลของเครื่อง swaging สำหรับ HD1.....	180
5.46 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากขนาดของลูกบอลของเครื่อง swaging สำหรับ HD0.....	181
5.47 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากขนาดของลูกบอลของเครื่อง swaging สำหรับ HD1.....	182
5.48 สรุปความมีนัยสำคัญของแต่ละปัจจัย.....	183
5.49 สรุปปัจจัยที่ระดับของปัจจัยที่มีความแตกต่างกันจากการทดสอบสมมติฐาน.....	185
6.1 สรุปปัจจัยที่ระดับของปัจจัยที่มีความแตกต่างกันจากการทดสอบสมมติฐาน.....	187
6.2 กำลังและจำนวนการทดลองซ้ำ.....	188

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
6.3 ตารางแสดงผลการทดลอง.....	189
6.4 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง (Coded Units).....	196
6.5 ตารางแสดงผลการทดลอง.....	198
6.6 ผลการวิเคราะห์พื้นผิวตอบ (Coded Units).....	203
6.7 ตารางแสดงปัจจัยและการกำหนดค่าที่เหมาะสมของระดับ.....	204
8.1 การบันทึกข้อมูลสำหรับการแก้ปัญหา และตรวจเช็ค shuttle.....	213
8.2 ตารางที่ 8.2 การบันทึกข้อมูลสำหรับการแก้ปัญหา และตรวจเช็คเครื่อง swaging.....	215
10.1 สรุปปัจจัยที่ระดับของปัจจัยที่มีความแตกต่างกันจากการทดสอบสมมติฐาน.....	224



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	ผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์สำหรับคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ..... 2
1.2	แสดงความสามารถของกระบวนการ (Process Capability)..... 3
2.1	ส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์..... 10
3.1	แผนภาพกระบวนการผลิตรวม..... 27
3.2	แสดงความสามารถของกระบวนการ (Process Capability) จากเดือนตุลาคม ถึงธันวาคม 2545..... 28
3.3	ความต้องการทางการตลาด..... 29
3.4	ลำดับของ Defect ในหน่วยของ DPPM..... 33
4.1	แผนภาพการประเมินความผันแปรของการวัด เครื่องวัด Gramload เครื่องที่ 1 สำหรับ HD0..... 40
4.2	แผนภาพการประเมินความผันแปรของการวัด เครื่องวัด Gramload เครื่องที่ 1 สำหรับ HD0..... 41
4.3	แผนภาพการประเมินความผันแปรของการวัด เครื่องวัด Gramload เครื่องที่ 2 สำหรับ HD0..... 44
4.4	แผนภาพการประเมินความผันแปรของการวัด เครื่องวัด Gramload เครื่องที่ 2 สำหรับ HD1..... 45
4.5	แผนภาพการประเมินความผันแปรของการวัด เครื่องวัด Gramload เครื่องที่ 3 สำหรับ HD0..... 48
4.6	แผนภาพการประเมินความผันแปรของการวัด เครื่องวัด Gramload เครื่องที่ 3 สำหรับ HD1..... 49
4.7	แผนภาพการประเมินความผันแปรของการวัด เครื่องวัด Gramload เครื่องที่ 4 สำหรับ HD0..... 52
4.8	แผนภาพการประเมินความผันแปรของการวัด เครื่องวัด Gramload เครื่องที่ 4 สำหรับ HD1..... 53
4.9	ผังแสดงเหตุและผล..... 59
4.10	แผนภูมิพาเรโตเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยต่างๆ จากการ วิเคราะห์ด้วย Cause & Effect Matrix..... 62
4.11	ผังพาเรโตจัดลำดับความสำคัญของค่า RPN..... 76
5.1	ชุดหัวอ่าน (HGA) ที่ใช้ในกระบวนการประกอบชุดหัวอ่านสำเร็จ..... 79
5.2	ขั้นตอนการทดลองสำหรับวัดถูดับ (ชุดหัวอ่าน : HGA)..... 80

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.3 shuttle ที่ใช้ในการประกอบชุดหัวอ่านสำเร็จรูป.....	81
5.4 ขั้นตอนการทดลองสำหรับการควบคุมการเคลื่อนที่ของ shuttle.....	82
5.5 stand plate ที่ใช้ในการประกอบชุดหัวอ่านสำเร็จรูป.....	83
5.6 ขั้นตอนการทดลองสำหรับระดับของ angle block ที่แตกต่างกันของ stand plate.....	84
5.7 ฐานของ shuttle ที่ใช้ในการประกอบชุดหัวอ่านสำเร็จรูป.....	85
5.8 ขั้นตอนการทดลองสำหรับระดับความสูงที่แตกต่างกันของฐาน shuttle.....	86
5.9 1st key ของ shuttle.....	87
5.10 ขั้นตอนการทดลองสำหรับระดับความหนาที่แตกต่างกันของ 1st key ของ shuttle.....	88
5.11 2nd key ของ shuttle.....	89
5.12 ขั้นตอนการทดลองสำหรับระดับความหนาที่แตกต่างกันของ 2nd key ของ shuttle.....	90
5.13 Comb Tower Pin Slot.....	91
5.14 ขั้นตอนการทดลองสำหรับระดับสูงที่แตกต่างกันของ Comb Tower Pin Slot ของ shuttle.....	92
5.15 ขั้นตอนการทดลองสำหรับขั้นตอนวิธีการทำงานที่แตกต่างกัน.....	94
5.16 ขั้นตอนการทดลองสำหรับจำนวนลูกบอลที่ต่างกันของเครื่อง swaging.....	95
5.17 รูปเครื่อง swaging.....	96
5.18 ขั้นตอนการทดลองสำหรับความเร็วรอบที่ต่างกันของเครื่อง swaging.....	97
5.19 ขั้นตอนการทดลองสำหรับขนาดของลูกบอลที่ต่างกันของเครื่อง swaging.....	98
5.20 กราฟแสดงการกระจายของค่า Gramload หลังจากใช้วัตต์ดิวบ A ก) HD0 ข) HD1.....	102
5.21 กราฟแสดงการกระจายของค่า Gramload หลังจากใช้วัตต์ดิวบ B ก) HD0 ข) HD1.....	103
5.22 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากวัตต์ดิวบ A และ B สำหรับ HD0.....	104
5.23 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากวัตต์ดิวบ A และ B สำหรับ HD1.....	105

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.24 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากวัตถุติด A และ B สำหรับ HD0.....	107
5.25 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากวัตถุติด A และ B สำหรับ HD1.....	108
5.26 กราฟแสดงการกระจายของค่า Gramload จากการเคลื่อนย้าย shuttle เหมือนปกติ ก) HD0 ข) HD1.....	109
5.27 กราฟแสดงการกระจายของค่า Gramload จากการไม่มีการเคลื่อนย้าย shuttle ก) HD0 ข) HD1.....	110
5.28 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจาก เคลื่อนย้าย และไม่เคลื่อนย้าย shuttle สำหรับ HD0.....	112
5.29 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจาก เคลื่อนย้าย และไม่เคลื่อนย้าย shuttle สำหรับ HD1.....	113
5.30 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากเคลื่อนย้าย และไม่เคลื่อนย้าย shuttle สำหรับ HD0.....	114
5.31 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากเคลื่อนย้าย และไม่เคลื่อนย้าย shuttle สำหรับ HD1.....	115
5.32 กราฟแสดงการกระจายของค่า Gramload จากมุมของ stand plate เท่ากับ 60 องศา ก) HD0 ข) HD1.....	117
5.33 กราฟแสดงการกระจายของค่า Gramload จากมุมของ stand plate เท่ากับ 60 องศา ก) HD0 ข) HD.....	118
5.34 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจาก มุมของ stand plate สำหรับ HD0.....	119
5.35 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจาก มุมของ stand plate สำหรับ HD1.....	120
5.36 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากมุมของ stand plate สำหรับ HD0.....	122
5.37 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากมุมของ stand plate สำหรับ HD1.....	123
5.38 กราฟแสดงการกระจายของค่า Gramload จากความสูงของฐาน shuttle เท่ากับ 12.170 มิลลิเมตร ก) HD0 ข) HD1.....	124

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.39 กราฟแสดงการกระจายของค่า Gramload จากความสูงของฐาน shuttle เท่ากับ 12.190 มิลลิเมตร ก) HD0 ข) HD1.....	125
5.40 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากความสูงของฐาน shuttle สำหรับ HD0.....	127
5.41 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากความสูงของฐาน shuttle สำหรับ HD1.....	128
5.42 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากความสูงของฐาน shuttle สำหรับ HD0.....	129
5.43 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากความสูงของฐาน shuttle สำหรับ HD1.....	130
5.44 กราฟแสดงการกระจายของค่า Gramload จากความหนาของ 1st key เท่ากับ 2.274 มิลลิเมตร ของ shuttle ก) HD0 ข) HD1.....	132
5.45 กราฟแสดงการกระจายของค่า Gramload จากความหนาของ 1st key เท่ากับ 2.279 มิลลิเมตร ของ shuttle ก) HD0 ข) HD1.....	133
5.46 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากความหนาของ 1st key ของ shuttle สำหรับ HD0.....	134
5.47 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากความหนาของ 1st key ของ shuttle สำหรับ HD1.....	135
5.48 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากความหนาของ 1st key ของ shuttle สำหรับ HD0.....	137
5.49 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากความหนาของ 1st key ของ shuttle สำหรับ HD1.....	138
5.50 กราฟแสดงการกระจายของค่า Gramload จากความหนาของ 2nd key เท่ากับ 2.990 มิลลิเมตร ก) HD0 ข) HD1.....	139
5.51 กราฟแสดงการกระจายของค่า Gramload จากความหนา 2nd key เท่ากับ 3.000 มิลลิเมตร ก) HD0 ข) HD1.....	140
5.52 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากความหนาของ 2nd key สำหรับ HD0.....	142
5.53 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากความหนาของ 2nd key สำหรับ HD1.....	143

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.54 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากความหนา ของ 2nd key สำหรับ HD0.....	144
5.55 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากความหนา ของ 2nd key สำหรับ HD1.....	145
5.56 กราฟแสดงการกระจายของค่า Gramload จากระยะห่าง Comb Tower Pin Slot เท่ากับ 7.635 ก) HD0 ข) HD1.....	147
5.57 กราฟแสดงการกระจายของค่า Gramload จากระยะห่าง Comb Tower Pin Slot เท่ากับ 7.655 ก) HD0 ข) HD1.....	148
5.58 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดระยะห่าง Comb Tower Pin Slot ของ shuttle สำหรับ HD0.....	149
5.59 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากระยะ ห่าง Comb Tower Pin Slot ของ shuttle สำหรับ HD1.....	150
5.60 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากระยะห่าง Comb Tower Pin Slot ของ shuttle สำหรับ HD0.....	152
5.61 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากระยะห่าง Comb Tower Pin Slot ของ shuttle สำหรับ HD1.....	153
5.62 กราฟแสดงการกระจายของค่า Gramload จากวิธีการทำงานแบบปัจจุบัน ก) HD0 ข) HD1.....	154
5.63 กราฟแสดงการกระจายของค่า Gramload จากวิธีการทำงานแบบใหม่ ก) HD0 ข) HD1.....	155
5.64 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากวิธี การทำงานแบบปัจจุบันกับแบบใหม่ สำหรับ HD0.....	157
5.65 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากวิธี การทำงานแบบปัจจุบันกับแบบใหม่ สำหรับ HD1.....	158
5.66 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากวิธีการ ทำงานแบบปัจจุบันและวิธีการทำงานแบบใหม่ สำหรับ HD0.....	159
5.67 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากวิธีการ ทำงานแบบปัจจุบันและวิธีการทำงานแบบใหม่ สำหรับ HD1.....	160
5.68 กราฟแสดงการกระจายของค่า Gramload จากการมีลูกบอล 2 ลูก ก) HD0 ข) HD1.....	162

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.69 กราฟแสดงการกระจายของค่า Gramload จากการมีลูกบอล 3 ลูก ก) HD0 ข) HD1.....	163
5.70 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจาก จำนวนลูกบอลที่ใช้ในการ swaging สำหรับ HD0.....	164
5.71 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจาก จำนวนลูกบอลที่ใช้ในการ swaging สำหรับ HD1.....	165
5.72 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากจำนวน ลูกบอลที่ใช้ในการ swaging สำหรับ HD0.....	167
5.73 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากจำนวน ลูกบอลที่ใช้ในการ swaging สำหรับ HD1.....	168
5.74 กราฟแสดงการกระจายของค่า Gramload จากความเร็วรอบ 2,600 rpm ก) HD0 ข) HD1.....	169
5.75 กราฟแสดงการกระจายของค่า Gramload จากความเร็วรอบ 3,600 rpm ก) HD0 ข) HD1.....	170
5.76 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจาก ความเร็วรอบของเครื่อง swaging สำหรับ HD0.....	172
5.77 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจาก ความเร็วรอบของเครื่อง swaging สำหรับ HD1.....	173
5.78 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากความ เร็วรอบของเครื่อง swaging สำหรับ HD0.....	174
5.79 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากความ เร็วรอบของเครื่อง swaging สำหรับ HD1.....	175
5.80 กราฟแสดงการกระจายของค่า Gramload จากขนาดลูกบอล 0.078, 0.080, 0.081 นิ้ว ก) HD0 ข) HD1.....	177
5.81 กราฟแสดงการกระจายของค่า Gramload จากขนาดลูกบอล 0.080, 0.082, 0.083 นิ้ว ก) HD0 ข) HD1.....	178
5.82 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจาก ขนาดของลูกบอลของเครื่อง swaging สำหรับ HD0.....	179
5.83 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจาก ขนาดของลูกบอลของเครื่อง swaging สำหรับ HD1.....	180

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.84 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากขนาดของ ลูกบอลของเครื่อง swaging สำหรับ HD0.....	182
5.85 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากขนาดของ ลูกบอลของเครื่อง swaging สำหรับ HD1.....	183
6.1 แผนภูมิแสดงสถิติเชิงพรรณนาของค่าตัวแปรตอบสนอง (Gramload).....	190
6.2 กราฟแสดงการกระจายของค่าส่วนตกค้าง.....	191
6.3 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและลำดับของข้อมูล.....	192
6.4 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิต.....	193
6.5 กราฟ Normal Probability Plot แสดงปัจจัยหลักและ อันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญ..	194
6.6 แผนภูมิพาเรโต แสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญ.....	194
6.7 ผลหลักของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง.....	195
6.8 ภาพอันตรกิริยาของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง.....	195
6.9 แสดงสถิติเชิงพรรณนาของค่าตัวแปรตอบสนอง (Gramload).....	199
6.10 กราฟแสดงการกระจายของค่าส่วนตกค้าง.....	200
6.11 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและลำดับของข้อมูล.....	201
6.12 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิต.....	202
6.13 ผลการวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ.....	204
7.1 กราฟการกระจายของค่าเฉลี่ยของค่า Gramload.....	207
7.2 กราฟการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ.....	208
8.1 OCAP สำหรับ shuttle ใหม่.....	210
8.2 OCAP สำหรับ shuttle ที่เกิดความเสียหายระหว่างการผลิต.....	211
8.3 สำหรับ shuttle ที่ค่า Gramload ไม่ได้ตามข้อกำหนด.....	212
8.4 OCAP สำหรับเครื่อง swaging.....	214
8.5 OCAP สำหรับค่า Gramload ไม่อยู่ในการควบคุม.....	218
8.6 กราฟแสดง \bar{X} and R Chart ของค่า Gramload.....	219
8.7 กราฟแสดง \bar{X} and R Chart ของค่า Gramload.....	220
8.8 แสดงความสามารถของกระบวนการผลิตในเดือนกรกฎาคม 2545.....	221

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในสภาวะการณปัจจุบันที่ธุรกิจทุกแขนงต้องแข่งขันกันอย่างมากมายนั้น การเพิ่มอัตราผลผลิตและปรับปรุงการทำงานนั้น จึงเป็นหัวใจสำคัญของการอยู่รอดทางธุรกิจและการเติบโตทางอุตสาหกรรมเพื่อให้สามารถยืนหยัดแข่งขันกับผู้อื่นในตลาดโลกได้ต้องมีความสามารถที่จะทำการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพเป็นไปตามความต้องการของตลาด โดยมีต้นทุนที่ต่ำที่สุดด้วยประสิทธิภาพที่สูงที่สุดและสามารถที่จะปรับตัวให้เข้ากับสถานการณ์ผันผวนอย่างมากในปัจจุบันการที่จะประสบความสำเร็จในอุตสาหกรรมที่มีการแข่งขันอย่างมากรนี้ สิ่งที่จะทำให้ยอดขายของบริษัทเพิ่มขึ้นและนำไปสู่กำไรของบริษัทนั้นคือการสร้างความพึงพอใจสูงสุดของลูกค้า โดยมีการพัฒนาและปรับปรุงทั้งทางด้านคุณภาพตลอดจนการลดต้นทุนการผลิต การวางแผนเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์และการยกระดับคุณภาพอย่างรวดเร็วนั้นได้ใช้การวัดคุณภาพ โดยใช้วิธีการทางสถิติคือการควบคุมคุณภาพในระดับซิกซ์ซิกมา (SIX SIGMA)

การควบคุมคุณภาพในระดับซิกซ์ซิกมาคือมาตรการซึ่งใช้วัดคุณภาพการดำเนินงานโดยมีแนวคิดที่ว่า การควบคุมคุณภาพที่ระดับค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงมากเท่าไรก็จะลดค่าความแปรปรวนในการผลิตมีน้อยส่งผลให้การดำเนินงานยังมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ขั้นตอนทุกขั้นตอนของการทำงานทุกประเภทจะถูกควบคุมอย่างมีระบบ โดยที่พนักงานจะต้องรู้สึกว่ามีใช้การทำงานหนักยิ่งขึ้น

ผลิตภัณฑ์ที่จะทำการศึกษาเป็นส่วนประกอบที่สำคัญอย่างหนึ่งในฮาร์ดดิสก์ที่ใช้กับคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ โดยในกระบวนการผลิตนั้นมีการเกิดของเสียแบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ ปัจจัยตัวแปร (Mechanical Parameters) ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของงาน และการตรวจสอบชิ้นงานด้วยสายตา (Visual Inspection) ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด ซึ่งความสูญเสียหลักจะเกิดขึ้นจากค่าของ Gramload ซึ่งเป็น Mechanical Parameters ตัวหนึ่ง ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด และชิ้นงานนั้น ต้องนำกลับไปเข้ากระบวนการซ่อม (Rework) หรือ ทำลาย (Scrap) และต้องมีการการันตีชิ้นงานที่ทำไปแล้วด้วยการนำกลับมาตรวจสอบค่า Gramload ร้อยเปอร์เซ็นต์ สิ่งเหล่านี้ถือเป็นการสูญเสียที่สำคัญอย่างมาก จึงควรมีการปรับปรุง แก้ไขเพื่อลดจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นให้ลดน้อยลงให้มากที่สุดหรือแทบไม่มีเลย (Zero Defect) ข้อมูลของสภาพการผลิต ณ ปัจจุบันที่ใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการนำมาวิเคราะห์สภาพปัญหาปัจจุบันได้ดี

1.2 ประวัติความเป็นมาและรายละเอียดของโรงงานกรณีศึกษา

โรงงานกรณีศึกษาตั้งขึ้นเมื่อเดือนมกราคม 2545 ตั้งอยู่ที่นิคมอุตสาหกรรมนวนครจังหวัดปทุมธานีบนเนื้อที่ 41,000 ตารางเมตร มีพนักงานทั้งหมด 3,200 คน ผลิตภัณฑ์หลักของโรงงานคือ

1.2.1 หัวอ่านฮาร์ดดิสก์ (Head Stack Assembly)

หัวอ่านฮาร์ดดิสก์ (Head Stack Assembly, HSA) เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการผลิตขึ้นเพื่อใช้ในการผลิตฮาร์ดดิสก์ที่บริษัทผลิตและจำหน่ายเอง และยังส่งขายยังบริษัทอื่นในต่างประเทศด้วย โดยอัตราส่วนของการผลิตที่ทำ เพื่อใช้เองกับส่งขายอยู่ในอัตราส่วนที่ 70 : 30

1.2.2 ฮาร์ดดิสก์สำหรับคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ (Desktop Hard Disk Drive)

ฮาร์ดดิสก์สำหรับคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ (Desktop Hard Disk Drive) เป็นผลิตภัณฑ์ของ บริษัท (ดูรูปที่ 1.1) ผลิตเพื่อจำหน่ายให้กับลูกค้าต่างประเทศเท่านั้น เช่น Microsoft, DELL, Distributor และ Standard เป็นต้น



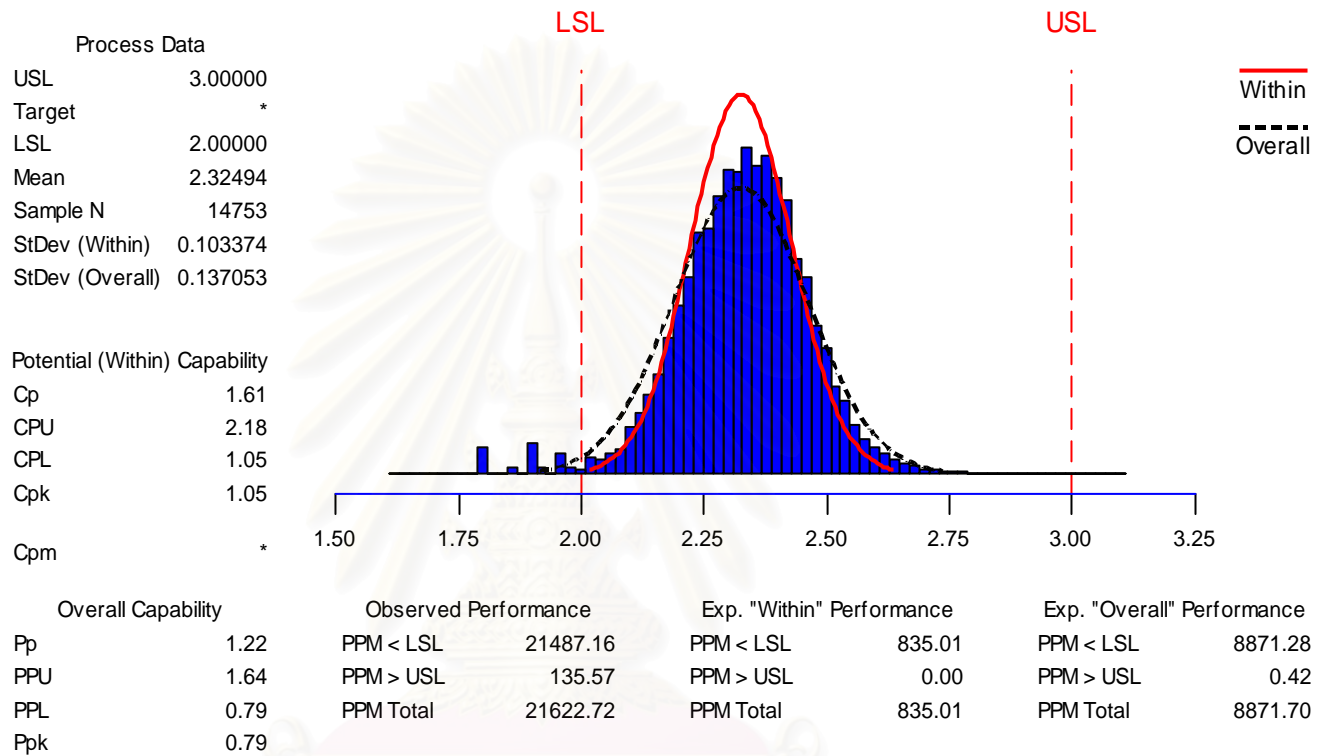
รูปที่ 1.1 ผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์สำหรับคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ

1.3 การศึกษาสภาพปัญหาปัจจุบัน

เนื่องจากสภาพปัญหาในปัจจุบันสามารถศึกษาด้วยการวัดความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการสะท้อนด้วยค่า Process Capability (Cpk) ดังรูปที่ 1.2 และแสดงถึงการเลื่อนไปจากค่ากลางของข้อกำหนด เฉพาะตำแหน่งของกระบวนการค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่อง (DPPM) ในการศึกษาถึงข้อบกพร่อง (Defect) ในของการผลิตหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ มีลักษณะของข้อ บกพร่องที่เกิด

จากการวัด Gramload มีข้อกำหนด (Speciflcation) คือ 2 - 3 gram เมื่อทำการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Cpk) ได้เท่ากับ 0.79 ซึ่งมากกว่า 0.67 แต่ต่ำกว่า 1.00 นั้นแสดงถึงความสามารถของกระบวนการ (Cpk) ที่ยังไม่ดี

Process Capability Analysis for Gramload



รูปที่ 1.2 แสดงความสามารถของกระบวนการ (Process Capability)

1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจาก Gramload ไม่ได้ตามข้อกำหนดและปรับปรุงกระบวนการผลิต Head Stack Assembly ที่มีความแปรผันสูงให้มีค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการเพิ่มขึ้น โดยประยุกต์ใช้เทคนิค ซิกซ์ ซิกมา

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1. การวิจัยฉบับนี้ทำการศึกษาเฉพาะผลิตภัณฑ์รุ่น Product I
2. โดยใช้การทดสอบค่าความสามารถในการรับน้ำหนักกด (Gramload) ของชุดหัวอ่านสำเร็จ เป็นกระบวนการในการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ
3. ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองต่างๆ ด้วยเทคนิคทางสถิติโดยใช้โปรแกรม MINITAB ช่วยในการคำนวณ

1.6 แนวทางการดำเนินงานวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัย สามารถแบ่งออกได้เป็น 8 ขั้นตอนหลัก โดยใช้แบ่งเป็น 5 เฟส ซึ่งเป็นแนวทางซิกซ์ ซิกมา คือ

1. สำรวจงานวิจัย และ ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
2. กำหนดแผนงานในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น (Define Phase)
 - เก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในสายการผลิต
 - กำหนดวัตถุประสงค์ของงานวิจัย
 - พิจารณาศักยภาพของกระบวนการผลิตในปัจจุบันปริมาณของเสียในปัจจุบัน
 - ระดมความคิดเพื่อแจกแจงสาเหตุและผลกระทบของกระบวนการที่เลือก
3. การวัดเพื่อกำหนดหาสาเหตุของปัญหา (Measure Phase)
 - ศึกษากระบวนการผลิตทั้งกระบวนการ
 - วิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (Gauge R&R)
 - ระดมความคิดเพื่อวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode & Effect Analysis : FMEA)
4. การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase)
 - สรุปผลและวางแผนขั้นตอนต่อไป
 - ทดสอบความมีนัยสำคัญด้วยเครื่องมือทางสถิติ เช่น ANOVA, Hypothesis Testing
 - วิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อเลือกปัจจัยที่สำคัญที่ต้องนำไปทำการทดลองในขั้นตอนต่อไป
 - สรุปผลและวางแผนขั้นตอนต่อไป
5. การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improvement Phase)
 - ออกแบบการทดลอง (DOE)
 - กำหนดตัวแปร และ ข้อจำกัดต่าง ๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อผลการทดลอง

- กำหนดขั้นตอนการทดลองและวิธีการเก็บข้อมูล
 - ทำการทดลองตามแผนการที่วางไว้
 - วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง
6. การควบคุมตัวแปรต่าง ๆ (Control Phase)
 - พิจารณาเลือกแผนภูมิควบคุมที่เหมาะสมกับตัวแปรนั้น ๆ
 - กำหนดวิธีการวัด ขนาดกลุ่มตัวอย่าง และความถี่ในการวัด
 - เก็บข้อมูลหลังการปรับปรุง
 - สรุปผลการปรับที่ได้โดยพิจารณาจากระดับของเสียที่สามารถลดได้
 7. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ
 8. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ผลการศึกษาจะเป็นแนวทางในการปฏิบัติวิธีเพื่อวิเคราะห์ปัญหาปรับปรุง และแก้ไข ปัญหาที่เกิดขึ้นของบริษัทรถยนต์ศึกษากรณีอื่น ๆ รวมทั้งเข้าใจถึงการนำเสนอในรูปแบบ ทางสถิติ
2. เพื่อความเชื่อมั่นต่อลูกค้าที่จะได้รับผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพรวมทั้งช่วยสร้างความพึงพอใจสำหรับลูกค้า
3. ลดปริมาณของเสียอันเนื่องมาจากไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพในกระบวนการผลิต
4. สามารถลดระยะเวลาในการผลิตผลิตภัณฑ์ออกสู่ตลาดและสามารถแข่งขันกับคู่แข่ง
5. สามารถกำหนดเป็นแนวทางปฏิบัติในผลิตภัณฑ์รุ่นอื่นๆ ในอนุกรมที่ลักษณะ ใกล้เคียงกันต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

การสำรวจงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1.1. Kwork and Rao Tummala (1996)

ได้ศึกษาเรื่องการควบคุมคุณภาพ และปรับปรุงระบบตามหลักการควบคุมคุณภาพ โดยรวม (Total Control Methodology, TCM) ได้แบ่งออกเป็นระดับที่ครอบคลุมถึงการ ป้องกันการปรับปรุงแก้ไข การสืบค้นปัญหาต่าง ๆ ดังนี้

ระดับที่ 1 On-Line Quality Control สามารถใช้งานง่ายในขั้นตอนการผลิตระดับควบคุม กระบวน และ คุณภาพผลิตภัณฑ์ซึ่งประกอบด้วยรายการปรับตั้งเครื่องมือฝังควบคุม ผังฮีสโตแกรม สัญญาณเตือนภัย การควบคุมแก้ไขสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้น การจัดวาง ผลิตภัณฑ์ การยอมรับสิ่งตัวอย่าง

ระดับที่ 2 Off-Line Quality Support and Reviews เป็นผลกระทบบระยะยาวไม่ได้เกิดขึ้น โดยตรงทันทีประกอบด้วย การให้ความรู้ และการฝึกอบรม การศึกษาระบบการวัด การบำรุงรักษา การตรวจติดตาม เทคนิคการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ

ระดับที่ 3 Driving Force for Quality Improvement เป็นเครื่องมือสำหรับการวางแผน ปรับปรุงเพื่อระบุสาเหตุและการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ ประกอบด้วย การเข้าถึงความต้องการของลูกค้า การเทียบเคียงคู่แข่ง การกระจายหน้าที่การทำงานเชิงคุณภาพ (QFD) การวิเคราะห์รูปแบบของการเสียและผลกระทบ (FMEA) การศึกษาความสามารถ ของ เครื่องมือ และกระบวนการ ซึ่งการจำแนกแบบนี้ทำให้สามารถเข้าใจโครงสร้างได้ง่าย นำไปใช้งานได้จริง มีการเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะต่าง ๆ ให้เหมาะสมอย่างมี ประสิทธิภาพ โดย ไม่ได้นำเทคนิคมาใช้มากเกินไปหรือเกิดการขัดแย้งกัน

2.1.2 Coronado and Antony (2002)

ได้ทำการศึกษาถึงปัจจัยที่นำไปสู่ความสำเร็จในการนำ Six Sigma ประยุกต์ใช้ของ องค์กรต่าง ๆ เพื่อใช้ในการปรับปรุงกลยุทธ์ทางธุรกิจโดยการเพิ่มกำไร จากการขจัดความ แปรปรวนและลดของเสียในกระบวนการรวมถึงการลดค่าใช้จ่ายทางคุณภาพทราบถึงความ ต้องการและความคาดหวังของลูกค้า โดยการนำเทคนิคและเครื่องมือทางสถิติอย่างเช่น Motorola ได้ใช้จ่ายในการให้ความรู้และอบรมพนักงาน \$170 million แต่สามารถที่จะ

ประหยัดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากค่าใช้จ่ายทางคุณภาพได้ถึง \$2.2 billion ปัจจัยที่นำไปสู่ความสำเร็จ (CSFs) ได้แก่

1. การประกาศเจตนารมณ์และความมุ่งมั่นของผู้บริหารระดับสูง เช่น ในช่วงเริ่มต้นผู้บริหารระดับสูงของ Allied Signal ทำการลดเป้าหมายทางการเงินลงเพื่อช่วยสนับสนุนโครงการในเบื้องต้น รวมถึงผู้บริหารระดับสูงของ GE ต้องทำการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างฝั่งองค์กรและเปลี่ยนทัศนคติของพนักงาน
2. การเปลี่ยนแปลงวัฒนธรรมองค์กรซึ่งเกี่ยวข้องกับพฤติกรรมของพนักงานโดยการ ขจัดความกลัวของพนักงานที่จะช้อนเรนข้อผิดพลาด หรือการต่อต้านการเปลี่ยนแปลง ให้ยอมรับการปรับปรุงพัฒนาด้วยการเพิ่มแรงจูงใจการให้ความรู้
3. การติดต่อสื่อสาร เช่น Sony Electronic ที่ให้ความสำคัญกับการแสดงข้อมูลต่าง ๆ เพื่อให้องค์กรหลีกเลี่ยงและเรียนรู้ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นอย่างทั่วถึงพร้อมกัน
4. การจัดโครงสร้างภายในองค์กร Citibank เน้นการทำงานเป็นทีม การทำงานข้ามสายงานสามารถวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาสำคัญได้ถึง 73%
5. การฝึกอบรม โดยเน้น Belt System เพื่อช่วยทำให้เกิดการทำงานตามหลักการของ Six Sigma ทั่วทั้งองค์กร
6. การเชื่อมโยง Six Sigma สู่กลยุทธ์ทางธุรกิจ เช่น Ford Motor Company ได้เปลี่ยนกลยุทธ์จาก TQM ที่เน้นการแก้ไขปัญหาแต่ไม่พิจารณาค่าใช้จ่าย แต่ Six Sigma มีการวิเคราะห์ถึงต้นทุน กำไร ทำให้สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้ถึง \$200,000 – 250,000
7. การเชื่อมโยง Six Sigma สู่ลูกค้า เพื่อช่วยลดช่องว่างระหว่างความคาดหวังของลูกค้ากับความสามารถของการทำงานที่ทำได้จริง
8. การเชื่อมโยง Six Sigma สู่ผู้ส่งมอบ ควรสร้างความสัมพันธ์อันดีและมีผู้ส่งมอบ น้อยราย เพื่อที่จะลดความแปรปรวนต่าง ๆ
9. การใช้เครื่องมือและเทคนิคต่าง ๆ ตามหลักสถิติ เช่น เครื่องมือคุณภาพ การทดสอบสมมุติฐาน และอื่น ๆ
10. การเลือกโครงการตามความสำคัญ พิจารณาจากการแข่งขันทางธุรกิจการได้ เปรียบทางธุรกิจรอบเวลาของกระบวนการ ผลผลิตโดยรวม เป็นต้น

2.1.3 Stecher (1999)

อ้างใน SIX SIGMA QUALITY กล่าวไว้ใน “How GE Manages It” โดยกล่าวถึงหลักการบริหารธุรกิจของ General Electric (GE) ที่ประสบความสำเร็จโดยใช้ SIX SIGMA QUALITY ดังต่อไปนี้

เริ่มต้นคำถามว่าเราไม่เคยทำสิ่งเหล่านี้ :

1. พยายามผลักดันให้ประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตเกินกว่าขอบเขตที่ได้ตั้งเอาไว้
2. ยอมรับด้วยเหตุและผลกับลูกค้าถึงความถูกต้อง

3. คัดเลือกชิ้นส่วนที่ได้มาตรฐาน
4. มีของเสียมากมาย มีงานที่ต้องซ่อมแซม และ ชิ้นส่วนที่ต้องการตรวจสอบ
5. ถูกตำหนิในการชำระ หรือผิดพลาดทางบัญชีรายการ หรือการขนส่งไม่ตรงตาม เวลา รวมทั้งผลิตผลิตภัณฑ์น้อยหรือมากเกินไป
6. ประสบปัญหาว่าการทำการลดต้นทุนในการผลิตไม่เคยประสบความสำเร็จ

2.1.4 วีรพจน์ เหล่าโพธิวิหาร (2544)

ทำการศึกษาทฤษฎี ปรัชญา และขั้นตอนในการนำระบบ Six Sigma มาใช้ปรับปรุงผลิตภาพ รวมถึงกำหนดแนวทางการแก้ไขปรับปรุงสำหรับอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ โดยบริษัทซี เกทเทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด นำไปใช้ประกอบด้วยแผนการดำเนินงาน กระบวนการ การจัดโครงสร้างองค์กร การอบรม และเส้นทางของระบบ Six Sigma ซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในด้านต้นทุนที่ประหยัดได้ประมาณ 353,300 เหรียญสหรัฐ ซึ่งถือว่าประหยัด ได้เกินกว่าเป้าที่ตั้งไว้

2.1.5 นवलพรรณ ใจงาม (2543)

ทำการวิจัยเกี่ยวกับการลดของเสียที่เกิดจากการถ่ายเทกระแสไฟฟ้าสถิตย์ ในกระบวนการประกอบหัวอ่านโดยใช้แนวทางซิกซ์ซิกมา โดยหลังจากการดำเนินการปรับปรุงกระบวนการผลิตพบว่าอัตราส่วนข้อบกพร่องจากการถ่ายเทกระแสไฟฟ้าสถิตย์ ลดลงจาก 31,600 DPPM เป็น 7,890 DPPM หรือเมื่อเทียบในระดับ σ สามารถปรับปรุงจากระดับ 3.36 เป็น 3.91 และสามารถลดค่าความเสียหายและได้รับผลประโยชน์ตอบแทนจากการปรับปรุงคุณภาพ 163,999 ดอลลาร์สหรัฐ ภายในระยะเวลาสองไตรมาส

2.1.6 พิศิษฐ์ เจริญกิจวิวัฒน์ (2541)

ทำการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของสายเคเบิลคอมพิวเตอร์ไฟฟ้า เพื่อที่จะบรรลุความต้องการของลูกค้าในโรงงานประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ โดยเน้นการปรับปรุงในด้านกิจกรรม โรงงาน โดยการใช้เทคนิค FMEA มาใช้ในการป้องกัน ลด และกำจัดข้อผิดพลาดที่เคยเกิดขึ้น และข้อผิดพลาดที่มีโอกาสที่จะเกิดขึ้นสำหรับสินค้าในปัจจุบัน เริ่มจากการทำพาเรโต้ คำร้องเรียนจากลูกค้า เพื่อนำมาเป็นเกณฑ์คุณภาพโดยพิจารณาด้านตัวเงินและการเกิดขึ้นของ เกณฑ์คุณภาพ การปรับปรุง แผนการคุ้มครองตัวอย่างได้ถูกนำมาปรับปรุงระหว่างการดำเนินการใช้ FMEA พบว่าคำร้องเรียน ของลูกค้าลดลงถึงร้อยละ 43.76

2.1.7 บุญสม ประเสริฐอัครกุล (2539)

ทำการศึกษหาวิธีการที่เหมาะสม ในการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติของโรงงาน ตัวอย่าง จากการศึกษพบว่าบางจุดงานมีการใช้การควบคุมกระบวนการเชิงสถิติอย่างไม่ถูกต้อง และ ไม่เหมาะสมโดยวัดจากความสามารถของเครื่องจักร และได้ทำการ วัดค่า Cp และวัดความสามารถของกระบวนการผลิต Cpk เพื่อบอกแบบวิธีการควบคุมกระบวนการผลิตเชิงสถิติ ที่เหมาะสม

จากผลการวิจัยได้ปรับปรุงวิธีการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ 2 ลักษณะ คือ การใช้แผนภูมิควบคุมเฉลี่ยและพิสัย การใช้แผนการสุ่มตัวอย่างแบบต่อเนื่อง และได้ประเมินผลลัพธ์จาก ค่า Cp และ Cpk ที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ค่าความเที่ยงตรง เปอร์เซนต์ของเสียของชิ้นงาน ที่เกิดขึ้นและจำนวนการผลิตที่เกิดขึ้น พบว่าปริมาณการผลิต ลดลงก่อนที่มีการปรับปรุง และค่าความเที่ยงตรงในการตรวจสอบของจุดตรวจสอบเพิ่มขึ้น จากก่อนการปรับปรุง

2.1.8 ชาญชัย บวรโชคชัย (2545)

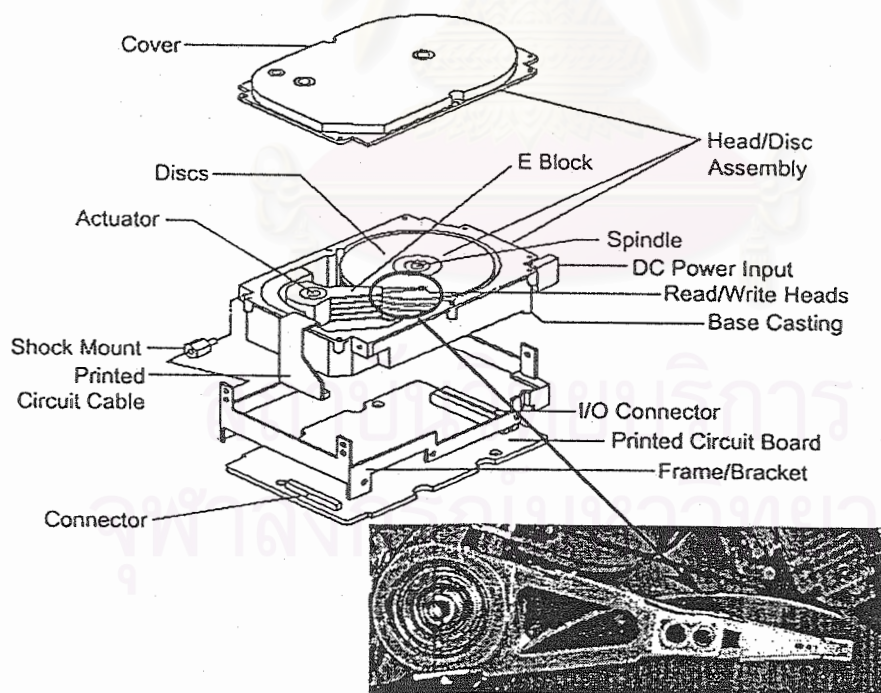
ทำการลดปริมาณของเสียที่เกิดจากค่า Pitch Static Attitude (PSA) ของแขนจับหัวอ่านโดยนำวิธีการปรับปรุงกระบวนการผลิตตามแนวทางซิกซ์ ซิกม่า มาประยุกต์ใช้เพื่อศึกษาหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความแปรปรวนของ PSA และหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยดังกล่าวในการผลิตที่จะทำให้ค่าความแปรปรวนลดลงได้ ซึ่งก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิตมีปริมาณของเสียเท่ากับ 4,456 DPPM จากข้อมูลหลังการปรับปรุงกระบวนการพบว่า มีปริมาณของเสียเกิดขึ้นประมาณ 997 DPPM ซึ่งคิดเป็น 77.63 เปอร์เซนต์ของจำนวนของเสียที่ลดลงได้ก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิต และสามารถที่จะลดความสูญเสียได้เป็นจำนวนเงิน 2,750,580 บาท โดยประมาณการจากการขายที่พยากรณ์ไว้ของบริษัทจากเดือนกรกฎาคม 2545 ถึงเดือนมีนาคม 2546

2.2 การสำรวจทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับฮาร์ดดิสก์

ฮาร์ดดิสก์ เป็นอุปกรณ์สำหรับเก็บข้อมูลต่างๆ ในระบบคอมพิวเตอร์ ซึ่งใช้แผ่นจานโลหะกลมเคลือบด้วยสารเคลือบผิวพิเศษที่ถูกออกแบบให้สามารถที่จะเก็บข้อมูลต่างๆ ในรูปแบบทางแม่เหล็กไฟฟ้าได้

ฮาร์ดดิสก์ส่วนใหญ่จะประกอบด้วยแผ่นจานแม่เหล็กสองแผ่นหรือมากกว่ามาจัดเรียงอยู่บนแกนเดียวกันเรียกว่า "Spindle" ทำให้แผ่นจานแม่เหล็กหมุนไปพร้อมๆ กัน จากการขับเคลื่อนขอมอเตอร์ไฟฟ้าด้วยความเร็วต่างๆ (มีหน่วยรอบต่อนาที เช่น 3600, 5400 และ 7200 รอบต่อนาที) แต่ละหน้าของแผ่นจานแม่เหล็กจะมีหัวอ่านเขียนประจำเฉพาะ โดยหัวอ่าน-เขียนทุกหัวจะเชื่อมติดกันคล้ายหวี สามารถเคลื่อนเข้า ออก ระหว่างแทร็คต่างๆ อย่างรวดเร็ว ซึ่งส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์

รายละเอียดของส่วนประกอบหลักของฮาร์ดดิสก์ มีรายละเอียดดังนี้คือ

- 2.2.1.1 ตัวถังของฮาร์ดดิสก์จะเป็นแผ่นโลหะหุ้มโดยรอบและไม่มีรอยร้าวเพื่อป้องกันฝุ่นผงเข้าภายในฮาร์ดดิสก์ สาเหตุที่ต้องป้องกันฝุ่นผงก็คือ ฝุ่นผงมักจะมีขนาดใหญ่พอที่จะเข้าไปแทรกช่องว่างระหว่างหัวอ่านกับแผ่นจานแม่เหล็กที่ใช้เก็บข้อมูล เมื่อหัวอ่านเคลื่อนที่ก็จะเป็นการลากถู ฝุ่นผงไปบนผิวของจานแม่เหล็ก ทำให้สารแม่เหล็กที่เคลือบผิวเป็นรอยขีดข่วนเสียหายหรือไม่สามารถเก็บข้อมูลได้
- 2.2.1.2 ที่ด้านล่างสุดเป็นแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมการทำงานของหัวอ่านและการหมุนจานแม่เหล็ก เรียกแผงวงจรนี้ว่า “ลอจิกบอร์ด” (Logic board) แล้วแปลงคำสั่งดังกล่าวให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าเพื่อให้หัวอ่านมีสถานะเป็นแม่เหล็กตามจังหวะข้อมูลที่ป้อนให้กับมัน นอกจากนั้นลอจิกบอร์ดยังทำหน้าที่ควบคุมความเร็วในการหมุนจานแม่เหล็กให้คงที่ และบอกให้หัวอ่านเคลื่อนที่ไปมายังบริเวณข้อมูลที่ต้องการเขียน/อ่านอีกด้วย
- 2.2.1.3 แกนหมุนซึ่งประกอบด้วยแผ่นจานโลหะ 4 แผ่น 8 หน้า จะเชื่อมติดกับมอเตอร์ แล้วหมุนด้วยความเร็วหลายพันรอบต่อวินาที จำนวนแผ่นจานแม่เหล็กและหน้าของจานโลหะที่มีการเคลือบสารแม่เหล็กจะเป็นตัวบอกขนาดความจุข้อมูลของฮาร์ดดิสก์
- 2.2.1.4 แกนหัวอ่านซึ่งถูกกระตุ้นการทำงานด้วยกระแสไฟฟ้า จะดึงหรือผลักแขนของหัวอ่านให้วิ่งไปทั่วทั้งแผ่นจานแม่เหล็กด้วยความแม่นยำ โดยการปรับแต่งการหมุนของแกนหัวอ่านจะกระทำอยู่ตลอดเวลา โดยการอ่านตำแหน่งแทร็คที่มีการเขียนเป็นแนววงกลมทั่วไปบนแผ่นจานแม่เหล็ก
- 2.2.1.5 หัวอ่าน/เขียน จะติดอยู่กับแขนและยื่นออกไปบนแผ่นจานแม่เหล็ก เวลาเขียนข้อมูล หัวอ่านจะนำข้อมูลที่มาจากตัวควบคุมดิสก์ (Disk Controller) แปลงเป็นสนามแม่เหล็ก เพื่อเหนี่ยวนำให้สารเคลือบผิวเกิดการเรียงตัวใหม่ให้เป็นไปในทิศทางของข้อมูล ในทางกลับกัน การอ่านข้อมูลหัวอ่านก็จะอ่านผ่านสนามแม่เหล็กที่เกิดจากสารแม่เหล็กที่ผิว แล้วถอดรหัสสนามแม่เหล็กเหล่านั้นให้กลายเป็นข้อมูล

2.2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับซิกซ์ ซิกม่า

ขั้นตอนของแนวทางการวิจัยอาศัยแนวทางของซิกซ์ซิกม่า ดังนี้

2.2.2.1. ขั้นตอนการกำหนดแผนงานในการแก้ไขปัญหา (Define Phase)

- การกำหนดปัญหา (Problem Statement)

ระบุปัญหาที่ต้องการทำการการศึกษาและแก้ไข ซึ่งปัญหานั้น ๆ จะต้องสัมพันธ์ ในส่วนที่มีผลกระทบต่อลูกค้า หรือ ทางด้านคุณภาพ (CTQ's : Critical to Quality)

- **แผนภาพกระบวนการผลิต (Process Map)**
 ส่วนนี้เป็นส่วนที่สำคัญอย่างยิ่งในการที่จะหาสาเหตุของปัญหา ซึ่งการสร้างแผนภาพของกระบวนการผลิต จะต้องทำอย่างละเอียดทุกขั้นตอนในการประกอบผลิตภัณฑ์ เพื่อที่จะสามารถระบุตัวแปรสำคัญในกระบวนการผลิต (Process Input) และผลลัพธ์ในกระบวนการผลิต (Process Output) ขั้นตอนนี้จึงเปรียบเสมือนเป็นการตรวจวิเคราะห์ของกระบวนการผลิต ซึ่งอาจจะทำให้เราทราบถึงสิ่งผิดปกติ หรือทราบสาเหตุที่แท้จริงของความบกพร่องในการผลิต ที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนที่นำไปสู่การวิเคราะห์ปัญหาโดยการทดลอง โดยการตั้งสมมุติฐาน หรือ โดยการใช้ข้อมูลทางด้านสถิติที่มีการเก็บรวบรวมอย่างถูกวิธีการสร้างแผนการไหลของผลิตภัณฑ์จำเป็น อย่างยิ่งในการระบุที่มาของข้อบกพร่องและสิ่งที่ซ่อนในกระบวนการผลิต (Hidden Factory) ซึ่งสิ่งเหล่านี้ส่งผล ให้สูญเสียเวลา เงิน ทรัพยากร และพื้นที่ใน การจัดเก็บ
- **ผลรวมของสัดส่วนของเสีย (Rolled Throughput Yield)**
 ได้มาจากการคำนวณของสัดส่วนของเสียครั้งแรก และไม่รวมสัดส่วนของเสียที่ได้มาจากการซ่อมแซมการคำนวณสัดส่วนของเสีย ก็เพื่อเป็นมาตรฐานในการเปรียบเทียบผลลัพธ์ จากการควบคุมกระบวนการผลิต
- **ผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)**
 (อิโตชิ คูเมะ, ผู้เขียน และ วีระพงษ์ เฉลิมจิระรัตน์, 2536)
 ผังแสดงเหตุและผล คือ ผังที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะทาง คุณภาพกับ ปัจจัยต่าง ๆ (ที่เกี่ยวข้อง) กล่าวคือ คุณลักษณะทางคุณภาพคือผลที่เกิด ขึ้นจากสาเหตุ คือปัจจัยต่าง ๆ ที่เป็นต้นตอของคุณลักษณะอันนั้น
 การสร้างผังแสดงเหตุและผลที่จะเอื้อประโยชน์ต่อการแก้ปัญหาได้จริง ๆ ไม่ใช่เรื่องง่าย ผู้ที่สามารถสร้างผังก้างปลาได้ถูกต้อง คือ ผู้ที่มีโอกาสแก้ปัญหาทางคุณภาพ ได้ถูกต้องเช่นเดียวกัน ข้อสังเกตเกี่ยวกับผังแสดงเหตุและผล จะต้องทำการแยกแยะและ เลือกสรรเพื่อหาปัจจัยอันเป็นสาเหตุ แห่งปัญหานั้นควรใช้การปรึกษาหารือในกลุ่มคนหลาย ๆ ความคิดมาร่วมกันเพราะการละเว้นหรือมอง ข้างปัจจัยบางอย่างไปจะก่อผลเสียภาพ หลังได้ (อาจทำให้การแก้ปัญหาผิดจุดได้) เลือกคุณลักษณะของปัญหาและปัจจัยสาเหตุ ในรูปขนาดหรือปริมาณที่สามารถใส่หน่วยวัดลงไปได้เพราะ ในที่สุดแล้วผลสรุปจากผังก้าง ปลา จะต้องนำไปแก้ไขปรับปรุงตัวแปรต่าง ๆ ในการผลิต การนำผังแสดง เหตุและผลไป ใช้งานจะต้อง ก่อนสรุปปัญหา ควรใส่หน้าหน้าหรือคะแนนให้กับปัจจัยสาเหตุแต่ละตัวเพื่อ ได้ใช้การจัดลำดับ

ความสำคัญของปัญหา ซึ่งแนวทางเสนอแนะนี้จะนำไปฝั่งแสดงเหตุผลที่ได้ไปเชื่อมโยงกับ FMEA

2.2.2.2 ขั้นตอนการวัดเพื่อระบุสาเหตุของปัญหา (Measure Phase)

- การวิเคราะห์ความล้มเหลวในการผลิต (FMEA)

(รศ.ชนากร เกียรติบรรลือ, 2543) กล่าวว่า FMEA คือเทคนิคทางวิศวกรรมที่ใช้ในการกำหนดการป้องกันและการขจัดปัญหา ความล้มเหลวและความผิดพลาดต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้น หรือ เกิดขึ้นมาแล้วในระบบงานของการออกแบบของกระบวนการ และการบริหารก่อนที่จะถึงลูกค้า

ลักษณะสำคัญ 3 ประการของ FMEA

จะต้องมีการแสดงให้เห็นรูปแบบของความล้มเหลว ปัญหา และความผิดพลาด ต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นหรือเกิดขึ้นแล้วจากระบบงานการออกแบบการผลิต และการบริการอย่างชัดเจน และมีการประเมินผลจะต้องมีการป้องกันการกระทำสำหรับการลด หรือ ขจัดโอกาสของความล้มเหลวปัญหาและความผิดพลาดนั้น ๆ ที่จะเกิดขึ้นมาอีก จะต้องมีกระบวนการบันทึกแบบฟอร์ม มาตรฐาน โดยปกตินิยมใช้ FMEA 2 ชนิด คือ Design FMEA สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่มีการนำเอาปัญหาสำคัญ และ ข้อบกพร่องต่าง ๆ จากผู้ใช้หรือลูกค้ามาศึกษาและหาวิธีการปรับปรุงแก้ไข และ อีกชนิดหนึ่งคือ Process FMEA สำหรับการออกแบบและปรับปรุงกระบวนการผลิต ซึ่งมีผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์เพื่อป้องกันไม่ให้มีของเสียและขจัด หรือลดปัญหาจากการผลิตที่จะส่งไปยังกระบวนการผลิตถัดไปและลูกค้า

ประโยชน์ของ FMEA

ช่วยพิจารณาทางเลือกตั้งแต่ขั้นตอนแรกของการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ ซึ่งเพิ่มศักยภาพของการผลิตและความเชื่อถือสร้างความมั่นใจว่ารูปแบบของ ความล้มเหลว ความผิดพลาดและปัญหาต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้ รวมถึงผลกระทบ ที่อาจตามมา ได้รับการพิจารณาอย่างละเอียดถี่ถ้วนมาก่อนแสดงรายการของ ปัญหา หลักต่าง ๆ และระดับความรุนแรงของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหานั้นขึ้นมา ช่วยแสดง บันทึกผลของการปรับปรุง หลังจากมีมาตรฐานการแก้ไขให้ถูกต้องอย่างใดอย่างหนึ่ง ได้ทันทีที่เป็นพื้นฐานสำหรับการกำหนดรายการทดสอบเพิ่มเติมระหว่างการพัฒนาผลิตภัณฑ์และการผลิตช่วยรวบรวมข้อมูลในอดีตสำหรับเป็นเอกสารอ้างอิงในอนาคต โดยนำมาใช้วิเคราะห์รูปแบบของปัญหาหรือความล้มเหลวต่าง ๆ สำหรับการพิจารณาเรื่องความ เปลี่ยนแปลงผลิตภัณฑ์หรือ กระบวนการผลิตทำให้เกิดความมั่นใจได้ว่าการปรับปรุงและพัฒนาต่าง ๆ มีผู้รับผิดชอบ หรือให้วิศวกรประจำ กระบวนการผลิตสร้างระบบการป้องกันปัญหาที่สามารถประเมินผลได้ เมื่อมีการประชุมทบทวนขั้นสุดท้ายของการพัฒนาผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการผลิต

ชนิดของ FMEA และการนำไปใช้งาน Failure Mode and Effect Analysis หรือ FMEA

เป็นวิธีการวิเคราะห์ปัญหาหรือความล้มเหลวอย่างเป็นระบบ มีขั้นตอนสำหรับการค้นหาสาเหตุของความผิดพลาดก่อนที่จะเกิดขึ้นจริงเพื่อเป็นการป้องกันก่อนที่จะเกิดปัญหาร้ายแรงขึ้นมาภายหลังและเป็นการลดความเสี่ยงของการเกิดปัญหา FMEA สามารถ แบ่งตามวิธีการนำไปใช้งาน ได้หลายอย่างคือ

System FMEA สำหรับการออกแบบหรือปรับปรุงระบบการทำงาน การใช้งาน มักจะรวม อยู่ในขั้นตอนของ FMEA ชนิดอื่นได้แก่การสร้างแนวความคิดในการออกแบบ และกำหนดรายละเอียดของระบบงานการออกแบบการพัฒนา การทดสอบ และการประเมินผลระบบ

Design FMEA นิยมใช้สำหรับการวิเคราะห์ผลและการแก้ไขงานที่มีการทดลอง หรือปฏิบัติเป็นครั้งแรกมักจะพิจารณาเกี่ยวข้องกับกลุ่มของการรวมส่วนประกอบต่าง ๆ หรือ ส่วนย่อย ๆ เข้าด้วยกัน และส่วนของผลิตภัณฑ์ว่ามีหน้าที่การใช้งานตาม ที่ออกแบบเหมาะสมแล้วหรือไม่และส่วนใดจะมีปัญหา จะป้องกันหรือลดระดับความเสี่ยงได้มากน้อยแค่ไหน

Process FMEA สำหรับกระบวนการผลิตซึ่งก็มีลักษณะเหมือนกับ Design FMEA มักจะพิจารณาเกี่ยวกับปัจจัยการผลิตที่สำคัญคือ พนักงาน เครื่องจักร วัสดุ วิธีการ การวัด และสภาพแวดล้อมของการผลิต โดยทั่วไปแล้วเครื่องจักรจะเป็นปัจจัย สำคัญที่สุดเมื่อจัดทำ Process FMEA

Service FMEA จะเกี่ยวข้องกับการให้บริการเป็นหลักโดยนิยมให้คนเป็นปัจจัย สำคัญที่สุด เมื่อจัดทำ Service FMEA

Machinery FMEA สำหรับการวิเคราะห์เครื่องจักรอุปกรณ์ หรือเครื่องมือที่ใช้ โดยแบ่งเป็นส่วนประกอบต่าง ๆ เช่น โครงสร้างเครื่องจักร เครื่องมือ ส่วนทำความเย็น ส่วนส่งกำลัง ส่วนหล่อลื่น ชุดเกียร์ ตลับลูกปืน เป็นต้น

งานเอกสารของ FMEA

การวิเคราะห์ปัญหาหรือความล้มเหลวที่เกิดขึ้นโดยวิธีการ FMEA ถือว่าเป็น การวางระบบเตือนภัยล่วงหน้าและเป็นเทคนิคการป้องกันปัญหาชนิดหนึ่ง ซึ่งมีส่วน ช่วยวิศวกรกระบวนการในการศึกษาสาเหตุ และผลกระทบต่าง ๆ ก่อนที่การออกแบบหรือวิธีการกระบวนการผลิต จะสรุปผลขั้นสุดท้ายทุกเรื่อง ทุกด้านที่มีการวิเคราะห์ ร่วมกันจะถูกบันทึกลงแบบฟอร์มมาตรฐานของ FMEA เริ่มต้นจากหน้าที่อย่าง ใดอย่างหนึ่งของกระบวนการผลิตจะถูกนำมาพิจารณาอย่างละเอียดว่ามีชนิด หรือรูปแบบของปัญหาและความล้มเหลวที่อาจเกิดขึ้นหรือเคยเกิดขึ้นมา แล้วมีอะไรบ้าง มีสาเหตุมาจากเรื่องใด และจะมีผลกระทบอย่างไรหลังจากนั้นจะมีการปริมาณ ตัวเลขระดับความเสี่ยงหรือที่เรียกกันว่าค่า RPN ซึ่งมาจากคำว่า Risk Priority Number

ให้กับแต่ละปัญหาการคำนวณค่า RPN ได้มาจากผลคูณพารามิเตอร์ 3 ตัว คือ $O \times S \times D$ เมื่อ

O = Occurrence คือระดับความเสี่ยงของการเกิดปัญหา ความล้มเหลว หรือความผิดพลาด

S = Severity คือระดับความรุนแรงของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหานั้นขึ้น

D = Detection คือระดับความสามารถในการตรวจจับปัญหานั้นก่อนที่จะส่งมอบงาน หรือ ผลิตภัณฑ์ไปให้ลูกค้า

ค่า O, S และ D นิยมใช้เป็นตัวเลขจำนวนเต็ม มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 10 ดังนั้นค่าระดับความเสี่ยงต่ำสุดของการเกิดปัญหา คือ ค่า $RPN = 1$ ซึ่งมาจาก $1 \times 1 \times 1$ หมายความว่า ความถี่ของการเกิดปัญหานั้นมีน้อยมาก และ ความรุนแรงของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหานั้นมีน้อยมากเช่นกัน และสามารถตรวจจับปัญหานั้นได้ก่อนส่งมอบให้แก่ลูกค้าอย่างสมบูรณ์ ส่วนค่าระดับความเสี่ยงสูงสุดของปัญหา คือ ค่า $RPN = 1000$ ซึ่งมาจาก $10 \times 10 \times 10$ หมายความว่า ความถี่ของการเกิดปัญหานั้นมีมาก เช่น พบทุกวัน และระดับความรุนแรงของผลกระทบ เมื่อเกิดปัญหานั้นก็มีมาก เช่น กระบวนการผลิตต้องหยุดทั้งหมด หรือลูกค้าต้องยกเลิกสัญญาสั่งซื้อ เป็นต้น และยังไม่มีการตรวจจับปัญหานั้นก่อนส่งมอบ ให้แก่ลูกค้าเลย

- การวิเคราะห์ความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัด

ในระบบการวัดมีความสำคัญมาก การวัดเป็นเสมือนกลไกในการควบคุม ผลิตภัณฑ์ และเป็นการควบคุมกระบวนการ เพื่อเป็นการประกันคุณภาพสู่ลูกค้า กระบวนการวัดมีองค์ประกอบหลัก ๆ คือ เครื่องมือวัด พนักงานวัด ซึ่งมีสาเหตุมาจาก ทักษะ ความชำนาญ และระดับการฝึกฝน วิธีการวัดชิ้นงานที่วัดสิ่งแวดล้อมในการวัดซึ่งมีสาเหตุมาจากอุณหภูมิ ความชื้นและธรรมชาติ เนื่อง จากแต่ละองค์ประกอบ มีความไม่เท่ากันจึงเกิดความผันแปรในระบบการวัด

การวิเคราะห์ระบบความแม่นยำของเครื่องมือวัดมีความสำคัญมาก เนื่องจาก การแก้ปัญหา ทางด้านคุณภาพหรือการป้องกันปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพนั้นต้อง มีความมั่นใจในความเสถียรของเครื่องมือวัด ซึ่งการวิเคราะห์ระบบการวัด มีจุดประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของระบบการวัดในกระบวนการผลิต ว่าอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้หรือไม่ โดยการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงสถิติ ของระบบการวัด เพื่อทำการแยกแหล่งความผันแปรออกเป็นชิ้นงาน (Part - to - Part - Variation) พนักงานวัด (Appraiser Variation) ความผันแปรร่วม (Interaction Variation) (ตำรารงค์ ทวีแสงสกุลไทยม 2538) ได้นิยามคำว่า ความแม่นยำ และความเที่ยงตรง ดังนี้

ความแม่นยำ (Precision) คือ ความสามารถในการวัดให้ผลค่าที่ใกล้เคียง กันมาก ค่าไม่กระจัดกระจาย และจะให้ความแม่นยำไม่เปลี่ยนค่ามาก ไม่มีการปรับวิธี การ หรือปรับ เครื่องมือวัด

ความเที่ยงตรง (Accuracy) คือ ความสามารถในการวัดที่ให้ค่าใกล้เคียง ความจริงมาก ผลต่างของค่าจริงและค่าวัดโดยเฉลี่ยน้อยมาก (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2542)

การวิเคราะห์ความแม่นยำ มุ่งพิจารณา 2 ประเด็นหลัก คือ

คุณสมบัติเชิงสถิติของค่าวัดมีความไวต่อเทคนิคของพนักงานวัด หรืออุปกรณ์ การวัดหรือไม่ และระบบการวัดที่พิจารณามีความสามารถในการตรวจจับความ ผันแปรของผลิตภัณฑ์ ที่แสดงความผันแปรของกระบวนการผลิตหรือไม่

คุณสมบัติด้านความแม่นยำนี้ ถ้าหากมีการจำแนกตามช่วงเวลาที่ เกิดขึ้นแล้ว จะได้รับการ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ความสามารถในการทำซ้ำ หรือ รีพีทะบิลิตี้ (Repeatability)และความสามารถในการทำเหมือนหรือรีโพรดูซิบิลิตี้

(Reproducibility)

โดยที่รีพีทะบิลิตี้ของระบบการวัด หมายถึง ค่าความแตกต่างในการวัดอย่างต่อเนื่องกับชิ้นงานเดียวกันด้วยเครื่องมือเดียวกันและด้วยพนักงานคนเดียวกัน ซึ่ง โดย ปกติจะใช้ค่า รีพีทะบิลิตี้ในการประมาณค่า ความผันแปรของระบบการวัดใน ระยะ สั้น (Short-Term Measurement)

ส่วนรีโพรดูซิบิลิตี้ของระบบการวัด หมายถึง ค่าความแตกต่างในค่า เฉลี่ยของการวัดงานชิ้นเดียวกันด้วยเครื่องมือเดียวกัน แต่ต่างพนักงานกัน และโดย ปกติจะใช้ค่า โพรดูซิบิลิตี้ในการประมาณค่าความผันแปรของระบบการวัดใน ระยะยาว (Long-Term Measurement) นอกจากนี้อาจจะกล่าวอย่างสั้น ๆ ได้ว่า รีพีทะบิลิตี้ คือ ความผัน แปรภายในเงื่อนไขการวัดด้วยกันในขณะที่ รีโพรดูซิบิลิตี้ คือ ความผัน แปร ระหว่างเงื่อนไขของการวัด โดยเงื่อนไขที่กล่าวนี้ อาจจะหมายถึง พนักงานวัด กะวาน อุปกรณ์จับยึด (จิ๊กและฟิกซ์เจอร์) และเงื่อนไขของสภาพแวดล้อม เป็นต้น

ในการประเมินผลค่ารีพีทะบิลิตี้ และรีโพรดูซิบิลิตี้ของระบบการวัด (GR&R Gage Repeatability and Reproducibility) จะหมายถึง การประเมินผลค่าผันแปร อันเนื่องมาจากการวัดค่าจริงของงานหนึ่งแบบซ้ำ ๆ ภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน แล้วมีการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขเดียวกัน การวางแผนศึกษารีพีทะบิลิตี้และ รีโพรดูซิบิลิตี้ ของระบบการวัดวิธีการ และเวลาที่จะมีการสอบเทียบเครื่องวัด การสอบเทียบ เครื่องมือวัดถือเป็นการดำเนินการที่มีความสำคัญมากต่อการ พิจารณาถึงความ คลาดเคลื่อนด้านความถูกต้องในระบบการวัด โดยปกติแล้ว จะต้องมีการสอบเทียบ ก่อนการศึกษารีพีทะบิลิตี้ และ รีโพรดูซิบิลิตี้ จะเริ่มต้นขึ้น และไม่ควรจะมีการ สอบเทียบใหม่ถ้าหากการศึกษา ยังไม่สิ้นสุด เพราะถ้าหากมีการสอบเทียบใหม่ใน ระหว่างการศึกษาจะทำให้เกิดความ ผันแปรจากการสอบ เทียบรวมอยู่กับค่ารีพีทะ บิลิตี้ของระบบการวัดด้วย

จำนวนพนักงานวัดที่ใช้สำหรับการศึกษา GR & R ในการกำหนดจำนวน พนักงาน วัดที่เหมาะสมสำหรับการศึกษานั้น มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้อง พิจารณาก่อนว่า ในระบบการผลิตมีพนักงานวัด (คือ ผู้ใช้เครื่องมือในการกำหนดค่าตัวเลขกับชิ้นงาน เพื่อการตัดสินใจ) ในกรณีที่ระบบการวัดมีพนักงานวัดจำนวน หลายคน ให้ทำการสุ่ม พนักงานวัดมาทำการศึกษา อย่างน้อย 2 คน โดยพนักงานวัดทุกคน ต้องผ่านการ ฝึกอบรม และปฏิบัติงานเกี่ยวกับงาน วัดในอุปกรณ์วัดที่ทำการศึกษ สำหรับงาน ประจำ

จำนวนสิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา GR & R จำนวนสิ่งตัวอย่างที่จะใช้ ในการ ศึกษา นั้นโดยปกติจะแนะนำไว้ที่ 10 สิ่งตัวอย่าง ซึ่งถ้าหากไม่สามารถดำเนินการได้ จะต้อง พยายามให้ (จำนวนของสิ่งตัวอย่าง) \times (จำนวนของพนักงานวัด) มากกว่า 15 และ ถ้าหากไม่สามารถดำเนินการได้ให้เพิ่มจำนวนซ้ำของการวัดในแต่ละสิ่งตัว อย่าง และสิ่งตัวอย่างที่จะใช้ในการวัดนี้ต้องเป็นสิ่งตัวอย่างที่มีความแตกต่างกันี่สำคัญ และในกรณีที่จะทำให้ระบบการวัดมีคุณภาพด้านความผันแปรเพียงพอต่อ การ ตรวจจับความผันแปรของชิ้นงานในกระบวนการแล้ว จะต้องทำให้ข้อมูลแบ่ง แยกได้ ไม่ต่ำกว่า 5 กลุ่ม (ชั้น)

จำนวนครั้งในการวัดซ้ำสำหรับสิ่งตัวอย่างแต่ละชั้น โดยปกติแล้วมักจะแนะนำ ให้ทำ การวัดซ้ำที่แต่ละสิ่งตัวอย่างด้วยจำนวนซ้ำเท่า ๆ กัน (เรียกรวมแบบนี้ว่า Balance Design) ซึ่งโดยทั่วไปจะกำหนดให้มีการวัด ซ้ำสำหรับพนักงานวัดแต่ละคน ด้วยจำนวน 2-3 ครั้งต่อชิ้นงานแต่ละชั้น

วิธีการลดความผันแปรภายในสิ่งตัวอย่างของการศึกษา GR & R ในการศึกษา GR & R บางกรณีนั้นจะไม่สามารถกำจัดความผันแปรภายในสิ่งตัวอย่างออกจากการวัด ซ้ำ (หรือการประเมินรีพีทะบิลิตี้ได้) จึงต้องมีความพยายามเลือกงานใน ล็อตให้มีความใกล้เคียงกันให้มากที่สุด

วิธีการประเมินผลรีพีทะบิลิตี้และรีโพรดิวซิบิลิตี้ มีทั้งหมด 3 วิธี แต่ในที่นี้จะ ไม่ขอ อธิบาย

วิธีอาศัยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

วิธีอาศัยค่าพิสัย (Range Method)

วิธีอาศัยค่าเฉลี่ยและพิสัย (Average and Range Method)

วิธีอาศัยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) วิธีนี้เหมาะกับการวิเคราะห์ผล การศึกษาที่ได้มาจากการออกแบบการทดลองเพื่อพิจารณาว่าพนักงาน และชิ้นงาน เป็นสาเหตุ ความผันแปรอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ และวิธีการนี้จะสามารถแยก ความ ผัน แปรจากสาเหตุร่วมระหว่างชิ้นงานและพนักงานวัดออกจากค่า รีพีทะบิลิตี้ได้ แต่ อย่างไรก็ดี วิธีการนี้มีข้อเสียตรงที่ยุ่งยากในการคำนวณ แต่ส่วนใหญ่วิธีการนี้จะ ใช้กับ กรณีการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการช่วยคำนวณ

ในการตีความหมายผลการวิเคราะห์จากตาราง ANOVA จะต้องเริ่มจากการวิเคราะห์ความมีนัยสำคัญของอิทธิพลร่วม (interaction effect) ระหว่างพนักงานและชิ้นงานก่อน เสมอซึ่งถ้าพบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานและชิ้นงานมีนัยสำคัญ แสดงว่าเมื่อเปลี่ยนชิ้นงานให้พนักงานคนเดิมทำการวัดแล้ว ผลการวัดจะเปลี่ยนไป ซึ่งจะพบว่าอิทธิพลร่วมมีผลมาก และในกรณีที่อิทธิพลร่วมมีนัยสำคัญนี้ก็ไม่มีความจำเป็นต้องตีความหมายจากอิทธิพลหลัก (main effect) ของพนักงานวัดหรือชิ้นงานอีก เพราะว่าแม้อิทธิพลหลักของพนักงาน วัดจะดูเหมือนมีผลอย่างไรก็ตามไม่มีนัยสำคัญ แต่แท้จริงแล้วมีอิทธิพลมาก

2.2.2.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์เพื่อระบุสาเหตุของปัญหา (Analysis Phase)

- สถิติและการควบคุมคุณภาพ (เจริญ สุนทรวาณิชย์ 2539) ได้ให้คำนิยามคำว่า สถิติไว้ดังนี้ สถิติ คือ ศาสตร์แขนงหนึ่งที่ใช้ตัดสินในเหตุการณ์ภายใต้ความผันแปร โดยการตัดสินใจ ประกอบด้วย การรวบรวมการวิเคราะห์ตลอดจนการสรุปผลเพื่อดำเนินการจากข้อมูล
- การตั้งสมมุติฐานในการ ตรวจสอบ (Hypothesis Testing) จากที่กล่าวมาแล้วในลำดับขั้นตอนการออกแบบการทดลองว่า ในการวิเคราะห์ ผลการทดลอง โดยใช้วิธีทางสถิตินั้นจะมีความเสี่ยงเข้ามาเกี่ยวข้องอยู่เสมอ ดังนั้นการตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลจึงต้องอยู่ ภายใต้ความเสี่ยงดังกล่าว การตั้งสมมุติฐานในการตรวจสอบ จะตั้งสมมุติฐานใน 2 ทางเลือก คือ
 H_0 : ระดับของปัจจัยไม่มีผลต่อกระบวนการผลิต
 H_1 : ระดับของปัจจัยมีผลต่อกระบวนการผลิต
 ทั้งนี้ภายใต้ความเสี่ยง 2 ตัวคือ α และ β
 α หมายถึง ความเสี่ยงในการไม่ยอมรับสมมุติฐานหลัก (Null Hypothesis) ทั้งที่สมมุติฐานหลักเป็นจริงหมายถึง ความเสี่ยงในการยอมรับสมมุติฐานหลัก ทั้งที่สมมุติฐานหลักไม่เป็นจริงจากความเสี่ยงของทั้ง 2 แบบนี้เอง จึงต้องมีการกำหนดจำนวนซ้ำที่ใช้ในการทดลองเพื่อให้มีความเชื่อมั่น หรือมีความเสี่ยงตามที่กำหนดไว้ และในการทำการวิเคราะห์ก็มักจะให้ค่าของ α คงที่และให้ค่า β น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้

2.2.2.4 ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase)

- การออกแบบการทดลอง (Design of experiments) การออกแบบการทดลองเพื่อตรวจสอบว่าปัจจัย (Factor) ใดหรือตัวแปร (Input Variable) ใดที่มีผลต่อสิ่งที่ให้ความสำคัญ (หรือความสนใจ) ในผลิตภัณฑ์ที่ออกมา (Output Response) ปัจจัย (Factor) ในการผลิตสามารถแบ่งได้เป็น

ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่สามารถ กำหนดค่าของ ปัจจัยนั้นได้ในการผลิต

การออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์ได้ว่า ปัจจัยใดมีผลต่อผลิตภัณฑ์หรือ ไม่ต้อง ทำการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยอย่างน้อย 2 ระดับ แล้วทำการทดลอง จากนั้น จึงวิเคราะห์ผลการทดลอง

วัตถุประสงค์ของการออกแบบการทดลอง

เพื่อยืนยันข้อเท็จจริง (Confirmation) คือ การพิสูจน์ถึงข้อเท็จจริง หรือ ความเชื่อ จาก ประสบการณ์ หรือทฤษฎีบางอย่างที่อธิบายเกี่ยวกับกระบวนการผลิต

เพื่อค้นหาข้อเท็จจริง (Exploration) คือ การศึกษาถึง อิทธิพลของเงื่อนไข ใหม่ที่มี ผล ต่อกระบวนการ

คำจำกัดความ (Definition)

อิทธิพลหรือผล (Effect) หมายถึง ผลของตัวแปรต้นที่มีต่อตัวแปรตาม

ปัจจัย (Factor) หมายถึง สิ่ง que คิดว่ามีอิทธิพลต่อผลการทดลองของ คุณสมบัติในตัว ผลิตภัณฑ์

ระดับของปัจจัย (Level of Factor) หมายถึง ปัจจัยที่ก่อให้เกิดผลกระทบเล็ก ๆ น้อย ๆ และไม่สามารถควบคุมได้

หลักในการออกแบบการทดลอง

การทำแบบสุ่ม (Randomization) คือ การให้โอกาสในการเก็บข้อมูลของข้อมูล แต่ละ ตัวเท่า ๆ กันเพื่อกระจายผลของปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ให้กับทุกระดับที่ศึกษาให้ เท่า ๆ กัน การทำแบบ สุ่มยังสามารถ แบ่งออกได้อีกเป็น 3 วิธี คือ

การทำแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomization)

การทำแบบสุ่มอย่างง่าย (Simple Randomization)

การทำแบบสุ่มแบบสมบูรณ์ภายในบล็อก (Complete Randomization within Blocks)

การทำซ้ำ (Replication) คือ การทำการทดลองซ้ำในแต่ละข้อมูล เพื่อกำจัดเอาผล ของ ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ ออก

การบล็อก (Blocking) คือ การจัดกลุ่มทำการเก็บข้อมูลเป็นช่วง เพื่อลดผลจาก ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ แต่ไม่จำเป็นที่จะต้องมีการทำเสมอไป

ลำดับขั้นการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง

การนิยามปัญหาเป็นการระบุว่า ความต้องการในการผลิตคืออะไร และต้องการรู้อะไร บ้างในการผลิต ซึ่งการนิยามปัญหานี้ จะเกี่ยวข้องไปถึงวัตถุประสงค์ของการทดลอง การเลือกปัจจัยที่มีผล และ ระดับปัจจัยเป็นการใช้หลักการทางทฤษฎีและ

ประสบการณ์ที่เคยปฏิบัติ มาในการผลิต เพื่อระบุว่า มีปัจจัยใดบ้างที่น่าจะมีผลต่อการทดลอง และในแต่ละปัจจัยนั้น ควรจะมีช่วงในการทดลองอย่างไรเพื่อระบุระดับของปัจจัยในการทดลอง สุดท้ายคือ ระบุว่า ระดับที่ใช้เป็นแบบกำหนด (Fixed Levels) แบบสุ่ม (Random Levels) หรือแบบผสม (Mixed Levels)

แบบกำหนด (Fixed Levels) หมายถึง ระดับของปัจจัยที่สามารถควบคุมหรือกำหนดค่าได้แน่นอน

แบบสุ่ม (Random Level) หมายถึง ระดับของปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุม หรือกำหนดค่าของปัจจัยได้แน่นอน

แบบผสม (Mixed Levels) หมายถึง การผสมผสานระดับของปัจจัยที่เป็นทั้งแบบกำหนดได้และแบบสุ่ม

การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Response Variables) ในการเลือกตัวแปรตอบสนอง ผู้ทำการทดลองจะต้องเลือกตัวแปรที่สามารถให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการศึกษา และการวัดค่านั้นจะต้องแม่นยำ รวมทั้งความถูกต้องของเครื่องด้วย

การเลือกแบบทดลอง จะต้องพิจารณาถึงจำนวนข้อมูลที่ทำซ้ำในการทดลอง ความเหมาะสม ข้อจำกัดในการสุ่ม (Randomization) และการบล็อก (Blocking) ที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้ต้องนำมา เกี่ยวโยงกันในด้านความเสี่ยงและต้นทุนที่ใช้ในการทดลอง สำหรับการเลือกปัจจัยการทำการทดลอง ในขณะที่ทำการทดลองจะต้องปฏิบัติตามหลักการที่ได้ออกแบบไว้ นั่นคือ ต้องมีการสุ่ม การทำซ้ำ ข้อควรระวังในขณะที่ทำการทดลอง คือ ความถูกต้องของ เครื่องมือวัด และความสม่ำเสมอในการทดลอง เพื่อให้ความผิดพลาด (Error) ที่ออกมา มีน้อย ที่สุด การวิเคราะห์ข้อมูล จะใช้ความรู้ทาง สถิติมาวิเคราะห์และสรุปผล รวมทั้งตัดสินความถูกต้องของข้อมูลที่เกิดขึ้น ก่อนที่จะตีความข้อมูล วิธีทางสถิติไม่สามารถบอกได้ว่าปัจจัยใดมีผล (Effect) เท่าใดได้แน่นอน แต่เป็นเพียงเครื่องมือที่ให้แนวทางในการวิเคราะห์ข้อมูล แล้วจะต้องสรุปผลของการวิเคราะห์ซึ่งอาจแสดงในรูปกราฟ ตาราง แผนภูมิ อื่นๆ

การเลือกแบบการทดลอง

แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomize Design)

ใช้กับการทดลองปัจจัยเดี่ยว (Single Factor Experiment) ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้มีขนาดไม่โตนักและไม่มีปัจจัยรบกวนการทดลองจะทำโดยยึดหลักการทำแบบสุ่ม (Randomization) และการทำซ้ำ (Replication)

ขั้นตอนในการทำการทดลอง

- กำหนดตัวแปรตอบสนอง (Response variable) และปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable factor) ที่สนใจ
- ทำการทดลองโดยสุ่มแบบสมบูรณ์ (Complete random) ในการวัดค่า

- วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน

แผนการทดลองแบบบล็อกสุ่ม (Randomize Block Design)

ใช้กับการทดลองปัจจัยเดียวและมีปัจจัยรบกวน (Noise factor) หลักการของแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่ม คือต้องทำการสุ่ม (Randomization) ทุกครั้งต้องทำซ้ำ ทุกการทดลองทำ การบล็อก (Blocking) เพื่อลดปัจจัยรบกวน การบล็อก (Blocking) อาจจะทำมากกว่า 1 บล็อกก็ได้ ซึ่งขึ้นกับจำนวนของปัจจัยรบกวน

ขั้นตอนในการทำการทดลอง

- ออกแบบและวางแผนการทดลอง
- เก็บข้อมูล
- วิเคราะห์ผลการทดลอง โดยใช้ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA Table) ซึ่งจะ ต้องมีผลของบล็อก (Block Effect) ด้วย

แผนการทดลองแบบแฟคโทเรียล (Factorial Design)

ใช้กับการทดลองที่มีปัจจัยตั้งแต่ 2 ปัจจัย ซึ่งเป็นการทดลองที่มีหลายปัจจัย (Multiple Factor Experiment) และเนื่องจากปัจจัย (Factor) มากกว่า 1 ปัจจัย ดังนั้นนอกจากจะเกิด อิทธิพลของปัจจัย (Main Effect) ที่สนใจแล้ว ยังอาจเกิด อิทธิพลของปัจจัยร่วม (Interaction Effect) ได้ด้วย

อิทธิพลของปัจจัยร่วม (Interaction Effect) คือ ผลที่เกิดขึ้นจากการที่ปัจจัยหนึ่งเปลี่ยนแปลงไปแล้ว มีผลทำให้อิทธิพล (Effect) ของอีกปัจจัยหนึ่งเปลี่ยนแปลงไปด้วย ดังตัวอย่างการเกิดอิทธิพลของปัจจัยร่วม หรือปฏิสัมพันธ์ ซึ่งเมื่อไม่มีอิทธิพลของปัจจัยร่วม แสดงดัง (1) และเมื่อมีอิทธิพลของปัจจัยร่วมแสดงดัง (2) โดย A และ B คือปัจจัย 2 ปัจจัย

เหตุที่ใช้เนื่องจากการออกแบบ 2^k แฟคโทเรียล นั้นเหมาะสมกับรูปแบบ (Model) ที่มีความเป็น เส้นตรง (Linearity) จึงจะมีความถูกต้องในการตีความข้อมูลได้อย่างถูกต้อง ดังนั้น หากว่าอิทธิพลของปัจจัยต่อตัวแปรตอบสนองมีความเป็นเส้นตรง (linearity) ไม่ดีแล้วจะหันมาใช้ แบบ 3^k แฟคโทเรียลแทน จะเหมาะสมกว่า

แผนการทดลองแบบแฟร็กชันนอลแฟคโทเรียล (Fractional Factorial Design) เป็นการประยุกต์ จากการออกแบบการทดลองแบบแฟคโทเรียล (Factorial Design) โดยการออกแบบ การทดลองแบบแฟคโทเรียลจะใช้กับการทดลองหลายปัจจัยที่มีปัจจัยเป็นจำนวนมาก จึงต้องทำ การตัดปัจจัยบางตัวออก โดย อาศัยหลักการคอนฟาวด์ (Confound)

การคอนฟาวด์ (Confound) แนวเทคนิคที่ใช้ช่วยในการออกแบบ ทำให้ขนาดของบล็อกเล็กลงจากเดิม ซึ่งในการออกแบบนี้จะเกิดผลทำให้สารสนเทศเกี่ยวกับอิทธิพลของทรีตเมนต์ (Treatment effect) รวมปะปนอยู่กับอิทธิพลของบล็อก (Block effect) เสมอ การเลือกอิทธิพลของทรีตเมนต์ที่จะทำการคอนฟาวด์ (Confound effect) จะเลือกจากความรู้ในกระบวนการผลิตเป็นตัวกำหนด โดยเลือกทรีตเมนต์ที่คาดว่าจะมีผลน้อย ต่อตัวผลิตภัณฑ์

การประมาณการทดสอบเอฟ (Approximate F-Test) ในการทดลองแบบแฟคโทเรียล ที่มีปัจจัย 3 ปัจจัยหรือมากกว่า ซึ่งจะเป็นรูปแบบกำหนด รูปแบบอื่นๆ และการออกแบบที่ซับซ้อน บ่อยครั้งพบว่าไม่สามารถที่จะทดสอบทางสถิติได้อย่างถูกต้องในบางอิทธิพลของ ทรีตเมนต์ ซึ่งการแก้ไขหนทางหนึ่งที่เป็นไปได้ คือ การตั้งสมมุติฐานว่าในบางปฏิสัมพันธ์บาง อิทธิพลสามารถที่จะ ละเลยได้

2.2.2.5 ขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิต (Control Phase)

- แผนภูมิควบคุม

(อิโตชิ คูเมะ, ผู้เขียน, วีระพงษ์ เฉลิมจิระวัฒน์, ผู้แปล, 2541) ได้อธิบายความหมาย ของแผนภูมิควบคุม (Control Chart) ดังนี้แผนภูมิควบคุมคือแผนภูมิหรือกราฟที่จัดทำ ขึ้นล่วงหน้า โดยอาศัยข้อมูลจากขอบเขตที่กำหนด (Specification) ที่ระบุคุณสมบัติ ทางคุณภาพข้อใดข้อหนึ่งของชิ้นงานที่ดำเนินการผลิตและจะต้องควบคุม เพื่อใช้เป็นแนวทางในการติดตามผลการผลิตจากกระบวนการผลิตขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่ง โดยการตรวจวัดคุณภาพของชิ้นงาน ซึ่งในการวัดข้อมูลอาจจะอยู่ในลักษณะ 2 แบบ คือ ข้อมูลที่ได้จากการวัด (Variable Data) และข้อมูลที่ได้จากการนับ (Attribute Data) จากนั้นเขียนบันทึกลงในแผนภูมินั้น ๆ ซึ่งโดยเหตุจะมีเส้นควบคุม 3 เส้น ได้แก่ เส้นขอบเขตกลางคือ เส้นที่แสดงขนาดหรือจำนวนที่เป็นข้อกำหนดหรือเป้าหมายในการผลิต เส้นขอบเขตควบคุมบน และเส้นขอบเขตควบคุมล่างเป็นค่าที่อนุญาตให้มีความคลาด เคลื่อนในการผลิตเกิดขึ้นได้ และหากอยู่นขอบเขตนี้ก็ถือว่าผลการผลิตยอมรับได้ แต่หากว่าค่าที่ได้อยู่นอกเหนือขอบเขตควบคุม (ไม่ว่าในทางมากกว่าหรือต่ำกว่า) ถือว่าการ ผลิตในขณะนั้นยอมรับไม่ได้จะต้องมีการ ปรับปรุงแก้ไขจุดบกพร่องโดยทันที

โดยธรรมชาติของกระบวนการผลิต ทั้งหลายย่อมมีความผันแปร (Variation) เกิดขึ้นกับชิ้นงาน หรือผลผลิตได้ โดยความผันแปรบางชนิดเป็นเรื่องปกติและอนุญาต หรือยอมให้เกิดขึ้นได้ในการผลิตโดยไม่ก่อความเสียหายต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ แต่ความผันแปรบางชนิดมีผลกระทบมากและมีผลเสียหายต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เพราะทำให้ขนาดของชิ้นงาน หรือ คุณสมบัติบางประการผิดไปจากมาตรฐานที่กำหนด ดังนั้นกรเข้าใจในสาเหตุแห่งความผันแปร จึงเป็นสิ่งสำคัญ โดยสาเหตุความผันแปรต่างๆ มีผลมาจากสาเหตุสำคัญ 2 ชนิด คือ

สาเหตุที่เป็นปกติวิสัย หรือเป็นธรรมชาติของการผลิต (Chance Cause) เป็น ลักษณะสาเหตุของความผันแปรที่ไม่มีความรุนแรงและไม่มีผลต่อคุณภาพของสินค้าที่ผลิตได้เกิดจากความผันแปรหรือความแตกต่างเล็กๆ น้อยๆ ของวัตถุดิบและปัจจัยการผลิตต่างๆ ซึ่งแน่นอนว่าไม่มีของสองสิ่งๆ ที่เหมือนกันทุกประการวัตถุดิบ 100 ชิ้น ที่มีขนาดตรงกันตามข้อกำหนดทั้ง 100 ชิ้น ก็จะมีขนาดแต่ละชิ้นที่แตกต่างกันออกไป เพียงแต่ความแตกต่างเหล่านั้นอยู่ในพิสัยที่ขอบเขตข้อกำหนดได้อนุญาตเอาไว้แล้วในค่าพิสัยความเผื่อ (tolerance) ของชิ้นงาน

ฉะนั้นความผันแปรในคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากสาเหตุที่เป็นปกติวิสัยของการผลิตจึงเป็นสิ่งที่ยอมรับได้ในการควบคุมคุณภาพด้วยแผนภูมิต้นี้ นั่นคือ กระบวนการผลิตที่เขียนแสดงด้วยแผนภูมิควบคุมแล้วไม่มีจุดใดจุดหนึ่งอยู่นอกเส้นขอบเขตควบคุม (The Process is In Control)

สาเหตุที่ระบุได้หรือสาเหตุที่กำจัดได้ (Assignable Cause) เป็นลักษณะสาเหตุของความผันแปร ที่เกิดจากความผิดพลาด ความผิดปกติ ความชำรุด ความไม่ได้เกณฑ์ ฯลฯ ของปัจจัยการผลิตต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และไม่ใช่เป็นปกติวิสัย หรือธรรมชาติของการผลิตนั้นๆ จำเป็นจะต้องได้รับการกำจัด หรือแก้ไขจึงจะทำให้คุณภาพของงานผลิตกลับเข้าสู่สภาวะปกติอีกครั้งได้

ในแผนภูมิควบคุม เมื่อมีจุด (ซึ่งเขียนจากการเก็บข้อมูลและวัดค่าชิ้นงาน ตัวอย่าง จากการผลิต) ปรากฏว่าอยู่นอกเส้นขอบเขตควบคุมย่อยแสดงได้ว่าเกิดมีสาเหตุที่ระบุได้เกิดขึ้น มาในกระบวนการผลิตนั้นแล้ว และเรียกสภาวะผลิตนั้นว่า กระบวนการผลิตอยู่นอกควบคุม (The process is out of control)

(ดาร์รงค์ ทวีแสงสกุลไทย, 2538) ได้อธิบายว่าแผนภูมิควบคุมคือเป็นวิธีเทคนิค อีกชนิดหนึ่งที่ใช้ควบคุมการผลิตในระหว่างการผลิต เพื่อตรวจสอบว่ากระบวนการผลิตมีจุดใด เปลี่ยนแปลงหรือไม่ หรือการเปลี่ยนแปลงนั้น ๆ ยังอยู่ในพิสัยควบคุมหรือไม่ ปกติจะใช้แผนภูมิ ควบคุมกับระบบการผลิตสภาพปกติ หรือมีการผลิตสม่ำเสมอ จะไม่ใช้กับการผลิตเป็นแบบเลว ๆ หรือผิดปกติโดยเด็ดขาด จุดมุ่งหมายที่ใช้เทคนิคของแผนภูมิควบคุมมีดังนี้

- เพื่อหาเป้าหมาย หรือมาตรฐานของการผลิต
- เพื่อใช้เป็นเครื่องมือตรวจสอบว่า การผลิตอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานหรือไม่
- เพื่อใช้เป็นเครื่องมือเพื่อให้ได้เป้าหมายที่วางแพลนล่วงหน้าไว้แล้ว

การนำแผนภูมิควบคุมมาใช้งาน ก่อนอื่นจำเป็นต้องเข้าใจลักษณะของเส้นควบคุมเสียก่อนคือเส้นควบคุมข้อกำหนด (Specification Limit) หมายถึง ค่าขอบเขตข้อกำหนดของสินค้า หรือชิ้นงานที่โรงงาน หรือรัฐบาลเป็นผู้กำหนดขึ้น ทั้งนี้เส้นควบคุมข้อกำหนด ขึ้นอยู่กับดุลพินิจของผู้ออกแบบว่าต้องการเสี่ยงหรือความปลอดภัย (Safety Factor) ไว้ที่ระดับ เท่าใด

เส้นควบคุมขีดความสามารถ (Process Capability limit) หมายถึง ค่าขอบเขตความสามารถจริงของกระบวนการ โดยทั่วไปคำนวณจากค่าพารามิเตอร์ของประชากร หรือ คำนวณจากกลุ่มตัวอย่างที่จำนวนมาก เส้นควบคุมขีดความสามารถมีขนาดความกว้างเท่ากับ ค่าห่างจากค่าเฉลี่ยของประชากร $\pm 3\sigma$ และกำหนดเส้นขอบเขตควบคุมสำหรับเป็นสัญญาณ เตือนว่าการผลิตเริ่มออกจากการควบคุมหรือยัง กำหนดในช่วงค่าเฉลี่ย $\pm 2\sigma$

การใช้งานแผนภูมิควบคุม การใช้แผนภูมิควบคุมในกระบวนการผลิตควรมีเทคนิคต่อไปนี้อย่างไรที่จะควบคุม ก่อนอื่นก็คือปัญหาอะไรที่จะต้องทำ และเรามีจุดมุ่งหมายอะไร จากการตัดสินใจในปัญหาทำให้ทราบทันทีอย่างชัดเจนว่า ต้องการข้อมูลอะไรพิจารณาการใช้ แผนภูมิ ควบคุมแบบไหน อาจจะเป็นแผนภูมิแบบ X - R, X, pn, p, c หรือ u chart ก็ได้ขึ้นอยู่กับโรงงานและผลิตภัณฑ์แต่ละแห่งทำแผนภูมิควบคุม สำหรับการวิเคราะห์เก็บข้อมูลในช่วงเวลาที่เหมาะสมแล้วใช้ข้อมูลที่ผ่านมามาทำแผนภูมิ ถ้ามีจุดใด ๆ ผิดปกติต้องทำการค้นหาเหตุผลที่ทำให้คุณภาพเปลี่ยนไปทันที แล้วทำการแก้ไขสร้างแผนภูมิควบคุม สำหรับการควบคุมในโรงงาน หากว่าต้นเหตุที่ทำให้คุณภาพเปลี่ยน ขจัดหมดสิ้นแล้วจากในข้อ 3 และกระบวนการผลิตก็คงที่ ให้พิจารณาดูอีกครั้งว่าผลิตภัณฑ์ ได้มาตรฐานตามที่กำหนดไว้หรือไม่ หลังจากนั้นถ้าทุกอย่างเรียบร้อยก็ให้สรุปผล ทั้งหมด เพื่อทำมาตรฐานวิธีการทำงาน (Standardize Working Procedure) หรืออาจจะมี การปรับปรุงให้ดีขึ้น ถ้าจำเป็นต่อเส้นควบคุมของแผนภูมิออกไป จากนั้นพล็อตข้อมูลที่ถูก เก็บได้ในแต่ละวันก่อนไปควบคุมกระบวนการผลิต ถ้าการทำงานของคณงานและวิธีการผลิต เป็นแบบมาตรฐานแล้ว

แผนภูมิควบคุมจะชี้แสดงออกให้เห็นว่าสถานะที่โรงงานอยู่ภายใต้การควบคุมที่ดีหรือไม่ แต่ถ้าปรากฏว่าสิ่งที่ผิดปกติเกิดขึ้น ต้องการค้นหาสาเหตุทันที แล้วแก้ไขให้ถูกต้องเสีย คำนวณเส้นควบคุมใหม่ ถ้าเครื่องจักรหรือมาตรฐานการทำงานเปลี่ยนแปลง เส้นควบคุมต้อง นำมาคำนวณใหม่ ถ้าการควบคุมของกระบวนการผลิตในโรงงานยังดีตลอด ระดับคุณภาพ ที่แสดงบนแผนภูมิจะปรับดีเพิ่มขึ้น ในกรณีเช่นนี้ให้สังเกตแผนภูมิควบคุมเป็นระยะ ในการ คำนวณเส้นควบคุม ให้สังเกตกฎต่อไปนี้

ข้อมูลที่จุดผิดปกติซึ่งค้นพบสาเหตุหรือไม่มีการแก้ไขควรจะรวมเข้าไปในการคำนวณใหม่

ข้อมูลที่จุดผิดปกติ แต่ไม่พบสาเหตุ หรือไม่มีการแก้ไขควรจะรวมเข้าไปในการคำนวณใหม่

วิธีการอ่านแผนภูมิควบคุม

(วีระพงษ์ เฉลิมจิระรัตน์, ผู้แปล, 2537)

สิ่งที่สำคัญที่สุดของการควบคุมคุณภาพโดยใช้แผนภูมิ คือ การอ่านหรือตีความหมาย จากภาพที่ปรากฏบนแผนภูมิ เพื่อโยงเหตุผลไปที่สถานะของกระบวนการผลิตซึ่งได้ผลิตข้อมูลที่เราได้นำมาเขียนเป็นแผนภูมิควบคุมเพราะอาการผิดปกติต่าง ๆ ในกระบวนการผลิตที่จะมี

ผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์จะแสดงออกให้เป็นรูปธรรมที่แผนภูมิควบคุมนี้เอง และเมื่อเราตรวจพบความผิดปกติของ กระบวนการผลิตโดยอ่านจากแผนภูมิควบคุมนี้แล้ว เราได้ไปทำการแก้ไขที่สาเหตุของความผันแปรใด ๆ ในกระบวนการผลิตนั้น เพื่อปรับสภาพะการผลิตรให้กลับสู่สภาวะที่อยู่ในควบคุม (In controlled) ได้ต่อไป

ข้อแนะนำเกี่ยวกับ 6 ลักษณะอาการสำคัญเพื่ออ่านแผนภูมิควบคุมอยู่นอกการ ควบคุม พบได้ชัดเจน คือ มีจุดในแผนภูมิปรากฏอยู่นอกเส้นขอบเขตควบคุม เรียกว่า จุดอยู่ นอกควบคุม (Out of control) อาจอยู่นอกค่าสูงหรือค่าต่ำก็ได้

การรัน (Run)

เมื่อปรากฏติดต่อกันบนซีกใดซีกหนึ่งของเส้นค่ากลาง เราเรียกว่า เกิดรัน ความยาว ของรัน แต่ละชุดนับจากจำนวนจุดในชุดนั้นและรันที่มีความยาวตั้งแต่ 7 จุดขึ้นไป เราตีความได้ ว่า ได้เกิดความผิดปกติขึ้นแล้วในการผลิตช่วงที่เกิดรันนั้น

การเกิดแนวโน้ม

การมีจุดต่อเนื่องกันไปในทิศทางเดียวกันอย่างต่อเนื่องโดยไม่มีการสลับฟันปลาเลย มีผลทำให้เส้นต่อจุดเหล่านั้นคล้าย ๆ เส้นตรงพาดขึ้นหรือพาดลงเช่นนี้เราเรียกว่า มีการเกิดแนวโน้ม (Trend) ขึ้นในแผนภูมิควบคุม แนวโน้มที่ว่าเป็นแนวโน้มที่กำลังบอกเราว่าค่าเฉลี่ยของขนาดควบคุมที่ผลิตได้จากกระบวนการผลิตนั้นกำลังมีปัญหาหรือมีแนวโน้ม จะเคลื่อนไปจากขนาด กำหนดที่ได้ตั้งเอาไว้แต่แรก

การเกิดการเข้าใกล้เส้นขอบเขตควบคุม

หากเราแบ่งระยะ 3 ซิกมา (3σ) จากเส้นค่ากลางออกเป็นเส้น 2σ แล้วพบว่ามีจุด 2 จุด ใน 3 จุดที่ต่อเนื่องกันในแต่ละช่วงได้ตกไปอยู่ในพื้นที่ระหว่างเส้น 2σ กับเส้นขอบเขตควบคุม (3σ) ถือได้ว่าเกิดการเข้าใกล้เส้นขอบเขตควบคุม (Approach to the control limits) และเป็น การบอก ว่า มีความผิดปกติขึ้นในกระบวนการผลิตแล้ว

การเกิดการเข้าใกล้ค่ากลาง

หากพบว่าเส้นกราฟทั้งหมดตกอยู่ในระหว่างเส้น 1.5σ นับจากเส้นค่ากลางขึ้นไป และ ลง มาแล้ว ไม่ได้หมายความว่ากระบวนการผลิตนั้นอยู่ในควบคุม แต่กลับแสดงว่า คงจะมีความ ผิดพลาดเกิดขึ้น ในการกำหนดขนาดของกลุ่มย่อย ข้อมูลอาจมีการปะปนกันของข้อมูล ที่ นำมา จากต่างประชากรกัน และเกิดการปะปนกัน

การเกิดวัฏจักร

มีลักษณะ คือ ค่าในเส้นกราฟจะเปลี่ยนแปลงขึ้น ๆ ลง ๆ มีลักษณะเป็นวงจรรอบ หรือวัฏจักรที่เกือบจะทำนายลักษณะเส้นกราฟในช่วงต่อ ๆ ไปได้ ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า เกิดวัฏจักร (Periodicity)

บทที่ 3

การนิยามปัญหา

3.1 บทนำ

ในขั้นตอนการนิยามปัญหาจะเริ่มตั้งแต่การกำหนดที่ทีมงานทำการระดมความคิดเพื่อวิเคราะห์สภาพของปัญหาในปัจจุบันของกระบวนการผลิต เพื่อเป็นการบ่งชี้ให้เห็นถึงลักษณะของปัญหา นำไปสู่การกำหนดปัญหา ด้วยการวิเคราะห์ช่วงอายุของผลิตภัณฑ์ ปริมาณของเสียเฉลี่ย สัดส่วนของเสียที่เกิดในกระบวนการผลิตชุดหัวอ่านสำเร็จ โดยการกำหนดเทคนิคและ เครื่องมือต่างๆ เพื่อความเหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับขั้นตอนของวิธีการซิกซ์ ซิกมา ซึ่งในขั้นตอนของการนิยามปัญหานี้เป็นขั้นตอนของการนิยามปัญหานี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.2 การกำหนดทีมงานดำเนินงาน

ในการกำหนดทีมงานดำเนินงาน ได้คัดเลือกจากผู้ที่มีความรู้ ความชำนาญในส่วนต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตชุดหัวอ่านสำเร็จ เพื่อช่วยในการสนับสนุนการทดลองและระดมความคิดด้วยเครื่องมือและเทคนิคต่างๆ ที่ใช้ในการดำเนินงานเพื่อให้บรรลุเป้าหมาย ซึ่งทีมงานดำเนินงานประกอบไปด้วยบุคคลที่มาจากส่วนต่างๆ ดังนี้

ทีมงานในการดำเนินงาน

- ผู้จัดการฝ่ายการผลิต (Production Manager)
- ผู้จัดการฝ่ายวิศวกรรม (Engineering Manager)
- ผู้จัดการฝ่ายคุณภาพ (Quality Control Manager)
- วิศวกรฝ่ายควบคุมการผลิต (Process Engineer)
- วิศวกรฝ่ายควบคุมคุณภาพ (Quality Control Engineer)
- วิศวกรฝ่ายควบคุมคุณภาพวัตถุดิบ (Supplier Quality Engineer)
- วิศวกรฝ่ายออกแบบและซ่อมบำรุงเครื่องมือ (Design & Tooling Engineer)

ในทีมงานนี้ผู้วิจัยทำหน้าที่เป็นวิศวกรฝ่ายควบคุมคุณภาพ (Quality Control Engineer)

3.3 การศึกษากระบวนการผลิต

กระบวนการผลิตโดยรวมสามารถอธิบายได้ด้วยแผนภาพอธิบายกระบวนการผลิต ดังแสดงในรูป 3.1

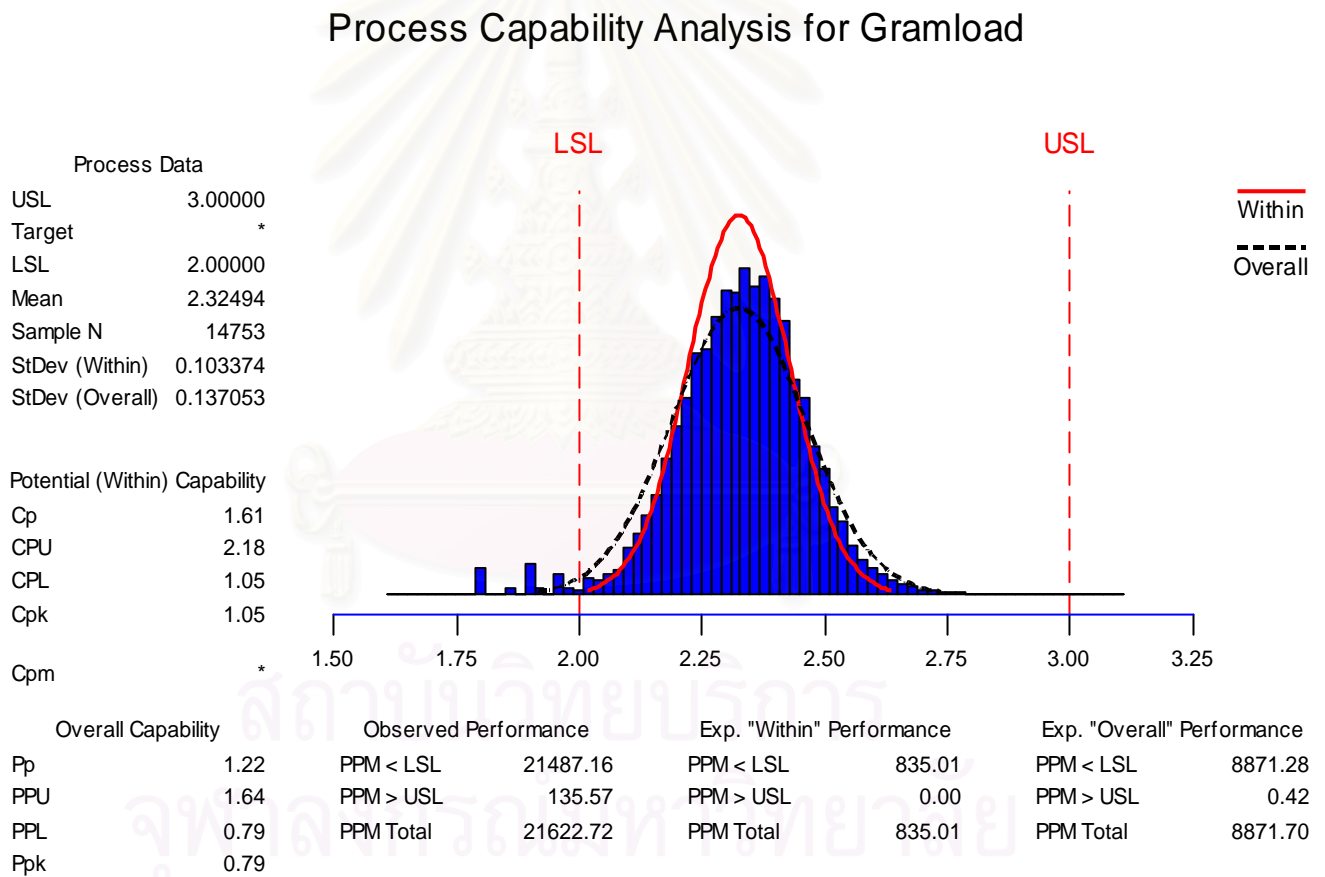


รูปที่ 3.1 แผนภาพกระบวนการผลิตรวม

จากแผนภาพกระบวนการผลิต ในการวิจัยทำการศึกษาระบบ เนื่องจากตัวแปรตอบสนองเป็นผลลัพธ์ที่ได้จากการนำชุดหัวอ่านสำเร็จรูปที่พร้อมจะนำส่งลูกค้ามาทำการวัดค่าของตัวแปรตอบสนอง

3.4 สภาพปัญหาในปัจจุบัน

จากผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการผลิตประกอบชุดหัวอ่านสำเร็จด้วยข้อมูลจากเดือนตุลาคม 2545 ถึงเดือนธันวาคม 2545 ของชุดหัวอ่านสำเร็จรุ่น VL40 ในขั้นตอนการตรวจสอบก่อนส่งมอบให้ลูกค้า พบว่ามีดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการผลิต (Cpk) ได้เท่ากับ 0.79 และสามารถคำนวณจำนวนชิ้นงานที่ไม่ได้ตามข้อกำหนดของลูกค้าเป็นจำนวน 8,872 DPPM ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงความสามารถของกระบวนการ (Process Capability) จากเดือนตุลาคม ถึงธันวาคม 2545

จากข้อมูลข้างต้นมีโอกาสค่อนข้างสูงที่งานที่ไม่ได้คุณภาพจะถูกส่งไปถึงมือลูกค้า ซึ่งเป็นผลเสียต่อบริษัทในระยะยาว ดังนั้นจึงต้องทำการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อที่จะลดของเสียที่

เกิดขึ้นจากค่า Gramload ไม่ได้ตามข้อกำหนดด้านผลิตภัณฑ์ และเนื่องจาก Gramload เป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่มีความสำคัญอย่างต่อเนื่องต่อประสิทธิภาพในการอ่านหรือเขียนข้อมูลฮาร์ดดิสก์ ซึ่งโรงงานกรณีศึกษาจำเป็นต้องควบคุมคุณภาพให้อยู่ในระดับที่ลูกค้าพึงพอใจ

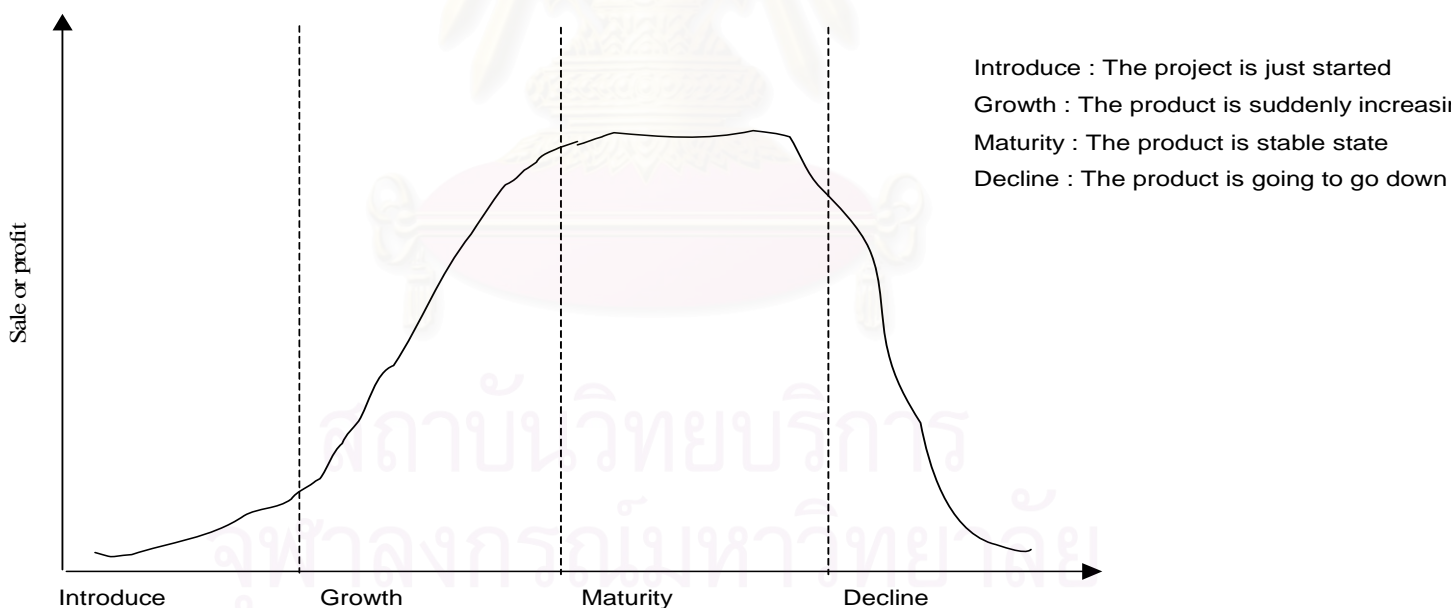
3.5 การกำหนดปัญหา

3.5.1 การวิเคราะห์ที่มาของปัญหา

3.5.1.1. การเลือกผลิตภัณฑ์ที่จะนำมาศึกษา

การเลือกผลิตภัณฑ์ที่จะนำมาศึกษาได้ทำการวิเคราะห์จาก 2 ลักษณะดังนี้

1. ด้านการตลาด พิจารณาจากวัฏจักรของผลิตภัณฑ์ (Product Life Cycle) ดังแสดงในรูปที่ 3.3 และส่วนแบ่งทางการตลาด (Market Sharing) ดังแสดงในตารางที่ 3.1
2. คุณภาพการผลิตของผลิตภัณฑ์ พิจารณาจากของเสียที่เกิดขึ้นในระหว่างการผลิต (Defect)



รูปที่ 3.3 ความต้องการทางการตลาด

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลบางส่วนของผลิตภัณฑ์ในองค์กร

Product	Market Demand	Market Share (%)	Defect Average (%)
VL40 (40G)	Growth	60	2.6%
VL40 (20G)	Growth	15	1.8%
Eclipse (40G)	Maturity	5	1.6%
Eclipse (20G)	Decline	3	2.0%
Maverick	Maturity	15	3.0%
Xbox	Decline	2	1.1%

จากข้อมูลด้านการตลาดและ คุณภาพการผลิตของผลิตภัณฑ์ พบว่าผลิตภัณฑ์ VL40 (40G) อยู่ในช่วงที่ตลาดยังมีความต้องการอีกมาก และส่วนแบ่งทางการตลาดสูงมากเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์อื่นๆ แต่เมื่อเปรียบเทียบ Gramload Defect เฉลี่ย จะเห็นว่าแต่ละผลิตภัณฑ์มีส่วนของเสียใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงเลือก ที่จะพิจารณาหา ทางแก้ไขปรับปรุงผลิตภัณฑ์ VL40 (40G) เป็นอันดับแรก

3.5.1.2 การเลือกตัวแปรที่จะนำมาศึกษา

การเลือกตัวแปรที่จะนำมาศึกษาได้ทำการวิเคราะห์จากตัวแปรทั้งหมดที่ทำให้เกิดของ เสียในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ VL40 (40G) ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2545 ถึงเดือนธันวาคม 2545 ซึ่งประกอบด้วยแปรดังต่อไปนี้

1. Gramload
2. Head Alignment
3. Arm Height
4. Arm Pitch
5. Pull Strength
6. Swage Torque

การคำนวณผลรวมสัดส่วนของเสีย Rolled Throughput Yield (Defect, DPU, DPPM)

จากตารางที่ 3.2 แสดงลักษณะของข้อบกพร่องของตัวแปรต่างๆ ในช่วงเดือนตุลาคม 2545 จนถึงเดือนธันวาคม 2545 โดยการคำนวณจาก Defect (Fail Units)/Input (Total Sampling Units) ของแต่ละเดือน และของทั้ง 3 เดือน เพื่อหาของเสียในหน่วย DPPM และของทั้ง 3 เดือน เพื่อหาของเสียในหน่วย DPPM

ในการหาค่า DPPM ของตัวแปรแต่ละตัว ทำได้โดยการนำจำนวนชุดหัวอ่านสำเร็จทั้งหมดที่ทำ การตรวจสอบ และจำนวนของเสียที่เจอในแต่ละตัวแปร ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2545 ถึงเดือน ธันวาคม 2545 แล้วคำนวณหาค่า DPU ได้จากการนำจำนวนชุดหัวอ่านสำเร็จทั้งหมดที่ทำ การตรวจสอบหารด้วยจำนวนของเสียทั้งหมดที่เจอ ($DPU = \text{Input/Defect}$) แล้วหาค่า DPPM จากการ นำค่า DPU คูณด้วยหนึ่งล้าน ($DPPM = DPU \times 1,000,000$)

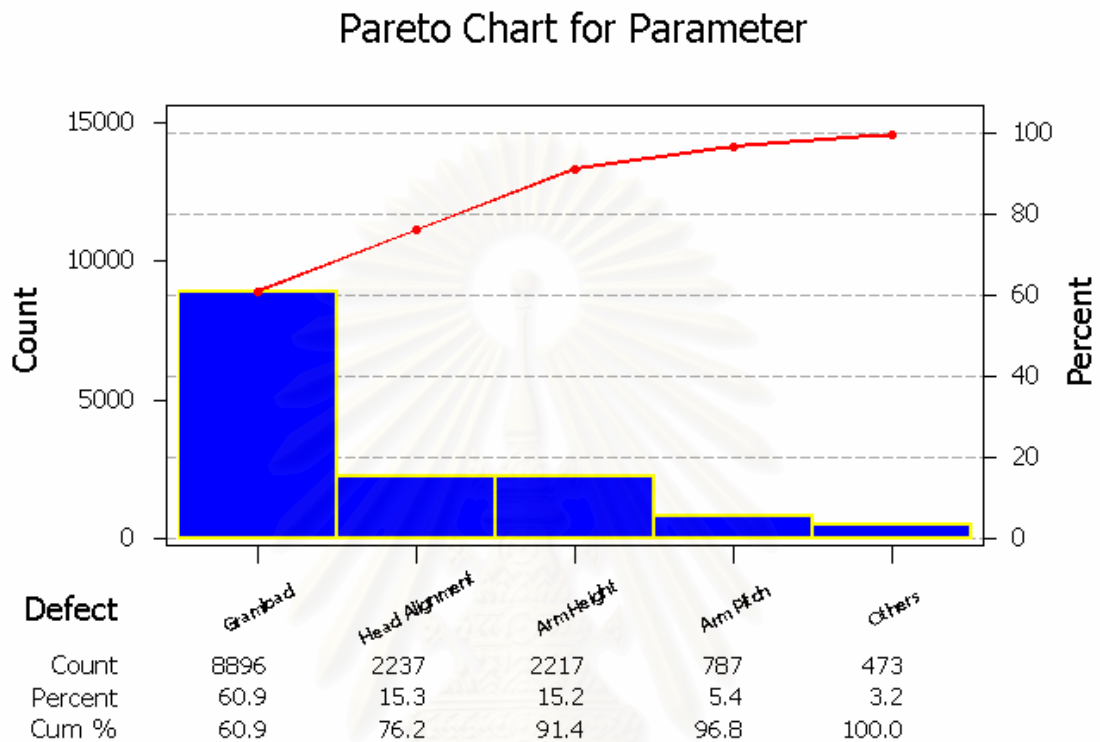


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.2 ค่า Defect, DPU, DPPM

Parameter	Oct				Nov				Dec				Total Defect	Total Units	DPU	DPPM
	Input	Defect	DPU	%Defect	Input	Defect	DPU	%Defect	Input	Defect	DPU	%Defect				
Gramload	5570	54	0.00969	0.96948	4861	42	0.0086	0.8640	3620	29	0.00801	0.80110	125	14051	0.0088962	8896
HA	5671	14	0.00247	0.24687	4708	10	0.0021	0.2124	3480	7	0.00201	0.20115	31	13859	0.0022368	2237
AH	5721	10	0.00175	0.17479	4752	12	0.0025	0.2525	3510	9	0.00256	0.25641	31	13983	0.002217	2217
AP	5721	5	0.00087	0.08740	4752	4	0.0008	0.0842	3510	2	0.00057	0.05698	11	13983	0.0007867	787
Pull	3713	2	0.00054	0.05386	3208	0	0.0000	0.0000	796	0	0.00000	0.00000	2	7717	0.0002592	259
Swage	1225	0	0.00000	0.00000	1069	0	0.0000	0.0000	2389	1	0.00042	0.04186	1	4683	0.0002135	214
Total	27621	85	0.00308	0.30774	23350	68	0.0029	0.2912	17305	48	0.00277	0.27738	201	68276	0.0029439	2944

จากนั้นนำค่า DPPM มาทำ Pareto ดังแสดงในรูปที่ 3.4 เพื่อหาข้อบกพร่องของตัวแปรที่เกิดขึ้นมากที่สุด จากกราฟของค่า DPPM นั้นสอดคล้องกันว่า Gramload มีค่าสัดส่วนของเสียที่มีลำดับความสำคัญสูงสุดจึงเลือกที่จะปรับปรุงกระบวนการนี้



รูปที่ 3.4 ลำดับของ Defect ในหน่วยของ DPPM

3.6 การกำหนดขั้นตอนการดำเนินงานและเครื่องมือที่เลือกใช้

เครื่องมือที่เลือกใช้และตัววัดผลต่างๆ ของขั้นตอนต่างๆ แสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 เครื่องมือที่เลือกใช้และตัววัดผลของขั้นตอนต่างๆ

วงจร (Phase)	เครื่องมือที่เลือกใช้	ตัววัดผล	ประโยชน์ในการดำเนินงาน
การวัดเพื่อ กำหนดหา สาเหตุของ ปัญหา (Measurement Phase)	การวิเคราะห์ ความสามารถของ กระบวนการ (Cpk, Ppk)	ความสามารถของ กระบวนการ (Cpk, Ppk)	เป็นค่าที่สามารถแสดงถึง ความสามารถของกระบวนการ เมื่อเทียบกับข้อกำหนดของ ลูกค้าทำให้ทราบว่า กระบวนการทำงานปัจจุบันมี ความสามารถในการทำงาน

		เป็นเช่นไร
พิจารณาปริมาณของเสียในปัจจุบัน	ค่าผลรวมสัดส่วนของเสีย (DPU, DPPM)	เป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณของเสียหน่วยต่อการผลิตปริมาณ 1 ล้านชิ้น ซึ่งเป็นหน่วยที่ใช้กันเป็นมาตรฐานและสามารถจำแนกเป็นค่าของเสียในแต่ละกระบวนการทำให้ทราบว่าในแต่ละกระบวนการย่อยผลิตของเสียออกมาปริมาณเท่าใด
การศึกษาระบบการวัด (GR&R)	ค่า % P/TV	เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถของระบบการวัดในส่วนของความแม่นยำและเที่ยงตรง เพื่อยืนยันก่อนดำเนินการในขั้นต่อไป
การระดมความคิดเพื่อแจกแจงสาเหตุและผลกระทบของกระบวนการ - ผังก้างปลา (Cause & Effect Diagram) - ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix) - วิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode & Effect Analysis : FMEA)	ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญเบื้องต้น (Key Process Input Variable : KPIV)	<ul style="list-style-type: none"> - ผังก้างปลาจะเป็นแผนภาพในการบ่งชี้สาเหตุต่างๆ ของปัญหาโดยละเอียด ทำให้เห็นภาพรวมของปัญหาทั้งระบบ อีกทั้งครอบคลุมปัจจัยนำเข้าทั้งหมด ซึ่งทำให้เห็นรากเหง้าของปัญหา - ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล เป็นการให้คะแนนแก่ปัจจัยที่เป็นทั้งปัจจัยนำเข้าและผลของกระบวนการว่ามีความสัมพันธ์กันมากน้อยแค่ไหน เพื่อให้สามารถกรองปัจจัยที่ไม่เกี่ยวข้องออกไปได้บางส่วน - วิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ เป็นวิธีการอย่างหนึ่งที่ทำให้เห็นถึงความรุนแรง ความถี่ การตรวจจับได้ของแต่ละปัญหา กล่าวคือช่วยถ่วงกรองปัจจัยนำเข้าหรือ

			สาเหตุของปัญหาที่ได้จากการระดมความคิดของทีมงานที่มีต่อหลักการอย่างสมเหตุสมผล
การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase)	การทดสอบสมมติฐาน (Hypotesis Testing) 2Sample T-Test Test of Variance	P-Value น้อยกว่า 0.05	เพื่อเปรียบเทียบว่าระดับในแต่ละปัจจัยนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ซึ่งเปรียบเทียบทั้งค่าเฉลี่ย และความแปรปรวน ทั้งนี้เพื่อเป็นการคัดเลือกเฉพาะปัจจัยที่มีความแตกต่างกันเท่านั้น
การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improvement Phase)	การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^k	P-Value น้อยกว่า 0.05	เป็นการพิจารณาว่าในแต่ละระดับของทุกๆ ปัจจัยที่มีความสำคัญนั้นส่งผลกระทบต่อโดยตรงหรือมีอันตรกิริยาเกิดขึ้นหรือไม่ เพื่อสามารถคัดเลือกปัจจัยมาทำการกำหนดค่าระดับที่เหมาะสม
	การวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบ (Response Surface)	P-Value น้อยกว่า 0.05	เพื่อหาการกำหนดระดับของปัจจัยที่มีนัยสำคัญอย่างเหมาะสมในกรณีที่รูปแบบสมการของการออกแบบการทดลองนั้นไม่เป็นเส้นตรง
	การทดสอบการยืนยันผล	ความสามารถของกระบวนการ (Cpk, Ppk) ค่าผลรวมสัดส่วนของเสีย (DPU, DPPM)	เพื่อเป็นการยืนยันว่าค่าระดับของปัจจัยที่เหมาะสมนั้นสามารถนำไปดำเนินการผลิตในกระบวนการผลิตจริง
การควบคุมการผลิต (Control Phase)	การควบคุมคุณภาพของกระบวนการโดยอาศัยสถิติ (Statistic Process Control : SPC)	ค่าผลรวมสัดส่วนของเสีย (DPU, DPPM)	เพื่อเป็นการควบคุมให้ปัจจัยต่างๆ อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ และหากเกิดเหตุการณ์ที่ปัจจัยออกนอกเส้นควบคุมก็มีมาตรการในการดำเนินการแก้ไขไม่ให้เกิดของเสียเกิดขึ้น

จากการระดมความคิดของทีมงานดำเนินงานเพื่อทำการกำหนดเพื่อทำการกำหนดเครื่องมือต่าง ๆ ที่จะใช้ในการดำเนินงานในแต่ละขั้นตอนการดำเนินงาน เพื่อให้สามารถดำเนินการได้สอดคล้องตามแผนที่กำหนดไว้ตามวงจรการดำเนินงาน

3.7 สรุปการนิยามปัญหา

จากขั้นตอนการนิยามปัญหาผลลัพธ์ที่ได้ คือ ทีมงานระดมความคิดและดำเนินงานเพื่อลดปริมาณของเสียให้ได้ตามวัตถุประสงค์ที่ได้วางไว้ โดยพิจารณาข้อมูลในอดีต 3 เดือน จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางการตลาด และเปอร์เซ็นต์ของเสียโดยเฉลี่ย ได้ทำการคัดเลือกผลิตภัณฑ์ที่นำมาศึกษาคือ VL40 (40G) และตัวแปรตอบสนองคือผลรวมสัดส่วนของปริมาณของเสียต่อหนึ่งล้านหน่วยการผลิตของ Gramload จากนั้นทำการกำหนดเครื่องมือและตัววัดผลต่าง ๆ เพื่อนำไปใช้ในแต่ละขั้นตอนการดำเนินงาน ซึ่งจะดำเนินการวัดเพื่อ กำหนดสาเหตุของปัญหา จากการนิยามปัญหาในบทต่อไป



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา

4.1 บทนำ

หลังจากขั้นตอนการนิยามปัญหาเพื่อกำหนดแนวทางต่างๆ ในการแก้ไขปัญหาแล้ว ในขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหานี้ จะเป็นขั้นตอนเพื่อศึกษาถึงแหล่งที่มาที่เป็นสาเหตุของปัญหาด้วยการใช้เครื่องมือทางสถิติต่างๆ ช่วยในการศึกษา โดยจะเริ่มจากการศึกษาเกี่ยวกับรายละเอียดของกระบวนการผลิตในทุกๆ ขั้นตอน ขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษา และทำการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดที่ใช้ในกระบวนการผลิต เพื่อที่จะประกันความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการวัดก่อนทำการทดลองเพื่อวิเคราะห์ปัญหา

จากนั้นจะมีการระดมความคิดเห็นจากกลุ่มสมาชิกที่ได้คัดเลือกจากผู้ที่มีความรู้ ความชำนาญ และปฏิบัติงานในกระบวนการผลิตที่พิจารณา จากนั้นก็ทำการคัดเลือกปัจจัยต่างๆ ที่คาดว่าจะมีผลกระทบในลำดับต้นๆ ต่อกระบวนการผลิตดังกล่าวมาทำการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

4.2 การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (GR&R)

ระบบการวัดเป็นเสมือนกลไกในการควบคุมผลิตภัณฑ์และกระบวนการเพื่อเป็นการประกันคุณภาพสู่ลูกค้า กระบวนการวัดมีองค์ประกอบหลักๆ คือ เครื่องมือวัด พนักงานวัด ซึ่งมีสาเหตุมาจากทักษะ ความชำนาญ ระดับการฝึกฝน วิชาการวัด ชั่งงานที่วัด และสิ่งแวดล้อมในการวัด มีสาเหตุมาจากอุณหภูมิ ความชื้น และธรรมชาติ เนื่องจากแต่ละองค์ประกอบมีความไม่เท่ากันจึงเกิดความผันแปรในระบบการวัด

การวิเคราะห์ระบบความแม่นยำของเครื่องมือวัดมีความสำคัญมาก เนื่องจากการแก้ ปัญหาทางด้านคุณภาพหรือการป้องกันปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพนั้นต้องมีความมั่นใจในเรื่องเสถียรภาพของเครื่องมือวัด ซึ่งการวิเคราะห์ระบบการวัดมีจุดประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของระบบการวัดในกระบวนการผลิตว่าอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้หรือไม่ โดยการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงสถิติของระบบการวัดเพื่อทำการแยกแหล่งความผันแปรที่เกิดขึ้นบนชิ้นงาน (Part-to-Part Variation) พนักงานวัด (Apprasier Variation) ความผันแปรร่วม (Interaction Variation)

ในกระบวนการผลิตชุดหัวอ่านสำเร็จ มีระบบการวัดที่เกี่ยวข้องอยู่เพียงระบบเดียว คือ ระบบการวัดค่า Gramload ซึ่งมีเครื่องมือวัดอยู่ทั้งหมด 4 เครื่อง จึงได้ทำการวิเคราะห์ความแม่นยำของเครื่องมือวัดทั้งสี่เครื่อง

4.2.1 การออกแบบการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด

ขั้นตอนของการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดนี้ อ้างอิงมาจากการปฏิบัติจริงของโรงงานตัวอย่างที่ทำกันอยู่ในปัจจุบัน โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. คัดเลือกพนักงานที่มีทักษะและได้รับการฝึกอบรมมากเป็นอย่างดี จำนวนทั้งสิ้น 3 คน
2. คัดเลือกชิ้นงานในกระบวนการผลิตแบบสุ่ม จำนวนทั้งสิ้น 10 ชิ้น
3. ทำการสอบเทียบเครื่องมือวัดให้มั่นใจว่าเครื่องมือวัดมีความถูกต้องโดยอ้างอิงจากการตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องมือวัด
4. ทำการวัดค่าของชิ้นงานจนครบทุกชิ้นและวัดซ้ำอีก 2 ครั้ง ด้วยวิธีการเดียวกัน บันทึกค่าลงในภาคผนวก
5. ป้อนค่าที่บันทึกได้ลงใน MINITAB และหาค่าของ GR&R

4.2.2 การศึกษาความถูกต้องของระบบการวัดค่า Gramload เครื่องที่ 1

4.2.2.1 ผลลัพธ์ในการศึกษา

ผลการวิเคราะห์การประเมินความผันแปรของการวัดเครื่องวัด Gramload เครื่องที่ 1 แสดงดังตารางที่ 4.1 และ รูปที่ 4.1 สำหรับ หัวอ่านล่าง (HD0) และตารางที่ 4.2 และ รูปที่ 4.2 สำหรับ หัวอ่านด้านบน (HD1) กฎของการศึกษาความถูกต้องของระบบการวัด คือค่า Total Gage R&R ต้องน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ โดยอ้างอิงมาจากเกณฑ์ที่ใช้ในโรงงานตัวอย่าง

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์การประเมินความผันแปรของการวัดเครื่องวัด Gramload เครื่องที่ 1 สำหรับ HD0

Gage R&R Study - ANOVA Method

Gage R&R for Gramload Tes

Gage name: Gramload Tester # 1 (HD0)
 Date of study: Jan, 29' 2003
 Reported by: Pattara A
 Tolerance: 1
 Misc:

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part No	9	0.348418	0.0387131	1132.04	0.00000
Opt	2	0.000007	0.0000033	0.10	0.90760
Opt*Part No	18	0.000616	0.0000342	1.03	0.44610
Repeatability	60	0.002000	0.0000333		
Total	89	0.351040			

Two-Way ANOVA Table Without Interaction

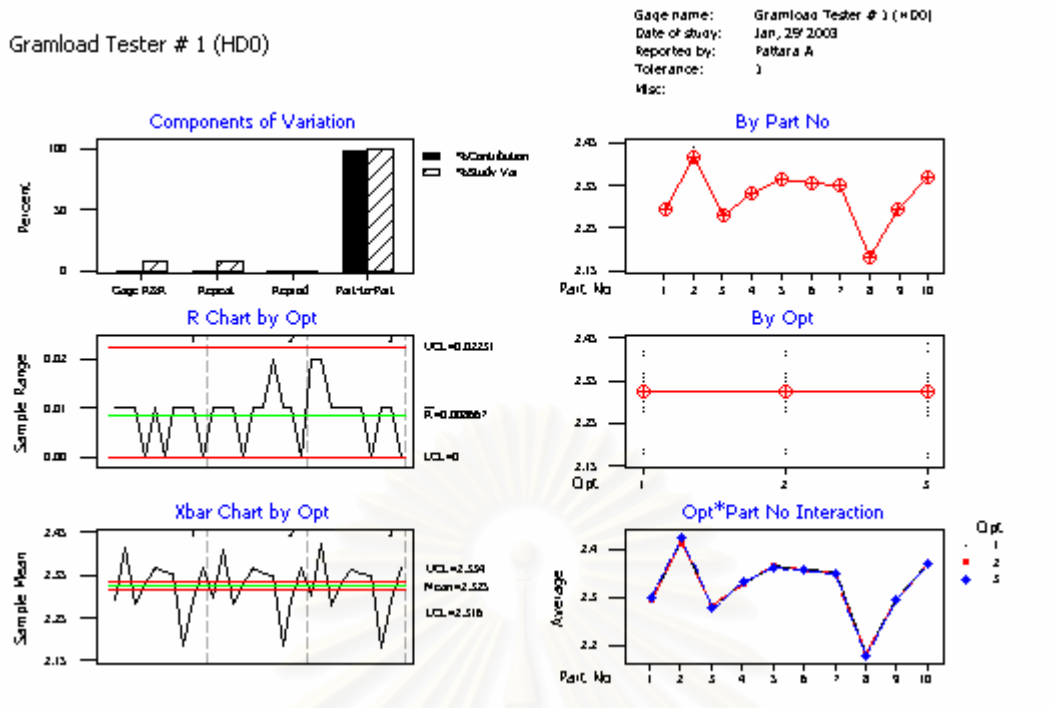
Source	DF	SS	MS	F	P
Part No	9	0.348418	0.0387131	1154.49	0.00000
Opt	2	0.000007	0.0000033	0.10	0.90549
Repeatability	78	0.002616	0.0000335		
Total	89	0.351040			

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	3.35E-05	0.77
Repeatability	3.35E-05	0.77
Reproducibility	0.00E+00	0.00
Opt	0.00E+00	0.00
Part-To-Part	4.30E-03	99.23
Total Variation	4.33E-03	100.00

Source	StdDev (SD)	Study Var (5.15*SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	5.79E-03	0.029822	8.80
Repeatability	5.79E-03	0.029822	8.80
Reproducibility	0.00E+00	0.000000	0.00
Opt	0.00E+00	0.000000	0.00
Part-To-Part	6.56E-02	0.337619	99.61
Total Variation	6.58E-02	0.338933	100.00

Number of Distinct Categories = 16



รูปที่ 4.1 แผนภาพการประเมินความผันแปรของการวัด เครื่องวัด Gramload เครื่องที่ 1 สำหรับ HD0

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์การประเมินความผันแปรของการวัดเครื่องวัด Gramload เครื่องที่ 1 สำหรับ HD1

Gage R&R Study - ANOVA Method

Gage R&R for Gramload Tes

Gage name: Gramload Tester # 1 (HD1)
 Date of study: Jan, 29' 2003
 Reported by: Pattara A
 Tolerance: 1
 Misc:

Two-Way ANOVA Table With Interaction

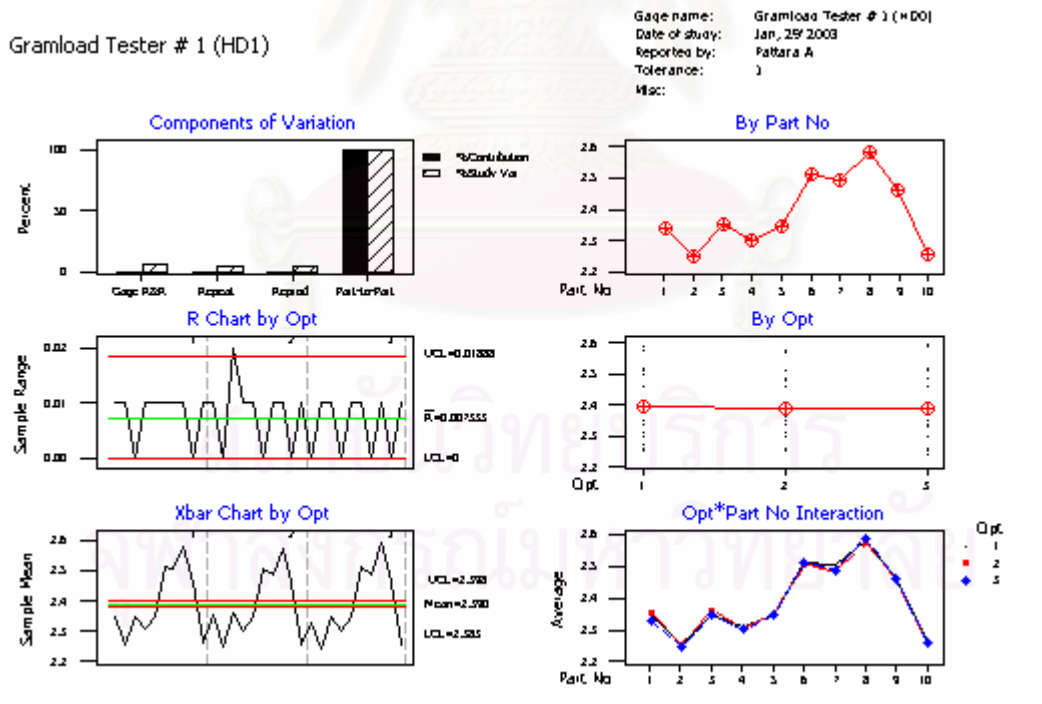
Source	DF	SS	MS	F	P
Part No	9	1.06785	0.118650	960.104	0.00000
Opt	2	0.00038	0.000188	1.519	0.24560
Opt*Part No	18	0.00222	0.000124	4.836	0.00000
Repeatability	60	0.00153	0.000026		
Total	89	1.07198			

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.000060	0.46
Repeatability	0.000026	0.19
Reproducibility	0.000035	0.26
Opt	0.000002	0.02
Opt*Part No	0.000033	0.25
Part-To-Part	0.013170	99.54
Total Variation	0.013230	100.00

Source	StdDev (SD)	Study Var (5.15*SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.007770	0.040015	6.76
Repeatability	0.005055	0.026035	4.40
Reproducibility	0.005900	0.030387	5.13
Opt	0.001463	0.007534	1.27
Opt*Part No	0.005716	0.029438	4.97
Part-To-Part	0.114759	0.591008	99.77
Total Variation	0.115022	0.592361	100.00

Number of Distinct Categories = 21



รูปที่ 4.2 แผนภาพการประเมินความผันแปรของการวัด เครื่องวัด Gramload เครื่องที่ 1 สำหรับ HD1

4.2.2.2 วิเคราะห์และสรุปผลการศึกษา

เมื่อพิจารณาจากการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดของเครื่องวัด Gramload เครื่องที่ 1 ในกระบวนการผลิตชุดหัวอ่านสำเร็จ พบว่าเครื่องมีวัดนี้มีความสามารถในการตรวจจับความผันแปรของกระบวนการได้ดี ทั้งหัวอ่านด้านล่าง (HD0) และหัวอ่านด้านบน (HD1) โดยดูจากข้อมูลจริงจาก MINITAB ดังนี้

	% Contribution (HD0)	% Contribution (HD1)
ค่าระบบการวัด (Total GR&R)	0.77	0.46
ค่าแปรผันมาจากเครื่องมีวัด (Repeatability)	0.77	0.19
ค่าแปรผันมาจากผู้ทำการทดลอง (Reproducibility)	0.00	0.26
ค่าความแปรผันจากชิ้นงาน (Part-to-Part)	99.23	99.54

สามารถสรุปได้ว่า ค่าที่วัดได้มีค่าระบบการวัด (Total GR&R) เพียง 0.77 เปอร์เซ็นต์ สำหรับ HD0 และ 0.46 เปอร์เซ็นต์ สำหรับ HD1 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ และจากกราฟแสดงในรูปที่ 4.1 สำหรับ HD0 และ 4.2 สำหรับ HD1 อธิบายได้ดังนี้ กราฟ By Part No แสดงให้เห็นว่ามีความแตกต่างมากสำหรับชิ้นงานแต่ละตัวที่นำมาทำการวัด กราฟ By Opt แสดงให้เห็นว่ามีความแตกต่างน้อยมากสำหรับพนักงานที่ทำการวัด จากกราฟ X – R แสดงให้เห็นว่าค่าโดยส่วนมาอยู่นอกเหนือเส้นควบคุมซึ่งอาจจะความผันแปรที่เกิดจากความแตกต่างกันของชิ้นงาน กราฟ Opt*Part No Interaction แสดงให้เห็นว่าพนักงานที่ทำการวัดกับชิ้นงานที่วัดไม่มีผลกระทบซึ่งกันและกัน สรุปได้ว่า ระบบการวัดนี้มีความสามารถในการแยกความแตกต่างของค่าวัดได้ค่อนข้างละเอียด นั่นคือสามารถยอมรับในความสามารถของระบบการวัดนี้ว่า มีความแม่นยำเพียงพอที่จะใช้สำหรับดำเนินการในขั้นต่อไป

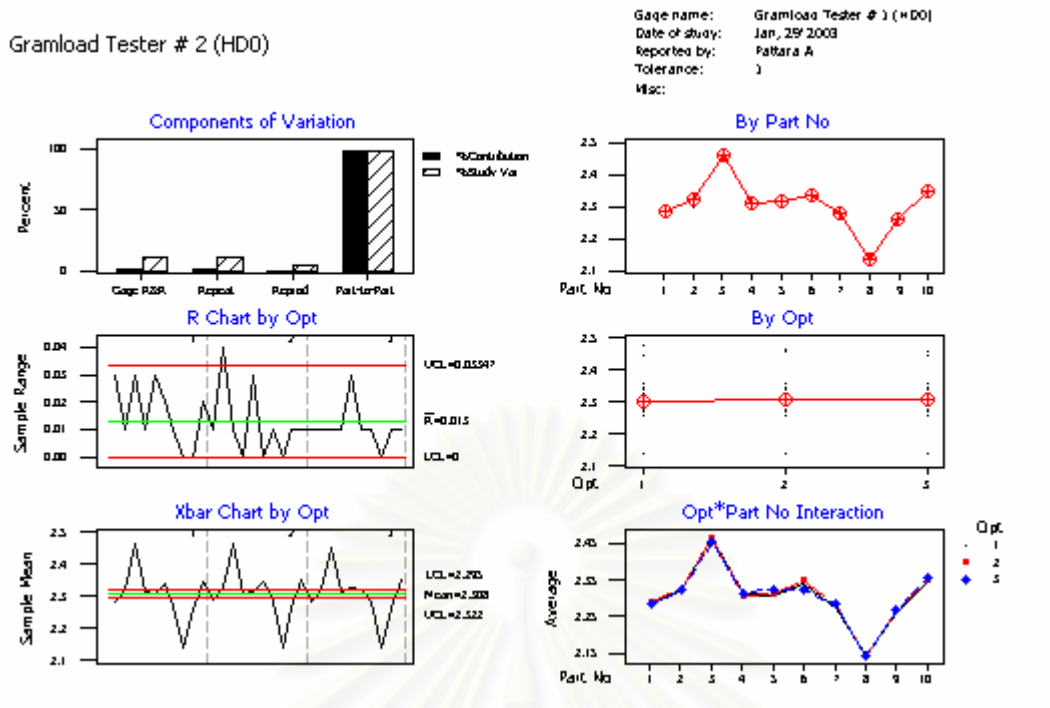
4.2.3 การศึกษาความถูกต้องของระบบการวัดค่า Gramload เครื่องที่ 2

4.2.3.1 ผลลัพธ์ในการศึกษา

ผลการวิเคราะห์การประเมินความผันแปรของการวัดเครื่องวัด Gramload เครื่องที่ 2 แสดงดังตารางที่ 4.3 และ รูปที่ 4.3 สำหรับ หัวอ่านล่าง (HD0) และตารางที่ 4.4 และ รูปที่ 4.4 สำหรับ หัวอ่านด้านบน (HD1) กฎของการศึกษาความถูกต้องของระบบการวัด คือค่า Total Gage R&R ต้องน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ โดยอ้างอิงมาจากเกณฑ์ที่ใช้ในโรงงานตัวอย่าง

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์การประเมินความผันแปรของการวัดเครื่องวัด
Gramload เครื่องที่ 2 สำหรับ HD0

Gage R&R Study - ANOVA Method					
Gage R&R for Gramload Tes					
Gage name:	Gramload Tester # 2 (HD0)				
Date of study:	Jan, 29' 2003				
Reported by:	Pattara A				
Tolerance:	1				
Misc:					
Two-Way ANOVA Table With Interaction					
Source	DF	SS	MS	F	P
Part No	9	0.530004	0.0588894	467.193	0.00000
Opt	2	0.000242	0.0001211	0.961	0.40135
Opt*Part No	18	0.002269	0.0001260	1.454	0.14042
Repeatability	60	0.005200	0.0000867		
Total	89	0.537716			
Gage R&R					
Source	varComp	%Contribution (of VarComp)			
Total Gage R&R	9.98E-05	1.51			
Repeatability	8.67E-05	1.31			
Reproducibility	1.31E-05	0.20			
Opt	0.00E+00	0.00			
Opt*Part No	1.31E-05	0.20			
Part-To-Part	6.53E-03	98.49			
Total Variation	6.63E-03	100.00			
Source	StdDev (SD)	Study Var (5.15*SD)	%Study Var (%SV)		
Total Gage R&R	9.99E-03	0.051447	12.27		
Repeatability	9.31E-03	0.047944	11.43		
Reproducibility	3.62E-03	0.018659	4.45		
Opt	0.00E+00	0.000000	0.00		
Opt*Part No	3.62E-03	0.018659	4.45		
Part-To-Part	8.08E-02	0.416140	99.24		
Total Variation	8.14E-02	0.419308	100.00		
Number of Distinct Categories = 11					



รูปที่ 4.3 แผนภาพการประเมินความผันแปรของการวัด เครื่องวัด Gramload เครื่องที่ 2 สำหรับ HD0

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์การประเมินความผันแปรของการวัดเครื่องวัด Gramload เครื่องที่ 2 สำหรับ HD1

Gage R&R Study - ANOVA Method

Gage R&R for Gramload Tes

Gage name: Gramload Tester # 2 (HD1)
 Date of study: Jan, 29' 2003
 Reported by: Pattara A
 Tolerance: 1
 Misc:

Two-Way ANOVA Table With Interaction

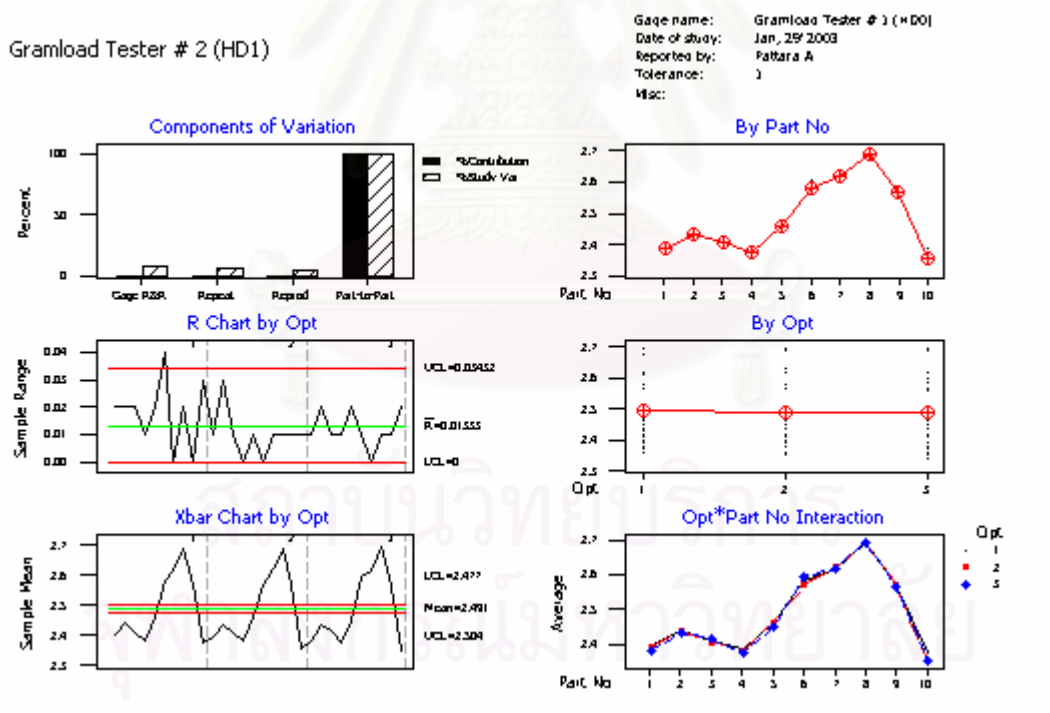
Source	DF	SS	MS	F	P
Part No	9	1.11094	0.123438	846.609	0.00000
Opt	2	0.00044	0.000221	1.517	0.24623
Opt*Part No	18	0.00262	0.000146	1.959	0.02732
Repeatability	60	0.00447	0.000074		
Total	89	1.11847			

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.000101	0.73
Repeatability	0.000074	0.54
Reproducibility	0.000026	0.19
Opt	0.000003	0.02
Opt*Part No	0.000024	0.17
Part-To-Part	0.013699	99.27
Total Variation	0.013800	100.00

Source	StdDev (SD)	Study Var (5.15*SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.010037	0.051690	8.54
Repeatability	0.008628	0.044435	7.34
Reproducibility	0.005128	0.026409	4.37
Opt	0.001584	0.008160	1.35
Opt*Part No	0.004877	0.025117	4.15
Part-To-Part	0.117043	0.602772	99.63
Total Variation	0.117473	0.604984	100.00

Number of Distinct Categories = 16



รูปที่ 4.4 แผนภาพการประเมินความผันแปรของการวัด เครื่องวัด Gramload เครื่องที่ 2 สำหรับ HD1

4.2.3.2 วิเคราะห์และสรุปผลการศึกษา

เมื่อพิจารณาจากการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดของเครื่องวัด Gramload เครื่องที่ 2 ในกระบวนการผลิตชุดหัวอ่านสำเร็จ พบว่าเครื่องมีวัดนี้มีความสามารถในการตรวจจับความผันแปรของกระบวนการได้ดี ทั้งหัวอ่านด้านล่าง (HD0) และหัวอ่านด้านบน (HD1) โดยดูจากข้อมูลจริงจาก MINITAB ดังนี้

	% Contribution (HD0)	% Contribution (HD1)
ค่าระบบการวัด (Total GR&R)	1.51	0.73
ค่าแปรผันมาจากเครื่องมีวัด (Repeatability)	1.31	0.54
ค่าแปรผันมาจากผู้ทำการทดลอง (Reproducibility)	0.20	0.19
ค่าความแปรผันจากชิ้นงาน (Part-to-Part)	98.49	99.27

สามารถสรุปได้ว่า ค่าที่วัดได้มีค่าระบบการวัด (Total GR&R) เพียง 1.51 เปอร์เซ็นต์ สำหรับ HD0 และ 0.73 เปอร์เซ็นต์ สำหรับ HD1 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ และจากกราฟแสดงในรูปที่ 4.3 สำหรับ HD0 และ 4.4 สำหรับ HD1 อธิบายได้ดังนี้ กราฟ By Part No แสดงให้เห็นว่ามีความแตกต่างกันมากสำหรับชิ้นงานแต่ละตัวที่นำมาทำการวัด กราฟ By Opt แสดงให้เห็นว่ามีความแตกต่างน้อยมากสำหรับพนักงานที่ทำการวัด จากกราฟ $\bar{X} - R$ แสดงให้เห็นว่าค่าโดยส่วนมาอยู่นอกเหนือเส้นควบคุมซึ่งอาจจะความผันแปรที่เกิดจากความแตกต่างกันของชิ้นงาน กราฟ Opt*Part No Interaction แสดงให้เห็นว่าพนักงานที่ทำการวัดกับชิ้นงานที่วัดไม่มีผลกระทบซึ่งกันและกันสรุปได้ว่า ระบบการวัดนี้มีความสามารถในการแยกความแตกต่างของค่าวัดได้ค่อนข้างละเอียด นั่นคือสามารถยอมรับในความสามารถของระบบการวัดนี้ว่า มีความแม่นยำเพียงพอที่จะใช้สำหรับดำเนินการในขั้นต่อไป

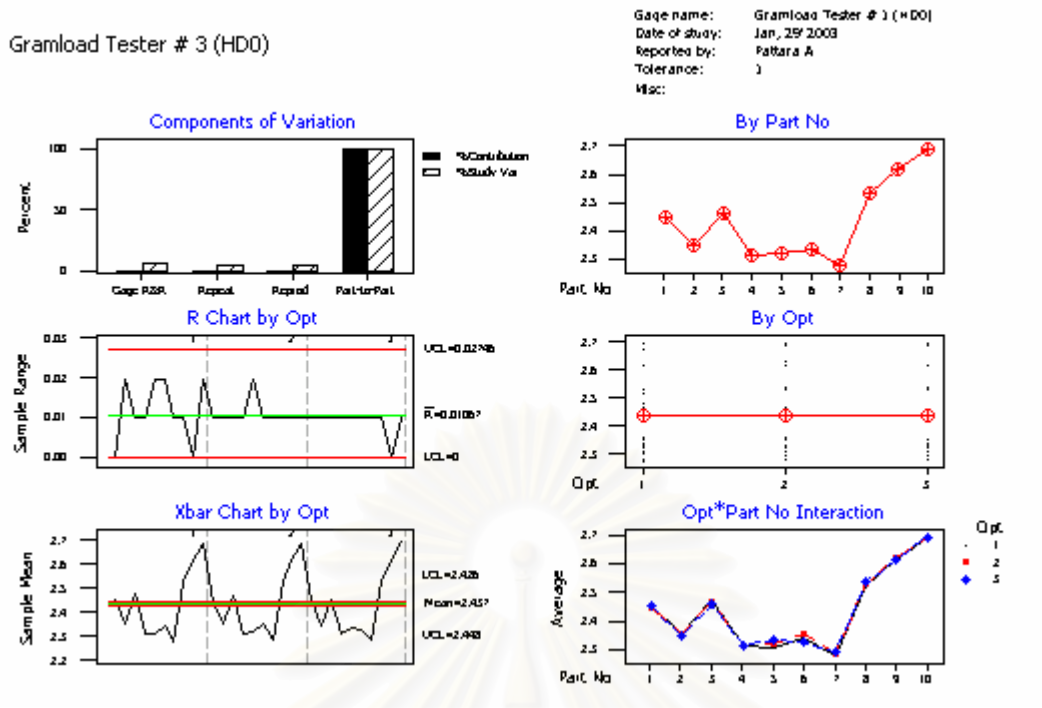
4.2.4 การศึกษาความถูกต้องของระบบการวัดค่า Gramload เครื่องที่ 3

4.2.4.1 ผลลัพธ์ในการศึกษา

ผลการวิเคราะห์การประเมินความผันแปรของการวัดเครื่องวัด Gramload เครื่องที่ 3 แสดงดังตารางที่ 4.5 และ รูปที่ 4.5 สำหรับ หัวอ่านล่าง (HD0) และตารางที่ 4.6 และ รูปที่ 4.6 สำหรับ หัวอ่านด้านบน (HD1) กฎของการศึกษาความถูกต้องของระบบการวัด คือค่า Total Gage R&R ต้องน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ โดยอ้างอิงมาจากเกณฑ์ที่ใช้ในโรงงานตัวอย่าง

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์การประเมินความผันแปรของการวัดเครื่องวัด Gramload เครื่อง
ที่ 3 สำหรับ HD0

Gage R&R Study - ANOVA Method					
Gage R&R for Gramload Tes					
Gage name:	Gramload Tester # 3 (HD0)				
Date of study:	Jan, 29' 2003				
Reported by:	Pattara A				
Tolerance:	1				
Misc:					
Two-Way ANOVA Table With Interaction					
Source	DF	SS	MS	F	P
Part No	9	1.62692	0.180769	945.274	0.00000
Opt	2	0.00020	0.000101	0.529	0.59823
Opt*Part No	18	0.00344	0.000191	4.413	0.00001
Repeatability	60	0.00260	0.000043		
Total	89	1.63317			
Gage R&R					
Source	varComp	%Contribution (of VarComp)			
Total Gage R&R	0.000093	0.46			
Repeatability	0.000043	0.21			
Reproducibility	0.000049	0.24			
Opt	0.000000	0.00			
Opt*Part No	0.000049	0.24			
Part-To-Part	0.020064	99.54			
Total Variation	0.020157	100.00			
Source	StdDev (SD)	Study Var (5.15*SD)	%Study Var (%SV)		
Total Gage R&R	0.009625	0.049567	6.78		
Repeatability	0.006583	0.033901	4.64		
Reproducibility	0.007021	0.036160	4.95		
Opt	0.000000	0.000000	0.00		
Opt*Part No	0.007021	0.036160	4.95		
Part-To-Part	0.141648	0.729488	99.77		
Total Variation	0.141975	0.731170	100.00		
Number of Distinct Categories = 21					



รูปที่ 4.5 แผนภาพการประเมินความผันแปรของการวัด เครื่องวัด Gramload เครื่องที่ 3 สำหรับ HD0

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์การประเมินความผันแปรของการวัดเครื่องวัด Gramload เครื่องที่ 3 สำหรับ HD1

Gage R&R Study - ANOVA Method

Gage R&R for Gramload Tes

Gage name: Gramload Tester # 3 (HD1)
 Date of study: Jan, 29, 2003
 Reported by: Pattara A
 Tolerance: 1
 Misc:

Two-Way ANOVA Table With Interaction

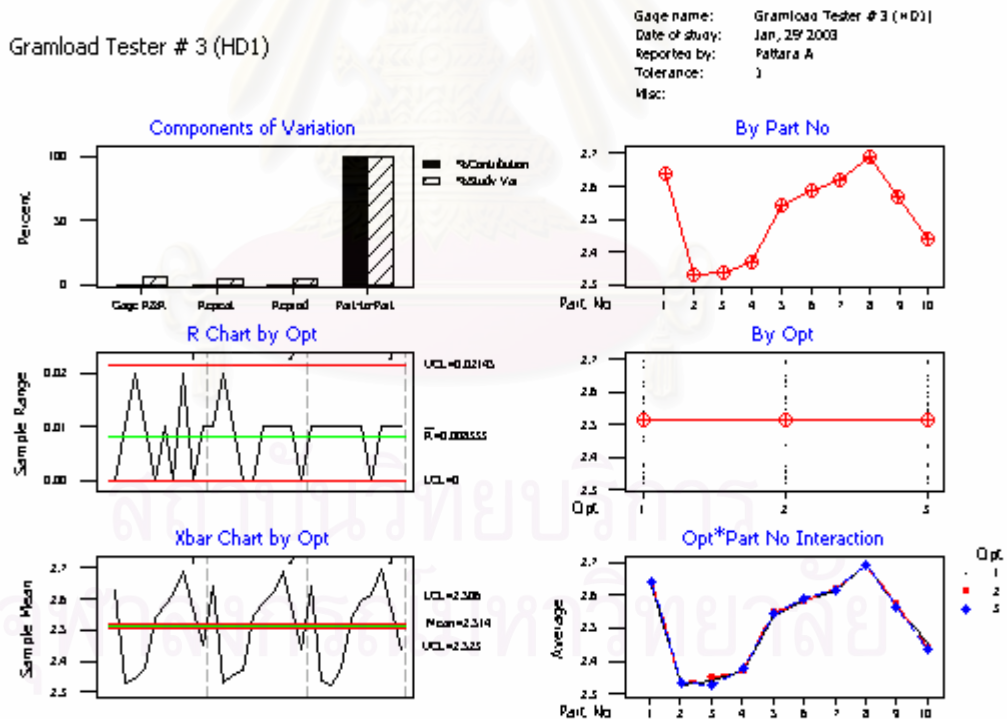
Source	DF	SS	MS	F	P
Part No	9	1.42705	0.158562	1108.15	0.00000
Opt	2	0.00025	0.000123	0.86	0.43905
Opt*Part No	18	0.00258	0.000143	4.44	0.00001
Repeatability	60	0.00193	0.000032		
Total	89	1.43181			

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.000069	0.39
Repeatability	0.000032	0.18
Reproducibility	0.000037	0.21
Opt	0.000000	0.00
Opt*Part No	0.000037	0.21
Part-To-Part	0.017602	99.61
Total Variation	0.017671	100.00

Source	StdDev (SD)	Study Var (5.15*SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.008317	0.042834	6.26
Repeatability	0.005676	0.029234	4.27
Reproducibility	0.006079	0.031307	4.57
Opt	0.000000	0.000000	0.00
Opt*Part No	0.006079	0.031307	4.57
Part-To-Part	0.132673	0.683265	99.80
Total Variation	0.132933	0.684606	100.00

Number of Distinct Categories = 22



รูปที่ 4.6 แผนภาพการประเมินความผันแปรของการวัด เครื่องวัด Gramload เครื่องที่ 3 สำหรับ HD1

4.2.4.2 วิเคราะห์และสรุปผลการศึกษา

เมื่อพิจารณาจากการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดของเครื่องวัด Gramload เครื่องที่ 3 ในกระบวนการผลิตชุดหัวอ่านสำเร็จ พบว่าเครื่องมีวัดนี้มีความสามารถในการตรวจจับความผันแปรของกระบวนการได้ดี ทั้งหัวอ่านด้านล่าง (HD0) และหัวอ่านด้านบน (HD1) โดยดูจากข้อมูลจริงจาก MINITAB ดังนี้

	% Contribution (HD0)	% Contribution (HD1)
ค่าระบบการวัด (Total GR&R)	0.46	0.39
ค่าแปรผันมาจากเครื่องมีวัด (Repeatability)	0.21	0.18
ค่าแปรผันมาจากผู้ทำการทดลอง (Reproducibility)	0.24	0.21
ค่าความแปรผันจากชิ้นงาน (Part-to-Part)	99.77	99.61

สามารถสรุปได้ว่า ค่าที่วัดได้มีค่าระบบการวัด (Total GR&R) เพียง 0.46 เปอร์เซ็นต์ สำหรับ HD0 และ 0.39 เปอร์เซ็นต์ สำหรับ HD1 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ และจากกราฟแสดงในรูปที่ 4.5 สำหรับ HD0 และ 4.6 สำหรับ HD1 อธิบายได้ดังนี้ กราฟ By Part No แสดงให้เห็นว่ามีความแตกต่างกันมากสำหรับชิ้นงานแต่ละตัวที่นำมาทำการวัด กราฟ By Opt แสดงให้เห็นว่ามีความแตกต่างน้อยมากสำหรับพนักงานที่ทำการวัด จากกราฟ $\bar{X} - R$ แสดงให้เห็นว่าค่าโดยส่วนมาอยู่นอกเหนือเส้นควบคุมซึ่งอาจจะความผันแปรที่เกิดจากความแตกต่างกันของชิ้นงาน กราฟ Opt*Part No Interaction แสดงให้เห็นว่าพนักงานที่ทำการวัดกับชิ้นงานที่วัดไม่มีผลกระทบซึ่งกัน และกัน สรุปได้ว่า ระบบการวัดนี้มีความสามารถในการแยกความแตกต่างของค่าวัดได้ค่อนข้างละเอียด นั่นคือสามารถยอมรับในความสามารถของระบบการวัดนี้ว่า มีความแม่นยำเพียงพอที่จะใช้สำหรับดำเนินการในขั้นต่อไป

4.2.5 การศึกษาความถูกต้องของระบบการวัดค่า Gramload เครื่องที่ 4

4.2.5.1 ผลลัพธ์ในการศึกษา

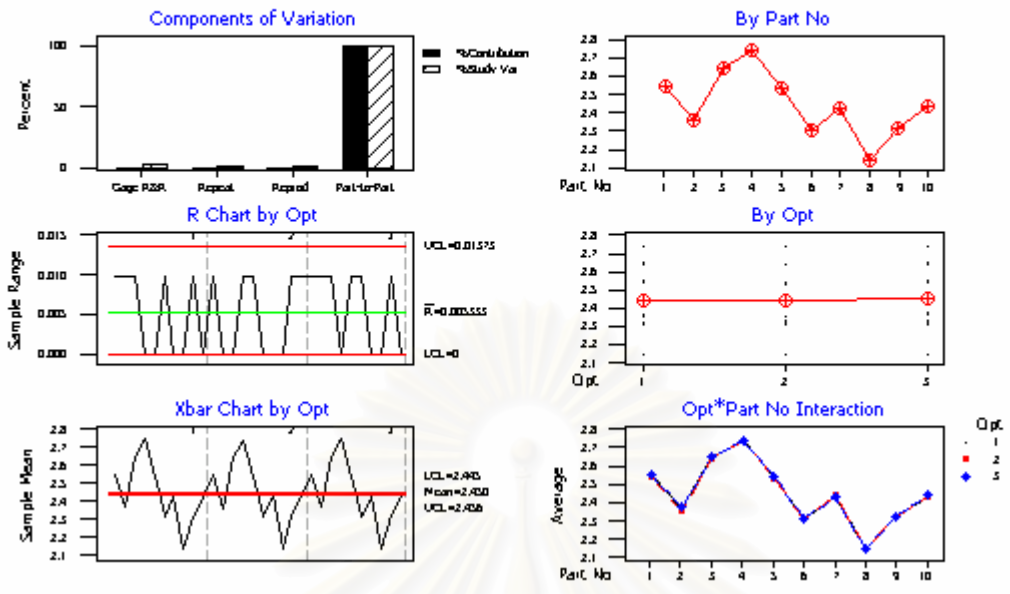
ผลการวิเคราะห์การประเมินความผันแปรของการวัดเครื่องวัด Gramload เครื่องที่ 4 แสดงดังตารางที่ 4.7 และ รูปที่ 4.7 สำหรับ หัวอ่านล่าง (HD0) และตารางที่ 4.8 และ รูปที่ 4.8 สำหรับ หัวอ่านด้านบน (HD1) กฎของการศึกษาความถูกต้องของระบบการวัด คือค่า Total Gage R&R ต้องน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ โดยอ้างอิงมาจากเกณฑ์ที่ใช้ในโรงงานตัวอย่าง

ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์การประเมินความผันแปรของการวัดเครื่องวัด Gramload เครื่อง
ที่ 4 สำหรับ HD0

Gage R&R Study - ANOVA Method					
Gage R&R for Gramload Tes					
Gage name:	Gramload Tester # 4 (HD0)				
Date of study:	Jan, 29' 2003				
Reported by:	Pattara A				
Tolerance:	1				
Misc:					
Two-Way ANOVA Table With Interaction					
Source	DF	SS	MS	F	P
Part No	9	2.57838	0.286487	4969.04	0.00000
Opt	2	0.00030	0.000148	2.56	0.10483
Opt*Part No	18	0.00104	0.000058	3.24	0.00032
Repeatability	60	0.00107	0.000018		
Total	89	2.58078			
Gage R&R					
Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)			
Total Gage R&R	0.000034	0.11			
Repeatability	0.000018	0.06			
Reproducibility	0.000016	0.05			
Opt	0.000003	0.01			
Opt*Part No	0.000013	0.04			
Part-To-Part	0.031825	99.89			
Total Variation	0.031860	100.00			
Source	StdDev (SD)	Study Var (5.15*SD)	%Study Var (%SV)		
Total Gage R&R	0.005837	0.030062	3.27		
Repeatability	0.004216	0.021714	2.36		
Reproducibility	0.004037	0.020790	2.26		
Opt	0.001733	0.008926	0.97		
Opt*Part No	0.003646	0.018776	2.04		
Part-To-Part	0.178397	0.918744	99.95		
Total Variation	0.178492	0.919236	100.00		
Number of Distinct Categories = 43					

Gramload Tester # 4 (HD0)

Gage name: Gramload Tester # 4 (HD0)
 Date of study: Jan, 29, 2003
 Reported by: Pattara A
 Tolerance:)
 Misc:



รูปที่ 4.7 แผนภาพการประเมินความผันแปรของการวัด เครื่องวัด Gramload เครื่องที่ 4 สำหรับ HD0

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์การประเมินความผันแปรของการวัดเครื่องวัด Gramload เครื่องที่ 4 สำหรับ HD1

Gage R&R Study - ANOVA Method

Gage R&R for Gramload Tes

Gage name: Gramload Tester # 4 (HD1)
 Date of study: Jan, 29, 2003
 Reported by: Pattara A
 Tolerance: 1
 Misc:

Two-Way ANOVA Table With Interaction

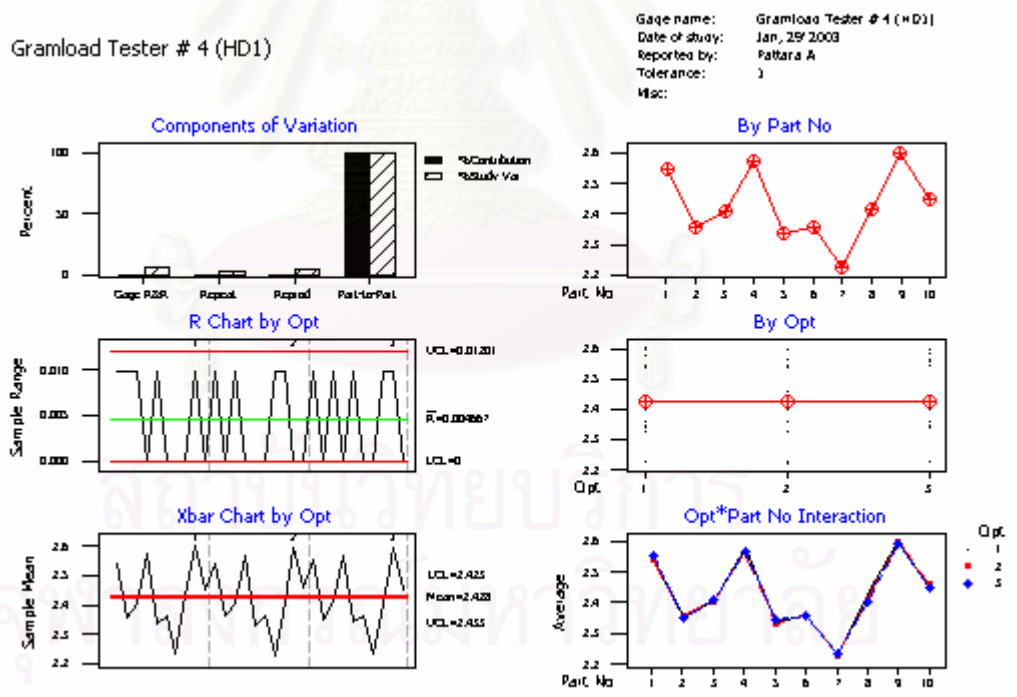
Source	DF	SS	MS	F	P
Part No	9	1.11642	0.124047	1059.90	0.00000
Opt	2	0.00012	0.000058	0.49	0.61841
Opt*Part No	18	0.00211	0.000117	7.52	0.00000
Repeatability	60	0.00093	0.000016		
Total	89	1.11958			

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)	
Total Gage R&R	0.000049	0.36	
Repeatability	0.000016	0.11	
Reproducibility	0.000034	0.24	
Opt	0.000000	0.00	
Opt*Part No	0.000034	0.24	
Part-To-Part	0.013770	99.64	
Total Variation	0.013819	100.00	

Source	StdDev (SD)	Study Var (5.15*SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.007027	0.036191	5.98
Repeatability	0.003944	0.020312	3.36
Reproducibility	0.005816	0.029953	4.95
Opt	0.000000	0.000000	0.00
Opt*Part No	0.005816	0.029953	4.95
Part-To-Part	0.117346	0.604330	99.82
Total Variation	0.117556	0.605413	100.00

Number of Distinct Categories = 24



รูปที่ 4.8 แผนภาพการประเมินความผันแปรของการวัด เครื่องวัด Gramload เครื่องที่ 4 สำหรับ HD1

4.2.5.2 วิเคราะห์และสรุปผลการศึกษา

เมื่อพิจารณาจากการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดของเครื่องวัด Gramload เครื่องที่ 4 ในกระบวนการผลิตชุดหัวอ่านสำเร็จ พบว่าเครื่องมีวัดนี้มีความสามารถในการตรวจจับความผันแปรของกระบวนการได้ดี ทั้งหัวอ่านด้านล่าง (HD0) และหัวอ่านด้านบน (HD1) โดยดูจากข้อมูลจริงจาก MINITAB ดังนี้

	% Contribution (HD0)	% Contribution (HD1)
ค่าระบบการวัด (Total GR&R)	0.11	0.36
ค่าแปรผันมาจากเครื่องมีวัด (Repeatability)	0.06	0.11
ค่าแปรผันมาจากผู้ทำการทดลอง (Reproducibility)	0.05	0.24
ค่าความแปรผันจากชิ้นงาน (Part-to-Part)	99.89	99.64

สามารถสรุปได้ว่า ค่าที่วัดได้มีค่าระบบการวัด (Total GR&R) เพียง 0.11 เปอร์เซ็นต์ สำหรับ HD0 และ 0.36 เปอร์เซ็นต์ สำหรับ HD1 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ และจากกราฟ แสดงในรูปที่ 4.7 สำหรับ HD0 และ 4.8 สำหรับ HD1 อธิบายได้ดังนี้ กราฟ By Part No แสดงให้เห็นว่ามีความแตกต่างกันมากสำหรับชิ้นงานแต่ละตัวที่นำมาทำการวัด กราฟ By Opt แสดงให้เห็นว่ามีความแตกต่างกันอย่างมากสำหรับพนักงานที่ทำการวัด จากกราฟ X – R แสดงให้เห็นว่าค่าโดยส่วนมาอยู่นอกเหนือเส้นควบคุมซึ่งอาจจะความผันแปรที่เกิดจากความแตกต่างกันของชิ้นงาน กราฟ Opt*Part No Interaction แสดงให้เห็นว่าพนักงานที่ทำการวัดกับชิ้นงานที่วัดไม่มีผลกระทบซึ่งกันและกัน สรุปได้ว่าระบบการวัดนี้มีความสามารถในการแยกความแตกต่างของค่าวัดได้ค่อนข้างละเอียด นั่นคือสามารถยอมรับในความสามารถของระบบการวัดนี้ว่า มีความแม่นยำเพียงพอที่จะใช้สำหรับดำเนินการในขั้นต่อไป

เมื่อระบบการวัดทั้ง 4 ระบบ มีความน่าเชื่อถือแล้ว จึงสามารถดำเนินการตามขั้นตอนถัดไป โดยทำการวิเคราะห์ปัญหาจากสาเหตุและผลก่อนเพื่อให้ทราบถึงต้นเหตุของปัญหาเพื่อให้ได้ปัจจัยนำเข้าสู่ที่สำคัญ

4.3 การวิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุ (Cause & Effect Diagram)

เพื่อค้นพบสาเหตุสำหรับการวิเคราะห์ที่มีโอกาสเป็นไปได้มากที่สุด โดยการสร้างภาพความสัมพันธ์ที่เป็นไปได้ระหว่างสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน และ จะเกิดในอนาคต ซึ่งต้องเจาะจงเงื่อนไขที่เป็นสาเหตุของข้อกำหนดจากลูกค้าด้วยการระดมความคิด

จากที่มงาน จากแผนภาพแสดงกระบวนการผลิตรวมได้ตัวแปรต่างๆ ที่มีผลกับค่า Gramload ในกระบวนการผลิตต่างๆ แสดงปัจจัยที่ผลทั้งปัจจัยภายใน และปัจจัยภายนอก แสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ปัจจัยภายในและปัจจัยภายนอกที่ส่งผลต่อค่า Gramload

ขั้นตอน ที่	กระบวนการผลิต	ปัจจัยนำเข้า (KPIV)		Define Mode
		ปัจจัยภายใน	ปัจจัยภายนอก	
1	ตรวจสอบ shuttle ว่าอยู่ในสภาพพร้อมใช้งานหรือไม่ตาม Check Sheet	-shuttle มีการเคลื่อนย้ายบ่อย -shuttle อยู่ในสภาพที่ชำรุดเสียหายที่สามารถตรวจสอบได้เองด้วยพนักงาน		Machine Machine
2	ตรวจสอบเครื่อง swaging ว่าอยู่ในสภาพพร้อมใช้งานหรือไม่ตาม Check Sheet	-เครื่อง swaging อยู่ในสภาพที่ชำรุดเสียหายที่สามารถตรวจสอบได้เองด้วยพนักงาน		Machine
3	วางแผนอ่าน APFA บน shuttle	-พนักงานจับถือชิ้นงานไม่ถูกต้อง		Man
4	ประกอบชุดหัวอ่าน (HGA) เข้ากับแผนอ่าน (APFA) บน shuttle	-พนักงานจับถือชิ้นงานไม่ถูกต้อง -พนักงานแกะกล่องหัวอ่านไม่ถูกวิธีทำให้หัวอ่านเสียหาย -พนักงานวางถาดหัวอ่านผิดวิธี -พนักงานหยิบหัวอ่านผิดวิธี -การตั้งมุม (Angle Block) เพื่อให้พนักงานประกอบหัวอ่าน (HGA) เข้ากับแผนอ่าน (APFA) ไม่เหมาะสม -shuttle ไม่อยู่ในสภาพ		Man Man Man Machine

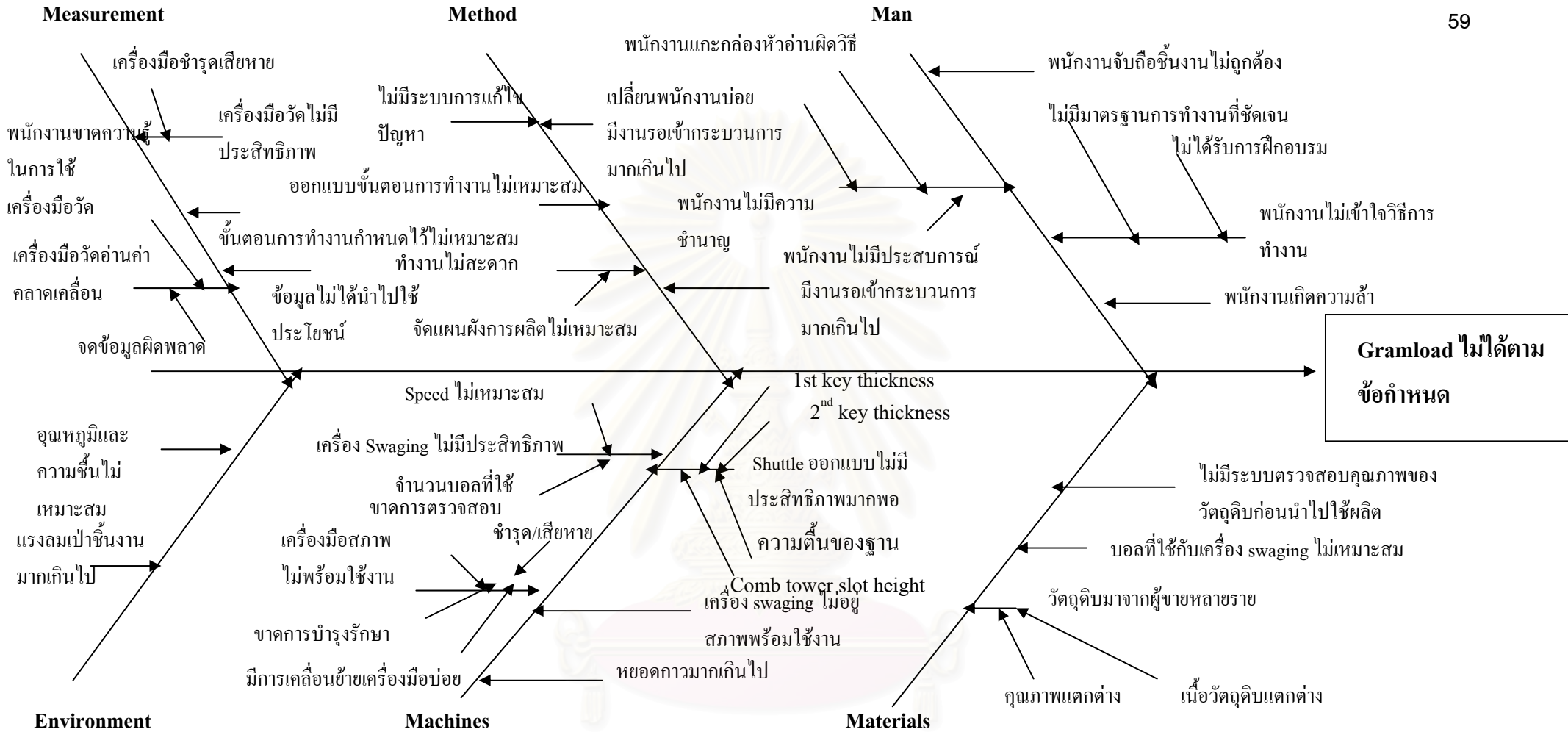
		<p>พร้อมใช้งาน</p> <p>-การออกแบบขั้นตอนการทำงานและการเคลื่อนไหวน่าไม่เหมาะสม</p> <p>-ไม่มีระบบตรวจสอบวัตถุดิบก่อนนำมาใช้ในการผลิตจริง</p> <p>-มีงานรออยู่ในกระบวนการผลิตมากเกินไป</p> <p>-การตั้งค่า 1st key thickness ของ shuttle ไม่เหมาะสม</p> <p>-การตั้งค่า 2nd key thickness ของ shuttle ไม่เหมาะสม</p> <p>-การตั้งค่า comb tower slot height ของ shuttle ไม่เหมาะสม</p> <p>-การออกแบบฐานของ shuttle ไม่เหมาะสม (ความตื้น-ลึก)</p> <p>-พนักงานขาดความรู้ความชำนาญ</p> <p>-พนักงานขาดประสบการณ์ในการทำงาน</p> <p>-พนักงานเกิดความล่าช้า</p> <p>-ไม่มีระบบแก้ไขปัญหาเมื่อค่าที่วัดได้ไม่ได้ตามข้อกำหนด</p>		<p>Machine</p> <p>Method</p> <p>Material</p> <p>Method</p> <p>Machine</p> <p>Machine</p> <p>Machine</p> <p>Machine</p> <p>Man</p> <p>Man</p> <p>Man</p> <p>Method</p> <p>Material</p>
5	พนักงานส่งงานที่ประกอบแล้วเข้าเครื่อง swaging	-การตั้งค่า speed ของเครื่อง swaging ไม่เหมาะสม		Machine
			-วัตถุดิบมาจากผู้ขายหลายราย	Material

		-จำนวนของ ball ที่ใช้กับ เครื่อง swaging	-ขนาดของ ball ที่ใช้กับ เครื่อง swaging	Method Material
6	ถอดงานออกจาก shuttle วางบน flow fixture	-พนักงานจับถือชิ้นงานไม่ ถูกวิธี -พนักงานใช้มือสัมผัส หัวอ่าน		Man Man
7	เชื่อม Trace ด้วย Ultrasonic	-พนักงานจับถือชิ้นงานไม่ ถูกวิธี -พนักงานใช้มือสัมผัส หัวอ่าน -แรงกดขณะเชื่อมมาก เกินไป		Man Man Man
8	หยอดกาวที่จุดเชื่อม	-หยอดกาวมากเกินไป -พนักงานจับถืองานไม่ถูก วิธี -พนักงานใช้มือสัมผัสโดน หัวอ่าน		Man Man Man
9	อบกาวให้แห้งด้วย UV Oven	-พนักงานจับถืองานไม่ถูก วิธี		Man
10	สะกิดลวดเชื่อมวงจร ออก	-พนักงานสะกิดโดน หัวอ่าน -พนักงานสะกิดด้วยแรง มากเกินไป -พนักงานใช้มือสัมผัสโดน หัวอ่าน -พนักงานจับถือชิ้นงานผิด วิธี	-จุดเชื่อมแข็งเกินไป	Man Man Man Material
11	ถอดงานออกจาก flow fixture	-พนักงานใช้มือสัมผัสโดน หัวอ่าน -พนักงานจับถือชิ้นงานผิด วิธี		Man Man

12	ตรวจสอบชิ้นงานด้วยสายตา	-พนักงานใช้มือสัมผัสโดนหัวอ่าน -พนักงานจับถือชิ้นงานผิดวิธี		Man Man
13	วัดประสิทธิภาพการทำงานชุดหัวอ่านสำเร็จด้วย Tester	-พนักงานใช้มือสัมผัสโดนหัวอ่าน -พนักงานจับถือชิ้นงานผิดวิธี		Man Man
14	QC สุ่มงานไปวัดค่าทาง Mechanical	-พนักงาน QC จับถือชิ้นงานไม่ถูกวิธี -พนักงาน QC วางงานบนเครื่องวัดแรงเกินไป -เครื่องมือวัดอยู่ในสภาพไม่พร้อมใช้งาน -ขั้นตอนการวัดงานถูกกำหนดไว้ไม่เหมาะสม -พนักงาน QC ขาดความรู้ความชำนาญในการใช้เครื่องมือวัด -จดข้อมูลผิดพลาด	-พื้นที่ตั้งเครื่องวัดมีการสั่นสะเทือน -ลมเป่าลงมาขณะที่วัดงานมากเกินไป	Man Man Measurement Measurement Man Man Environment Environment

จากตารางแสดงปัจจัยภายในและปัจจัยภายนอกที่ส่งผลต่อค่า Gramload สามารถนำสร้างแผนภาพการวิเคราะห์ปัญหาจากสาเหตุและผล (Cause & Effect Diagram) ดังรูปที่ 4.9

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.9 แผนผังแสดงเหตุและผล

4.4 การวิเคราะห์ปัญหาจากการหาความสัมพันธ์สาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix)

จากตารางปัจจัยภายในและภายนอกมีผลต่อค่า Gramload ได้นำปัจจัยเหล่านั้นมาทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์สาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix) ดังแสดงในตาราง 4.10 กำหนดให้อัตราส่วนความสำคัญต่อลูกคามีค่า 0 – 10 โดยที่

0 = ไม่มีความสำคัญต่อลูกค้า/ไม่มีผลต่อค่า Gramload

10 = มีความสำคัญต่อลูกค้าอย่างยิ่ง/มีผลต่อค่า Gramload อย่างยิ่ง

จากเกณฑ์คะแนน ได้ให้ทีมงานให้คะแนนปัจจัยที่มีผลกับตัวแปรตอบสนอง โดยให้ทีมงานแต่ละคนให้คะแนนในกระดาษ ดังแสดงแบบฟอร์มการให้คะแนนแสดงในภาคผนวก ง แล้วนำคะแนนที่ได้จากแต่ละคนในทีมงานมาทำการโหวต แล้วเลือกคะแนนที่มีทีมงานโหวตมากที่สุด หรือถ้ามีการโหวตแล้วมีคะแนนเท่ากัน ทีมงานก็จะมีการประชุม เพื่อหาข้อสรุปว่าควรจะใช้คะแนนเป็นเท่าใดจึงจะเหมาะสมที่สุด เหตุที่ต้องทำการให้คะแนนแบบนี้ ก็เนื่องมาจากต้องการลดอคติที่อาจจะเกิดขึ้นในทีมงาน เช่น ความเกรงใจเนื่องจากความอาวุโส เป็นต้น แล้วนำคะแนนที่ได้สำหรับแต่ละปัจจัยมาคูณด้วยค่าคงที่ที่กำหนดไว้ในที่นี้คือ 10

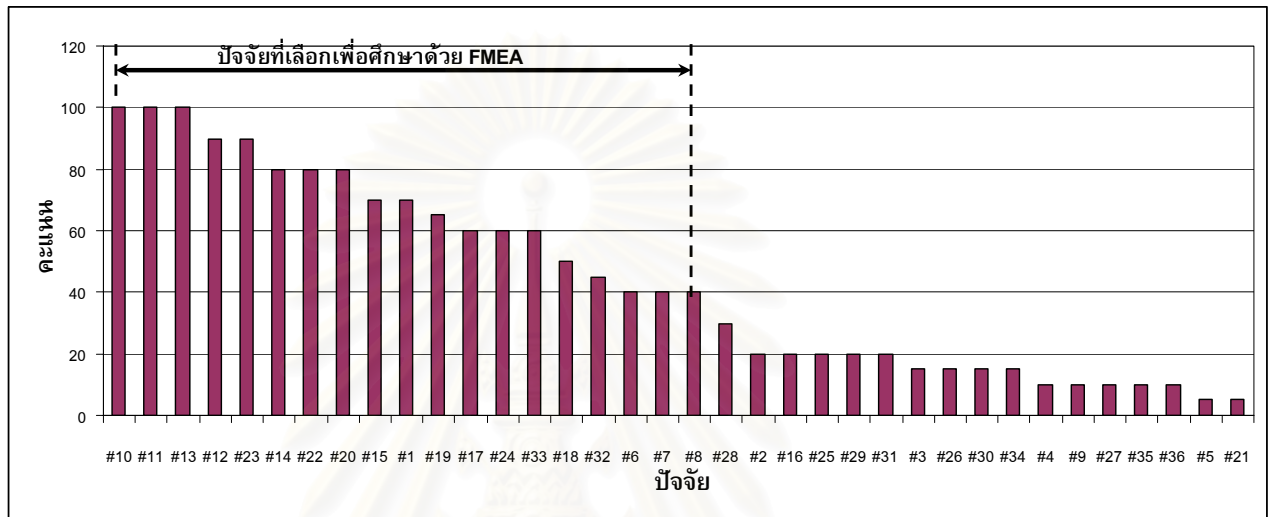
จากความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลในตาราง 4.10 เมื่อนำการให้คะแนนมาใช้ผังพาเรโตดังแสดงในรูปที่ 4.10 จะทำให้สามารถคัดเลือกเฉพาะปัจจัยที่สอดคล้องกับตัวแปรตอบสนองที่มีผลต่อค่า Gramload จริงๆ

ตารางที่ 4.10 การวิเคราะห์ปัญหาจากการหาความสัมพันธ์สาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix)

อัตราความสำคัญต่อลูกค้า/ผลกระทบต่อค่า Gramload			10
			รวม
ลำดับที่	จำแนกตามสาเหตุ	ปัจจัยที่มีผล	
1	Man	พนักงานจับถือชิ้นงานไม่ถูกวิธี	70
2		พนักงานแกะกล่องไม่ถูกวิธี	20
3		พนักงานใช้มือสัมผัสหัวอ่าน	15
4		พนักงานใช้แรงกดขณะเชื่อมมากเกินไป	10
5		พนักงานสะกิดลวดเชื่อมออกแรงเกินไป	5
6		พนักงานขาดประสบการณ์	40
7		พนักงานขาดความรู้	40

8		พนักงานขาดความชำนาญ	40
9		พนักงานเกิดความล่า	10
10	Machine	การตั้งมุม (Angle block) เพื่อประกอบหัวอ่าน (HGA) เข้ากับแขนอ่าน (APFA) ไม่เหมาะสม	100
11		การออกแบบ 1 st key thickness ของ shuttle ไม่เหมาะสม	100
12		การออกแบบ 2 nd key thickness ของ shuttle ไม่เหมาะสม	90
13		การออกแบบ comb tower pin height ของ shuttle ไม่เหมาะสม	100
14		การออกแบบฐานของ shuttle ไม่เหมาะสม (ความตื้น-ลึก)	90
15		shuttle มีการเคลื่อนย้ายบ่อย	80
16		ขาดระบบการบำรุงรักษาเครื่องมือที่ดี	70
17		เครื่องมือชำรุด/เสียหาย	20
18		การตั้งค่า speed เครื่อง swaging ไม่เหมาะสม	60
19		เครื่อง swaging อยู่ในสภาพไม่พร้อมใช้งาน	50
20		จำนวนลูกบอลที่ใช้กับเครื่อง swaging ไม่เหมาะสม	65
21		ขนาดลูกบอลที่ใช้กับเครื่อง swaging ไม่เหมาะสม	80
22		กาวจากเครื่องหยอดกาวออกมามากเกินไป	5
23	Material	ไม่มีการตรวจสอบคุณภาพของวัตถุดิบก่อนนำไปผลิตจริง	80
24		วัตถุดิบมาจากผู้ขายหลายราย	90
25		บอลที่นำมาใช้กับเครื่อง swaging ไม่ได้ขนาดตามที่กำหนด	60
26	Measurement	พนักงาน QC จับถือนชิ้นงานไม่ถูกวิธี	20
27		เครื่องวัดค่า Gramload ชำรุดเสียหาย	15
28		ขั้นตอนในการวัดไม่เหมาะสม	10
29		เครื่องมือวัดขาดการบำรุงรักษา	30
30		พนักงาน QC ขาดความรู้ ความชำนาญ	20
31		จดค่าผิดพลาด	15
32	Method	การจัดสถานที่ทำงานไม่เหมาะสม	20
33		การออกแบบขั้นตอนการทำงานไม่เหมาะสม	45
34		มีงานรอเข้ากระบวนการมากเกินไป	60
35		ไม่มีระบบแก้ไขปัญหาเมื่อเกิดค่า Gramload ไม่ได้	15

		ตามข้อกำหนด	
36	Environmental	มีการสั่นสะเทือนของพื้น ณ จุดที่วัด Gramload	10
37		ลมเป่าแรงเกินไป	10
รวม			1570



รูปที่ 4.10 แผนภูมิพาราเรโตเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยต่างๆ จากการวิเคราะห์ด้วย Cause & Effect Matrix

จากผลการให้คะแนนความสำคัญของปัจจัยที่มีต่อค่า Gramload โดยสมาชิกในกลุ่มพบว่าคะแนนรวมทั้งหมดของปัจจัยมีค่าเท่ากับ 1570 และทำการเลือกปัจจัยจามลำดับคะแนนที่ได้เรียงไว้ในแผนภูมิพาราเรโต เพื่อนำไปศึกษาต่อด้วย FMEA ต่อไป โดยปัจจัยที่เลือกไว้มีดังต่อไปนี้

1. การตั้งมุม (Angle block) เพื่อประกอบหัวอ่าน (HGA) เข้ากับแขนอ่าน (APFA) ไม่เหมาะสม (100)
2. การออกแบบ 1st key thickness ของ shuttle ไม่เหมาะสม (100)
3. การออกแบบ comb tower pin height ของ shuttle ไม่เหมาะสม (100)
4. การออกแบบ 2nd key thickness ของ shuttle ไม่เหมาะสม (90)
5. การออกแบบฐานของ shuttle ไม่เหมาะสม (ความตื้น-ลึก) (90)
6. วัตถุติบมาจากผู้ขายหลายราย (90)
7. shuttle มีการเคลื่อนย้ายบ่อย (80)
8. ขนาดลูกบอลที่ใช้กับเครื่อง swaging ไม่เหมาะสม (80)
9. ไม่มีการตรวจสอบคุณภาพของวัตถุติบก่อนนำไปผลิตจริง (80)
10. ขาดระบบการบำรุงรักษาเครื่องมือที่ดี (70)

11. พนักงานจับถือชิ้นงานไม่ถูกวิธี (70)
12. จำนวนลูกบอลที่ใช้กับเครื่อง swaging ไม่เหมาะสม (65)
13. บอลที่นำมาใช้กับเครื่อง swaging ไม่ได้ขนาดตามที่กำหนด (60)
14. การตั้งค่า speed เครื่อง swaging ไม่เหมาะสม (60)
15. มีงานรอเข้ากระบวนการมากเกินไป (60)
16. เครื่อง swaging อยู่ในสภาพไม่พร้อมใช้งาน (50)
17. การออกแบบขั้นตอนการทำงานไม่เหมาะสม (45)
18. พนักงานขาดประสบการณ์ (40)
19. พนักงานขาดความรู้ (40)
20. พนักงานขาดความชำนาญ (40)

ผลรวมของคะแนนความสำคัญของปัจจัยทั้งหมดที่ได้เลือกไว้มีค่าเท่ากับ 1320 ซึ่งเป็นสัดส่วนประมาณ 84% ของคะแนนรวมทั้งหมด

4.5 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA)

หลังจากที่ได้พิจารณาเลือกปัจจัยที่สำคัญจากการพิจารณาด้วย Cause & Effect Matrix แล้ว ในขั้นตอนนี้จะนำปัจจัยเหล่านี้มาทำการวิเคราะห์ลักษณะของข้อบกพร่องและผลกระทบด้วยการประยุกต์ใช้เครื่องมือที่เรียกว่า FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) ดังแสดงในตารางที่ 4.11 เพื่อที่จะศึกษาถึงลักษณะของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นของปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ พร้อมกับพิจารณาผลกระทบที่เกิดขึ้นด้วย เพื่อที่จะถ่วงน้ำหนักให้เหลือแต่ปัจจัยที่มีความสำคัญต่อปัญหาที่ทำการศึกษาอีกครั้งหนึ่ง จากนั้นทำการใช้ผังพาเรโตเพื่อจัดลำดับความสำคัญดังแสดงในตารางที่ 4.12 และรูป 4.11 ก่อนที่จะนำไปทดลองในขั้นตอนถัดไป

การคำนวณค่า RPN ได้มาจากผลคูณค่าพารามิเตอร์ 3 ตัวคือ $O \times S \times D$ เมื่อ

- O = Occurrence คือระดับความถี่ของการเกิดปัญหาความล้มเหลวหรือความผิดพลาด
เกณฑ์การให้คะแนนคือ 1 – 10 โดย 1 คือความถี่น้อยที่สุดของการเกิด
ความล้มเหลวหรือความผิดพลาด และ 10 คือความถี่มากที่สุดของการเกิด
ปัญหาความล้มเหลวหรือความผิดพลาด
- S = Seveity คือระดับความรุนแรงของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหาขึ้น
เกณฑ์การให้คะแนนคือ 1 – 10 โดย 1 คือความรุนแรงน้อยที่สุดของ
ผลกระทบเมื่อเกิดปัญหาขึ้น และ 10 คือความรุนแรงมากที่สุดของผลกระทบ
เมื่อเกิดปัญหาเกิดขึ้น
- D = Detecting คือระดับความสามารถในการตรวจจับปัญหานั้นก่อนที่จะส่งมอบ
งานหรือผลิตภัณฑ์ไปให้ลูกค้า

เกณฑ์การให้คะแนนคือ 1 – 10 โดย 1 คือความสามารถในการตรวจจับปัญหาที่ดีที่สุด และ 10 คือความสามารถในการตรวจจับปัญหาที่แย่ที่สุด

ค่า O, S และ D นิยมใช้เป็นตัวเลขจำนวนเต็มมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 10 ดังนั้นค่าระดับความเสี่ยงต่ำสุดของการเกิดปัญหาคือค่า RPN เท่ากับ 1 ซึ่งมาจาก $1 \times 1 \times 1$ หมายความว่าความถี่ของการเกิดปัญหานี้มีน้อยมากและความรุนแรงของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหานี้มีน้อยมากเช่นกัน และสามารถตรวจจับปัญหานี้ได้ก่อนส่งมอบให้แก่ลูกค้าอย่างสมบูรณ์

ในขณะที่ค่าระดับความเสี่ยงสูงสุดของการเกิดปัญหาคือค่า RPN เท่ากับ 1,000 ซึ่งมาจาก $10 \times 10 \times 10$ หมายความว่าความถี่ของการเกิดปัญหานี้มีมากและความรุนแรงของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหานี้มีมากรวมถึงความสามารถในการตรวจจับปัญหามีต่ำ

ในการทำ FMEA ได้ทำการรวบรวมปัจจัยที่มีความใกล้เคียงกันมากเข้าด้วยกัน เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ ดังนี้

1. วัตถุประสงค์ รวมวัตถุประสงค์สองประเภทเข้าด้วยกัน คือ หัวอ่านสำเร็จ และลูกบอลที่ใช้กับเครื่อง swaging เนื่องจากเมื่อทำการระดมสมองเพื่อวิเคราะห์ FMEA ทีมงานจะได้มุ่งเน้นไปที่วัตถุประสงค์ที่สำคัญสองประเภทนี้
2. ระบบการบำรุงรักษา ได้รวมระบบการบำรุงรักษาของ shuttle และ เครื่อง swaging เข้าด้วยกัน
3. พนักงานขาดความรู้ ความชำนาญ รวมเป็นหัวข้อเดียวกันในการวิเคราะห์ FMEA

ดังนั้นในการวิเคราะห์ FMEA จึงเหลือปัจจัยเพียง 16 ปัจจัยเท่านั้น



การจัดเรียงหน้า
ที่ต้นฉบับมีบางหน้า
ขาดหายไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.11 การวิเคราะห์ FMEA สำหรับกระบวนการผลิตชุดหัวอ่านสำเร็จ

FMEA สำหรับกระบวนการ

Process Name : Gramload Testing

Product : VL40

FMEA Committee : Process, QC, SQE, Production, Maintenance & Tooling

FMEA Number : WD-001

Process Step	Key Process Input	Potential Failure Mode	SEV	Potential Causes	OC	Current Controls	DET	RPN	Action Recommended	SEV	OC	DET	RPN
1	การตั้งมุม Angle Block	มุมที่ตั้งมากหรือน้อยเกินไปไม่เหมาะสมกับการทำงานของพนักงาน	10	มีขอบเขตในการตั้งมุมกว้างเกินไป กลุ่มของ Tooling สามารถตั้งได้หลายค่า โดยที่ไม่ออกนอก spec	5	ค่า drawing specification	8	400	ทำการทดลองเพื่อหามุมที่ดีที่สุดสำหรับการทำงาน ของพนักงานเพื่อให้ได้ค่า Gramload ที่ดีที่สุด				
			10	Screw ที่ใช้ยึด Angle Block หลวม	2	ตรวจเช็ค Angle Block กะละ 1 ครั้งก่อนเริ่ม งาน	3	60	เพิ่มการตรวจเช็คเป็น 2 ครั้งต่อกะ				
2	การออกแบบ 1st key thickness ของ Shuttle	หนาไป/บางไป	8	มีขอบเขตในการออกแบบกว้างเกินไป กลุ่มของ Tooling สามารถตั้งได้หลายค่า โดยที่ไม่ออกนอก spec	5	ค่า drawing specification	8	320	ทำการทดลองเพื่อหา thickness ที่ให้ค่า gramload ที่ดีที่สุด				
3	การออกแบบ 2nd key thickness ของ Shuttle	หนาไป/บางไป	8	มีขอบเขตในการออกแบบกว้างเกินไป กลุ่มของ Tooling สามารถตั้งได้หลายค่า โดยที่ไม่ออกนอก spec	5	ค่า drawing specification	8	320	ทำการทดลองเพื่อหา thickness ที่ให้ค่า gramload ที่ดีที่สุด				

FMEA สำหรับกระบวนการ

Process Name : Gramload Testing

Product : VL40

FMEA Commitee : Process, QC, SQE, Production, Maintenance & Tooling

FMEA Number : WD-001

Process Step	Key Process Input	Potential Failure Mode	S E V	Potential Causes	O C C	Current Controls	D E T	R P N	Action Recommended	S E V	O C C	D E T	R P N
4	การออกแบบ Comb Tower Pin Height ของ Shuttle	สูงไป/ต่ำไป	8	มีขอบเขตในการออกแบบ กว้างเกินไป กลุ่มของ Tooling สามารถตั้งได้ หลายค่า โดยที่ไม่ออกนอก spec	5	ค่า drawing specification	8	320	ทำการทดลองเพื่อหาความสูง ที่ให้ค่า gramload ที่ดีที่สุด				
5	การออกแบบฐานของ shuttle ไม่เหมาะสม (ความตื้น-ลึก)	ลึกไป/ตื้นไป	8	มีขอบเขตในการออกแบบ กว้างเกินไป กลุ่มของ Tooling สามารถตั้งได้ หลายค่า โดยที่ไม่ออกนอก spec	5	ค่า drawing specification	9	360	ทำการทดลองเพื่อหาความลึกที่ให้ค่า gramload ที่ดีที่สุด				
6	วัตถุดิบ	คุณภาพวัตถุดิบไม่ได้มาตรฐานแล้วนำไปใช้ในการผลิต	8	ไม่มีการตรวจสอบวัตถุดิบก่อนนำไปใช้	6	ไม่มีการควบคุม	10	480	ซื้อเครื่องมือวัด Gramload ในระดับ HGA เพื่อทำการตรวจสอบก่อนนำวัตถุดิบเข้ามาใช้โดยการสุ่ม				

FMEA สำหรับกระบวนการ

Process Name : Gramload Testing

Product : VL40

FMEA Commitee : Process, QC, SQE, Production, Maintenance & Tooling

FMEA Number : WD-001

Process Step	Key Process Input	Potential Failure Mode	S E V	Potential Causes	O C C	Current Controls	D E T	R P N	Action Recommeded	S E V	O C C	D E T	R P N
7	การเคลื่อนย้าย shuttle	คุณภาพวัตถุดิบจากแต่ละแหล่งไม่เท่ากัน	7	ไม่มีการตรวจสอบวัตถุดิบก่อนนำไปใช้	6	ไม่มีการควบคุม	10	420	ทำการทดลองเพื่อหาความแตกต่างของวัตถุดิบแต่ละแหล่ง เพื่อเป็นตัวบ่งชี้และระมัดระวังในการนำวัตถุดิบแต่ละแหล่งมาใช้				
		มี shuttle ที่ไม่มีคุณภาพปะปนอยู่ในกระบวนการ	8	ไม่มีการควบคุมการเคลื่อนย้าย shuttle เพื่อนำไปใช้	6	ไม่มีการควบคุม	10	480	จัดทำระบบควบคุมคุณภาพของ shuttle				
		shuttle ที่ใช้เกิดความเสียหายโดยไม่รู้สาเหตุต้องนำออกไปซ่อม	6	ไม่มีการควบคุมการเคลื่อนย้าย shuttle เพื่อนำไปใช้	4	มีการตรวจสอบสัปดาห์ละ 1 ครั้ง	3	72	จัดทำระบบควบคุมคุณภาพของ shuttle				
8	ขนาดลูกบอลที่ใช้กับเครื่อง swaging	บอลมีขนาดใหญ่ไป/เล็กไป	7	ไม่มีการตรวจสอบขนาดของลูกบอลก่อนนำไปใช้	3	มีการสุ่มตรวจ 1 ครั้งต่อกะ ครั้งละ 20 ตัว	9	189	เพิ่มจำนวนในการสุ่มตรวจ				

FMEA สำหรับกระบวนการ

Process Name : Gramload Testing

Product : VL40

FMEA Commitee : Process, QC, SQE, Production, Maintenance & Tooling

FMEA Number : WD-001

Process Step	Key Process Input	Potential Failure Mode	S E V	Potential Causes	O C C	Current Controls	D E T	R P N	Action Recommeded	S E V	O C C	D E T	R P N
9	ระบบการบำรุงรักษาเครื่องมือ	shuttle เสียหายก่อนที่จะทำ PM ครั้งต่อไป	6	ระบบทำการบำรุงรักษาเครื่องมือไม่มีประสิทธิภาพ	3	นำ shuttle ออกมาทำการตรวจเช็คสัปดาห์ละ 1 ครั้ง	4	72	จัดทำระบบควบคุมคุณภาพของ shuttle				
		เครื่อง swaging เสียหายก่อนที่จะทำ PM ครั้งต่อไป	6	ระบบทำการบำรุงรักษาเครื่องมือไม่มีประสิทธิภาพ	1	ตรวจเช็คก่อนเริ่มใช้งานกะละ 1 ครั้ง	4	24					
			5	พนักงานฝ่ายซ่อมบำรุงเครื่องมือ ขาดความรู้ความเข้าใจในระบบการทำการบำรุงรักษาเครื่องจักร	3	ตรวจสอบจากการบันทึกการทำงานโดยวิศวกรฝ่ายซ่อมบำรุงเครื่องมือ	4	60	จัดระบบการอบรม และรื้อฟื้นความรู้ให้พนักงานอย่างต่อเนื่อง				
10	วิธีการจับถือชิ้นงาน	จับถือชิ้นงานผิดวิธี	5	ไม่เข้าใจวิธีการจับชิ้นงานที่ถูกต้อง	3	สุ่มตรวจวิธีการจับถือชิ้นงานของพนักงานโดย QC	6	90	จัดระบบการอบรม และรื้อฟื้นความรู้ให้พนักงานอย่างต่อเนื่อง				

FMEA สำหรับกระบวนการ

Process Name : Gramload Testing

Product : VL40

FMEA Commitee : Process, QC, SQE, Production, Maintenance & Tooling

FMEA Number : WD-001

Process Step	Key Process Input	Potential Failure Mode	S E V	Potential Causes	O C C	Current Controls	D E T	R P N	Action Recommeded	S E V	O C C	D E T	R P N
11	จำนวนลูกบอลที่ใช้กับเครื่อง Swaging	มากไป/น้อยไป	7	ไม่ทราบจำนวนลูกบอลที่เหมาะสมที่สุดคือจำนวนเท่าใด	6	ใช้จำนวนลูกบอลตามข้อกำหนดที่ใช้กันมาตั้งแต่ต้น	5	210	ทำการทดลองเพื่อหาจำนวนลูกบอลที่เหมาะสมที่ให้ค่า Gramload ดีที่สุด				
12	การตั้งค่าความเร็ว (speed) ของเครื่อง swaging	เร็วไป/ช้าไป	7	มีขอบเขตในการตั้งค่าเครื่อง swaging กว้างเกินไป กลุ่มของ Tooling สามารถตั้งได้หลายค่า โดยที่ไม่ออกนอก spec	6	ค่า setting specification	5	210	ทำการทดลองเพื่อหาการตั้งค่าความเร็ว (speed) ที่เหมาะสม ที่ให้ค่า Gramload ที่ดีที่สุด				
13	งานรอเข้ากระบวนการ (Work Inprocess)	มากเกินไป	3	พนักงานไม่ปฏิบัติตามระบบการควบคุมงานรอเข้ากระบวนการถัดไป ซึ่งกำหนดให้มีได้เพียง 1 ตัวเท่านั้น	6	สุ่มตรวจ QC	5	90	ฝ่ายผลิตมีการสุ่มตรวจสอบเอง				

FMEA สำหรับกระบวนการ

Process Name : Gramload Testing

Product : VL40

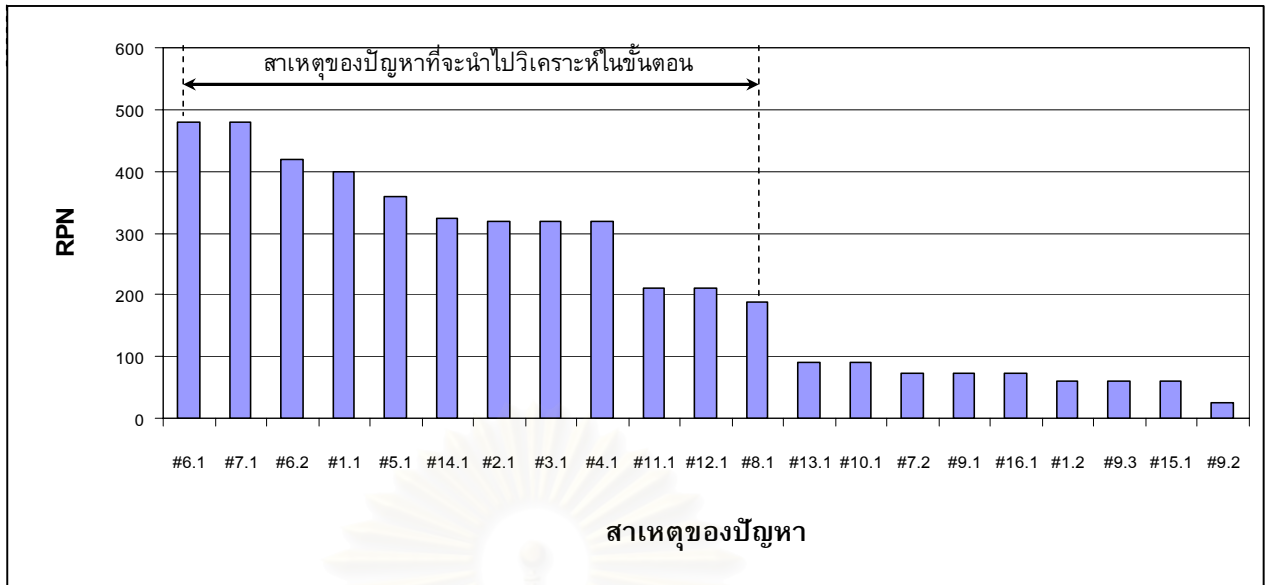
FMEA Commitee : Process, QC, SQE, Production, Maintenance & Tooling

FMEA Number : WD-001

Process Step	Key Process Input	Potential Failure Mode	S E V	Potential Causes	O C C	Current Controls	D E T	R P N	Action Recommeded	S E V	O C C	D E T	R P N
14	การออกแบบขั้นตอนการทำงาน	ประกอบชิ้นงานแล้ว ชิ้นงานเสียหาย อาจจะตรวจสอบได้ หรือ ตรวจสอบไม่ได้ด้วยสายตา	9	การออกแบบขั้นตอนการทำงานไม่เหมาะสมกับสภาพของการทำงานจริง	6	ออกเอกสารในการกำหนดวิธีการทำงานของพนักงานโดยวิศวกรควบคุมการผลิต	6	324	ออกแบบการทดลอง เพื่อหาวิธีการทำงานที่เหมาะสมที่สุด ที่เหมาะกับสภาพการทำงานปัจจุบัน				
15	พนักงานขาดความรู้ ความชำนาญ	พนักงานทำงานอย่างไม่มีประสิทธิภาพ	6	ขาดการติดตามผล หลังจากที่ทำการอบรมสอน การทำงานแล้ว	2	ตรวจสอบความรู้ของพนักงานทุกๆ 6 เดือน	5	60	ตรวจสอบความรู้ของพนักงานด้วยความถี่ที่มากขึ้น				
16	พนักงานขาดประสบการณ์	พนักงานทำงานอย่างไม่มีประสิทธิภาพ	6	พนักงานลาออกบ่อย	2	ไม่มีการควบคุม	6	72	สร้างแรงจูงใจในการทำงาน				

ตารางที่ 4.12 สาเหตุของปัญหาและค่า RPN

ลำดับที่	สาเหตุของปัญหา	ค่า RPN
6.1	ไม่มีการตรวจสอบวัตถุดิบก่อนนำไปใช้	480
7.1	ไม่มีการควบคุมการเคลื่อนย้าย shuttle เพื่อนำไปใช้	480
6.2	ไม่มีการตรวจสอบวัตถุดิบก่อนนำไปใช้	420
1.1	มีขอบเขตในการตั้งมุมกว้างเกินไป กลุ่มของ Tooling สามารถตั้งได้หลายค่า โดยที่ไม่ออกนอก spec (Angle block)	400
5.1	มีขอบเขตในการออกแบบกว้างเกินไป กลุ่มของ Tooling สามารถตั้งได้หลายค่า โดยที่ไม่ออกนอก spec (ฐาน shuttle)	360
14.1	การออกแบบขั้นตอนการทำงานไม่เหมาะสมกับสภาพของการทำงานจริง	324
2.1	มีขอบเขตในการออกแบบกว้างเกินไป กลุ่มของ Tooling สามารถตั้งได้หลายค่า โดยที่ไม่ออกนอก spec (Comb Tower Pin Height)	320
3.1	มีขอบเขตในการออกแบบกว้างเกินไป กลุ่มของ Tooling สามารถตั้งได้หลายค่า โดยที่ไม่ออกนอก spec (1 st key thickness)	320
4.1	มีขอบเขตในการออกแบบกว้างเกินไป กลุ่มของ Tooling สามารถตั้งได้หลายค่า โดยที่ไม่ออกนอก spec (2 nd key thickness)	320
11.1	ไม่ทราบว่าจำนวนลูกบอลที่เหมาะสมที่สุดคือจำนวนเท่าใด	210
12.1	มีขอบเขตในการตั้งค่าเครื่อง swaging กว้างเกินไป กลุ่มของ Tooling สามารถตั้งได้หลายค่า โดยที่ไม่ออกนอก spec	210
8.1	ไม่มีการตรวจสอบขนาดของลูกบอลก่อนนำไปใช้	189
13.1	พนักงานไม่ปฏิบัติตามระบบการควบคุมงานรอเข้ากระบวนการถัดไป ซึ่งกำหนดให้มีได้เพียง 1 ตัวเท่านั้น	90
10.1	ไม่เข้าใจวิธีการจับชิ้นงานที่ถูกต้อง	90
7.2	ไม่มีการควบคุมการเคลื่อนย้าย shuttle เพื่อนำไปใช้	72
9.1	ระบบทำการบำรุงรักษาเครื่องมือไม่มีประสิทธิภาพ	72
16.1	พนักงานลาออกบ่อย	72
1.2	Screw ที่ใช้ยึด Angle Block หลวม	60
9.3	พนักงานฝ่ายซ่อมบำรุงเครื่องมือ ขาดความรู้ความเข้าใจในระบบการทำการบำรุงรักษาเครื่องจักร	60
15.1	ขาดการติดตามผลหลังจากที่ทำการอบรม สอน การทำงานแล้ว	60
9.2	ระบบทำการบำรุงรักษาเครื่องมือไม่มีประสิทธิภาพ	24



รูปที่ 4.11 ผังพาเรโตจัดลำดับความสำคัญของค่า RPN

จากผลการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) ได้นำผลคะแนน RPN มาจัดเรียงจากมากไปน้อยและพล็อตแผนภูมิพาเรโต เพื่อพิจารณาลำดับความสำคัญของแต่ละปัจจัย ดังรูปที่ 4.11 และทำการเลือกปัจจัยนำเข้าซึ่งคิดเป็นสัดส่วน 85 เปอร์เซ็นต์ของค่า RPN ทั้งหมด ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญและถูกเลือกเพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อ มีดังต่อไปนี้

1. วัตถุประสงค์ (ชุดหัวอ่าน : HGA)
2. การควบคุมการเคลื่อนย้าย shuttle
3. การตั้งค่า angle block ของ stand plate
4. การตั้งค่าความสูงของฐาน shuttle
5. การออกแบบขั้นตอนการทำงาน
6. การตั้งค่า 1st key thickness ของ shuttle
7. การตั้งค่า 2nd key thickness ของ shuttle
8. การตั้งค่า comb tower pin slot ของ shuttle
9. จำนวนของลูกบอลที่ใช้ในการ swaging
10. การตั้งค่าความเร็วของเครื่อง swaging
11. ขนาดของลูกบอลที่ใช้ในการ swaging

4.6 สรุปผลขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา

ผลลัพธ์จากขั้นตอนนี้คือ ผลของการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด ผลจากการวิเคราะห์ปัญหาจากสาเหตุและ ผลจากการวิเคราะห์ปัญหาจากสาเหตุและ โดยนำผลลัพธ์ที่ได้เหล่านี้ไปใช้ในขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

4.6.1 ผลจากการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด

จากการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดที่มีการวัดค่า Gramload ของกระบวนการผลิตชุดหัวอ่านสำเร็จ พบว่าเครื่องมือวัดทุกเครื่อง มีความสามารถในการตรวจจับความผันแปรของกระบวนการได้ดี โดยมีค่าระบบการวัด ค่าแปรผันมาจากเครื่องมือวัด ค่าแปรผันมาจากผู้ทำการทดลอง และ ค่าความแปรผันมาจากชิ้นงาน น้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ นั่นคือหากความผันแปรของกระบวนการมีค่า 100 หน่วย จะมีความแปรผันเนื่องจากระบบการวัดน้อยกว่า 10 หน่วย ซึ่งสามารถที่จะใช้ข้อมูลที่ได้จากระบบการวัดนี้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อวิเคราะห์ปัญหาที่ทำการศึกษา

4.6.2 ผลจากการวิเคราะห์ปัญหาจากสาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix)

ได้นำปัจจัยนำเข้าทั้งหมด 37 ปัจจัยมาทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างผลของกระบวนการ (KPOV) และปัจจัยนำเข้า (KPIV) ด้วยตารางสาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix) แล้วจัดเรียงลำดับคะแนนตามความสำคัญด้วยผังพาเรโต จึงเหลือปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองเพียง 20 ปัจจัย จากนั้นนำไปวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA)

4.6.3 ผลจากการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA)

จากการจัดลำดับความสำคัญด้วยผังพาเรโต ในขั้นตอนการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) พบว่าปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่มีผลกระทบต่อค่าความแปรปรวนของ Gramload มีทั้งสิ้น 11 ปัจจัย ได้แก่ วัดจุดติบ (ชุดหัวอ่าน : HGA) การควบคุมการเคลื่อนย้าย shuttle การตั้งค่า angle block ของ shuttle การตั้งค่าความสูงของฐาน shuttle การออกแบบขั้นตอนการทำงาน การตั้งค่า 1st key thickness ของ shuttle การตั้งค่า 2nd key thickness ของ shuttle การตั้งค่า comb tower pin slot ของ shuttle จำนวนของลูกบอลที่ใช้ในการ swaging การตั้งค่าความเร็วของเครื่อง swaging และ ขนาดของลูกบอลที่ใช้ในการ swaging

บทที่ 5

การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

5.1 บทนำ

นำข้อมูลปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ 11 ปัจจัย จากการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่อง (FMEA) มา กำหนดระดับของปัจจัยนำเข้าก่อนนำไปทดสอบสมมติฐาน

เครื่องมือที่นำมาใช้ในการวิจัยประกอบด้วย

- โปรแกรม MINITAB เป็นโปรแกรมที่มีประสิทธิภาพสูง ในการวิเคราะห์ผลทางสถิติ พื้นฐานและสามารถประมวลผลการประยุกต์สถิติเชิงวิศวกรรมที่ครอบคลุมทั้งด้านการควบคุม คุณภาพ ไปจนถึงการออกแบบการทดลอง ซึ่งโปรแกรม MINITAB นี้สอดคล้องกับเครื่องมือที่ ประกอบอยู่ใน ซิกซ์ ซิกม่า

- การทดสอบสมมติฐานค่ากลาง (2 sample t-test) เพราะเป้าหมายของการวิจัยต้องการที่จะเน้นที่การเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยผลลัพธ์ (KPOV) เป็นหลัก โดยในทางปฏิบัติทั่วไปนั้นนิยมใช้ การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย

- การทดสอบสมมติฐานความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Homogeneity of Variance) เพราะ ต้องการพิจารณาการกระจายของสองกลุ่มประชากรว่า แตกต่างกันหรือไม่ ซึ่งงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นที่ การเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของสองกลุ่มประชากรมากกว่า

5.2 ปัจจัยนำเข้าที่นำมาทดสอบสมมติฐาน

จากขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหาได้สรุปปัจจัยนำเข้าที่ทดสอบทั้งหมด 11 ปัจจัย ได้แก่

1. วัดตุ้บ (ชุดหัวอ่าน : HGA)
2. การควบคุมการเคลื่อนย้าย shuttle
3. การตั้งค่า angle block ของ stand plate
4. การตั้งค่าความสูงของฐาน shuttle
5. การออกแบบขั้นตอนการทำงาน
6. การตั้งค่า 1st key thickness ของ shuttle
7. การตั้งค่า 2nd key thickness ของ shuttle
8. การตั้งค่าระยะห่างของ comb tower pin slot ของ shuttle
9. จำนวนของลูกบอลที่ใช้ในการ swaging
10. การตั้งค่าความเร็วของเครื่อง swaging

11. ขนาดของลูกบอลที่ใช้ในการ swaging

ในการทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐานของทั้ง 11 ปัจจัยนั้น จะทำการทดสอบสมมติฐานระดับของแต่ละปัจจัยใน 2 ระดับที่แตกต่างกัน ทั้งนี้เพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายในการทดลอง และสามารถทำการทดลองได้ง่าย ซึ่งมีรายละเอียดของขั้นตอนดำเนินการทดสอบสมมติฐานดังนี้

5.2.1 วัสดุดิบ (ชุดหัวอ่าน : HGA)

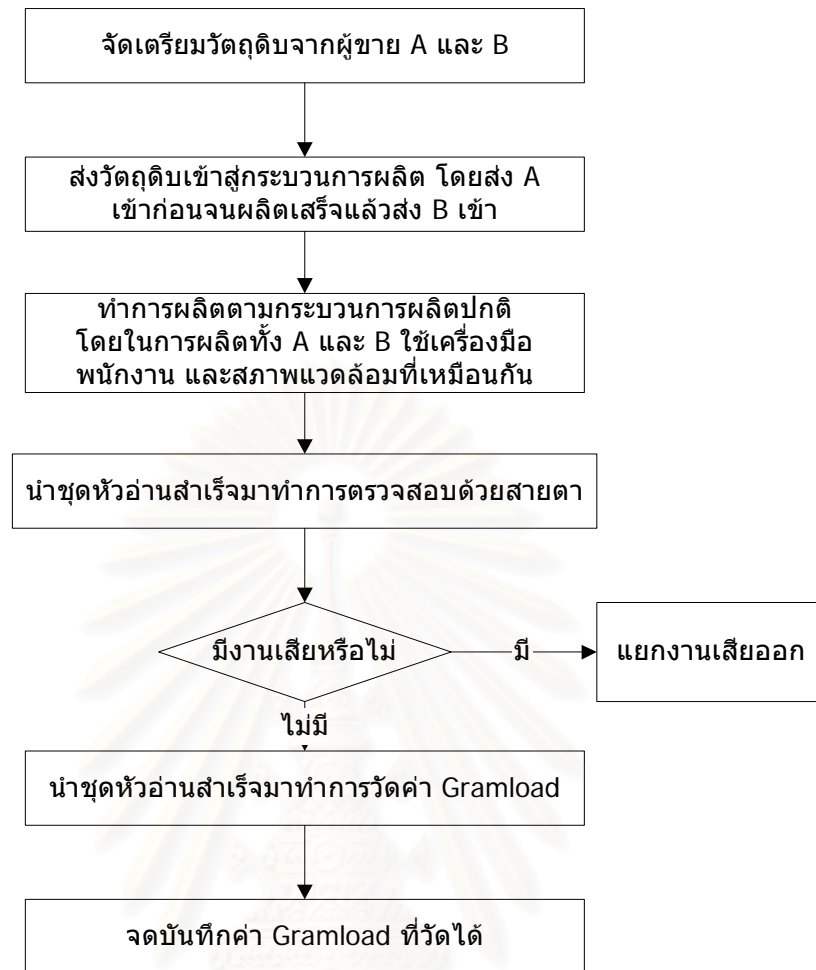
ในกระบวนการผลิตชุดหัวอ่านสำเร็จ วัสดุดิบที่สำคัญที่มีผลต่อความแปรปรวนของค่า Gramload มากที่สุดชุดหัวอ่าน (HGA) ดังแสดงในรูป 5.1 ซึ่งโดยปกติแล้ว โรงงานตัวอย่างจะทำการซื้อชุดหัวอ่านจากผู้ขายหลายราย ปัญหาที่พบคือไม่มีการทำการตรวจสอบวัสดุดิบก่อนจะนำเข้าสู่กระบวนการผลิตจริง เนื่องจากผู้บริหารมองว่า งานตรวจสอบวัสดุดิบนำเข้า เป็นกระบวนการทำงานที่ไม่ก่อให้เกิดประโยชน์หรือมูลค่าต่อสินค้าแต่อย่างใด

อย่างไรก็ตาม คุณภาพของชุดหัวอ่านที่มาจากผู้ขายแต่ละหลาย เป็นปัจจัยอย่างหนึ่งที่ทีมงานให้ความสนใจ และได้ดำเนินการทดสอบสมมติฐาน โดยวัดค่าแตกต่างของค่า Gramload ที่เกิดจากผู้ขายแตกต่างกัน โดยกำหนดระดับปัจจัยเป็น ผู้ขาย A และผู้ขาย B เนื่องจากเป็นผู้ขายที่โรงงานตัวอย่างใช้เป็นวัสดุดิบมากที่สุดเป็นอันดับหนึ่ง และสองตามลำดับ



รูปที่ 5.1 ชุดหัวอ่าน (HGA) ที่ใช้ในกระบวนการประกอบชุดหัวอ่านสำเร็จ

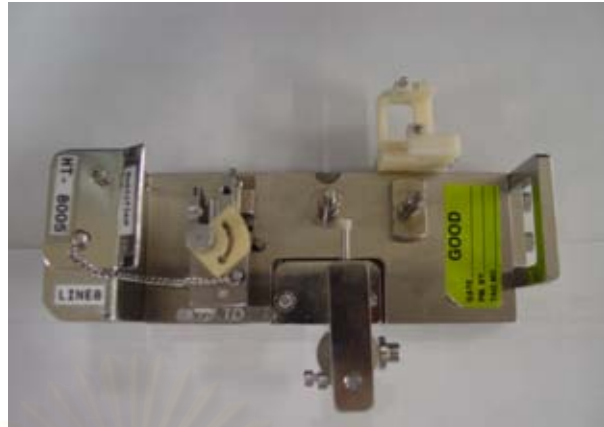
ขั้นตอนในการทำการทดลองโดยมีปัจจัยเป็นวัสดุดิบจากผู้ขาย A และ ผู้ขาย B แสดงในรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 ขั้นตอนการทดลองสำหรับวัตถุดิบ (ชุดหัวอ่าน : HGA)

5.2.2 การควบคุมการเคลื่อนย้าย shuttle

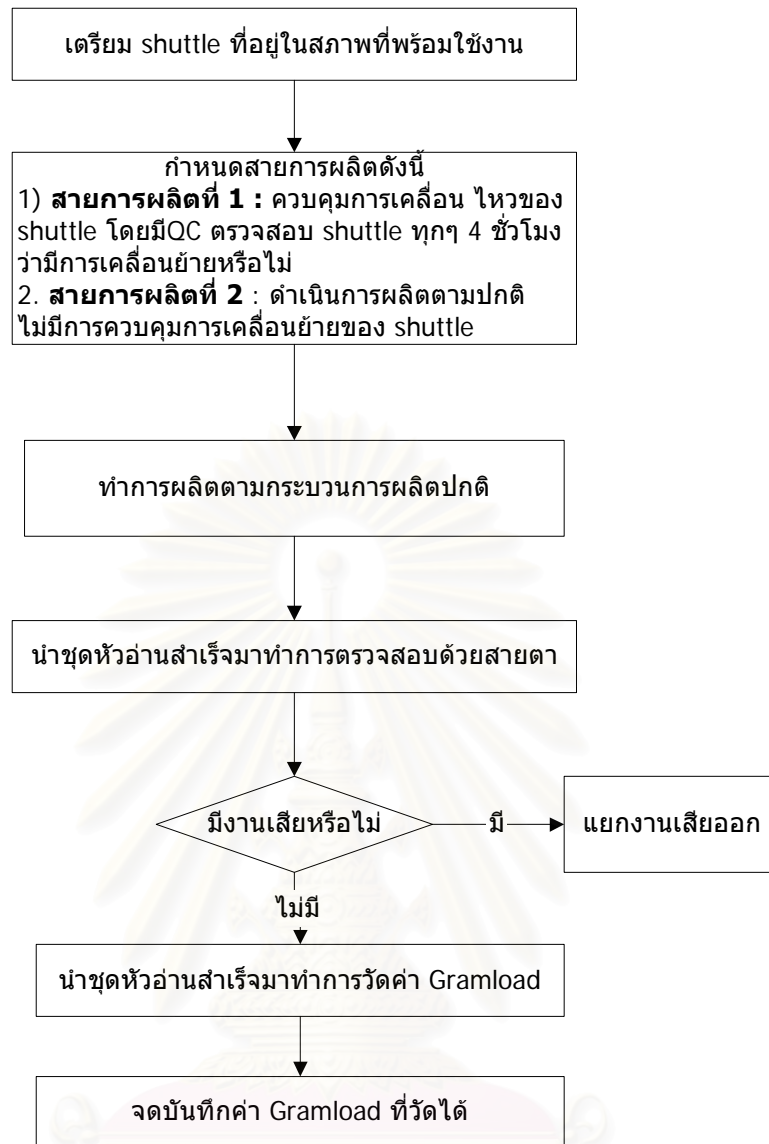
จากการศึกษากระบวนการประกอบชุดหัวอ่านสำเร็จของทีมงาน จะพบว่า shuttle (ดังแสดงในรูปที่ 5.3) เป็นตัวแปรที่มีความสำคัญมากต่อความแปรปรวนของค่า Gramload สิ่งหนึ่งที่พบระหว่างทำการวิเคราะห์ คือ สภาพของ shuttle ที่อยู่ในกระบวนการผลิตมีคุณภาพที่ไม่คงที่ บางก็อยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งาน บางก็อยู่ในสภาพที่ชำรุดเสียหาย โดยที่ไม่พนักงานที่นั่งทำงานอยู่ไม่ได้มีการตรวจสอบ เนื่องจากบางครั้งความเสียหายที่เกิดขึ้นกับ shuttle นั้นพนักงานที่นั่งทำงานอยู่ไม่มีความรู้พอที่จะตรวจสอบได้ ต้องให้ช่างซ่อมบำรุงเครื่องมือเป็นผู้ตรวจสอบ พนักงานจึงยังคงใช้ shuttle นั้นอยู่ ส่งผลให้ค่าของ Gramload ที่สุ่มไปวัดนั้นไม่อยู่ในขอบเขตการควบคุม (specification)



รูปที่ 5.3 shuttle ที่ใช้ในการประกอบชุดหัวอ่านสำเร็จรูป

ขั้นตอนในการทำการทดลองโดยมีปัจจัยเป็นควบคุมการเคลื่อนที่ของ shuttle กำหนดให้มีการควบคุมการเคลื่อนที่ และ ไม่ควบคุมการเคลื่อนที่ แสดงในรูปที่ 5.4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

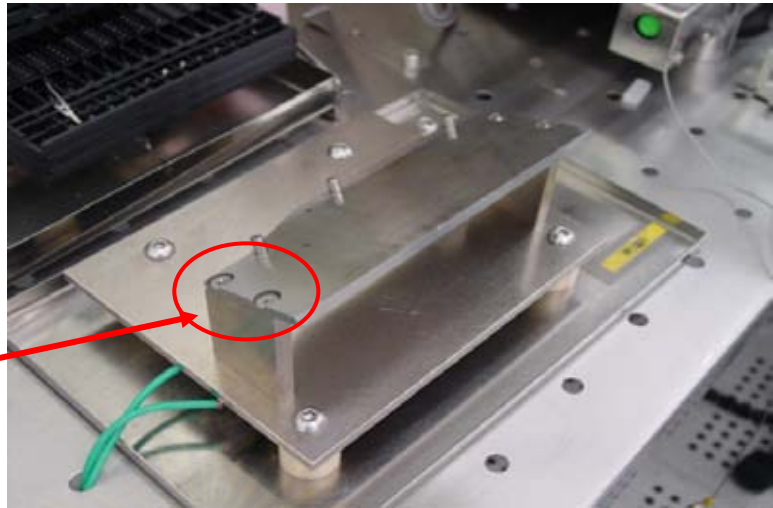


รูปที่ 5.4 ขั้นตอนการทดลองสำหรับการควบคุมการเคลื่อนที่ของ shuttle

5.2.3 การตั้งค่า angle block ของ stand plate

ในการประกอบชุดหัวอ่านสำเร็จ สภาพที่อำนวยความสะดวกเคลื่อนไหวของแขนของพนักงานมีความสำคัญมาก ดังนั้นการตั้งค่า angle block ที่เหมาะสมกับการทำงานของพนักงาน จะทำให้พนักงานประกอบชิ้นงานได้ถนัด มีความประณีตในการหยิบจับ และประกอบชิ้นงาน ลักษณะ stand plate แสดงดังรูป 5.5 ระดับมุมของ stand plate ที่จะทำการทดลองมี 2 ระดับคือที่ 40 องศา และ 60 องศา ซึ่งเป็นระดับมุมที่ stand plate สามารถปรับได้ โดยใช้วิศวกรฝ่ายซ่อมบำรุงของโรงงานตัวอย่าง โดยไม่ต้องส่งออกไปทำที่อื่น สามารถนำมาทำการทดลองได้ทันที

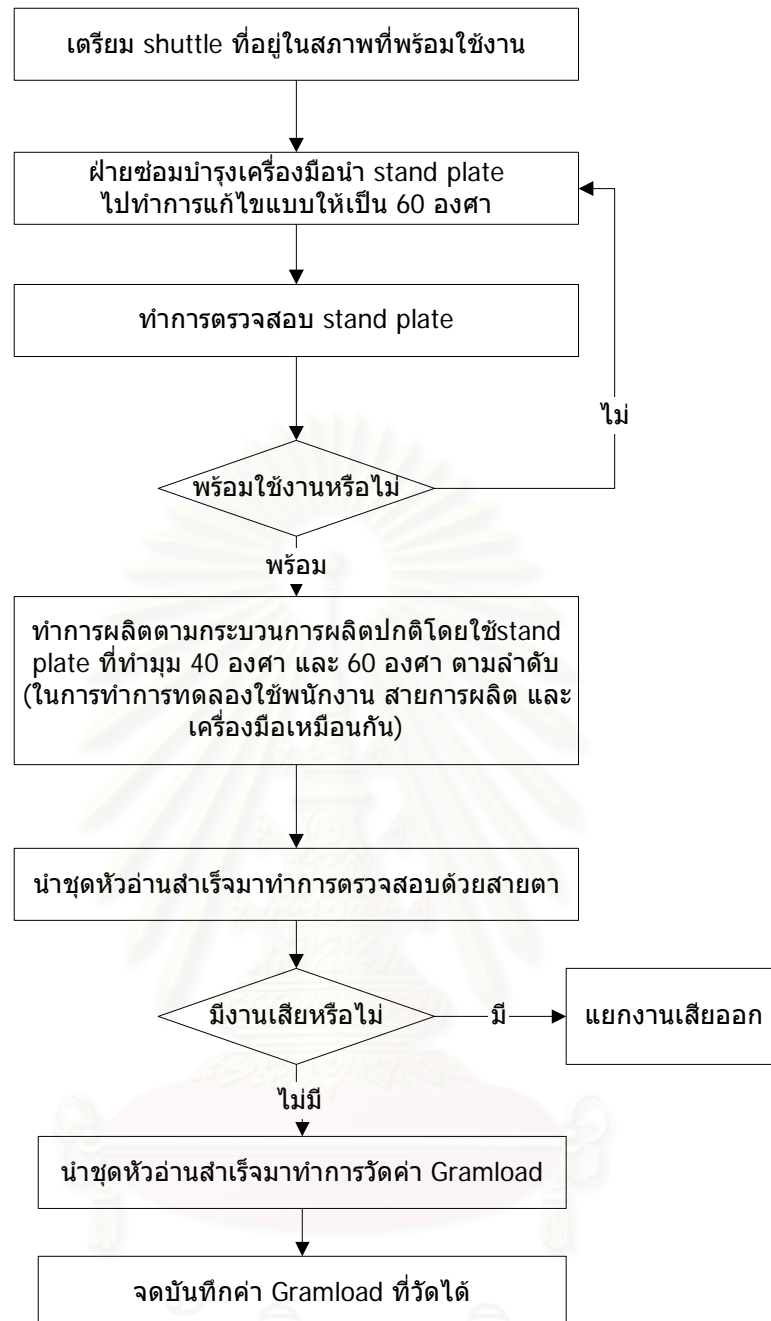
มุมของ
stand plate



รูปที่ 5.5 stand plate ที่ใช้ในการประกอบชุดหัวอ่านสำเร็จรูป

ขั้นตอนในการทำการทดลองโดยมีปัจจัยเป็นระดับมุมของ stand plate ซึ่งมีอยู่ 2 ระดับคือ ที่ 40 องศา และ 60 องศา แสดงในรูปที่ 5.6

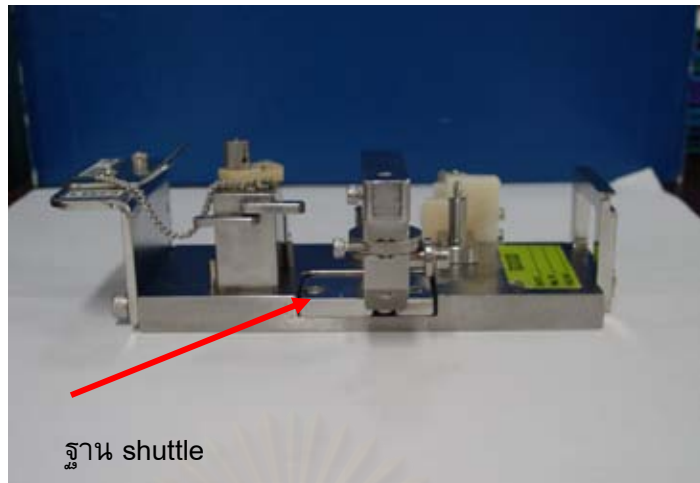
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.6 ขั้นตอนการทดลองสำหรับระดับของ angle block ที่แตกต่างกันของ stand plate

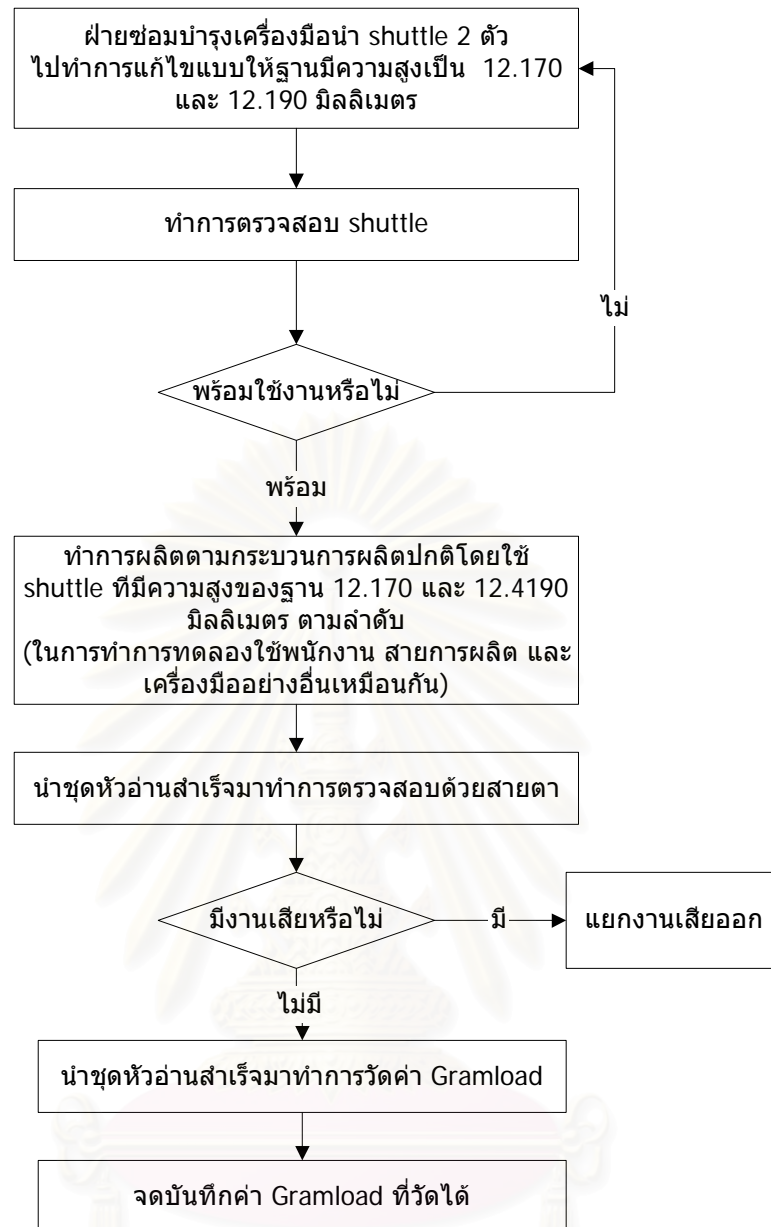
5.2.4 การตั้งค่าความสูงของฐาน shuttle

ดังได้กล่าวมาแล้วว่า shuttle เป็นตัวแปรที่มีความสำคัญมากต่อความแปรปรวนของค่า Gramload การตั้งค่าต่างๆ ของ shuttle จึงต้องพิจารณาว่า ปัจจัยใดของตัว shuttle มีผลมากที่สุด ความสูงของฐาน shuttle เป็นปัจจัยหนึ่งที่ได้้นำทำการทดสอบสมมติฐานฐานของ shuttle แสดงในรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 ฐานของ shuttle ที่ใช้ในการประกอบชุดหัวอ่านสำเร็จรูป

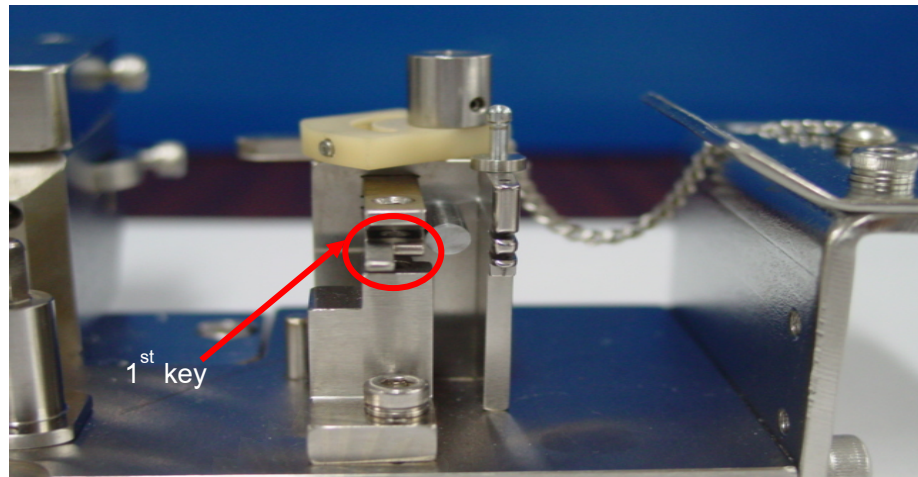
ขั้นตอนในการทำการทดลองโดยมีปัจจัยเป็นความสูงของฐาน shuttle ซึ่งมีอยู่ 2 ระดับคือ ที่ 12.170 และ 12.190 มิลลิเมตร เนื่องจากมี shuttle ที่มีการปรับความสูงที่สองระดับนี้อยู่ในโรงงานตัวอย่างอยู่แล้ว สามารถนำมาทดสอบสมมติฐานได้เลย แสดงในรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.8 ขั้นตอนการทดลองสำหรับระดับความสูงที่แตกต่างกันของฐาน shuttle

5.2.5 การตั้งค่า 1st key thickness ของ shuttle

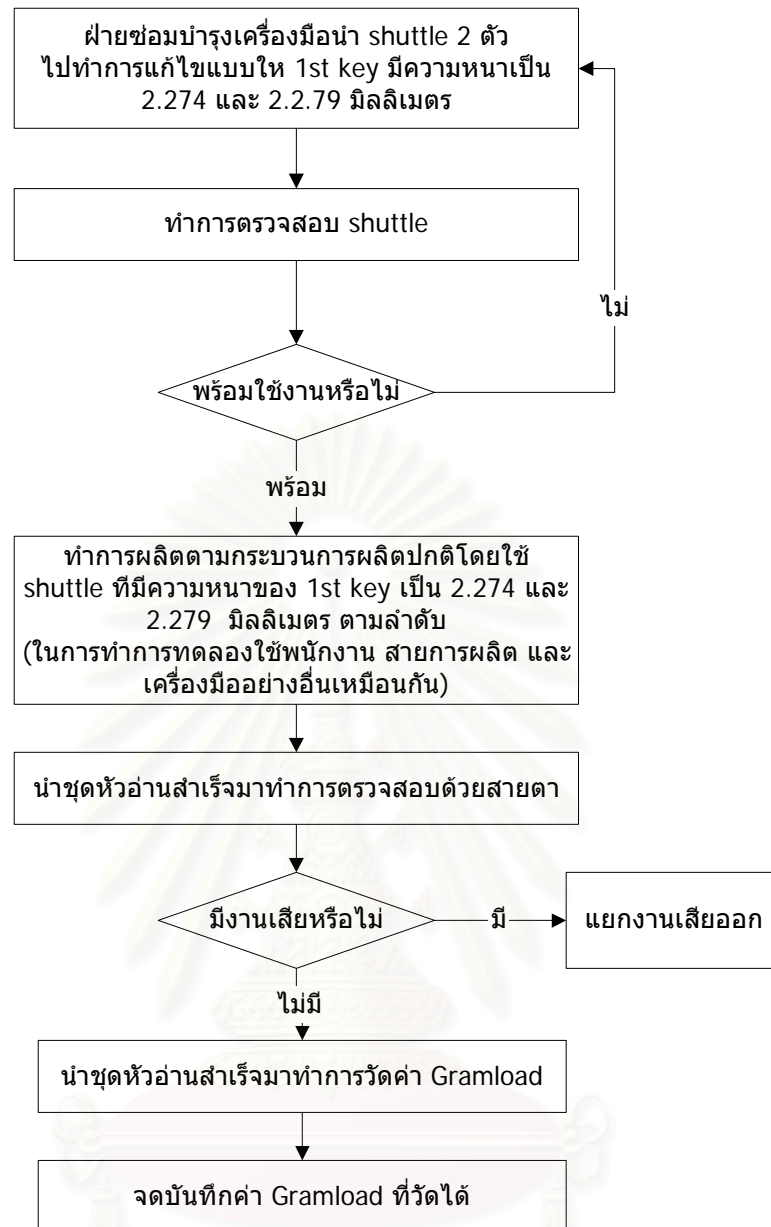
ดังได้กล่าวมาแล้วว่า shuttle เป็นตัวแปรที่มีความสำคัญมากต่อความแปรปรวนของค่า Gramload การตั้งค่าต่างๆ ของ shuttle จึงต้องพิจารณาว่าปัจจัยใดของตัว shuttle มีผลมากที่สุด ความหนาของ 1st key (1st key thickness) เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญมาก เนื่องจากเป็นจุดที่มีการสัมผัสกับกับหัวอ่านและแขนอ่านโดยตรงขณะที่มีการประกอบชุดหัวอ่านสำเร็จ จึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่ได้้นำทำการทดสอบสมมติฐาน 1st key thickness ของ shuttle แสดงในรูปที่ 5.9



รูปที่ 5.9 1st key ของ shuttle

ขั้นตอนในการทำการทดลองโดยมีปัจจัยเป็นความหนาของ 1st key ของ shuttle ซึ่งมีอยู่ 2 ระดับคือ ที่ 2.274 และ 2.279 มิลลิเมตร เนื่องจากมี 1st key ของสองขนาดนี้อยู่ในโรงงานตัวอย่างอยู่แล้ว สามารถนำมาทดสอบสมมติฐานได้เลย แสดงในรูปที่ 5.10

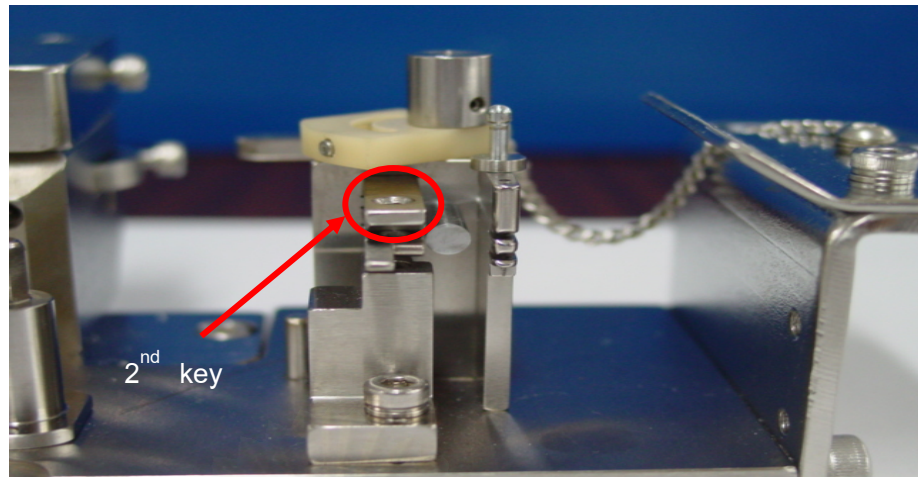
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.10 ขั้นตอนการทดลองสำหรับระดับความหนาที่แตกต่างกันของ 1st key ของ shuttle

5.2.6 การตั้งค่า 2nd key thickness ของ shuttle

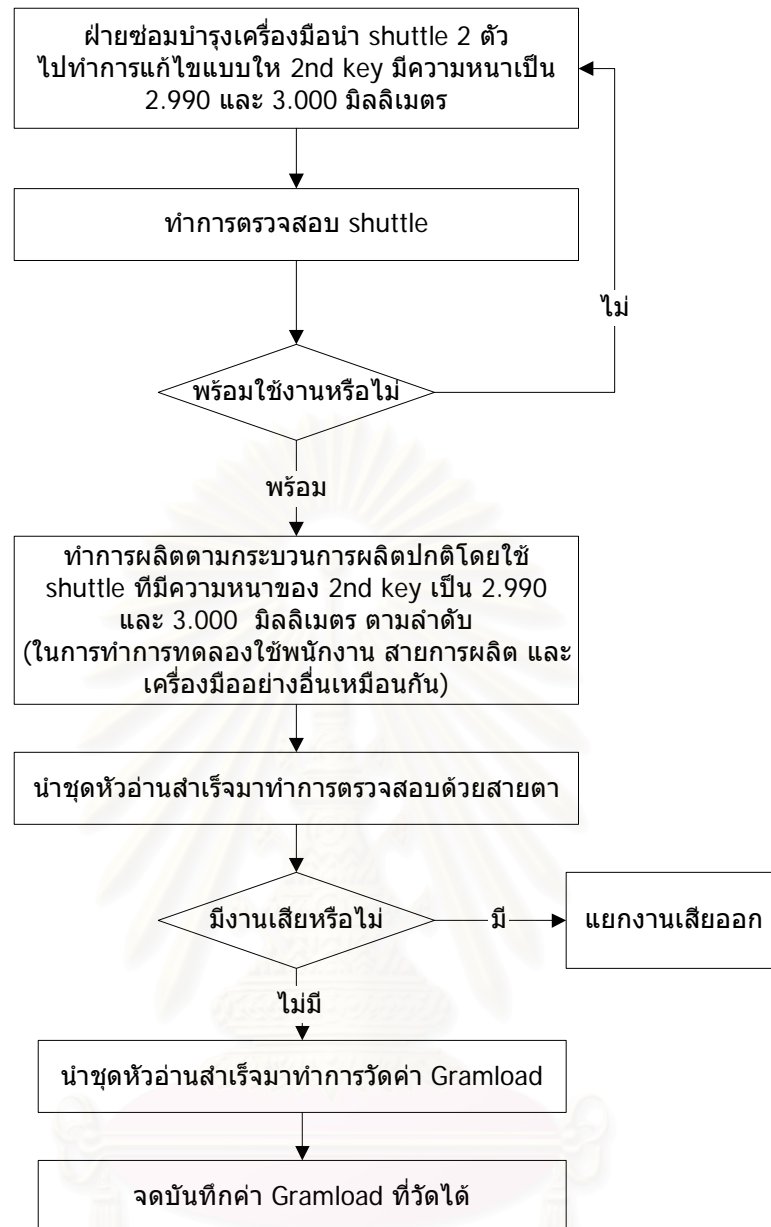
ดังได้กล่าวมาแล้วว่า shuttle เป็นตัวแปรที่มีความสำคัญมากต่อความแปรปรวนของค่า Gramload การตั้งค่าต่างๆ ของ shuttle จึงต้องพิจารณาว่าปัจจัยใดของตัว shuttle มีผลมากที่สุด ความหนาของ 2nd key (2nd key thickness) เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญมาก เนื่องจากเป็นจุดที่มีการสัมผัสกับกับหัวอ่านและแขนอ่านโดยตรงขณะที่มีการประกอบชุดหัวอ่านสำเร็จ จึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่ได้้นำทำการทดสอบสมมติฐาน 2nd key thickness ของ shuttle แสดงในรูปที่ 5.11



รูปที่ 5.11 2nd key ของ shuttle

ขั้นตอนในการทำการทดลองโดยมีปัจจัยเป็นความหนาของ 2nd key ของ shuttle ซึ่งมีอยู่ 2 ระดับคือ ที่ 2.990 และ 3.000 มิลลิเมตร เนื่องจากมี 2nd key ของสองขนาดนี้ อยู่ในโรงงานตัวอย่างอยู่แล้ว สามารถนำมาทดสอบสมมติฐานได้เลย แสดงในรูปที่ 5.12

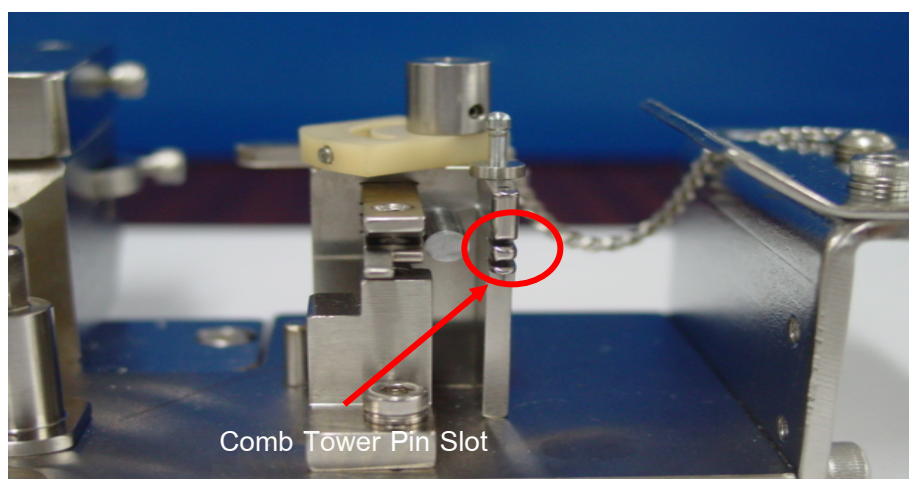
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.12 ขั้นตอนการทดลองสำหรับระดับความหนาที่แตกต่างกันของ 2nd key ของ shuttle

5.2.7 การตั้งค่านะห่างของ comb tower pin slot ของ shuttle

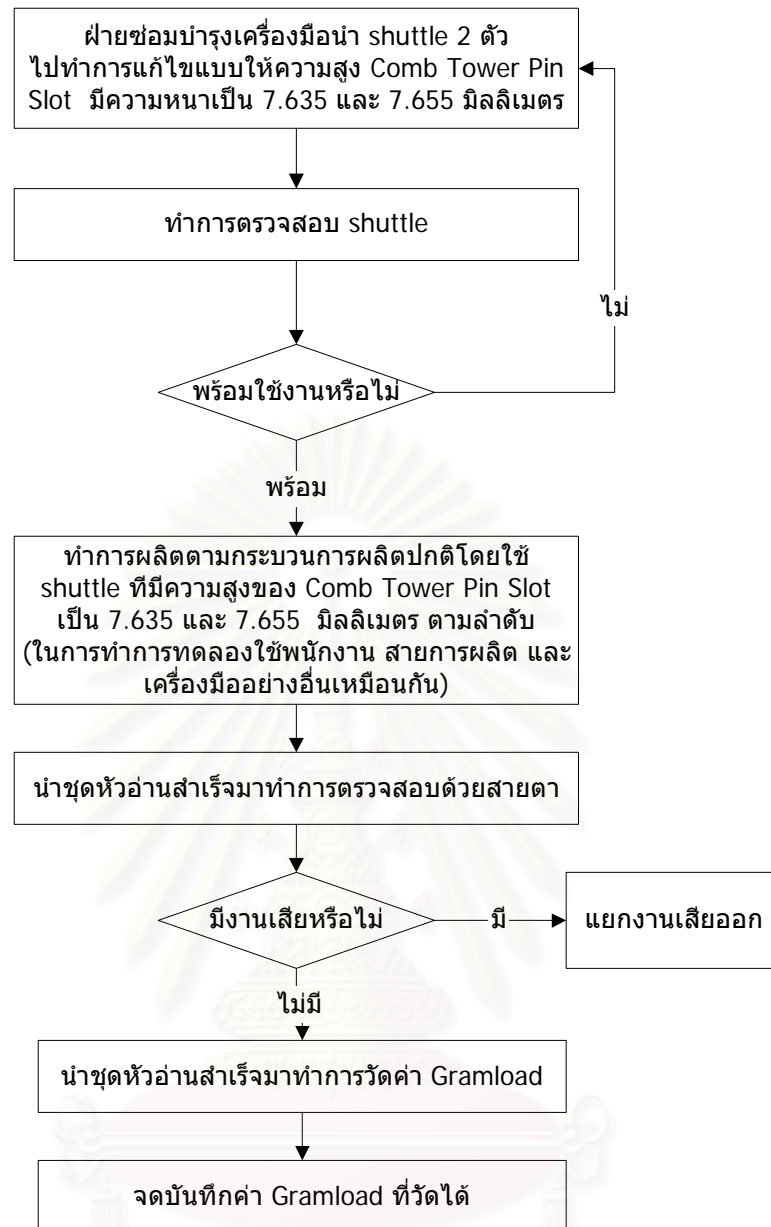
ตั้งได้กล่าวมาแล้วว่า shuttle เป็นตัวแปรที่มีความสำคัญมากต่อความแปรปรวนของค่า Gramload การตั้งค่าต่างๆ ของ shuttle จึงต้องพิจารณาว่า ปัจจัยใดของตัว shuttle มีผลมากที่สุด ระยะห่างของ Comb Tower Pin Slot ของ shuttle เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญมาก เนื่องจากเป็นจุดที่มีการสัมผัสกับกับหัวอ่าน และแขนอ่านโดยตรงขณะที่มีการประกอบชุดหัวอ่านสำเร็จ จึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่ได้้นำทำการทดสอบสมมติฐาน ระยะห่างของ Comb Tower Pin Slot ของ shuttle แสดงในรูปที่ 5.13



รูปที่ 5.13 Comb Tower Pin Slot

ขั้นตอนในการทำการทดลองโดยมีปัจจัยเป็นระยะห่างของ Comb Tower Pin Slot ของ shuttle ซึ่งมีอยู่ 2 ระดับคือ ที่ 7.635 และ 7.655 มิลลิเมตร เนื่องจากมีระยะห่างของ Comb Tower Pin Slot สองขนาดนี้อยู่ในโรงงานตัวอย่างอยู่แล้ว สามารถนำมาทดสอบสมมติฐานได้เลย แสดงในรูปที่ 5.14

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.14 ขั้นตอนการทดลองสำหรับระดับสูงที่แตกต่างกันของ Comb Tower Pin Slot ของ shuttle

5.2.8 การออกแบบขั้นตอนการทำงาน

ในกระบวนการผลิตชุดหัวอ่านสำเร็จ ขั้นตอนการทำงานที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อม และพื้นที่ที่มีอยู่ มีผลอย่างมากต่อความแปรปรวนของค่า Gramload ในปัจจุบันพนักงานได้ปฏิบัติงานตามวิธีการทำงานที่ได้ออกแบบไว้ตั้งแต่เริ่มต้น หลังจากที่ได้มีการระดมความคิดเห็น ทีมงานได้สังเกตเห็นว่าวิธีการทำงานที่มีอยู่ปัจจุบันยังสามารถออกแบบวิธีการที่ดีกว่าที่จะทำให้ค่า Gramload มีความแปรปรวนที่เกิดจากพนักงานน้อยลง โดยวิธีการทำงาน แบบปัจจุบันและแบบใหม่ เป็นดังนี้

ขั้นตอนการทำงานแบบปัจจุบัน

1. พนักงานหยิบ shuttle มาวางบน stand plate
2. พนักงานหยิบถาดชุดหัวอ่านมาจากชั้นวางชุดหัวอ่านที่อยู่ด้านข้าง
3. พนักงานวางถาดชุดหัวอ่านไว้บนชั้นวางที่อยู่ด้านหน้า โดยวางอยู่ในระดับเดียวกัน ทั้งหัวอ่านบน (HD1) และหัวอ่านล่าง (HD0)
4. พนักงานใช้เครื่องมือหยิบชุดหัวอ่านบน (HD1) จากถาดใส่ชุดหัวอ่าน แล้วนำประกอบกับแขนอ่านบน shuttle
5. เลื่อน 2nd key เข้ามาเพื่อยึดชุดหัวอ่านด้านบนเข้ากับแขนอ่าน
6. พนักงานใช้เครื่องมือหยิบชุดหัวอ่านล่าง (HD0) จากถาดใส่ชุดหัวอ่าน แล้วนำประกอบกับแขนอ่านบน shuttle
7. เลื่อน 1st key เข้ามาเพื่อยึดชุดหัวอ่านด้านล่างเข้ากับแขนอ่าน
8. ส่งงานเข้าเครื่อง swaging เพื่อทำการยิงบอลลงมาเพื่อเชื่อมหัวอ่านเข้ากับแขนอ่าน

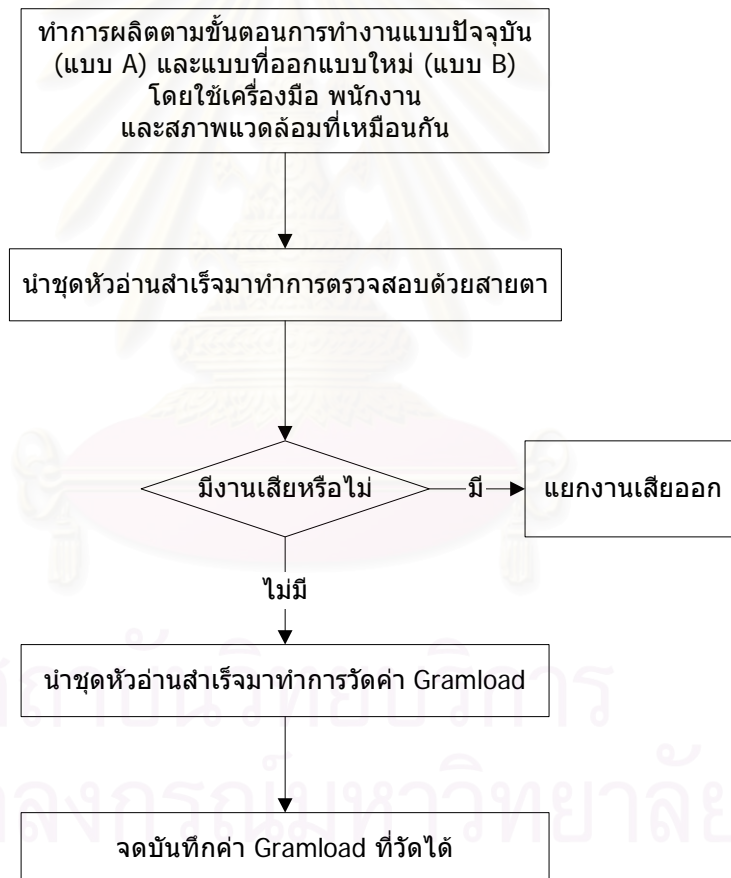
ขั้นตอนการทำงานแบบออกแบบใหม่

1. พนักงานหยิบ shuttle มาวางบน stand plate
2. พนักงานหยิบถาดชุดหัวอ่านมาจากชั้นวางชุดหัวอ่านที่อยู่ด้านข้าง
3. พนักงานวางถาดชุดหัวอ่านไว้บนชั้นวางที่อยู่ด้านหน้า โดยวางหัวอ่านบน (HD0) ไว้ด้านบน และวางหัวอ่านล่าง (HD0) ไว้ด้านล่าง ทำให้พนักงานหยิบชุดหัวอ่านได้ถนัดขึ้น
4. พนักงานใช้เครื่องมือหยิบชุดหัวอ่านบน (HD1) จากถาดใส่ชุดหัวอ่าน แล้วนำประกอบกับแขนอ่านบน shuttle
5. เลื่อน 2nd key เข้ามาเพื่อยึดชุดหัวอ่านด้านบนเข้ากับแขนอ่าน
6. พนักงานใช้เครื่องมือหยิบชุดหัวอ่านล่าง (HD0) จากถาดใส่ชุดหัวอ่าน แล้วนำประกอบกับแขนอ่านบน shuttle
7. เลื่อน 1st key เข้ามาเพื่อยึดชุดหัวอ่านด้านล่างเข้ากับแขนอ่าน
8. ใช้ alignment pin ในการจัดหัวอ่านให้อยู่ในระดับเดียวกัน โดยในการจัดต้องระมัดระวังไม่ให้ pin ไปโดนชุดหัวอ่าน ซึ่งการจัดหัวอ่านจะทำให้หัวอ่านบนกับหัวอ่านล่างอยู่ในแนวเดียวกันมากที่สุด เมื่อนำมายิงบอลเพื่อเชื่อมชุดหัวอ่านเข้ากับแขนอ่านจะไม่ทำให้หัวอ่านกระทบกระเทือน ซึ่งเป็นสาเหตุของค่า Gramload ไม่ได้ตามข้อกำหนด

9. ส่งงานเข้าเครื่อง swaging เพื่อทำการยิงบอลลงมาเพื่อเชื่อมหัวอ่านเข้ากับ แชนอ่าน

ดังนั้นจึงกำหนดขั้นตอนวิธีการทำงานเป็นปัจจัยหนึ่ง และได้ทำการทำสอบ สมมุติฐาน โดยวัดค่าความแตกต่างของค่า Gramload ที่เกิดจากวิธีการทำงานที่ต่างกัน โดยกำหนดระดับปัจจัยเป็น วิธีการทำงานแบบปัจจุบัน เป็นระดับ A และวิธีการทำงานแบบ ใหม่ เป็นระดับ B

ขั้นตอนในการทำการทดลองโดยมีปัจจัยเป็นวิธีการทำงานแบบปัจจุบัน เป็นระดับ A และวิธีการทำงานแบบใหม่ เป็นระดับ B ดังแสดงในรูป 5.15

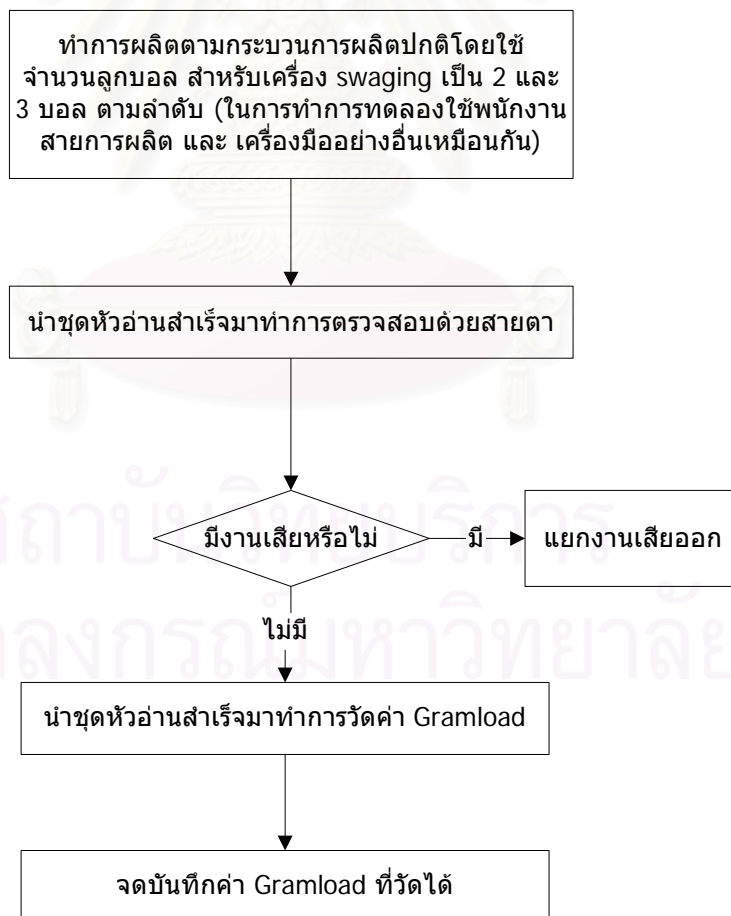


รูปที่ 5.15 ขั้นตอนการทดลองสำหรับขั้นตอนวิธีการทำงานที่แตกต่างกัน

5.2.9 จำนวนของลูกบอลที่ใช้ในการ swaging

ปัจจุบันจำนวนของลูกบอลที่ใช้ในการเชื่อมชุดหัวอ่านเข้ากับแขนอ่าน โดยมี การยิงผ่านเครื่อง swaging คือ 3 ลูกด้วยกัน หลังจากที่ได้มีการประชุม เพื่อระดม ความคิดกับทีมงาน ได้เล็งเห็นว่า จำนวนของลูกบอลน่าจะเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อ ค่าของ Gramload เพราะเมื่อยิงบอลลูกบอลจะเป็นกระทบกับส่วนของหัวอ่าน โดยตรง ถ้าใช้ลูกบอลมาก จะทำให้หัวอ่านเกิดความแอ่น ซึ่งค่า Gramload จะเกิด ความแปรปรวนทันที ดังนั้นจึงถือว่าจำนวนบอลลูกบอลที่ใช้สำหรับเครื่อง swaging เป็นปัจจัยหนึ่ง โดยมีระดับของปัจจัยเป็น จำนวนบอล 2 ลูก และจำนวน บอล 3 ลูก เนื่องจากตามกระบวนการผลิตปกติใช้บอล 3 ลูก แต่สามารถลดให้เหลือ 2 ลูกได้ โดยที่ไม่กระทบต่อคุณภาพในการทำงานอย่างอื่นของชุดหัวอ่านสำเร็จ แต่ ไม่สามารถที่จะใช้บอลเพียง 1 ลูกได้ เพราะจะทำให้เกิดปัญหาหัวอ่านหลุด จึงเลือกที่ จะทำการทดสอบสมมติฐานสำหรับจำนวนลูกบอล 2 และ 3 ลูก

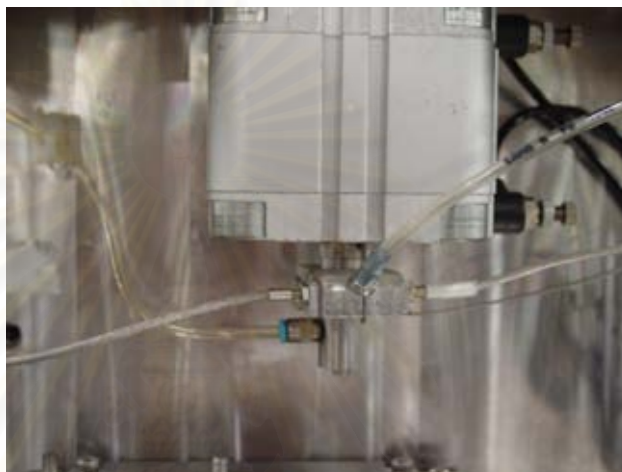
ขั้นตอนในการทำการทดลอง แสดงในรูปที่ 5.16



รูปที่ 5.16 ขั้นตอนการทดลองสำหรับจำนวนลูกบอลที่ต่างกันของเครื่อง swaging

5.2.10 การตั้งค่าความเร็วของเครื่อง swaging

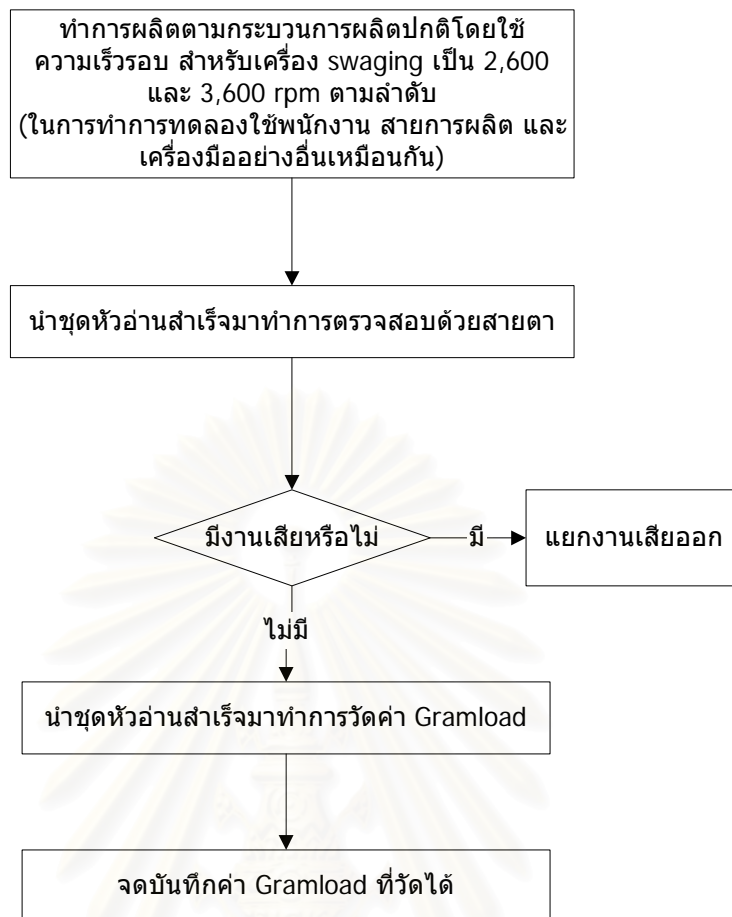
เครื่อง swaging เป็นเครื่องมืออีกอย่างหนึ่งที่มีการตั้งค่าต่างๆ ของเครื่อง มีผลต่อความแปรปรวนของค่า Gramload ปัจจัยที่มีผลมากที่สุดคือ ค่าความเร็วของเครื่องเมื่อมีการยิงลูกบอลลงมาเพื่อเชื่อมชุดหัวอ่านเข้ากับแขนอ่าน ความเร็วที่เท่ากันน่าจะให้ค่า Gramload ที่ต่างกัน เครื่อง swaging แสดงดังรูปที่ 5.17



รูปที่ 5.17 เครื่อง swaging

ขั้นตอนในการทำการทดลองโดยมีปัจจัยเป็นความเร็วรอบของเครื่อง swaging ซึ่งมีอยู่ 2 ระดับคือ ที่ 2,600 และ 3,600 rpm เนื่องจากมี เครื่อง swaging ในปัจจุบันมีความเร็วรอบของเครื่องอยู่ที่ 3,600 rpm เครื่อง swaging นี้สามารถทำการปรับความเร็วได้ครั้งละ 1,000 rpm เท่านั้น จึงทำการเลือกอีกระดับหนึ่งคือ 2,600 rpm เพื่อทำการทดสอบความสมมติฐาน แสดงในรูปที่ 5.18

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.18 ขั้นตอนการทดลองสำหรับความเร็วรอบที่ต่างกันของเครื่อง swaging

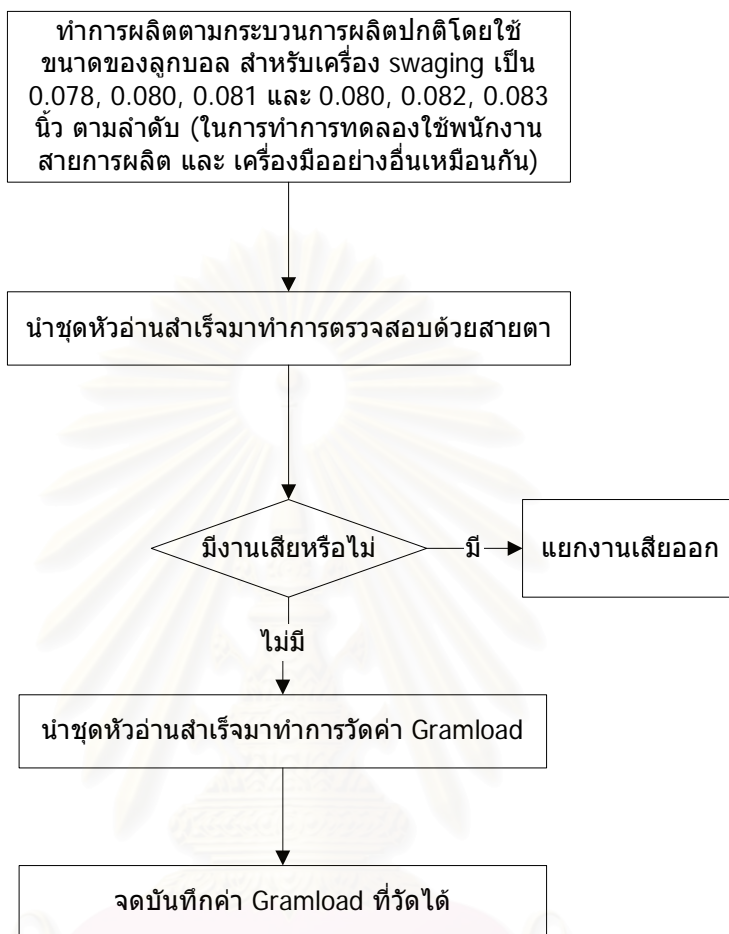
5.2.11 ขนาดของลูกบอลที่ใช้กับเครื่อง swaging

ขนาดของลูกบอลที่ใช้ในการ swaging หลังจากที่ได้ทำการระดมความคิดกับทีมงาน ได้ให้ความสำคัญกับขนาดของลูกบอลให้เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อค่าของ Gramload จึงได้กำหนดขนาดของลูกบอลเป็นดังแสดงในตารางที่ 5.1 กระบวนการผลิตปัจจุบันใช้ลูกบอลในหาร swaging อยู่ 3 ลูก แต่ขนาดของลูกบอลมีอยู่ 2 ขนาดที่บริษัทตัวอย่างสามารถสั่งซื้อได้ จึงเลือกที่จะทำการทดสอบสมมติฐาน กับลูกบอลทั้งสองขนาดนี้

ตารางที่ 5.1 ระดับปัจจัยของขนาดลูกบอลที่ใช้กับเครื่อง swaging

ลูกบอลที่	ระดับปัจจัยที่ 1 (นิ้ว)	ระดับปัจจัยที่ 2 (นิ้ว)
1	0.078	0.080
2	0.080	0.082
3	0.081	0.083

ขั้นตอนในการทำการทดลองโดยมีปัจจัยเป็นขนาดของลูกบอล และระดับปัจจัย แสดงดังตารางที่ 5.1 แสดงในรูปที่ 5.19



รูปที่ 5.19 ขั้นตอนการทดลองสำหรับขนาดของลูกบอลที่ต่างกันของเครื่อง swaging

5.3 สรุประดับของแต่ละปัจจัยนำเข้าไปที่นำมาทดสอบสมมติฐาน

สามารถสรุประดับของแต่ละปัจจัยนำเข้าไปได้ดังตารางที่ 5.2 โดยจะทำการทดสอบสมมติฐานด้วยค่าระดับของแต่ละปัจจัยนำเข้าไปดังกล่าว ซึ่งจะแสดงผลการทดสอบสมมติฐานต่อไป จากนั้นคัดเลือกเฉพาะปัจจัยนำเข้าไปที่ให้ค่าผลการทดสอบสมมติฐานที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญไปดำเนินการออกแบบการทดลองเพื่อทำการปรับปรุงกระบวนการต่อไป

ตารางที่ 5.2 สรุปปัจจัยและระดับของปัจจัยในการทดสอบสมมติฐาน

เลขที่	ปัจจัย	ระดับ		หน่วย
		1	2	
1	วัตถุประสงค์ (ชุด หัวอ่าน : HGA)	A	B	-
2	การเคลื่อนย้าย ของ shuttle	เคลื่อนย้าย (กระบวนการปกติ)	ไม่มีการ เคลื่อนย้าย	-
3	การตั้งค่า angle block ของ stand plate	40	60	
4	การตั้งค่าความสูง ของฐาน shuttle	12.170	12.190	มิลลิเมตร
5	การตั้งค่าความ หนา 1 st key ของ shuttle	2.274	2.279	มิลลิเมตร
6	การตั้งค่าความ หนา 2 nd key ของ shuttle	2.990	3.000	มิลลิเมตร
7	การตั้งค่า ระยะห่างของ Comb Tower Pin Slot	7.635	7.655	มิลลิเมตร
8	วิธีการขั้นตอน การทำงาน	แบบปัจจุบัน	แบบใหม่	-
9	จำนวนลูกบอลที่ ใช้กับเครื่อง swaging	2	3	ลูก
10	ความเร็วรอบของ เครื่อง swaging	2,600	3,600	rpm
11	ขนาดของลูกบอล ที่ใช้กับเครื่อง swaging	0.078,0.080,0.081	0.080,0.082,0.083	นิ้ว

5.4 การวิเคราะห์ผลการทดสอบสมมติฐาน แสดงผลการทดลองในภาคผนวก

5.4.1 การคำนวณสิ่งตัวอย่าง

เป็นการวิเคราะห์เพื่อกำหนดจำนวนสิ่งตัวอย่าง ที่จะใช้ในการดำเนินการทดสอบสมมติฐานว่า มีความเพียงพอที่จะยอมรับได้ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ หรือไม่ สำหรับการทดสอบสมมติฐานของทั้ง 11 ปัจจัยนั้น จะใช้จำนวนตัวอย่างดังแสดงในตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 จำนวนสิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน

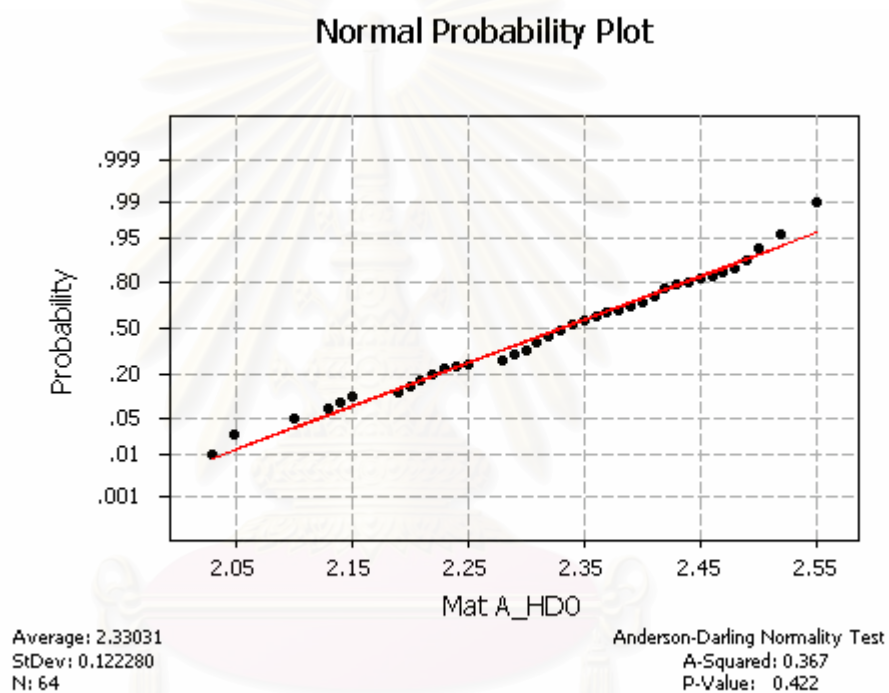
Power and Sample Size			
2-Sample t Test			
Testing mean 1 = mean 2 (versus not =)			
Calculating power for mean 1 = mean 2 + difference			
Alpha = 0.05 Sigma = 0.15			
Difference	Sample Size	Target Power	Actual Power
0.05	191	0.9000	0.9013
0.05	235	0.9500	0.9501
0.05	291	0.9800	0.9800
0.10	49	0.9000	0.9043
0.10	60	0.9500	0.9517
0.10	74	0.9800	0.9807
0.15	23	0.9000	0.9125
0.15	27	0.9500	0.9501
0.15	34	0.9800	0.9822
0.20	13	0.9000	0.9033
0.20	16	0.9500	0.9543
0.20	20	0.9800	0.9841

สรุปว่า จำนวนสิ่งตัวอย่างที่จะใช้ในการทดลองอย่างน้อยต้องมีค่าเท่ากับ 60 ค่า ซึ่งจะให้ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 % และค่ากำลังในการทดสอบ (Power of Test : $1 - \beta$) มีค่ามากกว่า 95 % ดังนั้น จึงกำหนดจำนวนสิ่งตัวอย่างในการทดสอบสมมติฐานของทั้ง 11 ปัจจัย เท่ากับ 64 ตัวอย่าง เนื่องจากด้วยสถิติใส่ชุดหัวอ่านสำเร็จ 1 ชุด สามารถใส่ชุดหัวอ่านได้ 8 ชิ้น และเพื่อป้องกันความผิดพลาดที่จะเกิดจากความสับสนของพนักงานในการกำหนดขนาดของตัวอย่าง จึงให้พนักงานทำการผลิตงานที่ใช้ทั้งหมด 8 ชุด สำหรับทุกการทดลอง ซึ่งจะได้ชุดหัวอ่านสำเร็จทั้งหมด 64 ชิ้นด้วยกัน

5.4.2 การวิเคราะห์สมมติฐานการใช้วัตถุดิบที่แตกต่างการกันมีผลต่อค่า Gramload

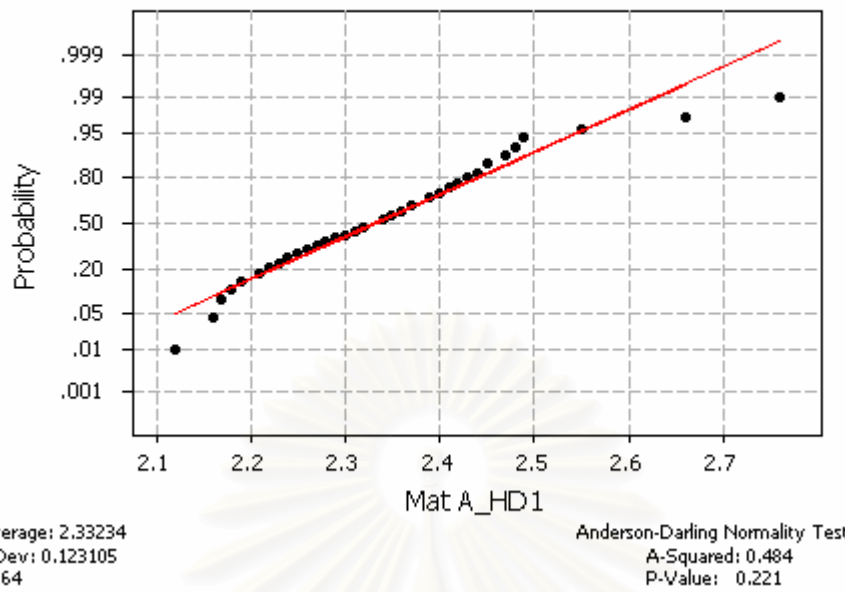
5.4.2.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ

ผลการทดสอบความถูกต้องของรูปแบบ เพื่อทดสอบข้อกำหนดที่ว่า ข้อมูลที่นำมาทดสอบทั้งสองระดับมีการกระจายเป็นแบบปกติหรือไม่ โดยกำหนดให้วัตถุดิบที่นำมาทดสอบเป็นระดับ A และ B ได้ผลการทดสอบการกระจายเป็นแบบปกติ เนื่องจากค่า P-Value มากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังรูปที่ 5.20 และ 5.21



ก) วัตถุดิบ A_HDO

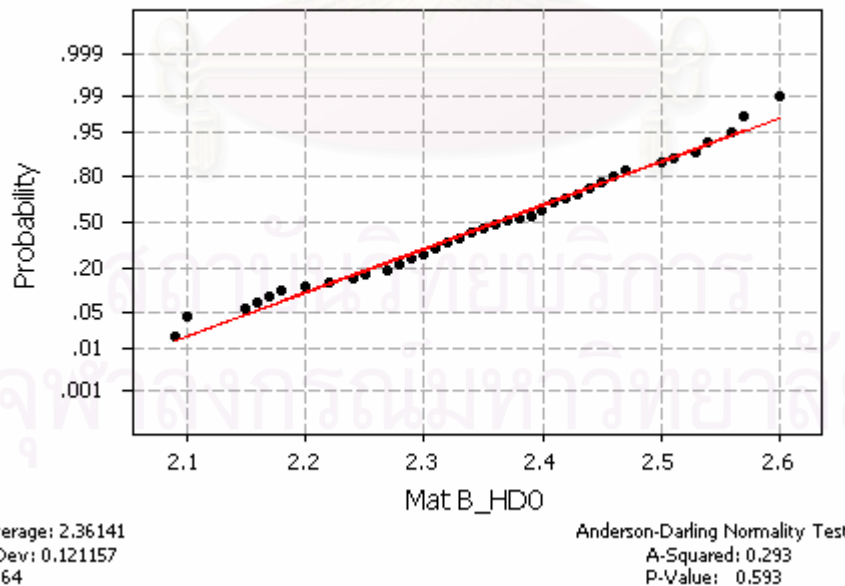
Normal Probability Plot



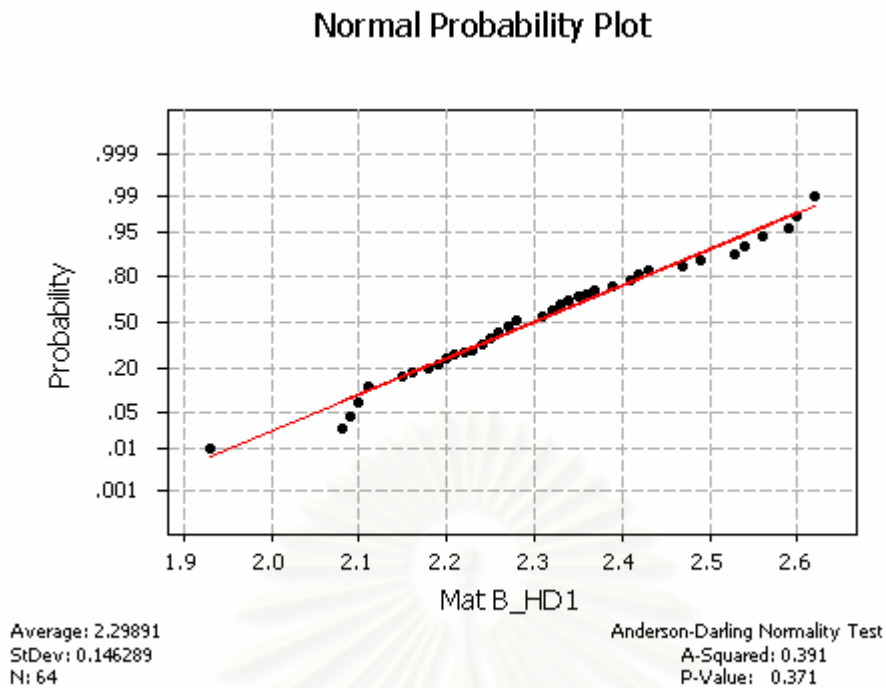
ข) วัตุดิบ A_HD1

รูปที่ 5.20 กราฟแสดงการกระจายของค่า Gramload หลังจากใช้วัตุดิบ A ก) HD0 ข) HD1

Normal Probability Plot



ก) วัตุดิบ B_HD0



ข) วัตฤติบ B_HD1

รูปที่ 5.21 กราฟแสดงการกระจายของค่า Gramload หลังจากใช้วัตฤติบ B ก) HD0 ข) HD1

5.4.2.2 การทดสอบสมมติฐาน

ในการทดสอบสมมติฐานในขั้นแรกต้องพิจารณาค่าความแปรปรวนของค่า Gramload ในการใช้วัตฤติบ A และวัตฤติบ B ว่ามีค่าเท่ากันหรือไม่ เพื่อเป็นข้อกำหนดในการทดสอบสมมติฐานของค่าเฉลี่ย โดยสมมติฐานในการทดสอบความแปรปรวนเป็นดังนี้

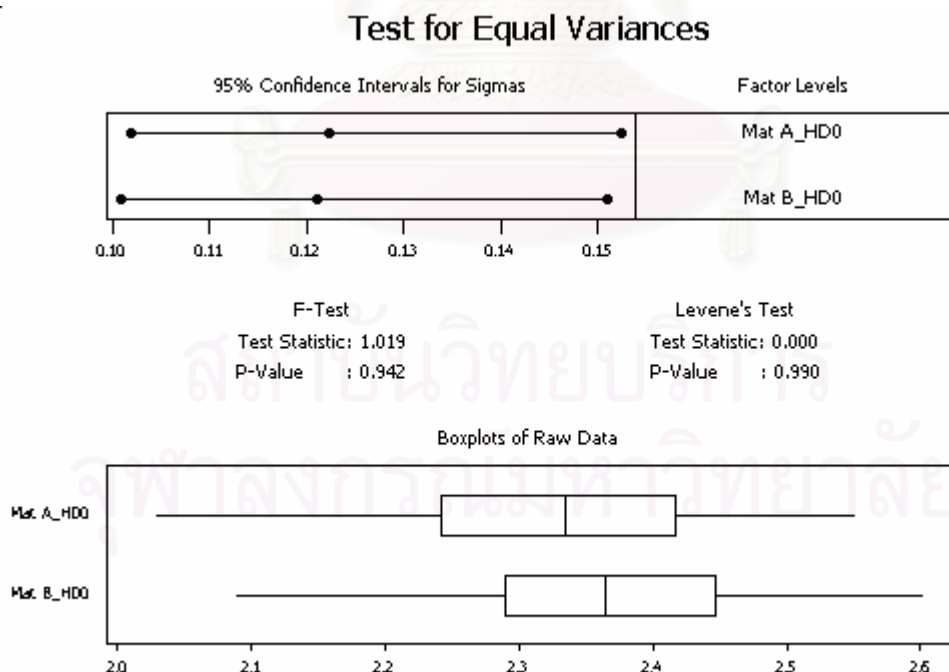
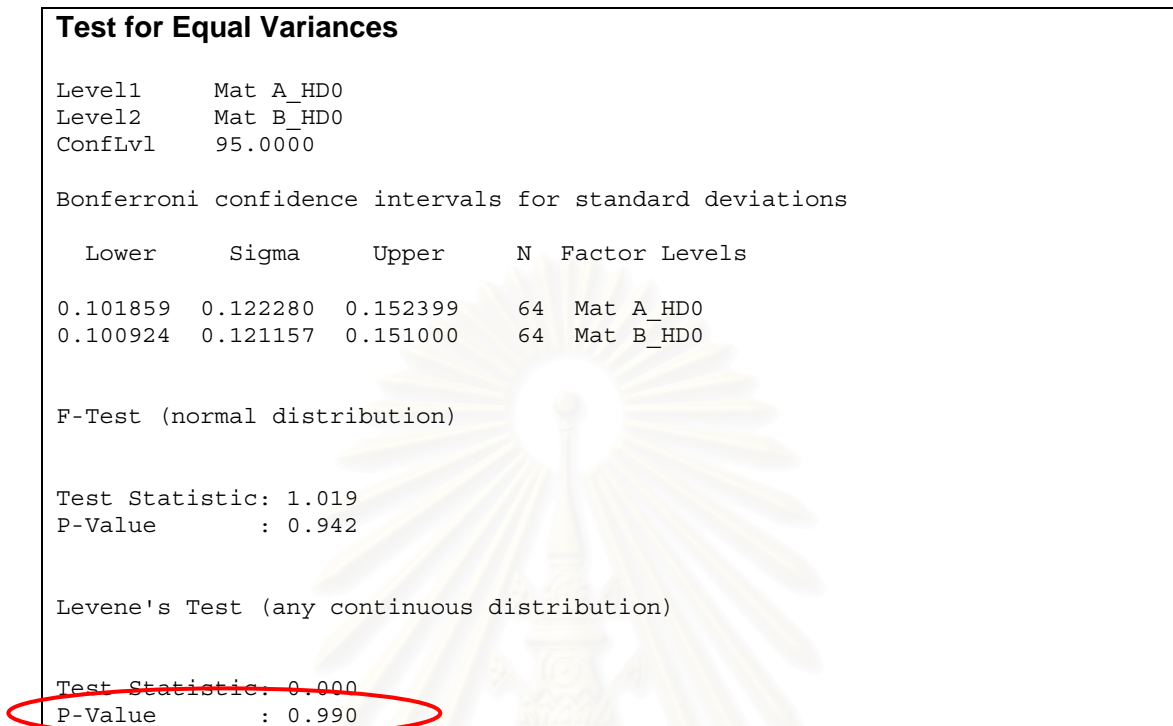
สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

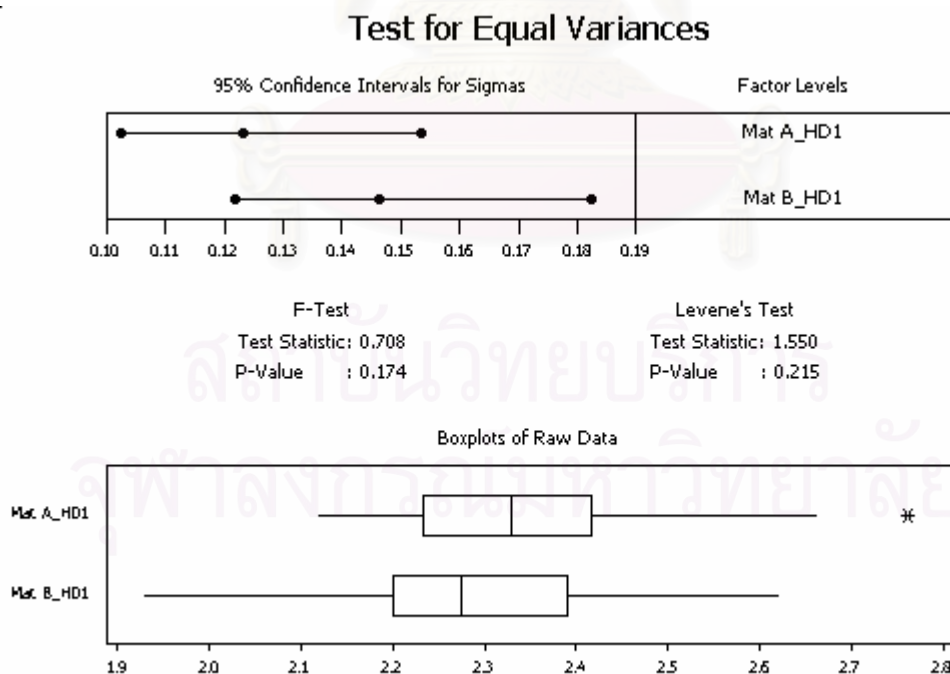
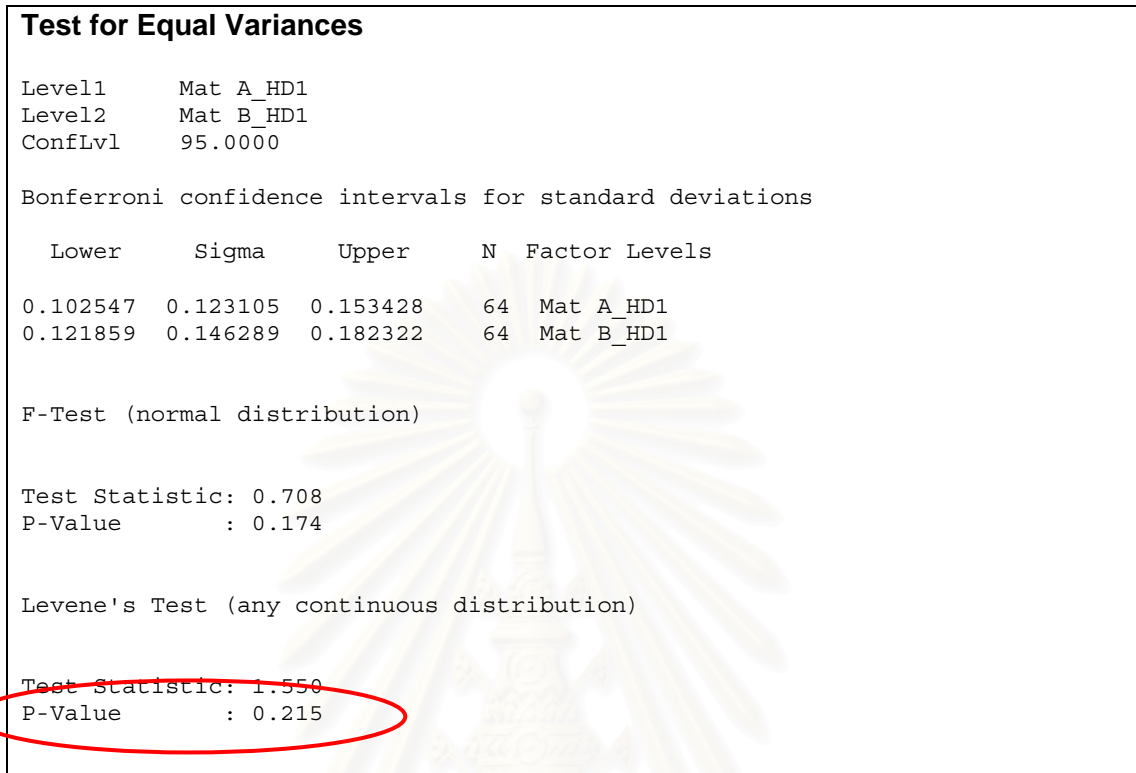
โดยกำหนดให้ σ_1^2 แทนค่าความแปรปรวนของค่า Gramload ของวัตฤติบ A และ σ_2^2 แทนค่าความแปรปรวนของค่า Gramload ของวัตฤติบ B ดังแสดงในตารางที่ 5.4 และ รูปที่ 5.22 สำหรับ HD0 และ ตารางที่ 5.5 และรูปที่ 5.23 สำหรับ HD1

ตารางที่ 5.4 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากวัตถุดิบ A และ B
สำหรับ HD0



รูปที่ 5.22 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากวัตถุดิบ A และ B สำหรับ HD0

ตารางที่ 5.5 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากวัตถุดิบ A และ B
สำหรับ HD1



รูปที่ 5.23 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากวัตถุดิบ A และ B สำหรับ HD1

จากผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนของค่า Gramload ที่เกิดจากการใช้วัตถุดิบ A และ B ดังแสดงในตารางที่ 5.4 , 5.5 และรูปที่ 5.22 , 5.23 พบว่า ค่า P-Value มีค่ามากกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่า แหล่งของวัตถุดิบไม่มีผลกระทบต่อความแปรปรวนของค่า Gramload ที่ความเชื่อมั่น 95%

และขั้นต่อไปคือการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของค่า Gramload ที่เกิดจากการใช้วัตถุดิบ A และ วัตถุดิบ B โดยสมมติฐานในการทดสอบเป็นดังนี้

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

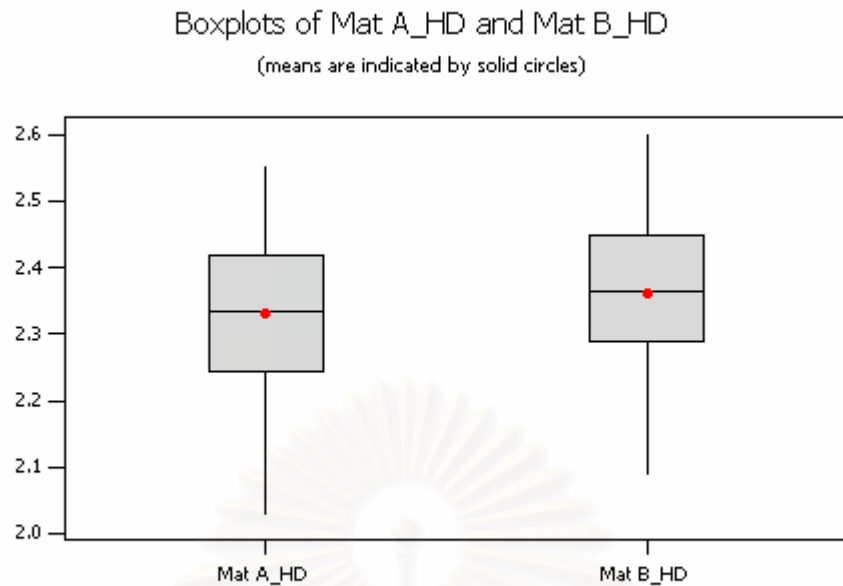
$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

โดยกำหนดให้ μ_1 แทนค่าเฉลี่ยของค่า Gramload ของวัตถุดิบ A และ μ_2 แทนค่าเฉลี่ยของค่า Gramload ของวัตถุดิบ B ดังแสดงในตารางที่ 5.6 และ รูปที่ 5.24 สำหรับ HD0 และ ตารางที่ 5.7 และรูปที่ 5.25 สำหรับ HD1

ตารางที่ 5.6 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากวัตถุดิบ A และ B สำหรับ HD0

Two-Sample T-Test and CI: Mat A_HD0, Mat B_HD0				
Two-sample T for Mat A_HD0 vs Mat B_HD0				
	N	Mean	StDev	SE Mean
Mat A_HD	64	2.330	0.122	0.015
Mat B_HD	64	2.361	0.121	0.015
Difference = mu Mat A_HD0 - mu Mat B_HD0				
Estimate for difference: -0.0311				
95% CI for difference: (-0.0737, 0.0115)				
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -1.45 P-Value = 0.151 DF = 125				

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.24 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากวัตถุดิบ A และ B สำหรับ HD0

ตารางที่ 5.7 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากวัตถุดิบ A และ B สำหรับ HD1

Two-Sample T-Test and CI: Mat A_HD1, Mat B_HD1

Two-sample T for Mat A_HD1 vs Mat B_HD1

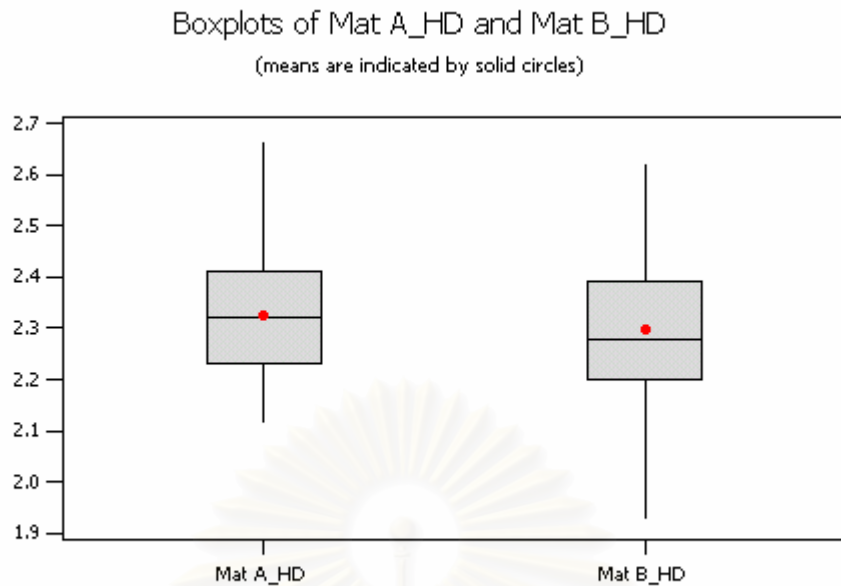
	N	Mean	StDev	SE Mean
Mat A_HD	64	2.326	0.111	0.014
Mat B_HD	64	2.300	0.147	0.019

Difference = μ Mat A_HD1 - μ Mat B_HD1

Estimate for difference: 0.0260

95% CI for difference: (-0.0201, 0.0721)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 1.12 P-Value = 0.266 DF = 115



รูปที่ 2.25 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากวัตถุติบ A และ B สำหรับ HD1

จากผลการทดสอบสมมติฐานในตารางที่ 5.6 และ 5.7 พบว่าค่า P-Value มากกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าวัตถุติบทั้งสองกลุ่มมีค่าเฉลี่ยของค่า Gramload ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

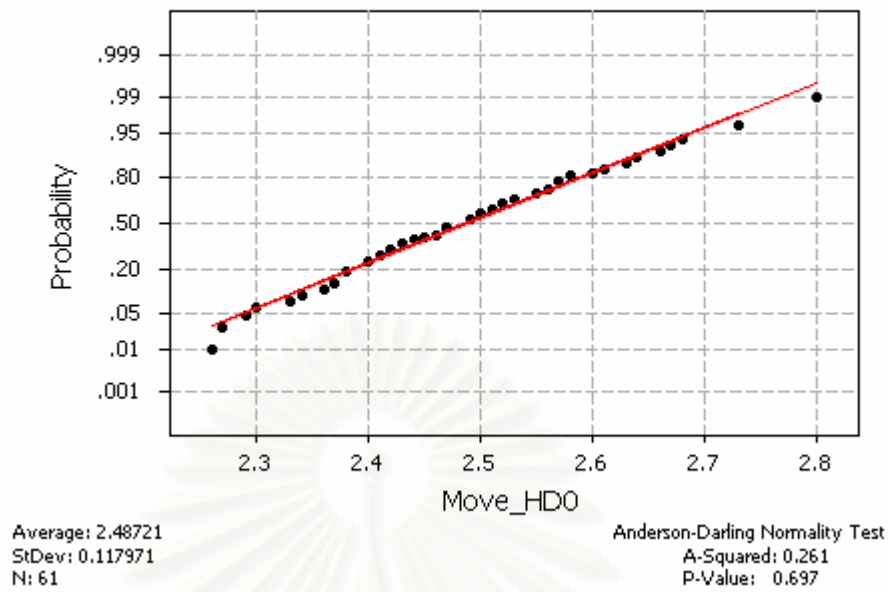
5.4.3 การวิเคราะห์สมมติฐานการเคลื่อนย้าย shuttle มีผลต่อค่า Gramload

5.4.2.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ

ผลการทดสอบความถูกต้องของรูปแบบ เพื่อทดสอบข้อกำหนดที่ว่า ข้อมูลที่นำมาทดสอบทั้งสองระดับมีการกระจายเป็นแบบปกติหรือไม่ โดยกำหนดให้การเคลื่อนย้าย shuttle เป็นมีการเคลื่อนย้ายปกติ กับไม่มีการเคลื่อนย้าย ได้ผลการทดสอบการกระจายเป็นแบบปกติ เนื่องจากค่า P-Value มากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังรูปที่ 5.26 และ 5.27

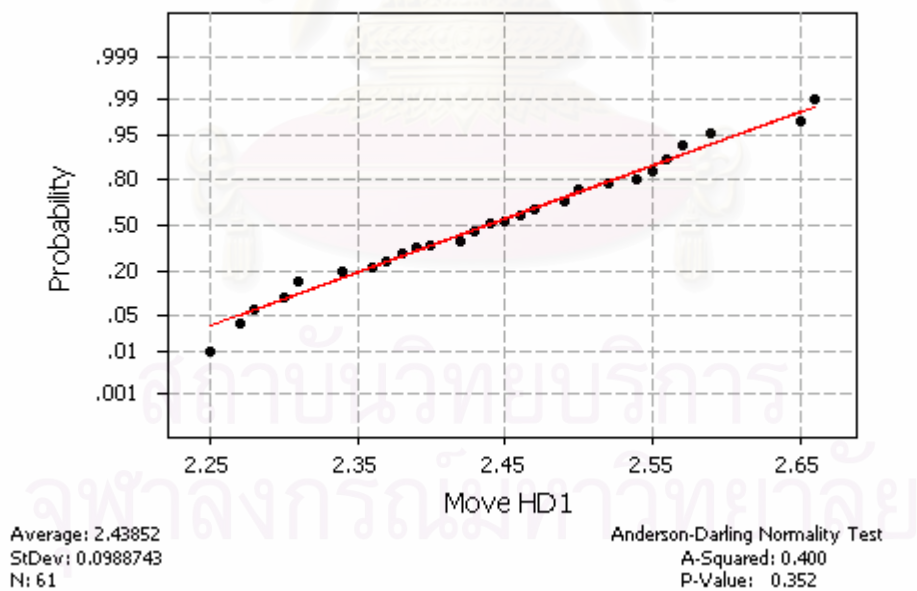
ในการทำการทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐานในครั้งนี้ พบว่า ชุดหัวอ่านสำเร็จเกิดความเสียหายขณะทำการวัดค่า Gramload ทั้งหมด 3 ชิ้น ด้วยกัน ดังนั้นจำนวนสิ่งตัวอย่างที่ได้จากการทดลองจึงเหลือเพียง 61 สิ่งตัวอย่าง

Normal Probability Plot



ก) เคลื่อนย้าย shuttle_HD0

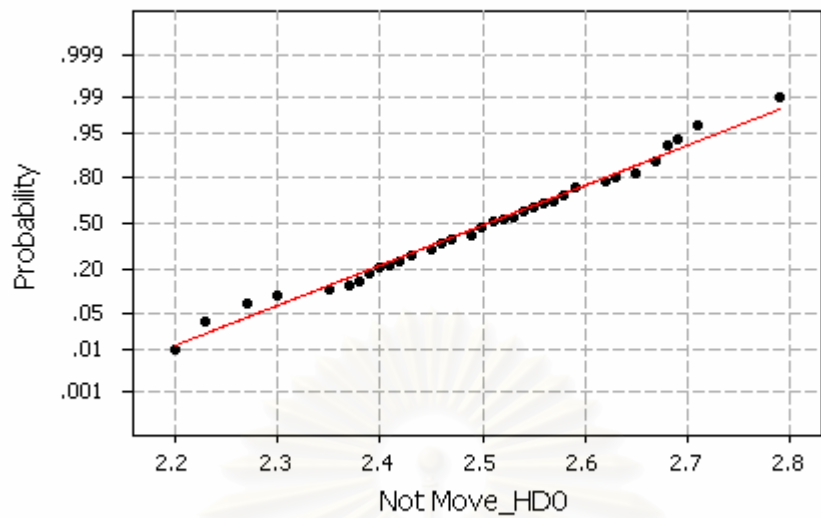
Normal Probability Plot



ข) เคลื่อนย้าย shuttle_HD1

รูปที่ 5.26 กราฟแสดงการกระจายของค่า Gramload จากการเคลื่อนย้าย shuttle เหมือนปกติ ก) HD0 ข) HD1

Normal Probability Plot

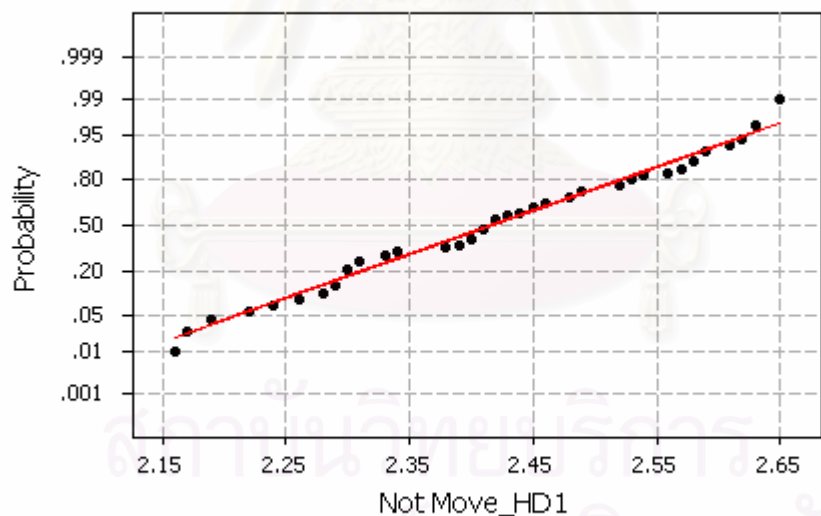


Average: 2.50639
StDev: 0.131695
N: 61

Anderson-Darling Normality Test
A-Squared: 0.298
P-Value: 0.579

ก) ไม่เคลื่อนย้าย shuttle_HD0

Normal Probability Plot



Average: 2.41672
StDev: 0.121656
N: 61

Anderson-Darling Normality Test
A-Squared: 0.456
P-Value: 0.258

ข) ไม่เคลื่อนย้าย shuttle_HD1

รูปที่ 5.27 กราฟแสดงการกระจายของค่า Gramload จากการไม่มีการเคลื่อนย้าย shuttle ก) HD0

ข) HD1

5.4.2.3 การทดสอบสมมติฐาน

ในการทดสอบสมมติฐานในขั้นแรกต้องพิจารณาค่าความแปรปรวนของค่า Gramload ในเคลื่อนย้าย และไม่เคลื่อนย้าย shuttle ว่ามีค่าเท่ากันหรือไม่ เพื่อเป็นข้อกำหนดในการทดสอบสมมติฐานของค่าเฉลี่ย โดยสมมติฐานในการทดสอบความแปรปรวนเป็นดังนี้

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

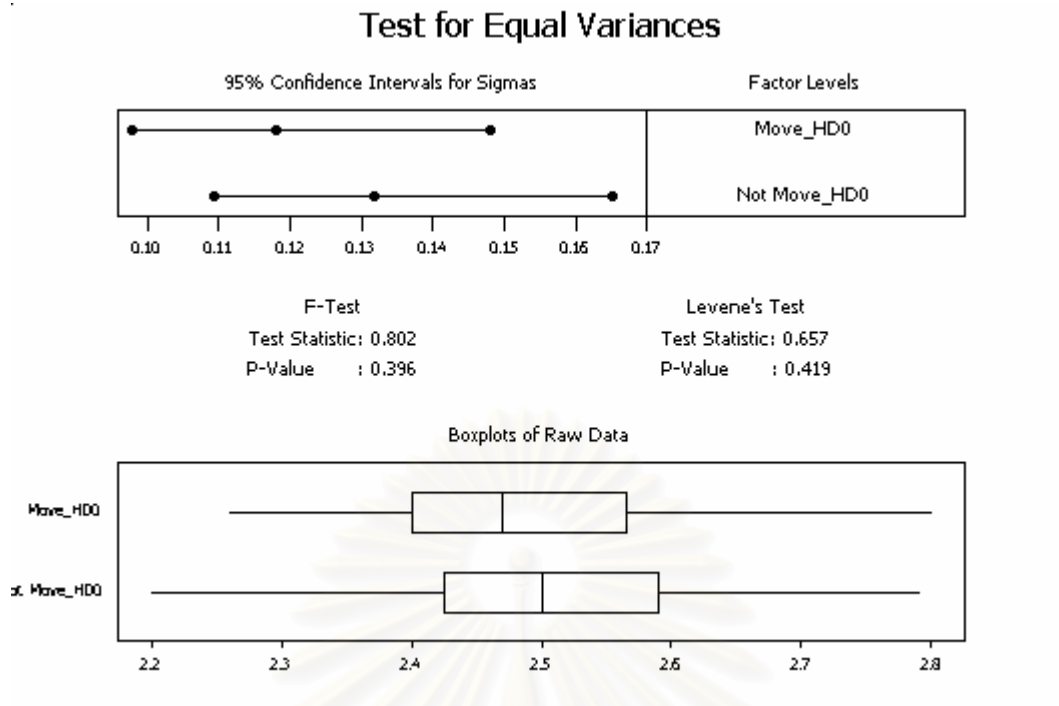
$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

โดยกำหนดให้ σ_1^2 แทนค่าความแปรปรวนของค่า Gramload ของการเคลื่อนย้าย shuttle และ σ_2^2 แทนค่าความแปรปรวนของค่า Gramload ของการไม่เคลื่อนย้าย shuttle ดังแสดงในตารางที่ 5.8 และ รูปที่ 5.28 สำหรับ HD0 และ ตารางที่ 5.9 และรูปที่ 5.29 สำหรับ HD1

ตารางที่ 5.8 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากการเคลื่อนย้าย และไม่เคลื่อนย้าย shuttle สำหรับ HD0

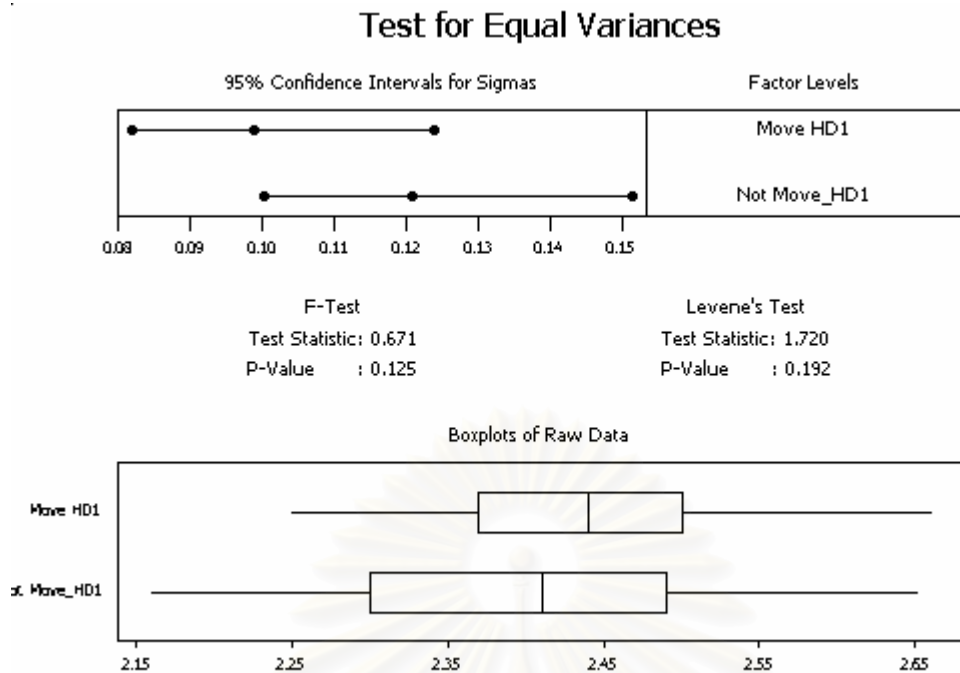
Test for Equal Variances				
Level1	Move_HD0			
Level2	Not Move_HD0			
ConfLvl	95.0000			
Bonferroni confidence intervals for standard deviations				
Lower	Sigma	Upper	N	Factor Levels
0.097866	0.117971	0.147916	61	Move_HD0
0.109251	0.131695	0.165123	61	Not Move_HD0
F-Test (normal distribution)				
Test Statistic: 0.802				
P-Value : 0.396				
Levene's Test (any continuous distribution)				
Test Statistic: 0.657				
P-Value : 0.419				



รูปที่ 5.28 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากเคลื่อนย้ายและไม่เคลื่อนย้าย shuttle สำหรับ HD0

ตารางที่ 5.9 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากการเคลื่อนย้าย และไม่เคลื่อนย้าย shuttle สำหรับ HD1

Test for Equal Variances					
Level1	Move HD1				
Level2	Not Move_HD1				
ConfLvl	95.0000				
Bonferroni confidence intervals for standard deviations					
Lower	Sigma	Upper	N	Factor Levels	
0.082024	0.098874	0.123972	61	Move HD1	
0.100156	0.120732	0.151377	61	Not Move_HD1	
F-Test (normal distribution)					
Test Statistic: 0.671					
P-Value : 0.125					
Levene's Test (any continuous distribution)					
Test Statistic: 1.720					
P-Value : 0.192					



รูปที่ 5.29 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากเคลื่อนย้ายและไม่เคลื่อนย้าย shuttle สำหรับ HD1

จากผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนของค่า Gramload ที่เกิดจากการเคลื่อนย้าย และไม่เคลื่อนย้าย shuttle จากตาราง 5.8 , 5.9 และรูปที่ 5.28 , 5.29 พบว่า ค่า P-Value มีค่ามากกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่า การเคลื่อนย้าย shuttle ไม่มีผลกระทบต่อความแปรปรวนของค่า Gramload ที่ความเชื่อมั่น 95%

และขั้นต่อไปคือการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของค่า Gramload ที่เกิดจากการเคลื่อนย้าย และไม่เคลื่อนย้าย shuttle โดยสมมติฐานในการทดสอบเป็นดังนี้

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

โดยกำหนดให้ μ_1 แทนค่าเฉลี่ยของค่า Gramload ของการเคลื่อนย้าย shuttle และ μ_2 แทนค่าเฉลี่ยของค่า Gramload ของการไม่เคลื่อนย้าย shuttle ดังแสดงในตารางที่ 5.10 และ รูปที่ 5.30 สำหรับ HD0 และ ตารางที่ 5.11 และรูปที่ 5.31 สำหรับ HD1

ตารางที่ 5.10 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากการเคลื่อนย้าย และไม่เคลื่อนย้าย shuttle สำหรับ HD0

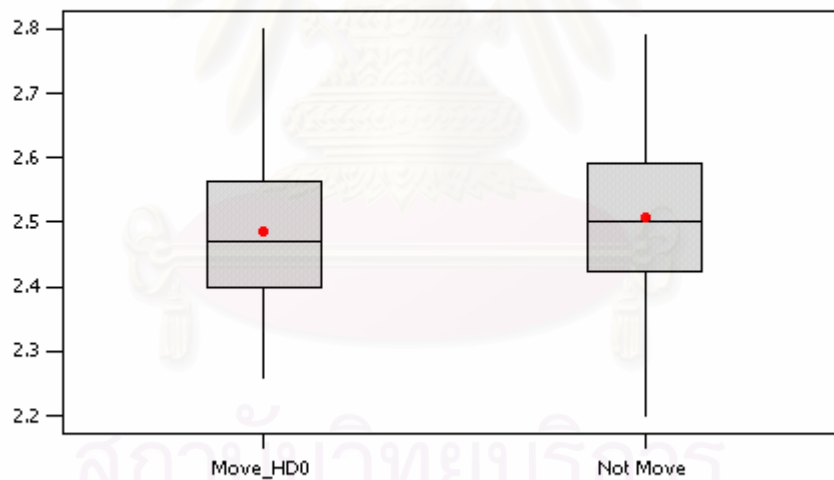
Two-Sample T-Test and CI: Move_HD0, Not Move_HD0

Two-sample T for Move_HD0 vs Not Move_HD0

	N	Mean	StDev	SE Mean
Move_HD0	61	2.487	0.118	0.015
Not Move	61	2.506	0.132	0.017

Difference = μ Move_HD0 - μ Not Move_HD0
 Estimate for difference: -0.0192
 95% CI for difference: (-0.0640, 0.0256)
 T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -0.85 P-Value = 0.399 DF = 118

Boxplots of Move_HD0 and Not Move
(means are indicated by solid circles)

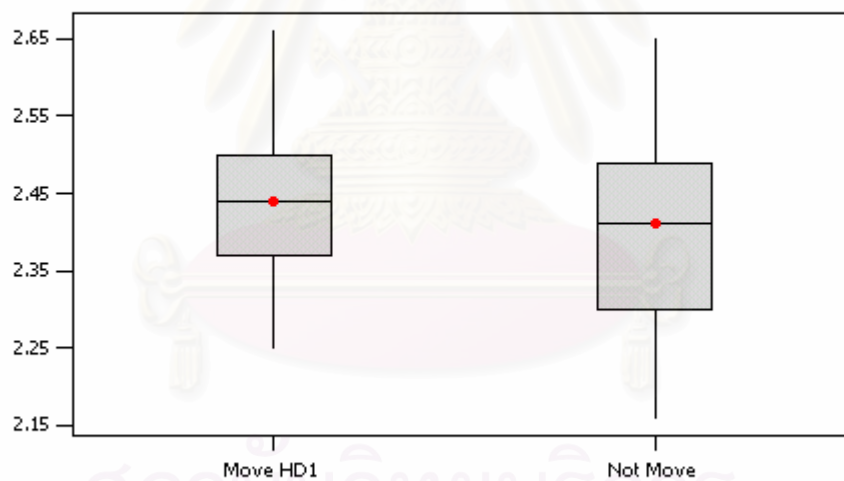


รูปที่ 5.30 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากการเคลื่อนย้าย และไม่เคลื่อนย้าย shuttle สำหรับ HD0

ตารางที่ 5.11 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากเคลื่อนย้าย และไม่เคลื่อนย้าย shuttle สำหรับ HD1

Two-Sample T-Test and CI: Move HD1, Not Move_HD1				
Two-sample T for Move HD1 vs Not Move_HD1				
	N	Mean	StDev	SE Mean
Move HD1	61	2.4385	0.0989	0.013
Not Move	61	2.411	0.121	0.015
Difference = mu Move HD1 - mu Not Move_HD1				
Estimate for difference: 0.0270				
95% CI for difference: (-0.0125, 0.0666)				
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 1.35 P-Value = 0.178 DF = 115				

Boxplots of Move HD1 and Not Move
(means are indicated by solid circles)



รูปที่ 2.31 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากเคลื่อนย้าย และไม่เคลื่อนย้าย shuttle สำหรับ HD1

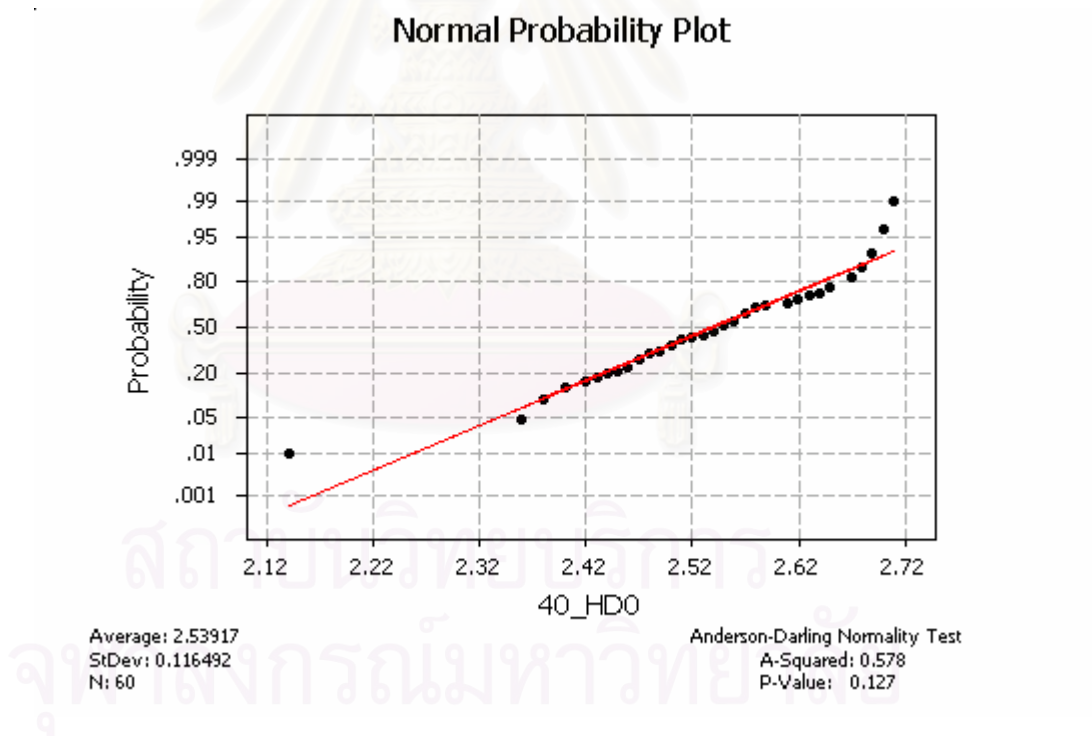
จากผลการทดสอบสมมติฐาน ดังแสดงในตารางที่ 5.10 และ 5.11 พบว่าค่า P-Value มากกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าการเคลื่อนย้าย และไม่เคลื่อนย้าย shuttle มีค่าเฉลี่ยของค่า Gramload ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

5.4.4 การวิเคราะห์สมมติฐานการตั้งค่า angle block ของ stand plate มีผลต่อค่า Gramload

5.4.2.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ

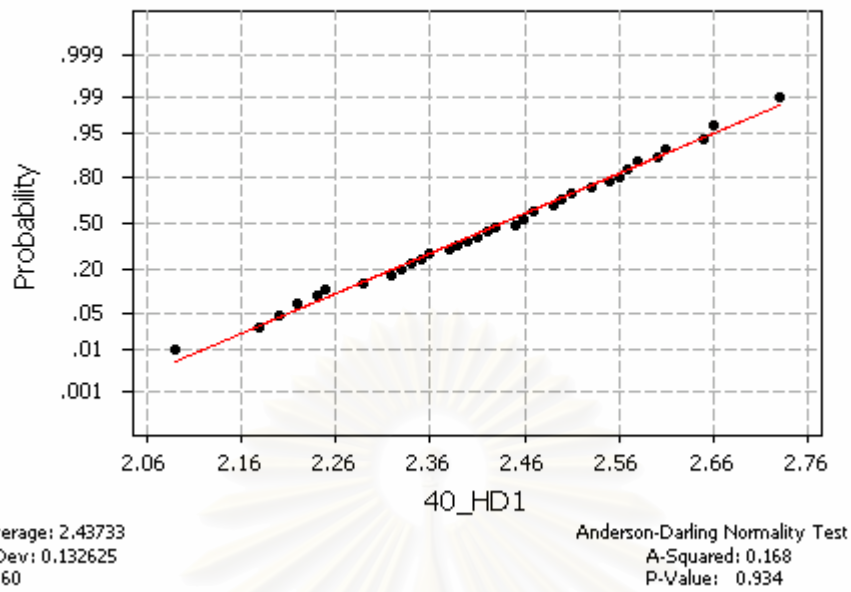
ผลการทดสอบความถูกต้องของรูปแบบ เพื่อทดสอบข้อกำหนดที่ว่า ข้อมูลที่นำมาทดสอบทั้งสองระดับมีการกระจายเป็นแบบปกติหรือไม่ โดยกำหนดให้มุมของ stand plate เป็น 40 และ 60 องศา ได้ผลการทดสอบการกระจายเป็นแบบปกติ เนื่องจากค่า P-Value มากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังรูปที่ 5.32 และ 5.33

ในการทำการทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐานในครั้งนี้ พบว่า ชุดหัวอ่านสำเร็จเกิดความเสียหายขณะทำการวัดค่า Gramload ทั้งหมด 4 ชิ้น ด้วยกัน ดังนั้นจำนวนสิ่งตัวอย่างที่ได้จากการทดลองจึงเหลือเพียง 60 สิ่งตัวอย่าง



ก) 40 องศา_HD0

Normal Probability Plot

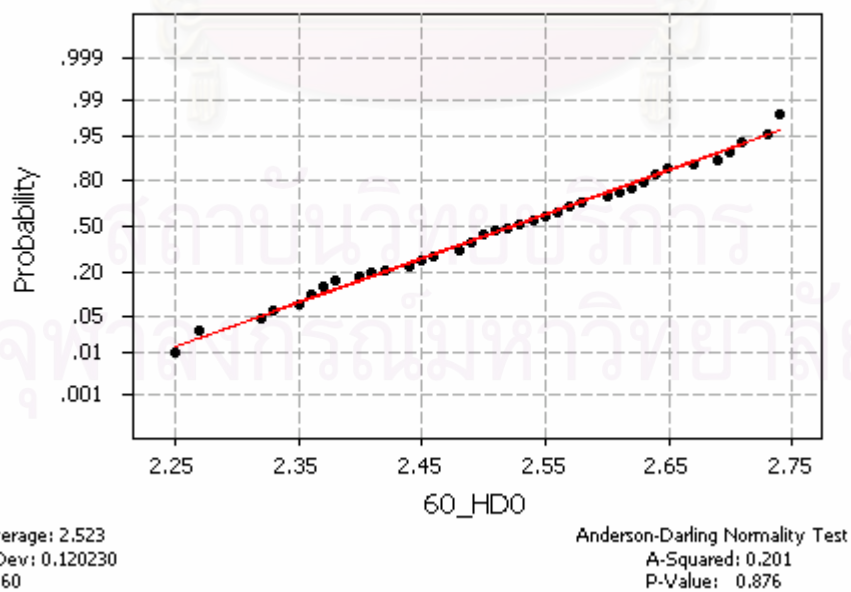


ข) 40 องศา_HD1

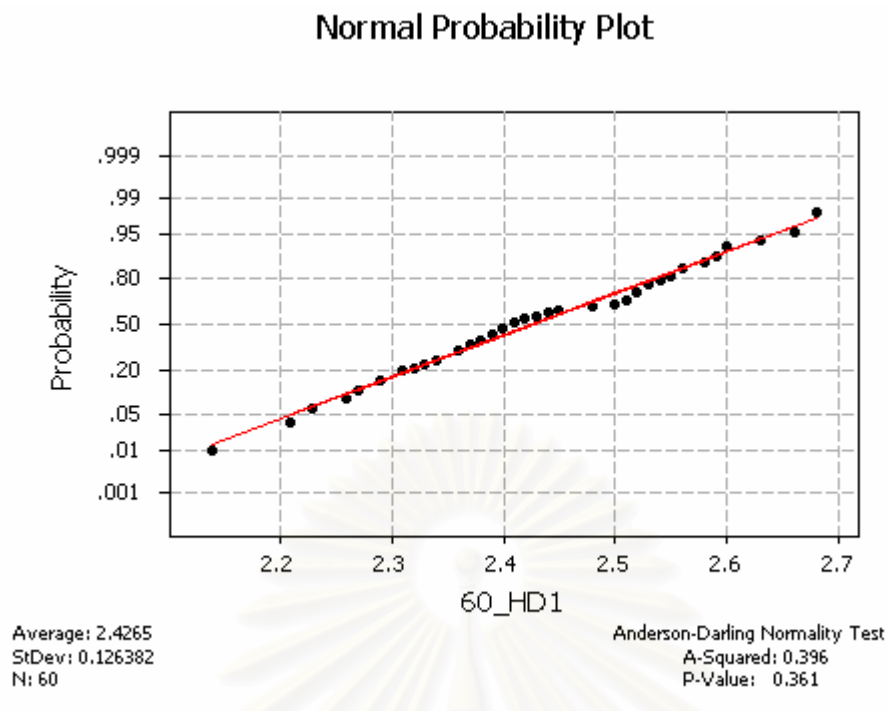
รูปที่ 5.32 กราฟแสดงการกระจายของค่า Gramload จาก มุมของ stand plate เท่ากับ 40 องศา ก)

HD0 ข) HD1

Normal Probability Plot



ก) 60 องศา_HD0



ข) 60 องศา_HD1

รูปที่ 5.33 กราฟแสดงการกระจายของค่า Gramload จากมุมของ stand plate เท่ากับ 60 องศา ก) HD0 ข) HD1

5.4.2.4 การทดสอบสมมติฐาน

ในการทดสอบสมมติฐานในขั้นแรกต้องพิจารณาค่าความแปรปรวนของค่า Gramload จากตั้งมุมของ stand plate ที่ไม่เท่ากัน ว่ามีค่าเท่ากันหรือไม่ เพื่อเป็นข้อกำหนดในการทดสอบสมมติฐานของค่าเฉลี่ย โดยสมมติฐานในการทดสอบความแปรปรวนเป็นดังนี้

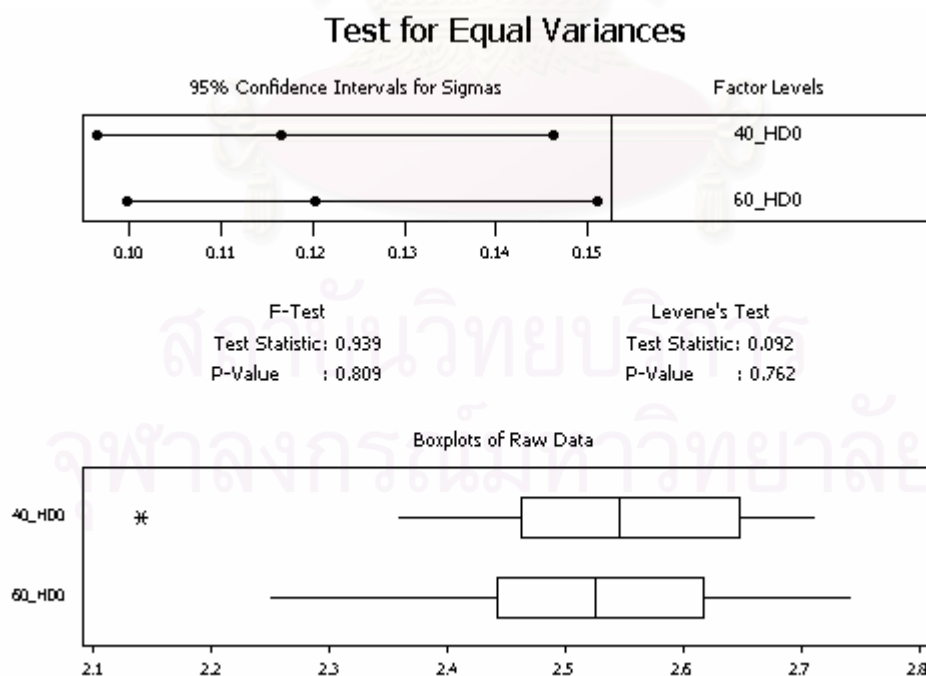
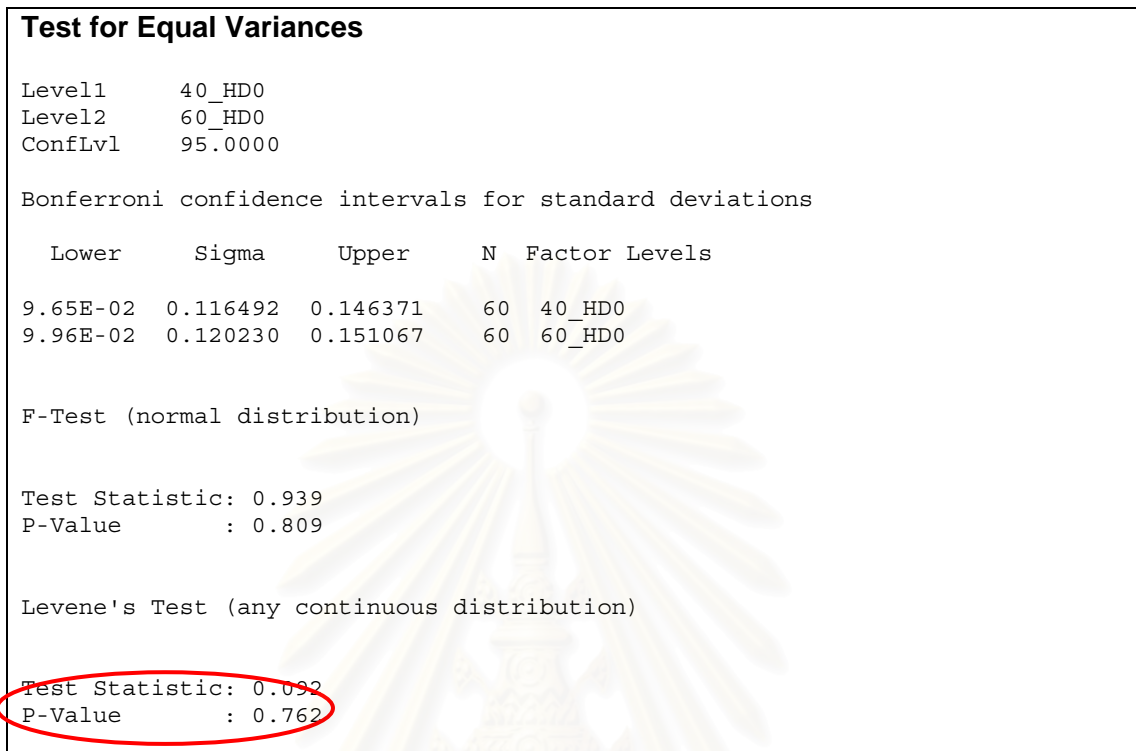
สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

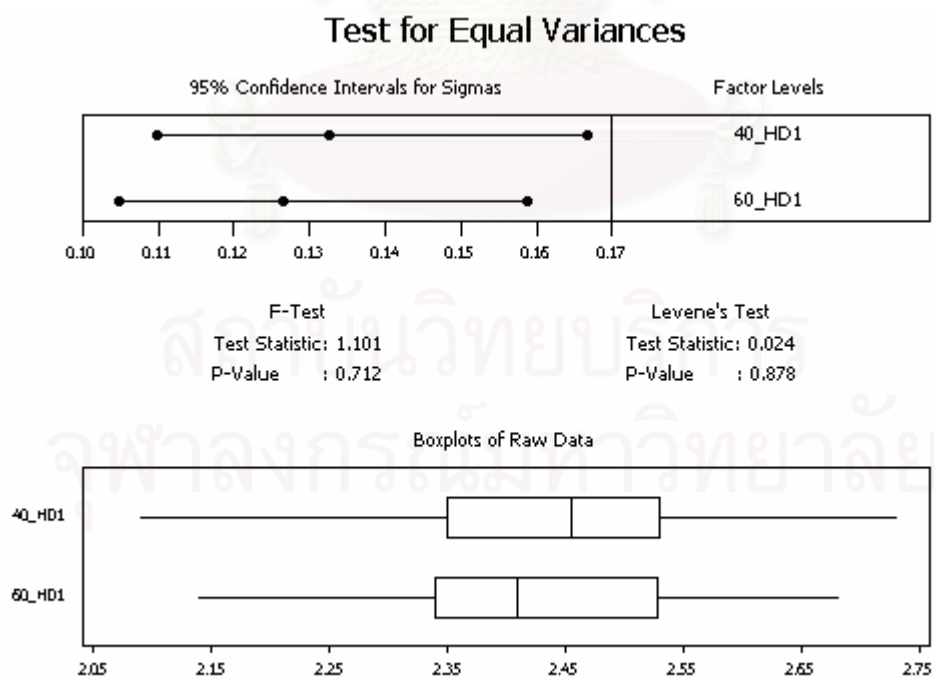
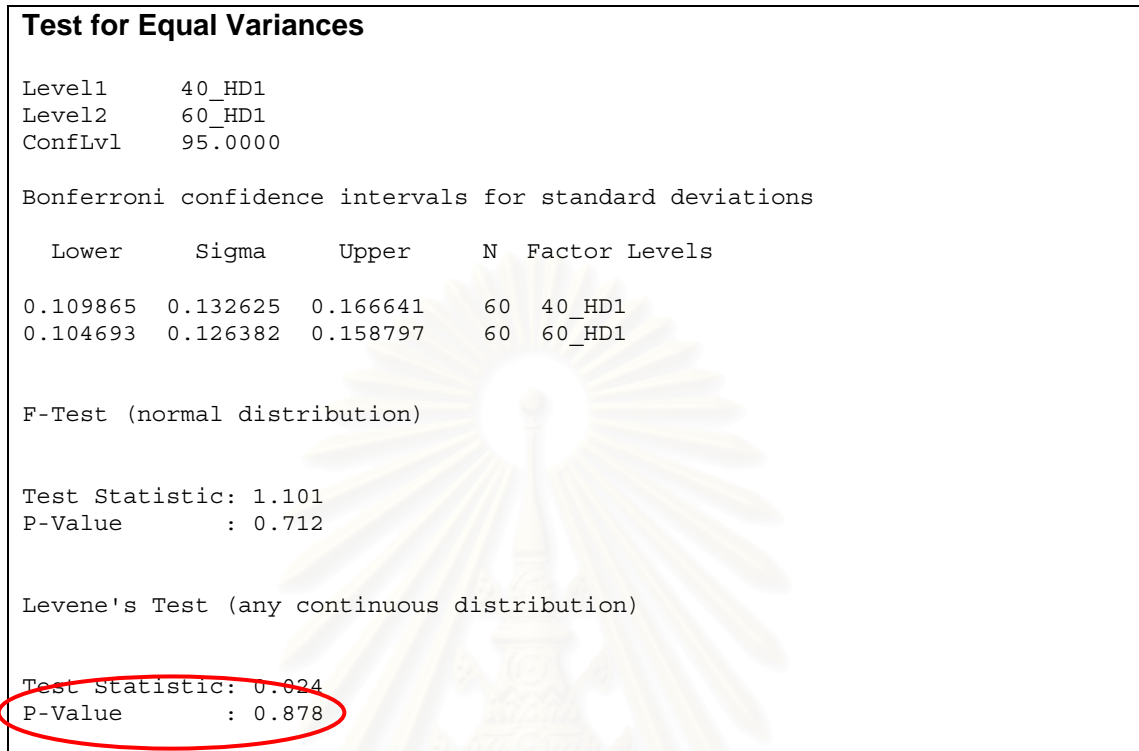
โดยกำหนดให้ σ_1^2 แทนค่าความแปรปรวนของค่า Gramload ของมุมของ stand plate เท่ากับ 40 องศา และ σ_2^2 แทนค่าความแปรปรวนของค่า Gramload ของมุมของ stand plate เท่ากับ 60 องศา ดังแสดงในตารางที่ 5.12 และ รูปที่ 5.34 สำหรับ HD0 และ ตารางที่ 5.13 และรูปที่ 5.35 สำหรับ HD1

ตารางที่ 5.12 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากมุมของ stand plate สำหรับ HD0



รูปที่ 5.34 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากมุมของ stand plate สำหรับ HD0

ตารางที่ 5.13 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากการมุมของ stand plate สำหรับ HD1



รูปที่ 5.35 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากมุมของ stand plate สำหรับ HD1

จากผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนของค่า Gramload ที่มุมของ stand plate ที่ต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 5.12 , 5.13 และรูปที่ 5.34 , 5.35 พบว่าค่า P-Value มีค่ามากกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่า มุมของ stand plate ไม่มีผลกระทบต่อความแปรปรวนของค่า Gramload ที่ความเชื่อมั่น 95%

และขั้นต่อไปคือการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของค่า Gramload ที่มุมของ stand plate ไม่เท่ากัน โดยสมมติฐานในการทดสอบเป็นดังนี้

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

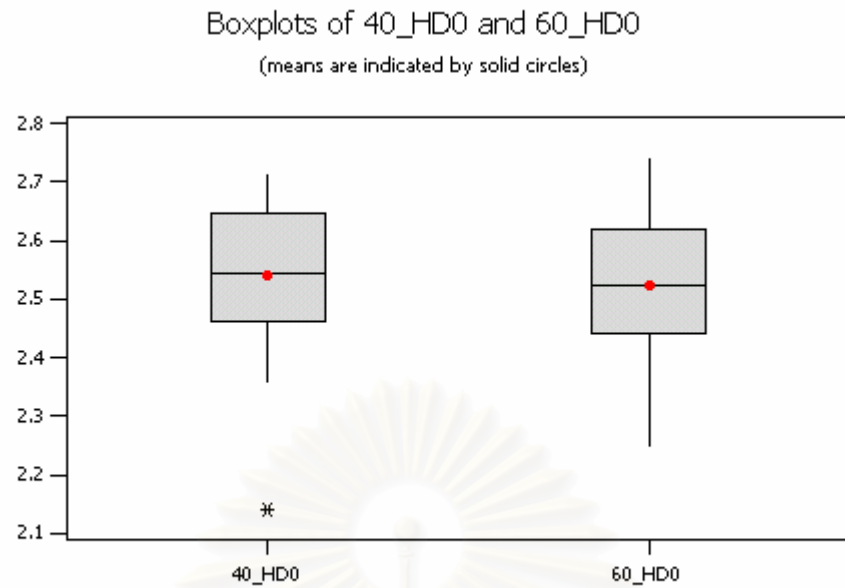
$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

โดยกำหนดให้ μ_1 แทนค่าเฉลี่ยของค่า Gramload ของมุมของ stand plate เท่ากับ 40 องศา และ μ_2 แทนค่าเฉลี่ยของค่า Gramload ของมุมของ stand plate เท่ากับ 60 องศา ดังแสดงในตารางที่ 5.13 และ รูปที่ 5.36 สำหรับ HD0 และ ตารางที่ 5.14 และรูปที่ 5.37 สำหรับ HD1

ตารางที่ 5.14 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากการมุมของ stand plate สำหรับ HD0

Two-Sample T-Test and CI: 40_HD0, 60_HD0				
Two-sample T for 40_HD0 vs 60_HD0				
	N	Mean	StDev	SE Mean
40_HD0	60	2.539	0.116	0.015
60_HD0	60	2.523	0.120	0.016
Difference = mu 40_HD0 - mu 60_HD0				
Estimate for difference: 0.0162				
95% CI for difference: (-0.0266, 0.0590)				
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 0.75 P-Value = 0.456 DF = 117				



รูปที่ 5.36 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากมุมของ *stand plate* สำหรับ HD0

ตารางที่ 5.15 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากมุมของ *stand plate* สำหรับ HD1

Two-Sample T-Test and CI: 40_HD1, 60_HD1

Two-sample T for 40_HD1 vs 60_HD1

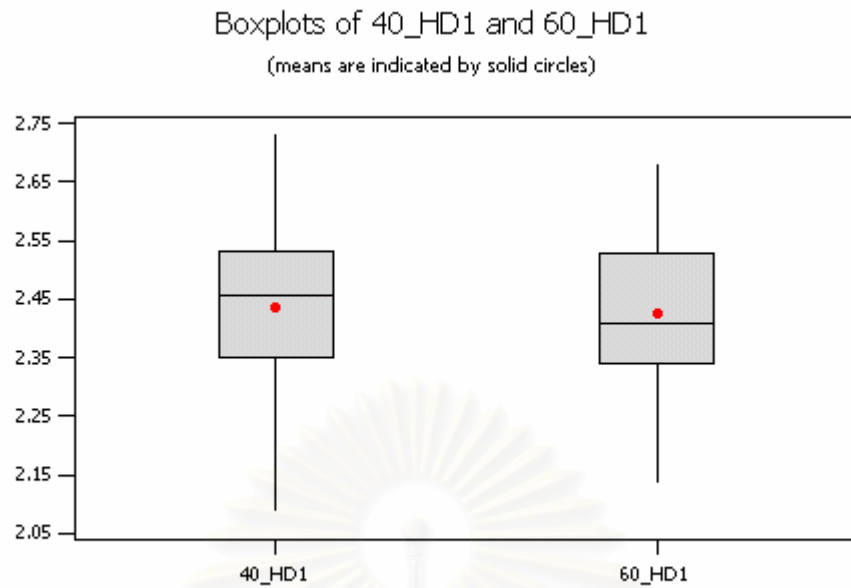
	N	Mean	StDev	SE Mean
40_HD1	60	2.437	0.133	0.017
60_HD1	60	2.427	0.126	0.016

Difference = μ 40_HD1 - μ 60_HD1

Estimate for difference: 0.0108

95% CI for difference: (-0.0360, 0.0577)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 0.46 P-Value = 0.648 DF = 117



รูปที่ 2.37 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากมุมของ stand plate HD1

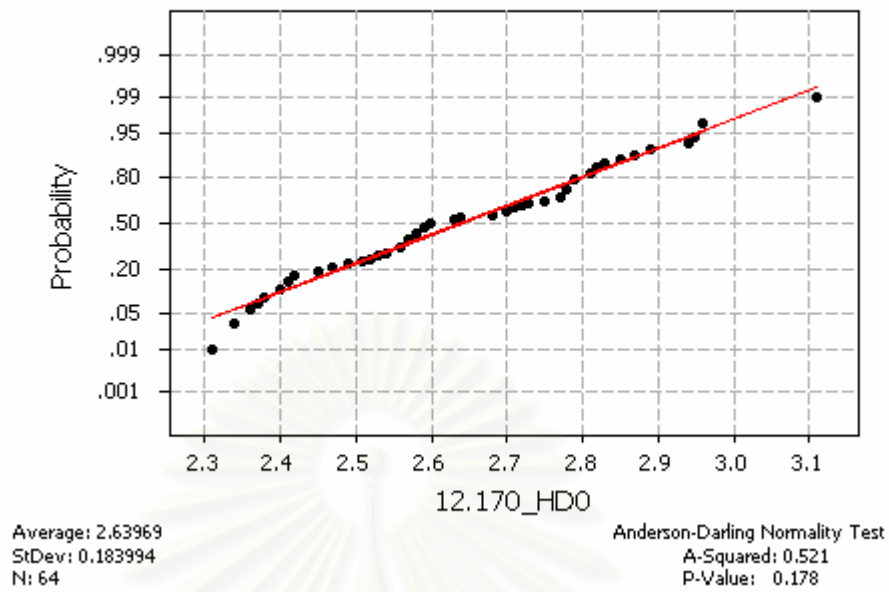
จากผลการทดสอบสมมติฐาน ดังแสดงในตารางที่ 5.14 และ 5.15 พบว่าค่า P-Value มากกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าการตั้งค่ามุม stand plate ที่ต่างกัน มีค่าเฉลี่ยของค่า Gramload ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

5.4.5 การวิเคราะห์สมมติฐานการตั้งค่าความสูงของฐาน shuttle มีผลต่อค่า Gramload

5.4.2.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ

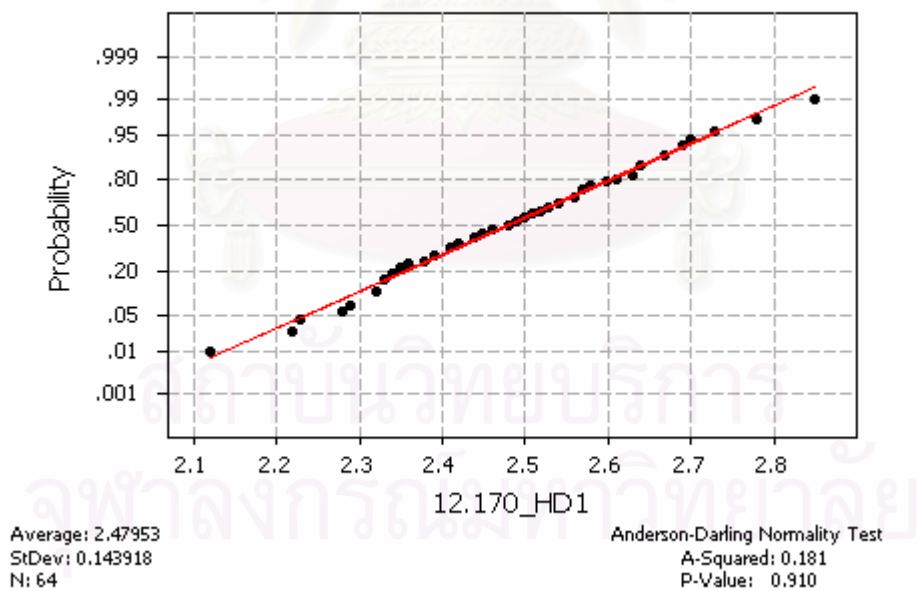
ผลการทดสอบความถูกต้องของรูปแบบ เพื่อทดสอบข้อกำหนดที่ว่า ข้อมูลที่นำมาทดสอบทั้งสองระดับมีการกระจายเป็นแบบปกติหรือไม่ โดยกำหนดให้การการตั้งค่าความสูงของฐาน shuttle เป็น 2 ระดับ ได้ผลการทดสอบการกระจายเป็นแบบปกติ เนื่องจากค่า P-Value มากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังรูปที่ 5.38 และ 5.39

Normal Probability Plot



ก) ความสูงของฐาน shuttle เท่ากับ 12.170 มิลลิเมตร_HD0

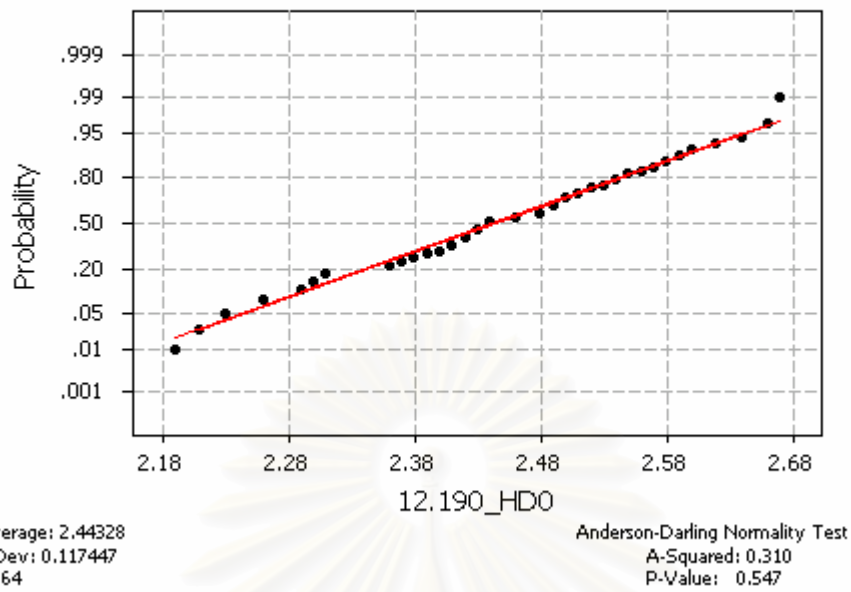
Normal Probability Plot



ข) ความสูงของฐาน shuttle เท่ากับ 12.170 มิลลิเมตร_HD1

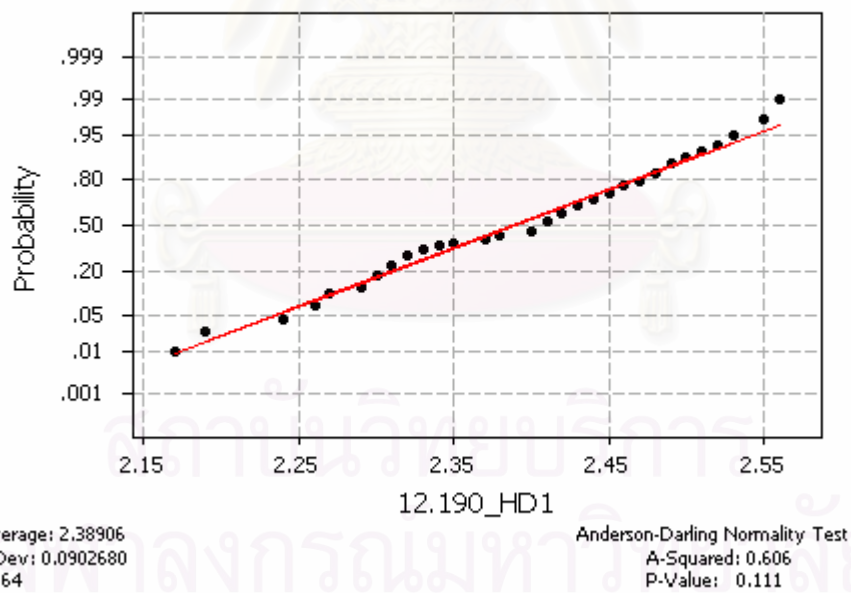
รูปที่ 5.38 กราฟแสดงการกระจายของค่า Gramload จากความสูงของฐาน shuttle เท่ากับ 12.170 มิลลิเมตร ก) HD0 ข) HD1

Normal Probability Plot



ก) ความสูงของฐาน shuttle เท่ากับ 12.190 มิลลิเมตร_HD0

Normal Probability Plot



ก) ความสูงของฐาน shuttle เท่ากับ 12.190 มิลลิเมตร_HD1

รูปที่ 5.39 กราฟแสดงการกระจายของค่า Gramload จากการความสูงของฐาน shuttle เท่ากับ 12.190 มิลลิเมตร ก) HD0 ข) HD1

5.4.2.5 การทดสอบสมมติฐาน

ในการทดสอบสมมติฐานในขั้นแรกต้องพิจารณาค่าความแปรปรวนของค่า Gramload จากการตั้งค่าความสูงของฐาน shuttle ที่ต่างกัน ว่ามีค่าเท่ากันหรือไม่ เพื่อเป็นข้อกำหนดในการทดสอบสมมติฐานของค่าเฉลี่ย โดยสมมติฐานในการทดสอบความแปรปรวนเป็นดังนี้

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

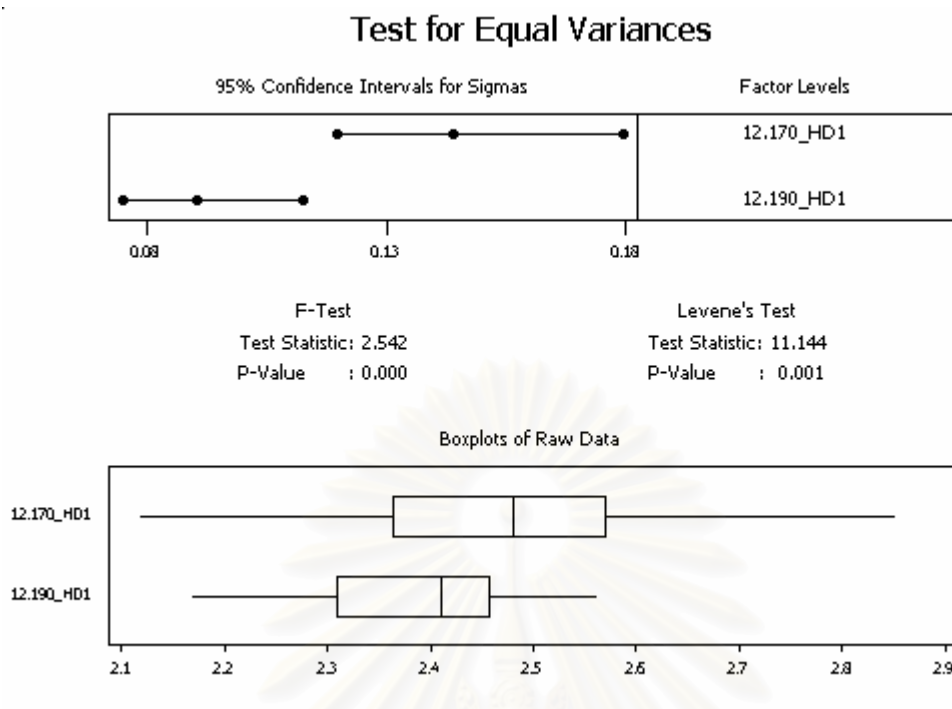
$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

โดยกำหนดให้ σ_1^2 แทนค่าความแปรปรวนของค่า Gramload ของความสูงของฐาน shuttle เท่ากับ 12.170 มิลลิเมตร และ σ_2^2 แทนค่าความแปรปรวนของค่า Gramload ของความสูงของฐาน shuttle เท่ากับ 12.190 มิลลิเมตร ดังแสดงในตารางที่ 5.16 และ รูปที่ 5.40 สำหรับ HD0 และ ตารางที่ 5.17 และรูปที่ 5.41 สำหรับ HD1

ตารางที่ 5.16 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากการความสูงของฐาน shuttle สำหรับ HD0

Test for Equal Variances				
Level1	12.170_HD0			
Level2	12.190_HD0			
ConfLvl	95.0000			
Bonferroni confidence intervals for standard deviations				
Lower	Sigma	Upper	N	Factor Levels
0.153268	0.183994	0.229315	64	12.170_HD0
0.097834	0.117447	0.146377	64	12.190_HD0
F-Test (normal distribution)				
Test Statistic: 2.454				
P-Value : 0.000				
Levene's Test (any continuous distribution)				
Test Statistic: 13.570				
P-Value : 0.000				



รูปที่ 5.41 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากความสูงของฐาน shuttle สำหรับ HD1

จากผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนของค่า Gramload ที่เกิดจากความสูงของฐาน shuttle ดังแสดงในตารางที่ 5.16 , 5.17 และรูปที่ 5.40 , 5.41 พบว่าค่า P-Value มีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่า ความสูงของฐาน shuttle มีผลกระทบต่อความแปรปรวนของค่า Gramload ที่ความเชื่อมั่น 95%

และขั้นต่อไปคือการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของค่า Gramload ที่เกิดจากการเคลื่อนย้าย และไม่เคลื่อนย้าย shuttle โดยสมมติฐานในการทดสอบเป็นดังนี้

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

โดยกำหนดให้ μ_1 แทนค่าเฉลี่ยของค่า Gramload ของความสูงของฐาน shuttle เท่ากับ 12.170 มิลลิเมตร และ μ_2 แทนค่าเฉลี่ยของค่า Gramload ของความสูงของฐาน shuttle เท่ากับ 12.190 มิลลิเมตร ดังแสดงในตารางที่ 5.18 และรูปที่ 5.42 สำหรับ HD0 และ ตารางที่ 5.19 และรูปที่ 5.43 สำหรับ HD1

ตารางที่ 5.18 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากความสูงของฐาน shuttle สำหรับ HD0

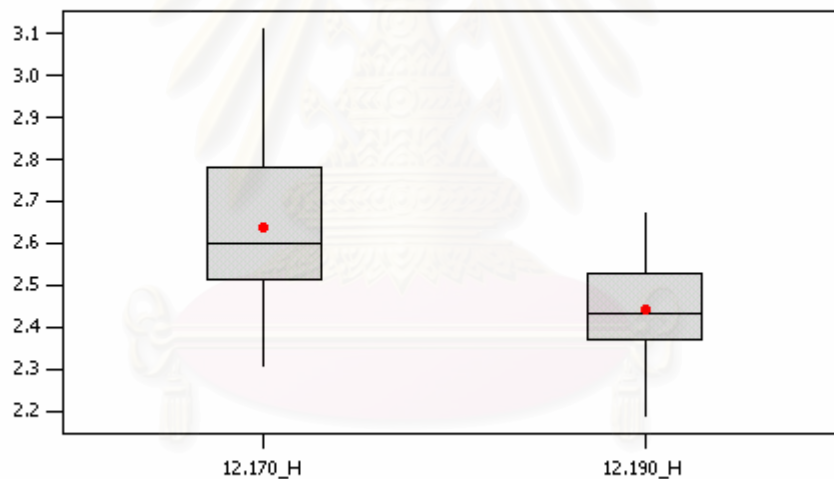
Two-Sample T-Test and CI: 12.170_HD0, 12.190_HD0

Two-sample T for 12.170_HD0 vs 12.190_HD0

	N	Mean	StDev	SE Mean
12.170_H	64	2.640	0.184	0.023
12.190_H	64	2.443	0.117	0.015

Difference = mu 12.170_HD0 - mu 12.190_HD0
 Estimate for difference: 0.1964
 95% CI for difference: (0.1423, 0.2505)
 T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 7.20 P-Value = 0.000 DF = 107

Boxplots of 12.170_H and 12.190_H
 (means are indicated by solid circles)



รูปที่ 5.42 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากความสูงของฐาน shuttle สำหรับ HD0

ตารางที่ 5.19 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากความสูงของฐาน shuttle สำหรับ HD1

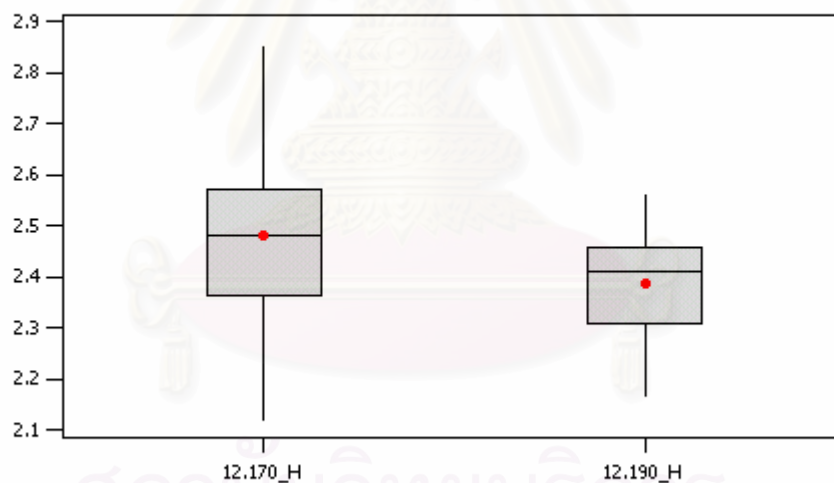
Two-Sample T-Test and CI: 12.170_HD1, 12.190_HD1

Two-sample T for 12.170_HD1 vs 12.190_HD1

	N	Mean	StDev	SE Mean
12.170_H	64	2.480	0.144	0.018
12.190_H	64	2.3891	0.0903	0.011

Difference = mu 12.170_HD1 - mu 12.190_HD1
 Estimate for difference: 0.0905
 95% CI for difference: (0.0484, 0.1326)
 T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 4.26 P-Value = 0.000 DF = 105

Boxplots of 12.170_H and 12.190_H
(means are indicated by solid circles)



รูปที่ 2.43 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากความสูงของฐาน shuttle HD1

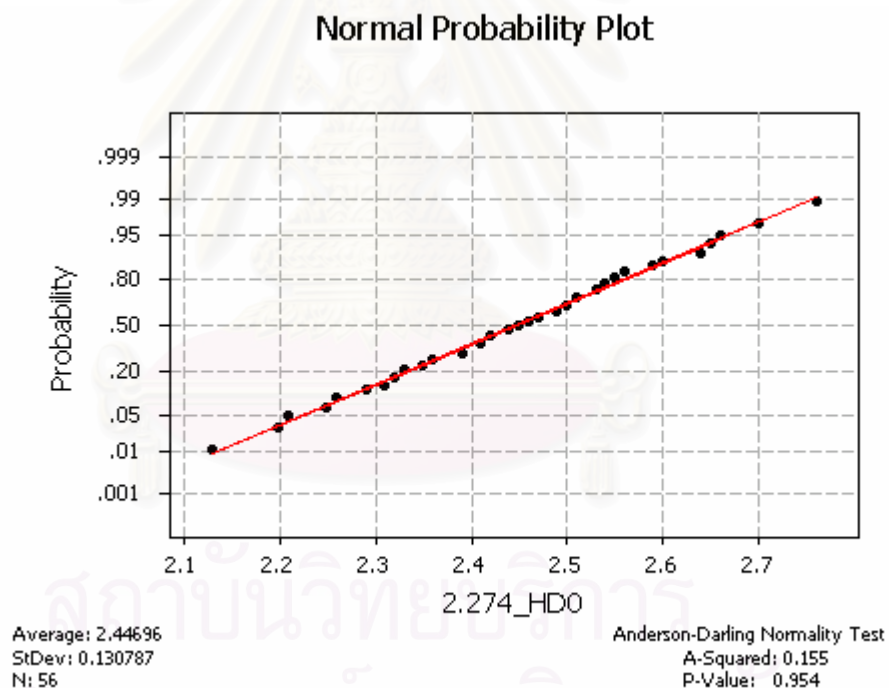
จากผลการทดสอบสมมติฐาน ดังแสดงในตารางที่ 5.18 และ 5.19 พบว่าค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าความสูงของฐาน shuttle มีค่าเฉลี่ยของค่า Gramload แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

5.4.6 การวิเคราะห์สมมติฐานการตั้งค่าความหนาของ 1st key ของ shuttle มีผลต่อค่า Gramload

5.4.2.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ

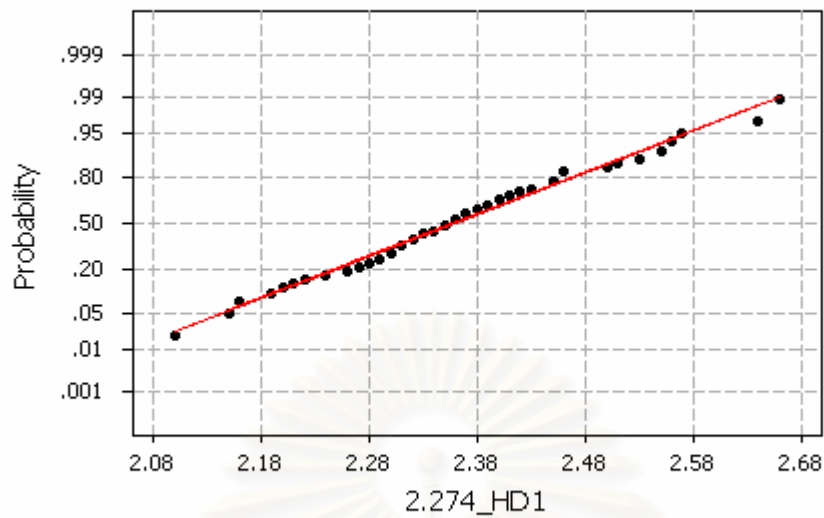
ผลการทดสอบความถูกต้องของรูปแบบ เพื่อทดสอบข้อกำหนดที่ว่า ข้อมูลที่นำมาทดสอบทั้งสองระดับมีการกระจายเป็นแบบปกติหรือไม่ โดยกำหนดให้ค่า Gramload ได้มาจากความหนาของ 1st key คือ 2.274 และ 2.279 มิลลิเมตร ตามลำดับได้ผลการทดสอบการกระจายเป็นแบบปกติ เนื่องจากค่า P-Value มากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังรูปที่ 5.44 และ 5.45

ในการทำการทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐานในครั้งนี้ พบว่า ชุดหัวอ่านสำเร็จเกิดความเสียหายขณะทำการวัดค่า Gramload ทั้งหมด 8 ชิ้น ด้วยกัน ดังนั้นจำนวนสิ่งตัวอย่างที่ได้จากการทดลองจึงเหลือเพียง 56 สิ่งตัวอย่าง



ก)ความหนา 1st key 2.274 มิลลิเมตร สำหรับ HD0

Normal Probability Plot



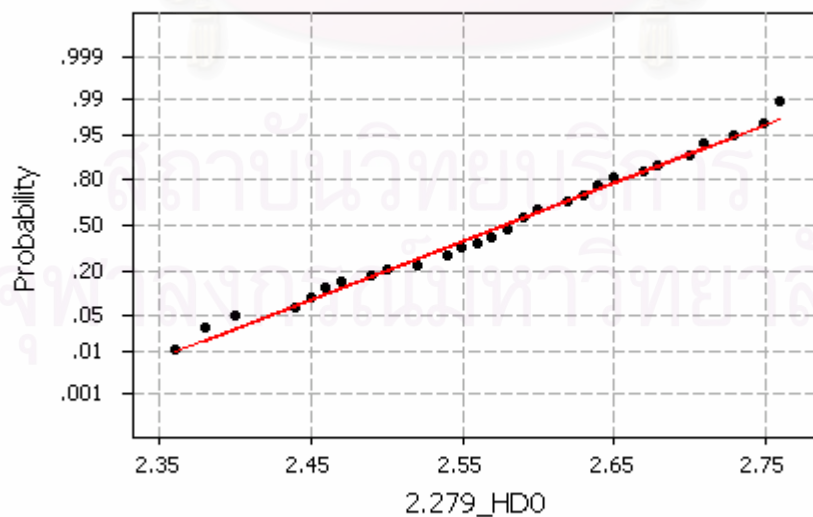
Average: 2.35857
StDev: 0.126741
N: 56

Anderson-Darling Normality Test
A-Squared: 0.259
P-Value: 0.702

ข) ความหนา 1st key 2.274 มิลลิเมตร สำหรับ HD1

รูปที่ 5.44 กราฟแสดงการกระจายของค่า Gramload จากความหนาของ 1st key เท่ากับ 2.274 มิลลิเมตร ของ shuttle ก) HD0 ข) HD1

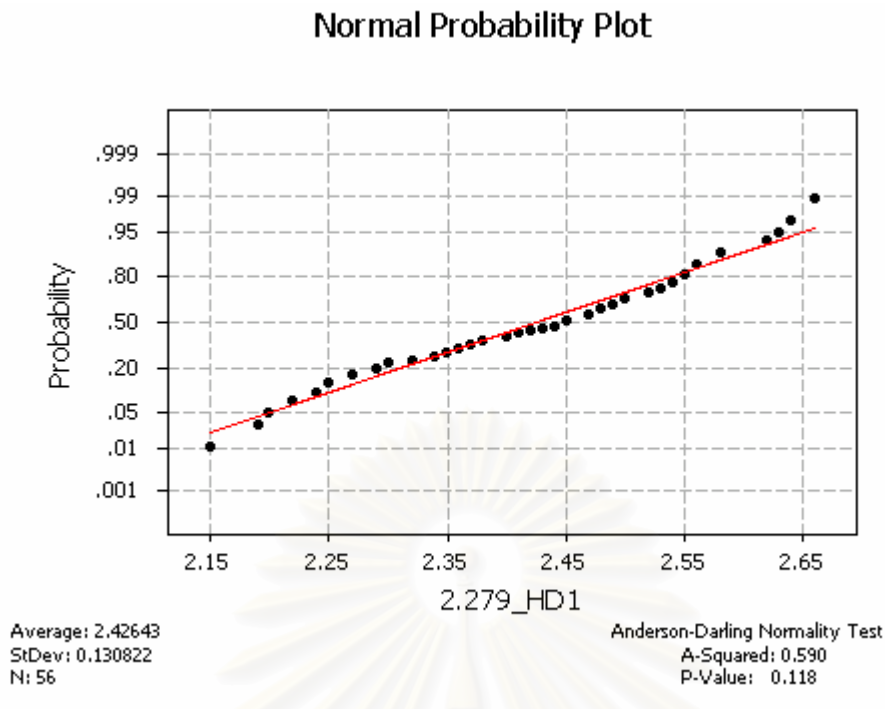
Normal Probability Plot



Average: 2.57804
StDev: 0.0909229
N: 56

Anderson-Darling Normality Test
A-Squared: 0.302
P-Value: 0.566

ก) ความหนา 1st key 2.279 มิลลิเมตร สำหรับ HD0



ข) ความหนา 1st key 2.279 มิลลิเมตร สำหรับ HD1

รูปที่ 5.45 กราฟแสดงการกระจายของค่า Gramload จากความหนาของ 1st key เท่ากับ 2.279 มิลลิเมตร ของ shuttle ก) HD0 ข) HD1

5.4.2.6 การทดสอบสมมติฐาน

ในการทดสอบสมมติฐานในขั้นแรกต้องพิจารณาค่าความแปรปรวนของค่า Gramload จากการใช้ความหนาของ 1st key ที่ต่างกัน ว่ามีค่าเท่ากันหรือไม่ เพื่อเป็นข้อกำหนดในการทดสอบสมมติฐานของค่าเฉลี่ย โดยสมมติฐานในการทดสอบความแปรปรวนเป็นดังนี้

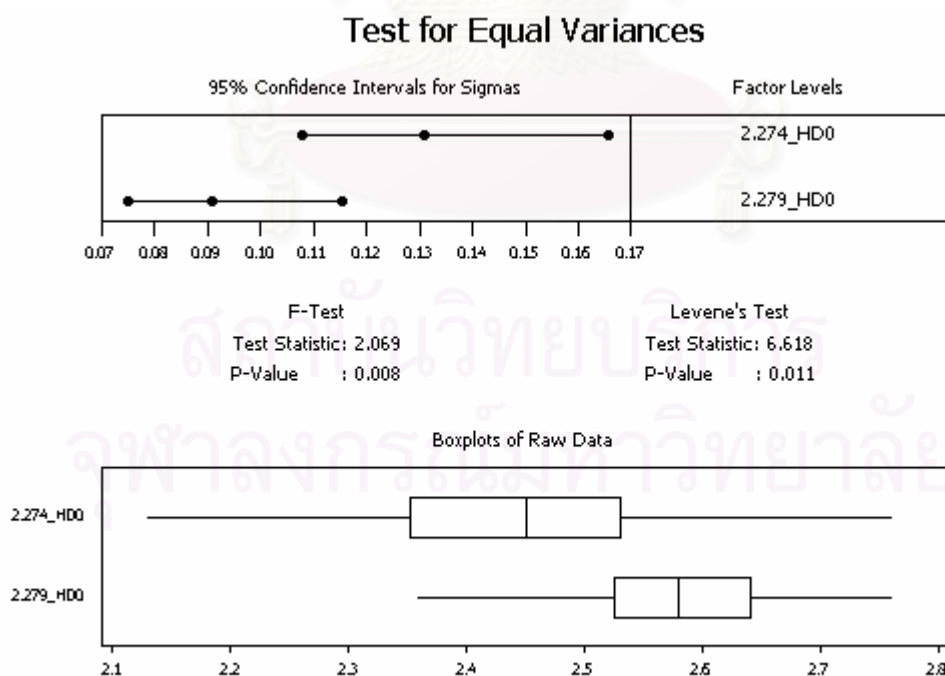
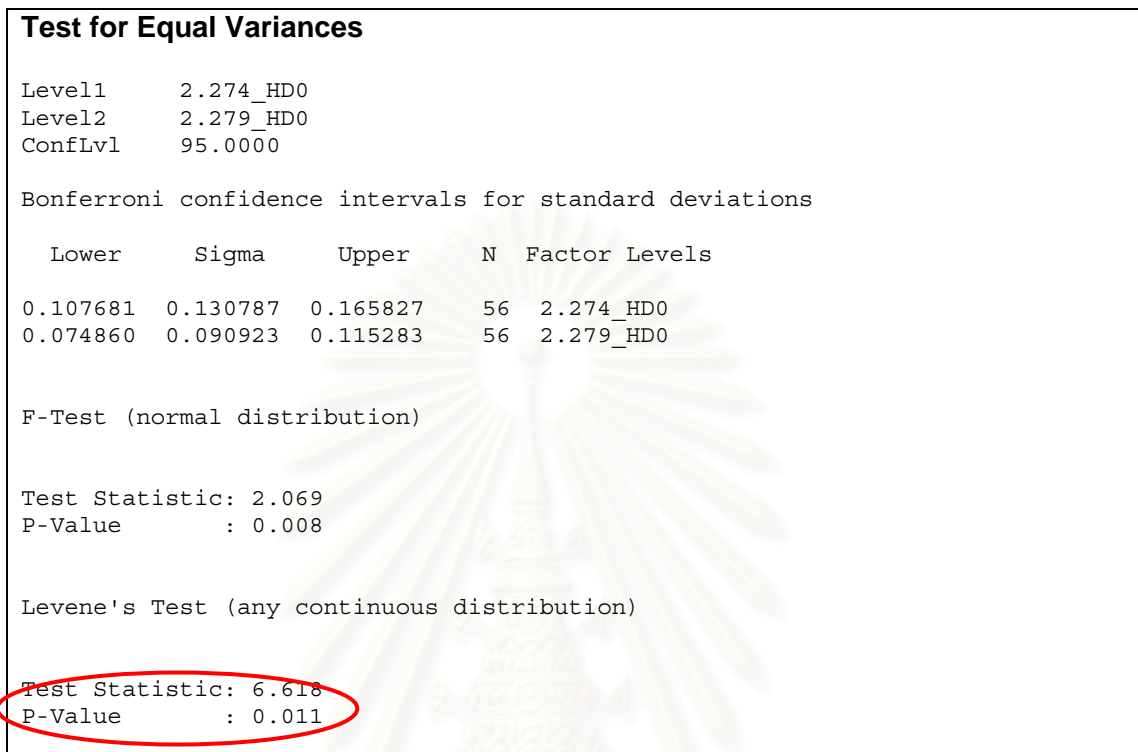
สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

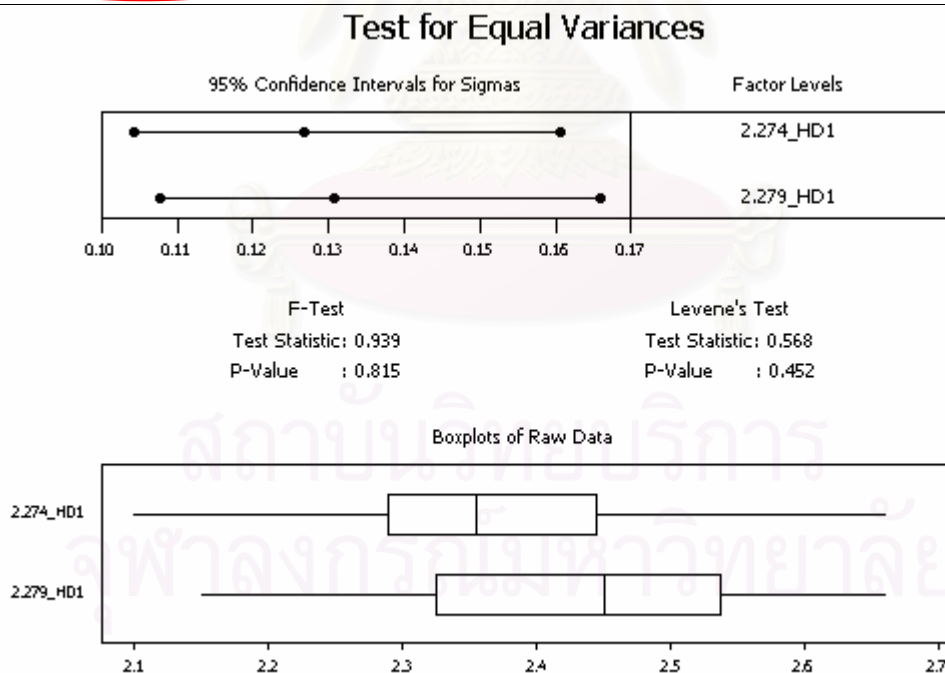
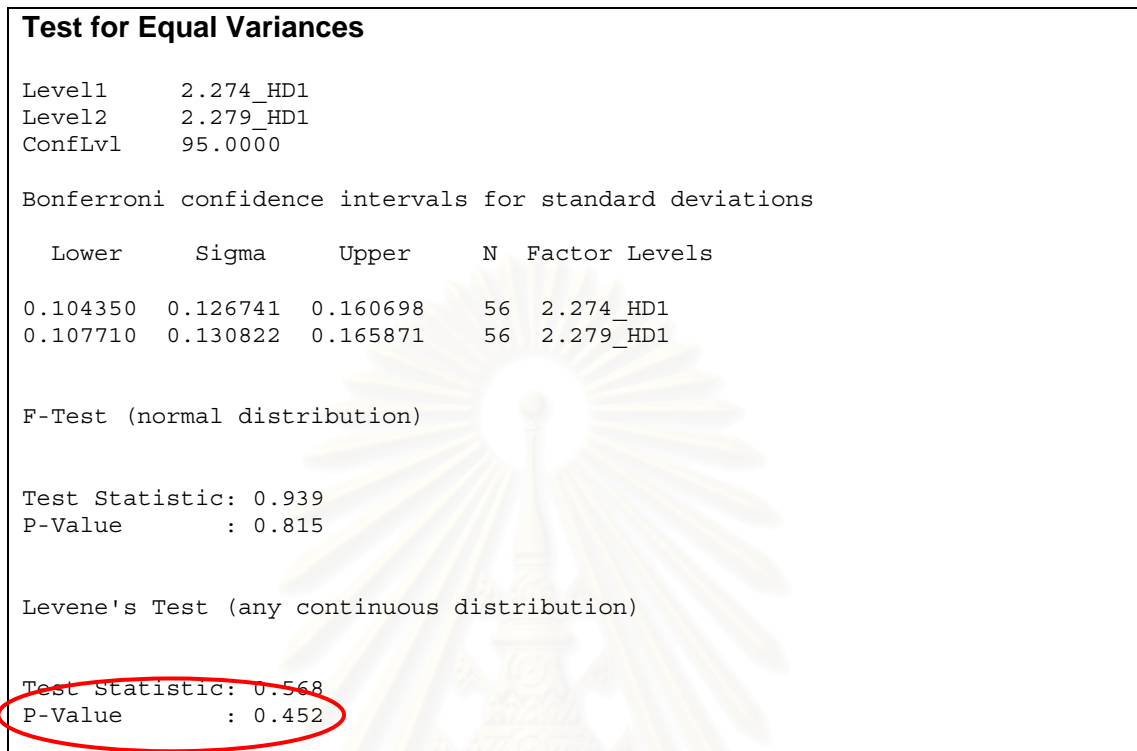
โดยกำหนดให้ σ_1^2 แทนค่าความแปรปรวนของค่า Gramload ของความหนาของ 1st key เท่ากับ 2.274 มิลลิเมตร และ σ_2^2 แทนค่าความแปรปรวนของค่า Gramload ของความหนาของ 1st key เท่ากับ 2.279 มิลลิเมตร ดังแสดงในตารางที่ 5.20 และ รูปที่ 5.46 สำหรับ HD0 และ ตารางที่ 5.21 และรูปที่ 5.47 สำหรับ HD1

ตารางที่ 5.20 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากการความหนาของ 1st key ของ shuttle สำหรับ HD0



รูปที่ 5.46 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากความหนาของ 1st key ของ shuttle สำหรับ HD0

ตารางที่ 5.21 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากการความหนาของ 1st key ของ shuttle สำหรับ HD1



รูปที่ 5.47 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากความหนาของ 1st key ของ shuttle สำหรับ HD1

จากผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนของค่า Gramload ที่เกิดจากการความหนาของ 1st key ของ shuttle ดังแสดงในตารางที่ 5.20 , 5.21 และรูปที่ 5.46 , 5.47 พบว่า ค่า P-Value มีค่ามากกว่า 0.05 สำหรับ HD1 และ น้อยกว่า 0.05 สำหรับ HD0 จึงสรุปได้ว่า ความหนาของ 1st key ของ shuttle มีผลกระทบต่อความแปรปรวนของค่า Gramload สำหรับ HD0 แต่ไม่มีผลกระทบต่อความแปรปรวนของค่า Gramload สำหรับ HD1 ที่ความเชื่อมั่น 95%

และขั้นต่อไปคือการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของค่า Gramload ที่เกิดจากความหนาของ 1st key ของ shuttle โดยสมมติฐานในการทดสอบเป็นดังนี้

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

โดยกำหนดให้ μ_1 แทนค่าเฉลี่ยของค่า Gramload ของความหนาของ 1st key เท่ากับ 2.274 มิลลิเมตร และ μ_2 แทนค่าเฉลี่ยของค่า Gramload ของความหนาของ 1st key เท่ากับ 2.279 มิลลิเมตร ดังแสดงในตารางที่ 5.22 และ รูปที่ 5.48 สำหรับ HD0 และ ตารางที่ 5.23 และรูปที่ 5.49 สำหรับ HD1

ตารางที่ 5.22 ตารางแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากการความหนาของ 1st key ของ shuttle สำหรับ HD0

Two-Sample T-Test and CI: 2.274_HD0, 2.279_HD0

Two-sample T for 2.274_HD0 vs 2.279_HD0

	N	Mean	StDev	SE Mean
2.274_HD	56	2.447	0.131	0.017
2.279_HD	56	2.5780	0.0909	0.012

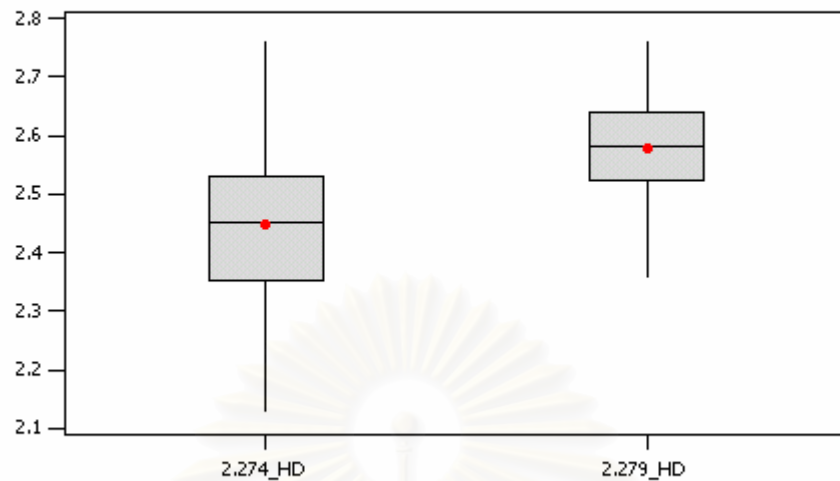
Difference = mu 2.274_HD0 - mu 2.279_HD0

Estimate for difference: -0.1311

95% CI for difference: (-0.1733, -0.0888)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -6.16 P-Value = 0.000 DF = 98

Boxplots of 2.274_HD and 2.279_HD
(means are indicated by solid circles)



รูปที่ 5.48 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากความหนาของ 1st key ของ shuttle สำหรับ HD0

ตารางที่ 5.23 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากความหนาของ 1st key ของ shuttle สำหรับ HD1

Two-Sample T-Test and CI: 2.274_HD1, 2.279_HD1

Two-sample T for 2.274_HD1 vs 2.279_HD1

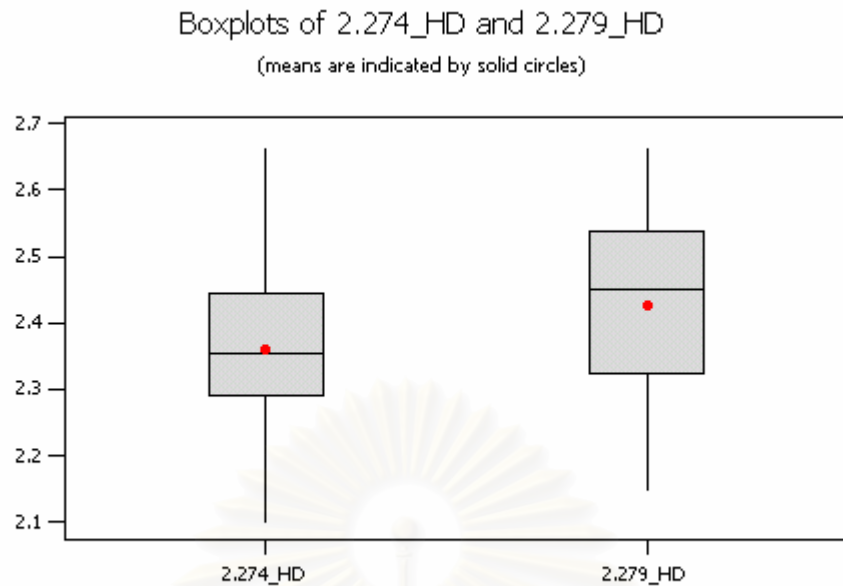
	N	Mean	StDev	SE Mean
2.274_HD	56	2.359	0.127	0.017
2.279_HD	56	2.426	0.131	0.017

Difference = mu 2.274_HD1 - mu 2.279_HD1

Estimate for difference: -0.0679

95% CI for difference: (-0.1161, -0.0196)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -2.79 P-Value = 0.006 DF = 109



รูปที่ 2.49 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากความหนาของ 1st key ของ shuttle สำหรับ HD1

จากผลการทดสอบสมมติฐาน ดังแสดงในตารางที่ 5.22 และ 5.23 พบว่าค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าความหนาของ 1st key ของ shuttle มีค่าเฉลี่ยของค่า Gramload แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

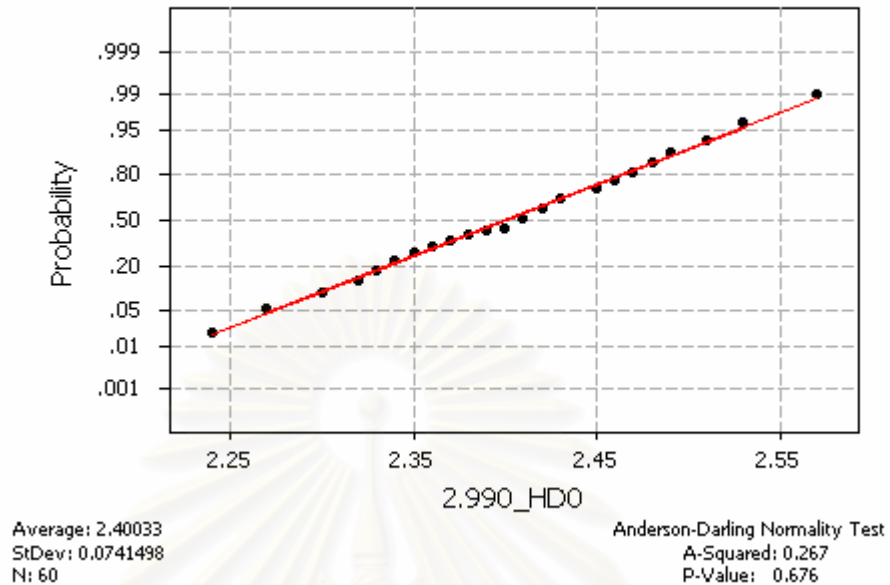
5.4.7 การวิเคราะห์สมมติฐานการตั้งค่าความหนาของ 2nd key ของ shuttle มีผลต่อค่า Gramload

5.4.2.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ

ผลการทดสอบความถูกต้องของรูปแบบ เพื่อทดสอบข้อกำหนดที่ว่า ข้อมูลที่นำมาทดสอบทั้งสองระดับมีการกระจายเป็นแบบปกติหรือไม่ โดยกำหนดให้ค่า Gramload ได้มาจากความหนาของ 2nd key คือ 2.990 และ 3.000 มิลลิเมตร ตามลำดับได้ผลการทดสอบการกระจายเป็นแบบปกติ เนื่องจากค่า P-Value มากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังรูปที่ 5.50 และ 5.51

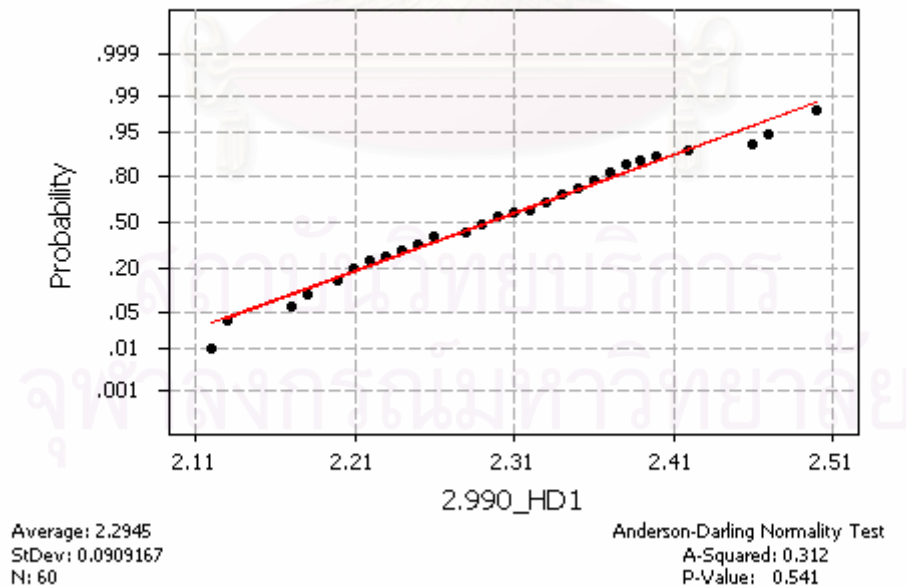
ในการทำการทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐานในครั้งนี้ พบว่า ชุดหัวอ่านสำเร็จเกิดความเสียหายขณะทำการวัดค่า Gramload ทั้งหมด 4 ชิ้น ด้วยกัน ดังนั้นจำนวนสิ่งตัวอย่างที่ได้จากการทดลองจึงเหลือเพียง 60 สิ่งตัวอย่าง

Normal Probability Plot



ก) ความหนา 2^{nd} key 2.990 มิลลิเมตร สำหรับ HD0

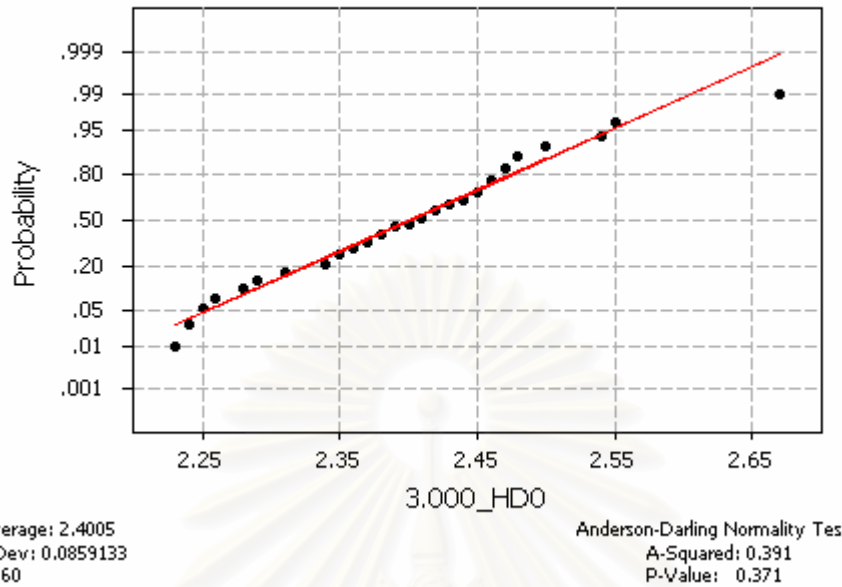
Normal Probability Plot



ข) ความหนา 2^{nd} key 2.990 มิลลิเมตร สำหรับ HD1

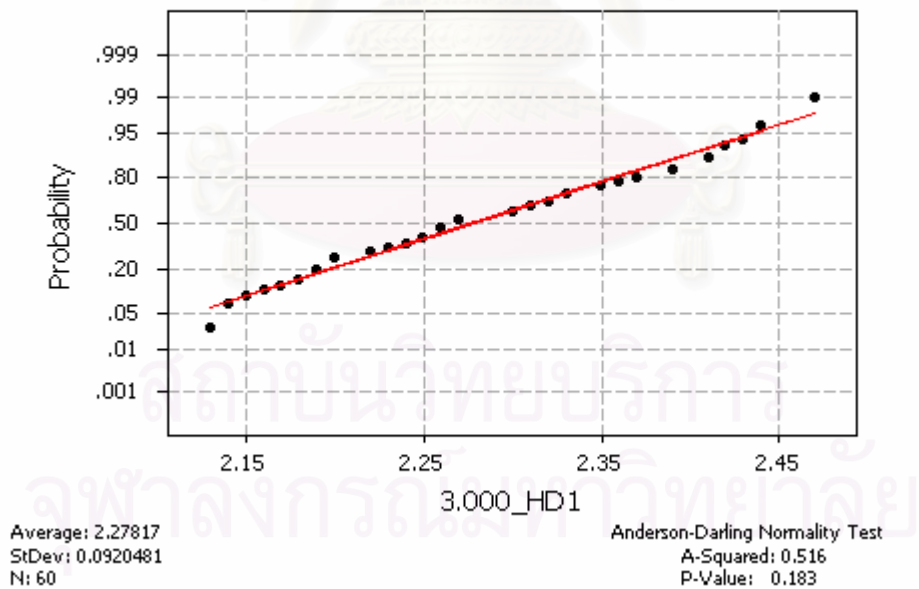
รูปที่ 5.50 กราฟแสดงการกระจายของค่า Gramload จากความหนาของ 2^{nd} key เท่ากับ 2.990 มิลลิเมตร ก) HD0 ข) HD1

Normal Probability Plot



ก) ความหนา 2^{nd} key 3.000 มิลลิเมตร สำหรับ HDO

Normal Probability Plot



ข) ความหนา 2^{nd} key 3.000 มิลลิเมตร สำหรับ HD1

รูปที่ 5.51 กราฟแสดงการกระจายของค่า Gramload จากความหนา 2^{nd} key 3.000 มิลลิเมตร ก) HD0 ข) HD1

5.4.2.7 การทดสอบสมมติฐาน

ในการทดสอบสมมติฐานในขั้นแรกต้องพิจารณาค่าความแปรปรวนของค่า Gramload จากการใช้ความหนาของ 2nd key ที่ต่างกัน ว่ามีค่าเท่ากันหรือไม่ เพื่อเป็นข้อกำหนดในการทดสอบสมมติฐานของค่าเฉลี่ย โดยสมมติฐานในการทดสอบความแปรปรวนเป็นดังนี้

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

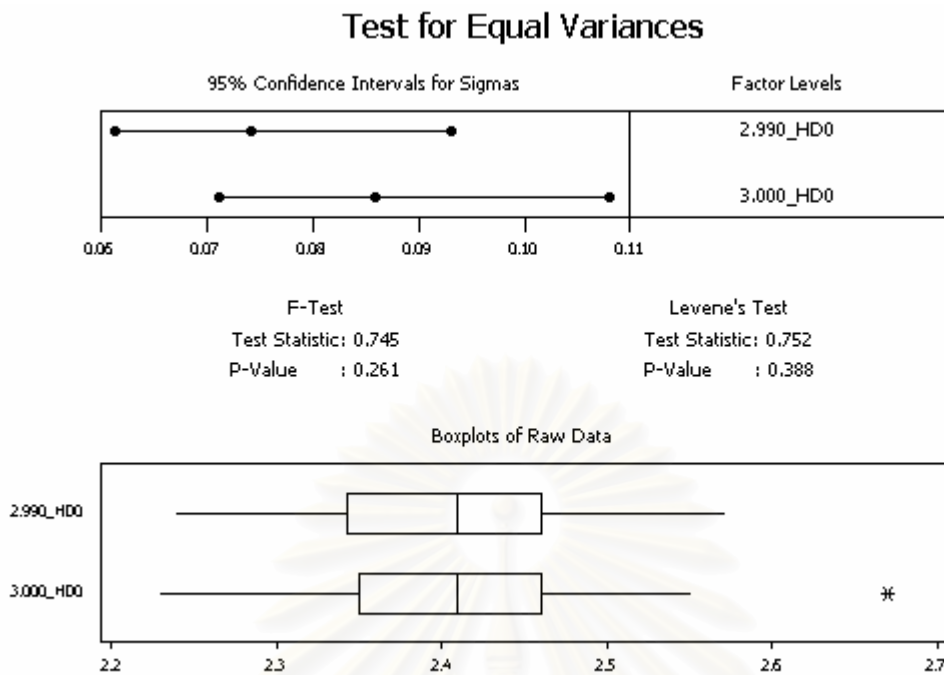
$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

โดยกำหนดให้ σ_1^2 แทนค่าความแปรปรวนของค่า Gramload ของความหนาของ 2nd key เท่ากับ 2.990 มิลลิเมตร และ σ_2^2 แทนค่าความแปรปรวนของค่า Gramload ของความหนาของ 2nd key เท่ากับ 3.000 มิลลิเมตร ดังแสดงในตารางที่ 5.24 และ รูปที่ 5.52 สำหรับ HD0 และ ตารางที่ 5.25 และรูปที่ 5.53 สำหรับ HD1

ตารางที่ 5.24 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากการความหนาของ 2nd key สำหรับ HD0

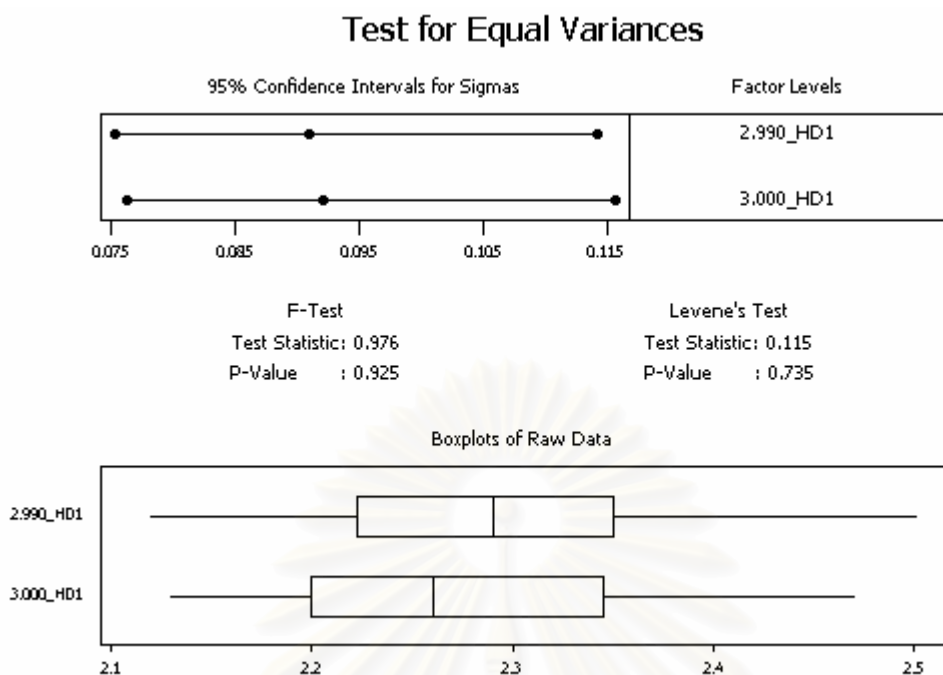
Test for Equal Variances				
Level1	2.990_HD0			
Level2	3.000_HD0			
ConfLvl	95.0000			
Bonferroni confidence intervals for standard deviations				
Lower	Sigma	Upper	N	Factor Levels
6.14E-02	7.41E-02	0.093168	60	2.990_HD0
7.12E-02	8.59E-02	0.107949	60	3.000_HD0
F-Test (normal distribution)				
Test Statistic: 0.745				
P-Value : 0.261				
Levene's Test (any continuous distribution)				
Test Statistic: 0.752				
P-Value : 0.388				



รูปที่ 5.52 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากความหนาของ 2nd key สำหรับ HD0

ตารางที่ 5.25 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากการความหนาของ 2nd key สำหรับ HD1

Test for Equal Variances					
Level1	2.990_HD1				
Level2	3.000_HD1				
ConfLvl	95.0000				
Bonferroni confidence intervals for standard deviations					
Lower	Sigma	Upper	N	Factor Levels	
7.53E-02	9.09E-02	0.114235	60	2.990_HD1	
7.63E-02	9.20E-02	0.115657	60	3.000_HD1	
F-Test (normal distribution)					
Test Statistic: 0.976					
P-Value : 0.925					
Levene's Test (any continuous distribution)					
Test Statistic: 0.115					
P-Value : 0.735					



รูปที่ 5.53 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากความหนาของ 2nd key สำหรับ HD1

จากผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนของค่า Gramload ที่เกิดจากการความหนาของ 2nd key ของ shuttle ดังแสดงในตารางที่ 5.24 , 5.25 และรูปที่ 5.52 , 5.53 พบว่า ค่า P-Value มีค่ามากกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่า ความหนาของ 2nd key ของ shuttle ไม่มีผลกระทบต่อความแปรปรวนของค่า Gramload ที่ความเชื่อมั่น 95%

และขั้นต่อไปคือการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของค่า Gramload ที่เกิดจากความหนาของ 2nd key ของ shuttle โดยสมมติฐานในการทดสอบเป็นดังนี้

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

โดยกำหนดให้ μ_1 แทนค่าเฉลี่ยของค่า Gramload ของความหนาของ 2nd key เท่ากับ 2.990 มิลลิเมตร และ μ_2 แทนค่าเฉลี่ยของค่า Gramload ของความหนาของ 2nd key เท่ากับ 3.000 มิลลิเมตร ดังแสดงในตารางที่ 5.26 และ รูปที่ 5.54 สำหรับ HD0 และ ตารางที่ 5.27 และรูปที่ 5.55 สำหรับ HD1

ตารางที่ 5.26 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากการความหนาของ 2nd key สำหรับ HD0

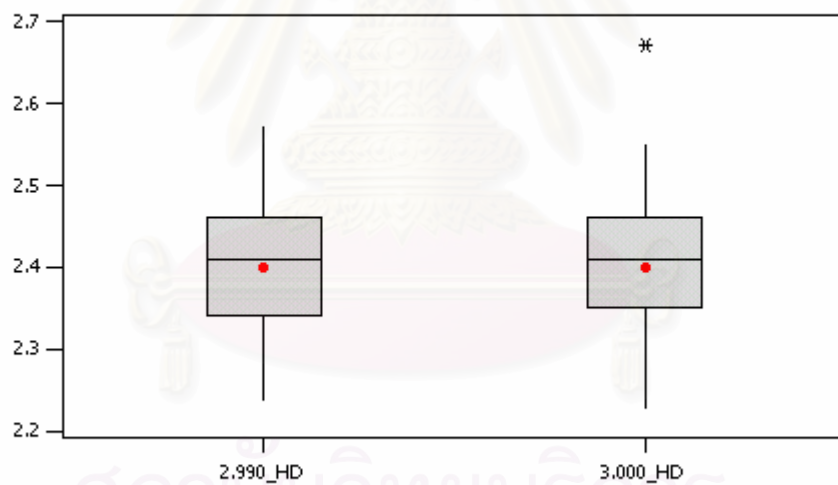
Two-Sample T-Test and CI: 2.990_HD0, 3.000_HD0

Two-sample T for 2.990_HD0 vs 3.000_HD0

	N	Mean	StDev	SE Mean
2.990_HD	60	2.4003	0.0741	0.0096
3.000_HD	60	2.4005	0.0859	0.011

Difference = mu 2.990_HD0 - mu 3.000_HD0
 Estimate for difference: -0.0002
 95% CI for difference: (-0.0292, 0.0289)
 T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -0.01 P-Value = 0.991 DF = 115

Boxplots of 2.990_HD and 3.000_HD
 (means are indicated by solid circles)



รูปที่ 5.54 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากความหนาของ 2nd key สำหรับ HD0

ตารางที่ 5.27 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากความหนาของ 2nd key สำหรับ HD1

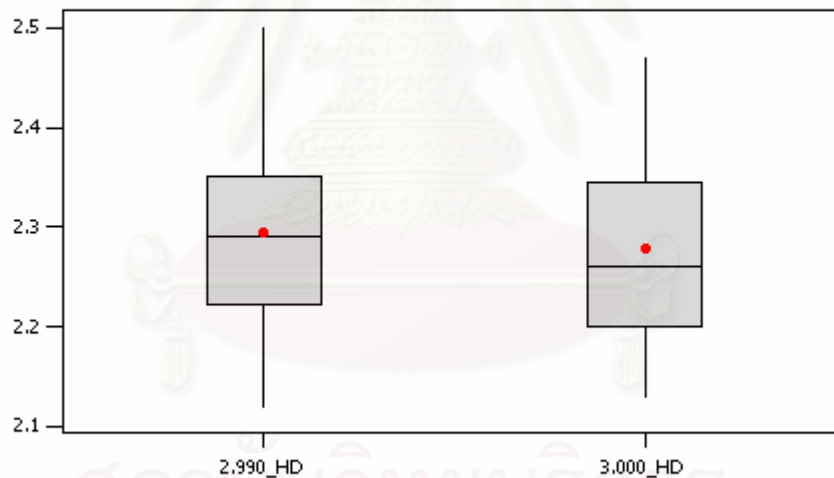
Two-Sample T-Test and CI: 2.990_HD1, 3.000_HD1

Two-sample T for 2.990_HD1 vs 3.000_HD1

	N	Mean	StDev	SE Mean
2.990_HD	60	2.2945	0.0909	0.012
3.000_HD	60	2.2782	0.0920	0.012

Difference = mu 2.990_HD1 - mu 3.000_HD1
 Estimate for difference: 0.0163
 95% CI for difference: (-0.0167, 0.0494)
 T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 0.98 P-Value = 0.330 DF = 117

Boxplots of 2.990_HD and 3.000_HD
(means are indicated by solid circles)



รูปที่ 2.55 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากความหนาของ 2nd key สำหรับ HD1

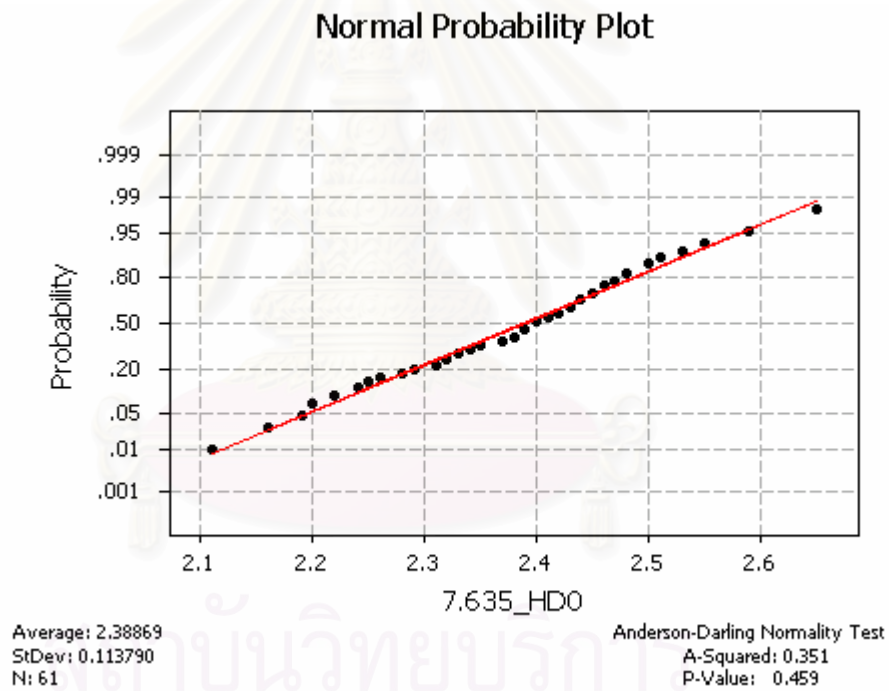
จากผลการทดสอบสมมติฐาน ดังแสดงในตาราง 5.26 และ 5.27 พบว่าค่า P-Value มากกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าความหนาของ 2nd key ของ shuttle มีค่าเฉลี่ยของค่า Gramload ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

5.4.8 การวิเคราะห์สมมติฐานการตั้งค้ำระยะห่างของ Comb Tower Pin Slot ของ shuttle มีผลต่อค่า Gramload

5.4.2.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ

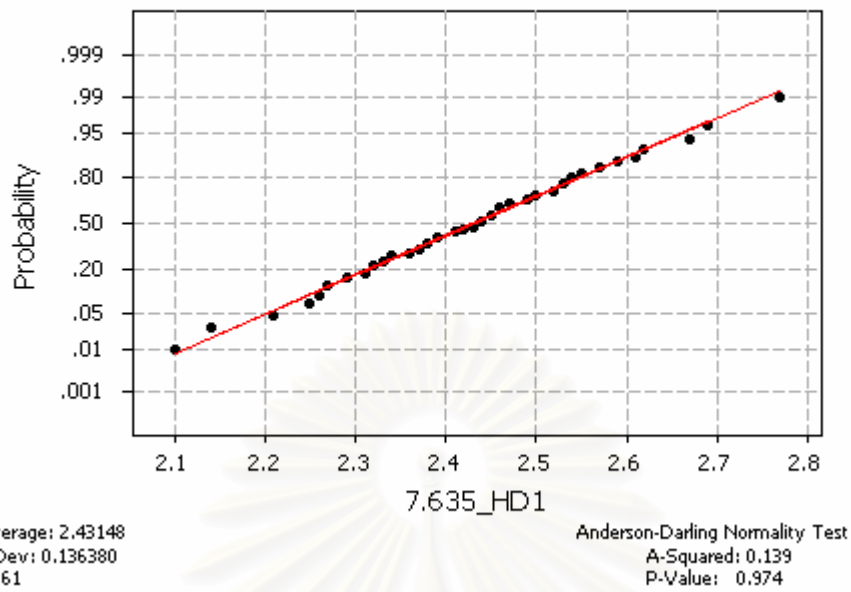
ผลการทดสอบความถูกต้องของรูปแบบ เพื่อทดสอบข้อกำหนดที่ว่า ข้อมูลที่นำมาทดสอบทั้งสองระดับมีการกระจายเป็นแบบปกติหรือไม่ โดยกำหนดให้การระยะห่างของ Comb Tower Pin Slot มีระยะไม่เท่ากัน ได้ผลการทดสอบการกระจายเป็นแบบปกติ เนื่องจากค่า P-Value มากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังรูปที่ 5.56 และ 5.57

ในการทำการทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐานในครั้งนี้ พบว่า ชุดหัวอ่านสำเร็จเกิดความเสียหายขณะทำการวัดค่า Gramload ทั้งหมด 3 ชั้น ด้วยกัน ดังนั้นจำนวนสิ่งตัวอย่างที่ได้จากการทดลองจึงเหลือเพียง 61 สิ่งตัวอย่าง



ก) ระยะห่าง 7.635 มิลลิเมตร_HDO

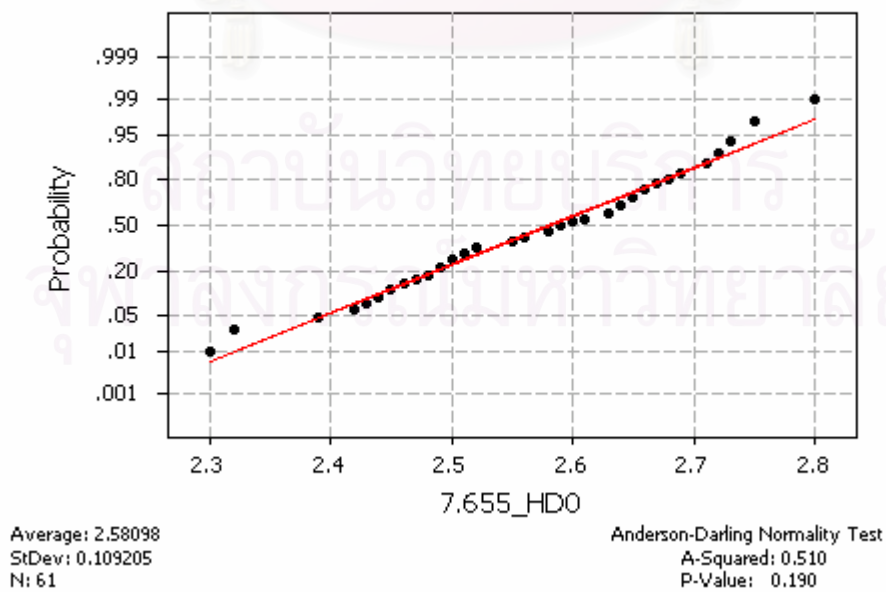
Normal Probability Plot



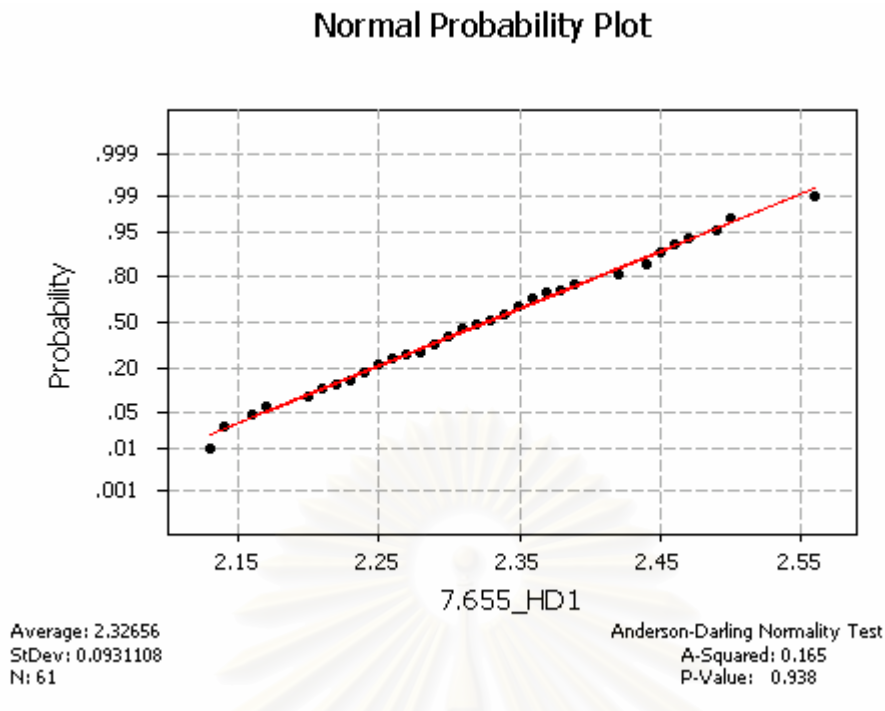
ข) ระยะห่าง 7.635 มิลลิเมตร_HD1

รูปที่ 5.56 กราฟแสดงการกระจายของค่า Gramload จากระยะห่าง Comb Tower Pin Slot เท่ากับ 7.635 ก) HD0 ข) HD1

Normal Probability Plot



ก)ระยะห่าง 7.655 มิลลิเมตร_HD0



ข) ระยะห่าง 7.635 มิลลิเมตร_HD1

รูปที่ 5.57 กราฟแสดงการกระจายของค่า Gramload จากระยะห่าง Comb Tower Pin Slot เท่ากับ 7.655 ก) HD0 ข) HD1

5.4.2.8 การทดสอบสมมติฐาน

ในการทดสอบสมมติฐานในขั้นแรกต้องพิจารณาค่าความแปรปรวนของค่า Gramload จากการตั้งระยะห่าง Comb Tower Pin Slot ว่ามีค่าเท่ากันหรือไม่ เพื่อเป็นข้อกำหนดในการทดสอบสมมติฐานของค่าเฉลี่ย โดยสมมติฐานในการทดสอบความแปรปรวนเป็นดังนี้

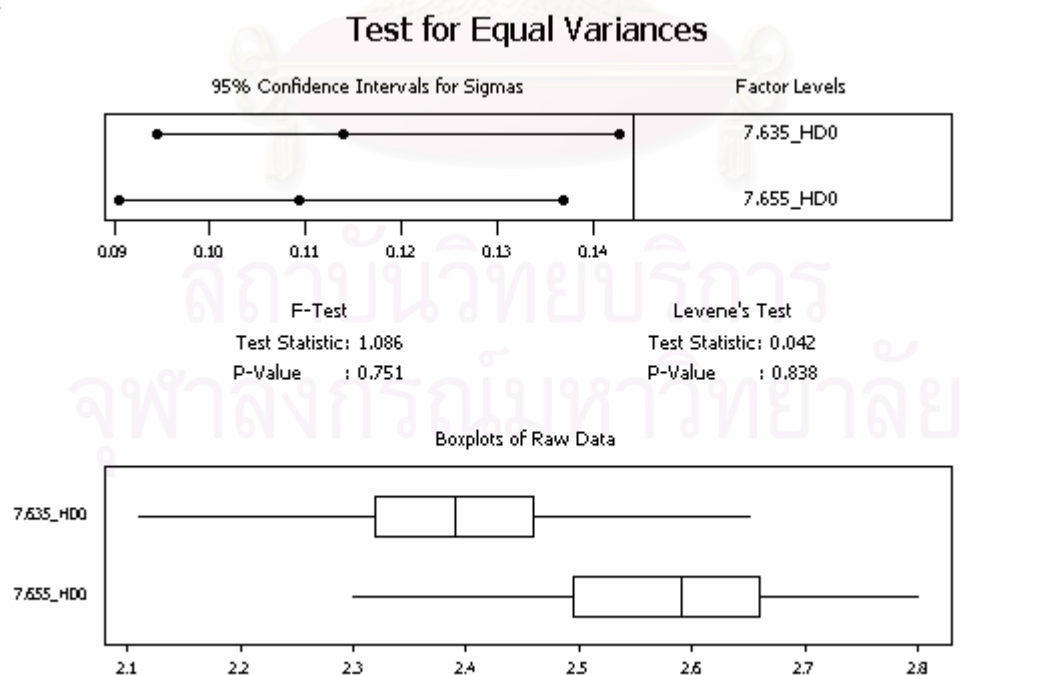
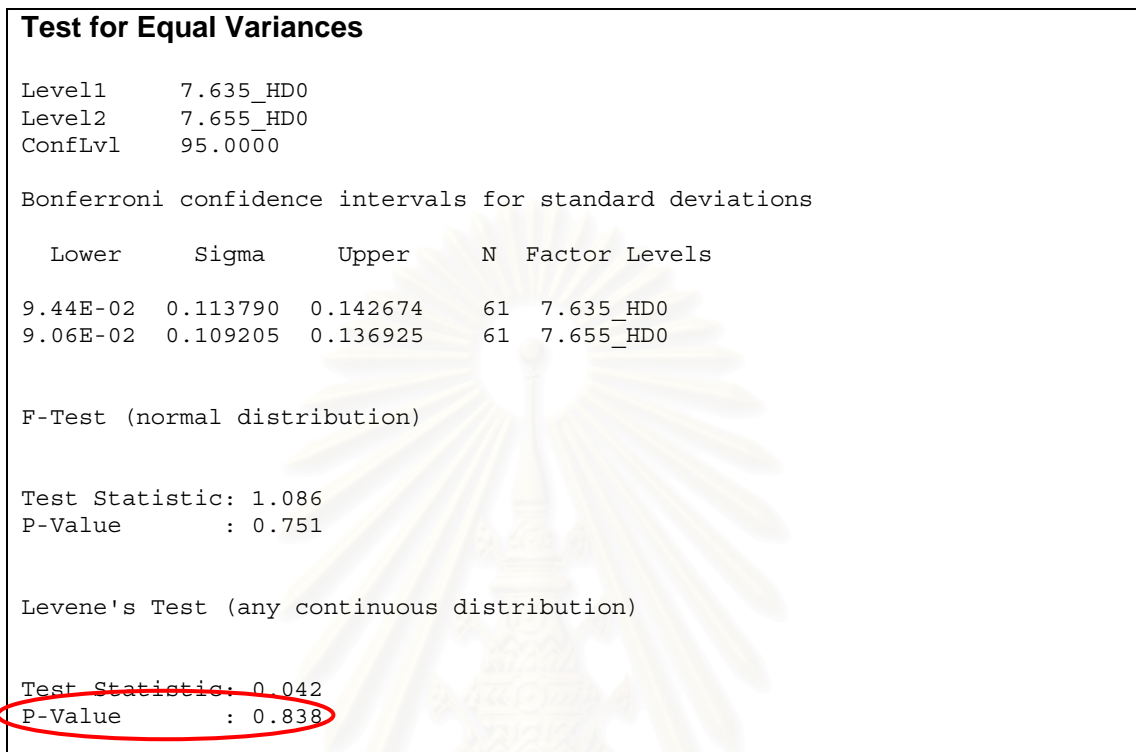
สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

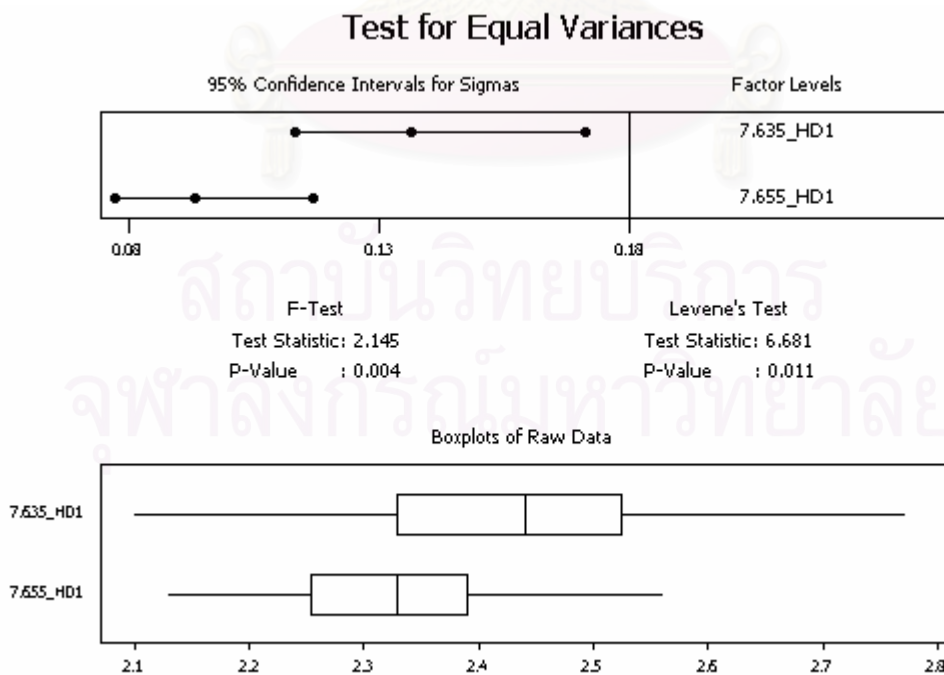
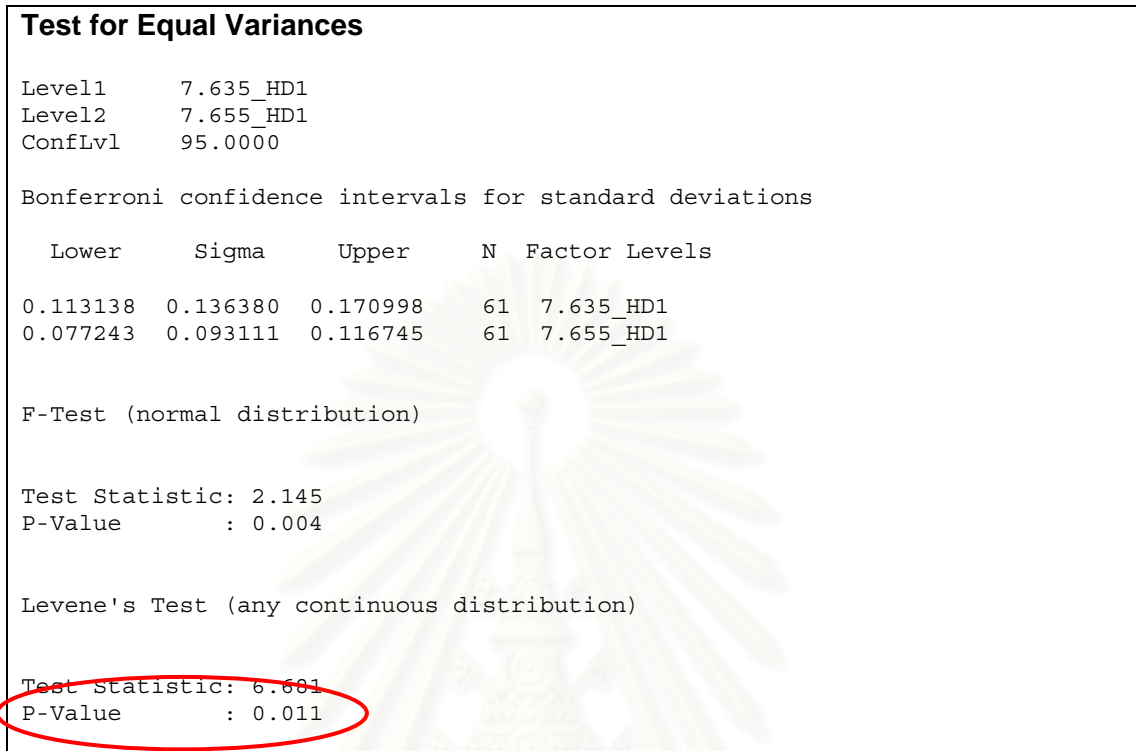
โดยกำหนดให้ σ_1^2 แทนค่าความแปรปรวนของค่า Gramload ของระยะห่าง Comb Tower Pin Slot เท่ากับ 7.635 มิลลิเมตร และ σ_2^2 แทนค่าความแปรปรวนของค่า Gramload ของระยะห่าง Comb Tower Pin Slot เท่ากับ 7.655 มิลลิเมตร ดังแสดงในตารางที่ 5.28 และ รูปที่ 5.58 สำหรับ HD0 และ ตารางที่ 5.29 และรูปที่ 5.59 สำหรับ HD1

ตารางที่ 5.28 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากการระยะห่าง Comb Tower Pin Slot ของ shuttle สำหรับ HD0



รูปที่ 5.58 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดระยะห่าง Comb Tower Pin Slot ของ shuttle สำหรับ HD0

ตารางที่ 5.29 แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากระยะห่าง Comb Tower Pin Slot ของ shuttle สำหรับ HD1



รูปที่ 5.59 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากระยะห่าง Comb Tower Pin Slot ของ shuttle สำหรับ HD1

จากผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนของค่า Gramload ที่เกิดจากระยะห่าง Comb Tower Pin Slot ของ shuttle ดังแสดงในตารางที่ 5.28 , 5.29 และรูปที่ 5.58 , 5.59 พบว่า ค่า P-Value มีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่า ระยะห่าง Comb Tower Pin Slot ของ shuttle มีผลกระทบต่อความแปรปรวนของค่า Gramload ที่ความเชื่อมั่น 95%

และขั้นต่อไปคือการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของค่า Gramload ที่เกิดจากระยะห่าง Comb Tower Pin Slot ของ shuttle โดยสมมติฐานในการทดสอบเป็นดังนี้

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

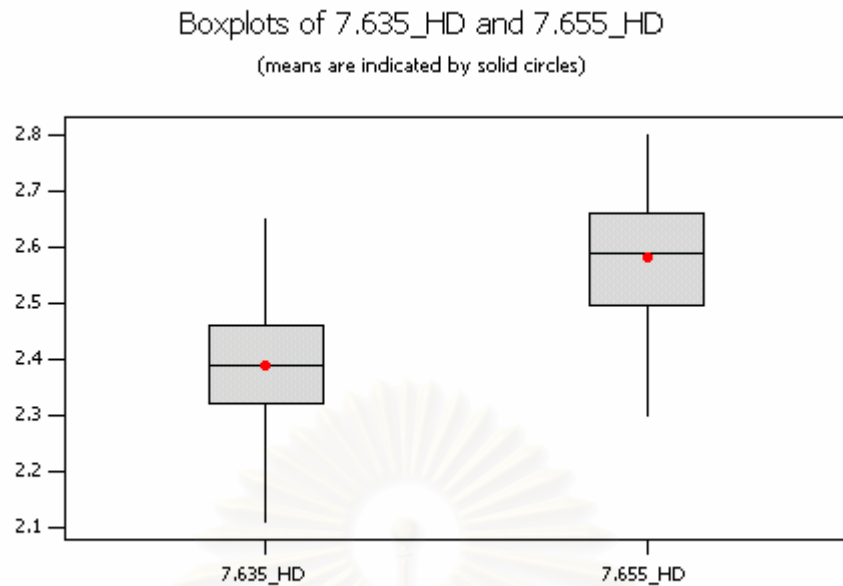
$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

โดยกำหนดให้ μ_1 แทนค่าเฉลี่ยของค่า Gramload ของระยะห่าง Comb Tower Pin Slot เท่ากับ 7.635 มิลลิเมตร และ μ_2 แทนค่าเฉลี่ยของค่า Gramload ของระยะห่าง Comb Tower Pin Slot เท่ากับ 7.635 มิลลิเมตร ดังแสดงในตารางที่ 5.30 และ รูปที่ 5.60 สำหรับ HD0 และ ตารางที่ 5.31 และรูปที่ 5.61 สำหรับ HD1

ตารางที่ 5.30 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากระยะห่าง Comb Tower Pin Slot ของ shuttle สำหรับ HD0

Two-Sample T-Test and CI: 7.635_HD0, 7.655_HD0				
Two-sample T for 7.635_HD0 vs 7.655_HD0				
	N	Mean	StDev	SE Mean
7.635_HD	61	2.389	0.114	0.015
7.655_HD	61	2.581	0.109	0.014
Difference = mu 7.635_HD0 - mu 7.655_HD0				
Estimate for difference: -0.1923				
95% CI for difference: (-0.2323, -0.1523)				
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -9.52 P-Value = 0.000 DF = 119				



รูปที่ 5.60 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากระยะห่าง Comb Tower Pin Slot ของ shuttle สำหรับ HD0

ตารางที่ 5.31 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากระยะห่าง Comb Tower Pin Slot ของ shuttle สำหรับ HD1

Two-Sample T-Test and CI: 7.635_HD1, 7.655_HD1

Two-sample T for 7.635_HD1 vs 7.655_HD1

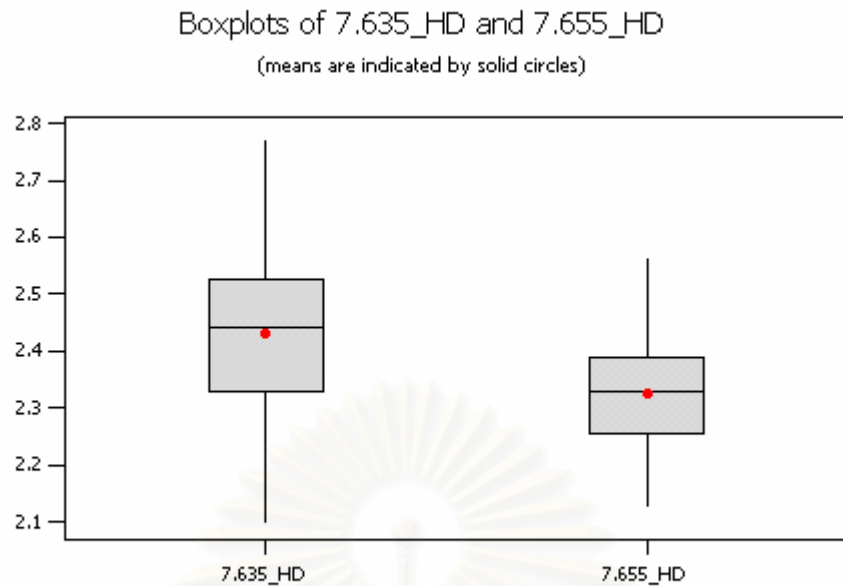
	N	Mean	StDev	SE Mean
7.635_HD	61	2.431	0.136	0.017
7.655_HD	61	2.3266	0.0931	0.012

Difference = mu 7.635_HD1 - mu 7.655_HD1

Estimate for difference: 0.1049

95% CI for difference: (0.0630, 0.1468)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 4.96 P-Value = 0.000 DF = 105



รูปที่ 2.61 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากระยะห่าง Comb Tower Pin Slot ของ shuttle สำหรับ HD1

จากผลการทดสอบสมมติฐาน ดังแสดงในตารางที่ 5.30 และ 5.31 พบว่าค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าระยะห่าง Comb Tower Pin Slot ของ shuttle มีค่าเฉลี่ยของค่า Gramload แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

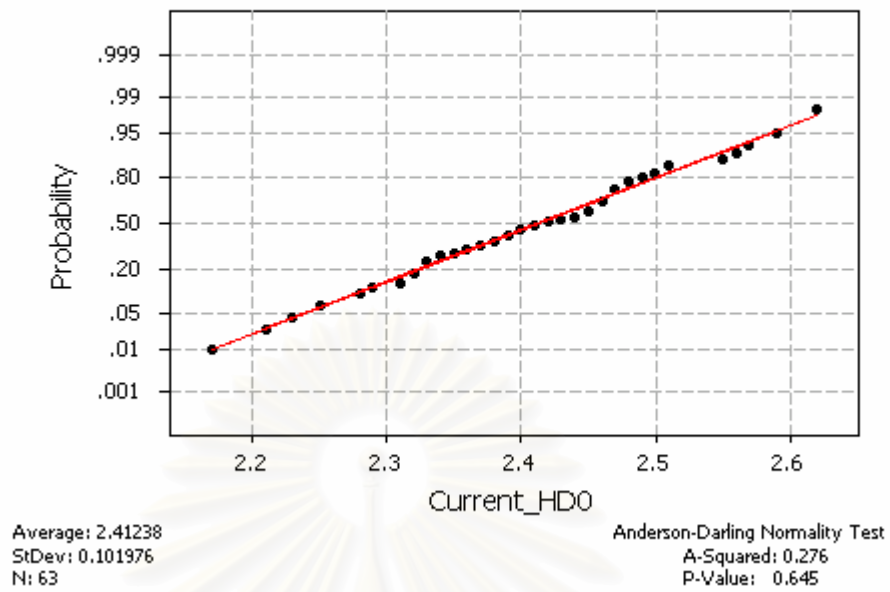
5.4.9 การวิเคราะห์สมมติฐานวิธีการขั้นตอนการทำงานมีผลต่อค่า Gramload

5.4.2.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ

ผลการทดสอบความถูกต้องของรูปแบบ เพื่อทดสอบข้อกำหนดที่ว่า ข้อมูลที่นำมาทดสอบทั้งสองระดับมีการกระจายเป็นแบบปกติหรือไม่ โดยกำหนดให้การวิธีการขั้นตอนการทำงานเป็นแบบปัจจุบันและแบบใหม่ ได้ผลการทดสอบการกระจายเป็นแบบปกติ เนื่องจากค่า P-Value มากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังรูปที่ 5.62 และ 5.63

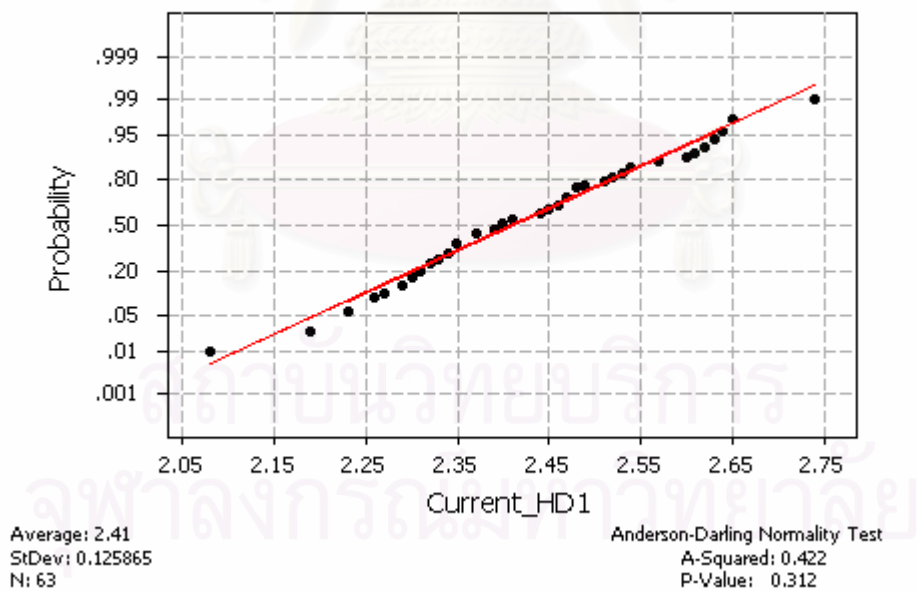
ในการทำการทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐานในครั้งนี้ พบว่า ชุดหัวอ่านสำเร็จเกิดความเสียหายขณะทำการวัดค่า Gramload ทั้งหมด 1 ชิ้น ด้วยกัน ดังนั้นจำนวนสิ่งตัวอย่างที่ได้จากการทดลองจึงเหลือเพียง 63 สิ่งตัวอย่าง

Normal Probability Plot



ก)วิธีการทำงานแบบปัจจุบัน_HD0

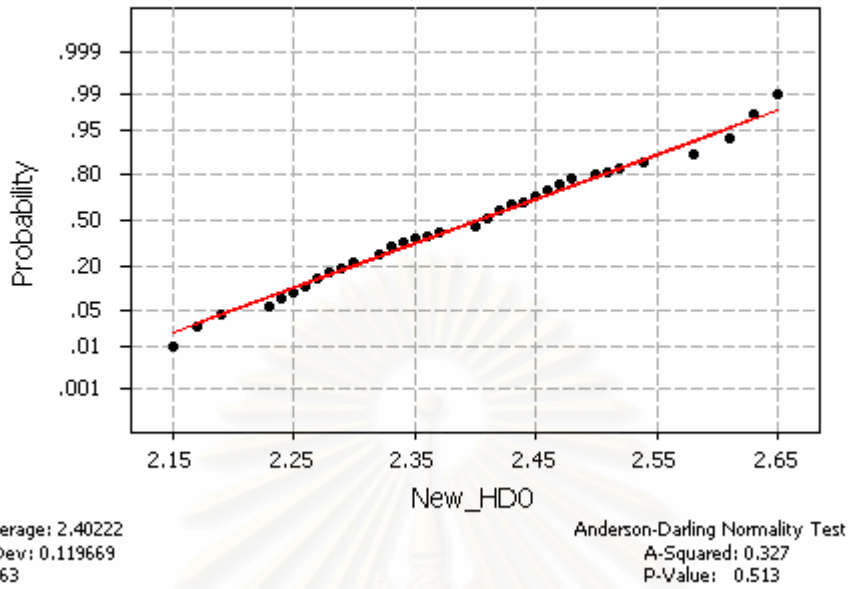
Normal Probability Plot



ข)วิธีการทำงานแบบปัจจุบัน_HD1

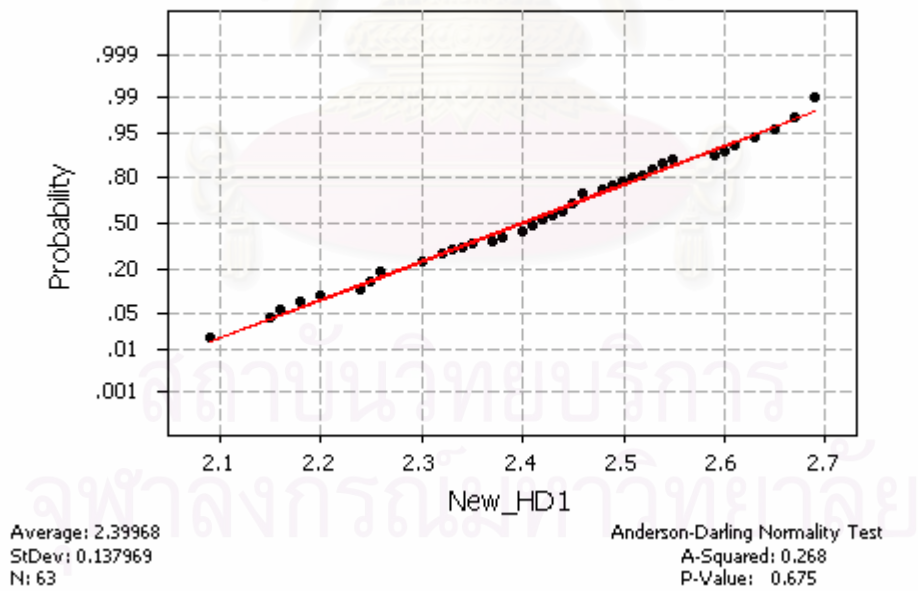
รูปที่ 5.62 กราฟแสดงการกระจายของค่า Gramload จากวิธีการทำงานแบบปัจจุบัน ก) HD0 ข) HD1

Normal Probability Plot



ก)วิธีการทำงานแบบใหม่_HD0

Normal Probability Plot



ข)วิธีการทำงานแบบใหม่_HD1

รูปที่ 5.63 กราฟแสดงการกระจายของค่า Gramload จากวิธีการทำงานแบบใหม่ ก) HD0 ข) HD1

5.4.2.9 การทดสอบสมมติฐาน

ในการทดสอบสมมติฐานในขั้นแรกต้องพิจารณาค่าความแปรปรวนของค่า Gramload จากวิธีการทำงานที่ต่างกัน ว่ามีค่าเท่ากันหรือไม่ เพื่อเป็นข้อกำหนดในการทดสอบสมมติฐานของค่าเฉลี่ย โดยสมมติฐานในการทดสอบความแปรปรวนเป็นดังนี้

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

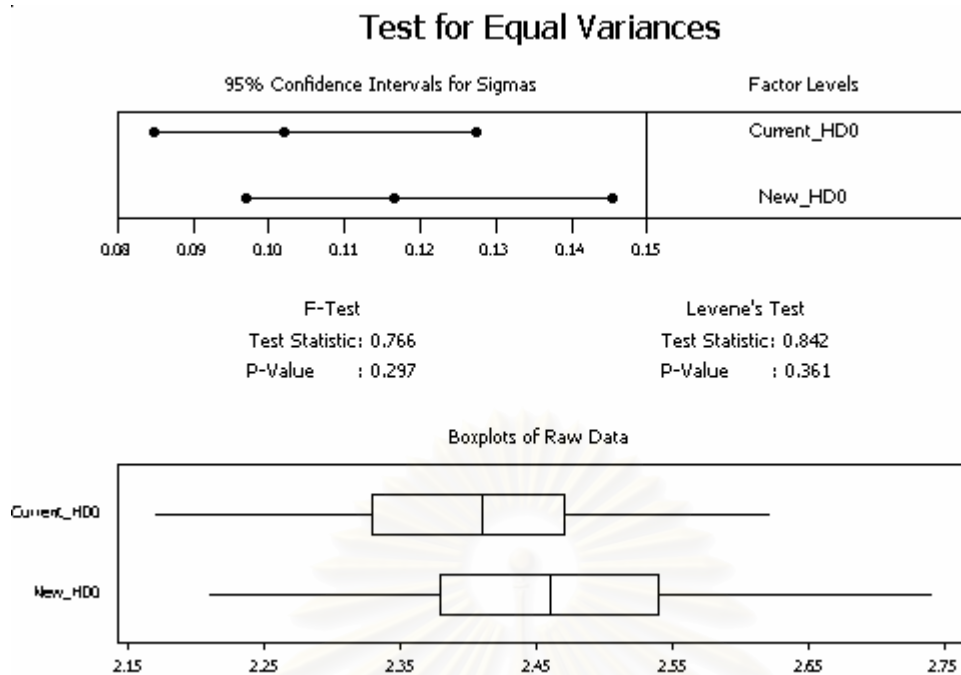
$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

โดยกำหนดให้ σ_1^2 แทนค่าความแปรปรวนของค่า Gramload ของวิธีการทำงานแบบปัจจุบัน และ σ_2^2 แทนค่าความแปรปรวนของค่า Gramload ของวิธีการทำงานแบบใหม่ ดังแสดงในตารางที่ 5.32 และ รูปที่ 5.64 สำหรับ HD0 และ ตารางที่ 5.33 และรูปที่ 5.65 สำหรับ HD1

ตารางที่ 5.32 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากวิธีการทำงานแบบปัจจุบันกับแบบใหม่ สำหรับ HD0

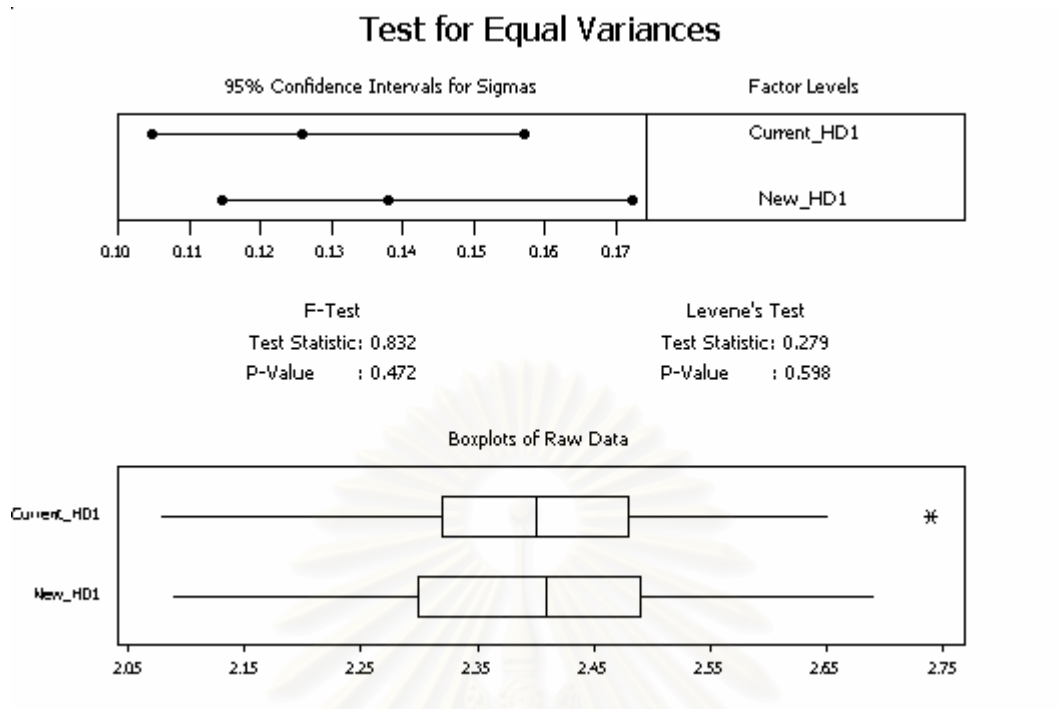
Test for Equal Variances				
Level1	Current_HD0			
Level2	New_HD0			
ConfLvl	95.0000			
Bonferroni confidence intervals for standard deviations				
Lower	Sigma	Upper	N	Factor Levels
8.48E-02	0.101976	0.127343	63	Current_HD0
9.69E-02	0.116497	0.145477	63	New_HD0
F-Test (normal distribution)				
Test Statistic: 0.766				
P-Value : 0.297				
Levene's Test (any continuous distribution)				
Test Statistic: 0.842				
P-Value : 0.361				



รูปที่ 5.64 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากวิธีการทำงานแบบปัจจุบันกับแบบใหม่ สำหรับ HD0

ตารางที่ 5.33 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากวิธีการทำงานแบบปัจจุบันกับแบบใหม่ สำหรับ HD1

Test for Equal Variances					
Level1	Current_HD1				
Level2	New_HD1				
ConfLvl	95.0000				
Bonferroni confidence intervals for standard deviations					
Lower	Sigma	Upper	N	Factor Levels	
0.104705	0.125865	0.157174	63	Current_HD1	
0.114774	0.137969	0.172289	63	New_HD1	
F-Test (normal distribution)					
Test Statistic: 0.832					
P-Value : 0.472					
Levene's Test (any continuous distribution)					
Test Statistic: 0.279					
P-Value : 0.598					



รูปที่ 5.65 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากวิธีการทำงานแบบปัจจุบันกับแบบใหม่ สำหรับ HD1

จากผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนของค่า Gramload ที่เกิดจากวิธีการทำงานแบบปัจจุบันและวิธีการทำงานแบบใหม่ ดังแสดงในตารางที่ 5.32 , 5.33 และรูปที่ 5.64 , 5.65 พบว่า ค่า P-Value มีค่ามากกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่า วิธีการทำงานแบบปัจจุบันและวิธีการทำงานแบบใหม่ ไม่มีผลกระทบต่อความแปรปรวนของค่า Gramload ที่ความเชื่อมั่น 95%

และขั้นต่อไปคือการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของค่า Gramload ที่วิธีการทำงานแบบปัจจุบันและวิธีการทำงานแบบใหม่ โดยสมมติฐานในการทดสอบเป็นดังนี้

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

โดยกำหนดให้ μ_1 แทนค่าเฉลี่ยของค่า Gramload ของวิธีการทำงานแบบปัจจุบัน และ μ_2 แทนค่าเฉลี่ยของค่า Gramload ของวิธีการทำงานแบบใหม่ ดังแสดงในตารางที่ 5.34 และ รูปที่ 5.66 สำหรับ HD0 และ ตารางที่ 5.35 และรูปที่ 5.67 สำหรับ HD1

ตารางที่ 5.34 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากวิธีการทำงานแบบปัจจุบัน
และวิธีการทำงานแบบใหม่ สำหรับ HD0

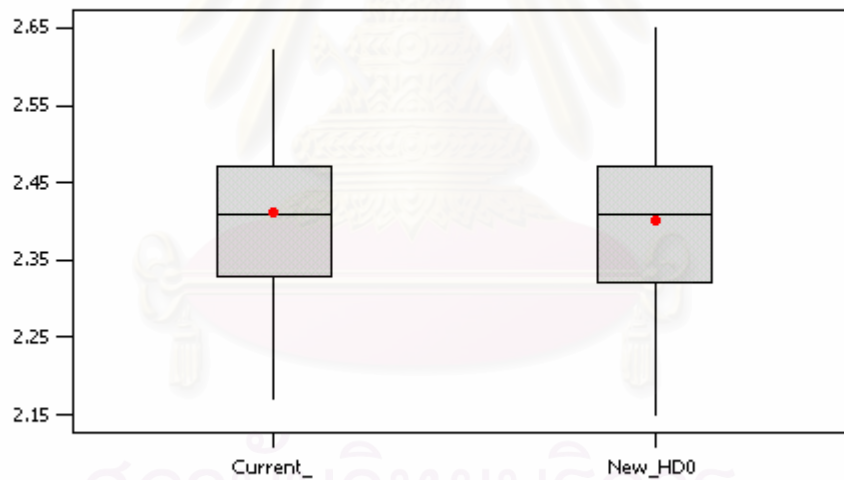
Two-Sample T-Test and CI: Current_HD0, New_HD0

Two-sample T for Current_HD0 vs New_HD0

	N	Mean	StDev	SE Mean
Current_	63	2.412	0.102	0.013
New_HD0	63	2.402	0.120	0.015

Difference = mu Current_HD0 - mu New_HD0
 Estimate for difference: 0.0102
 95% CI for difference: (-0.0291, 0.0494)
 T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 0.51 P-Value = 0.609 DF = 120

Boxplots of Current_ and New_HD0
(means are indicated by solid circles)



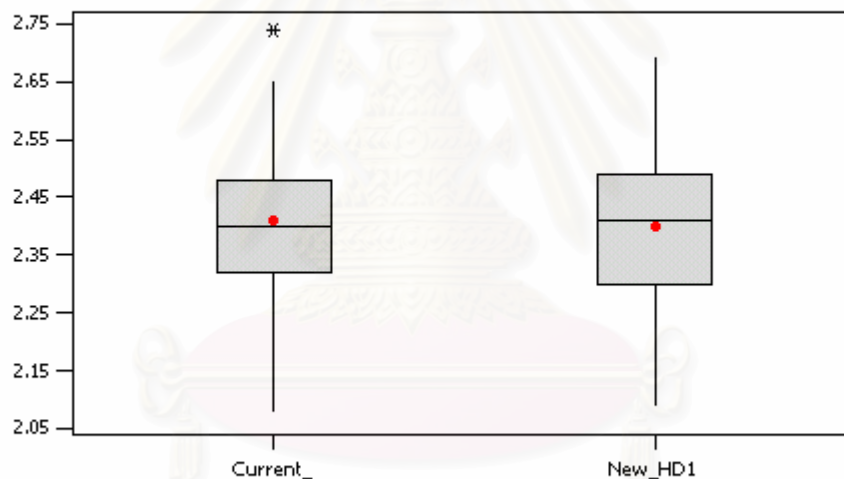
รูปที่ 5.66 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากวิธีการทำงานแบบ
ปัจจุบันและวิธีการทำงานแบบใหม่ สำหรับ HD0

ตารางที่ 5.35 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากวิธีการทำงานแบบปัจจุบัน
และวิธีการทำงานแบบใหม่ สำหรับ HD1

Two-sample T for Current_HD1 vs New_HD1				
	N	Mean	StDev	SE Mean
Current_	63	2.410	0.126	0.016
New_HD1	63	2.400	0.138	0.017

Difference = μ Current_HD1 - μ New_HD1
 Estimate for difference: 0.0103
 95% CI for difference: (-0.0363, 0.0569)
 T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 0.44 P-Value = 0.662 DF = 122

Boxplots of Current_ and New_HD1
(means are indicated by solid circles)



รูปที่ 2.67 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากวิธีการทำงานแบบ
ปัจจุบันและวิธีการทำงานแบบใหม่ สำหรับ HD1

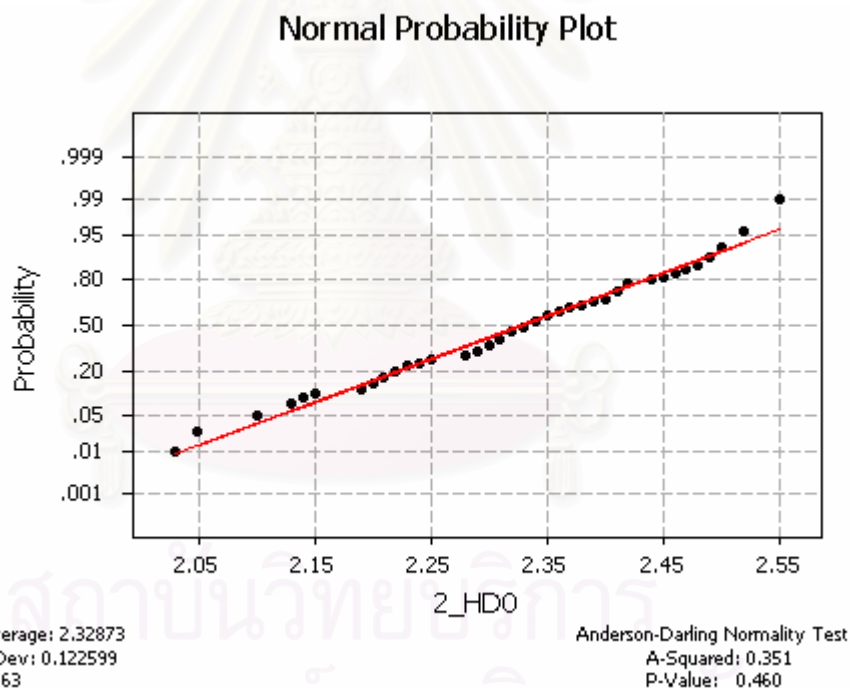
จากผลการทดสอบสมมติฐาน ดังแสดงในตารางที่ 5.34 และ 5.35 พบว่าค่า P-Value มากกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าวิธีการทำงานแบบปัจจุบันและวิธีการทำงานแบบใหม่ มีค่าเฉลี่ยของค่า Gramload ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

5.4.10 การวิเคราะห์สมมติฐานการจำนวนของลูกบอลที่ใช้กับเครื่อง swaging มีผลต่อค่า Gramload

5.4.2.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ

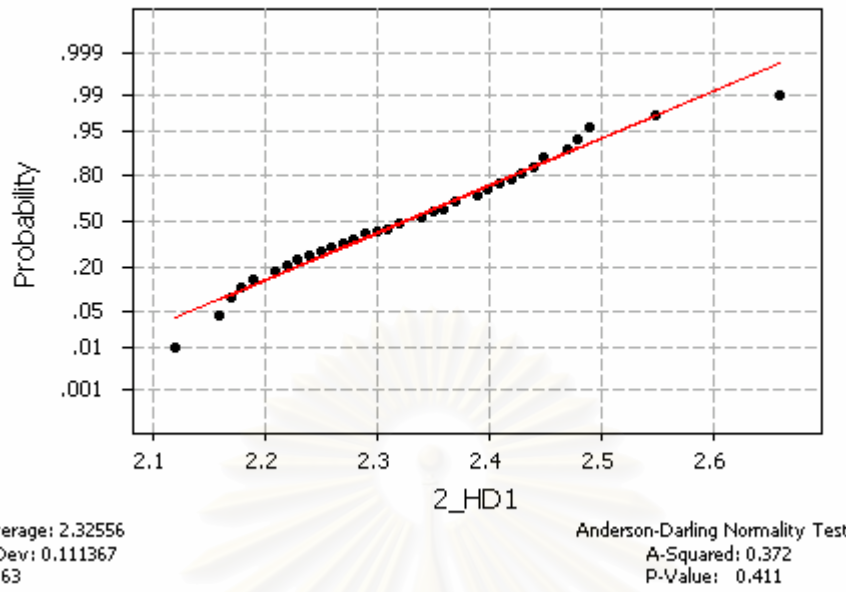
ผลการทดสอบความถูกต้องของรูปแบบ เพื่อทดสอบข้อกำหนดที่ว่า ข้อมูลที่นำมาทดสอบทั้งสองระดับมีการกระจายเป็นแบบปกติหรือไม่ โดยกำหนดให้การจำนวนของลูกบอลที่ใช้กับเครื่องมีจำนวนไม่เท่ากัน ได้ผลการทดสอบการกระจายเป็นแบบปกติ เนื่องจากค่า P-Value มากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังรูปที่ 5.68 และ 5.69

ในการทำการทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐานในครั้งนี้ พบว่า ชุดหัวอ่านสำเร็จเกิดความเสียหายขณะทำการวัดค่า Gramload ทั้งหมด 1 ชิ้น ด้วยกัน ดังนั้นจำนวนสิ่งตัวอย่างที่ได้จากการทดลองจึงเหลือเพียง 63 สิ่งตัวอย่าง



ก) ลูกบอล 2 ลูก_HD0

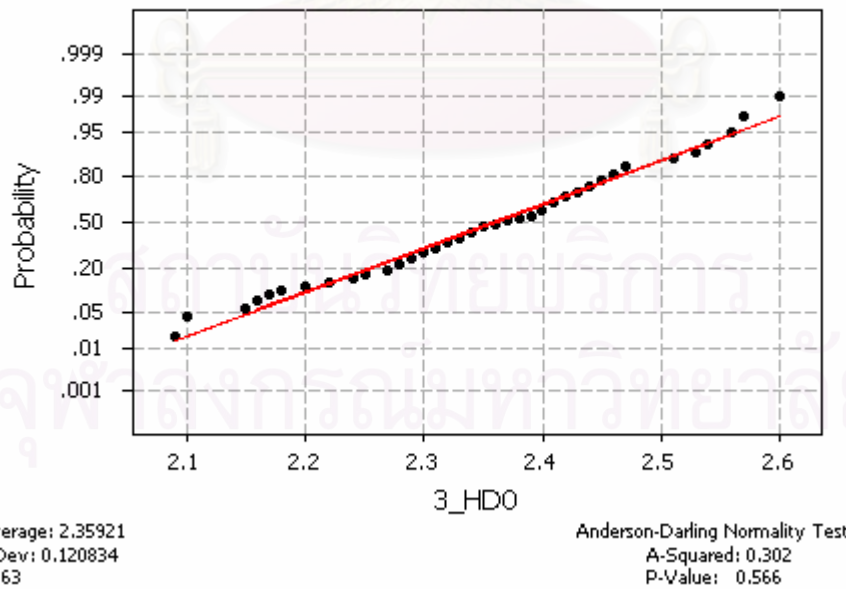
Normal Probability Plot



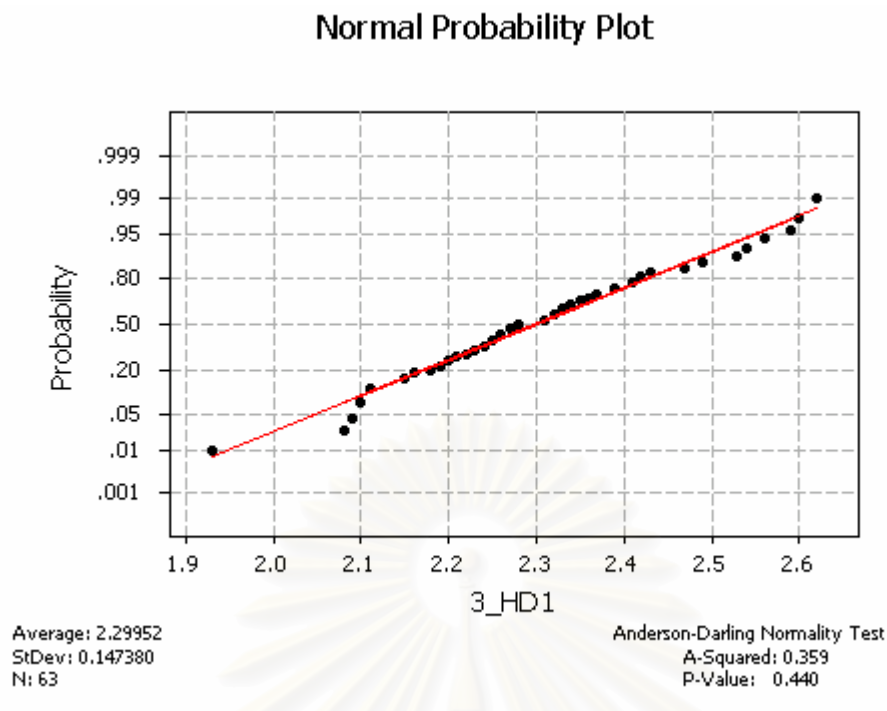
ข) ลูกรบอล 2 ลูกร_HD1

รูปที่ 5.68 กราฟแสดงการกระจายของค่า Gramload จากการมีลูกรบอล 2 ลูกร ก) HD0 ข) HD1

Normal Probability Plot



ก) ลูกรบอล 3 ลูกร_HD0



ข) ลูกบอล 3 ลูก_HD1

รูปที่ 5.69 กราฟแสดงการกระจายของค่า Gramload จากการมีลูกบอล 3 ลูก ก) HD0 ข) HD1

5.4.2.10 การทดสอบสมมติฐาน

ในการทดสอบสมมติฐานในขั้นแรกต้องพิจารณาค่าความแปรปรวนของค่า Gramload สำหรับจำนวนลูกบอลที่ใช้ในการ swaging ที่แตกต่างกัน ว่ามีค่าเท่ากันหรือไม่ เพื่อเป็นข้อกำหนดในการทดสอบสมมติฐานของค่าเฉลี่ย โดยสมมติฐานในการทดสอบความแปรปรวนเป็นดังนี้

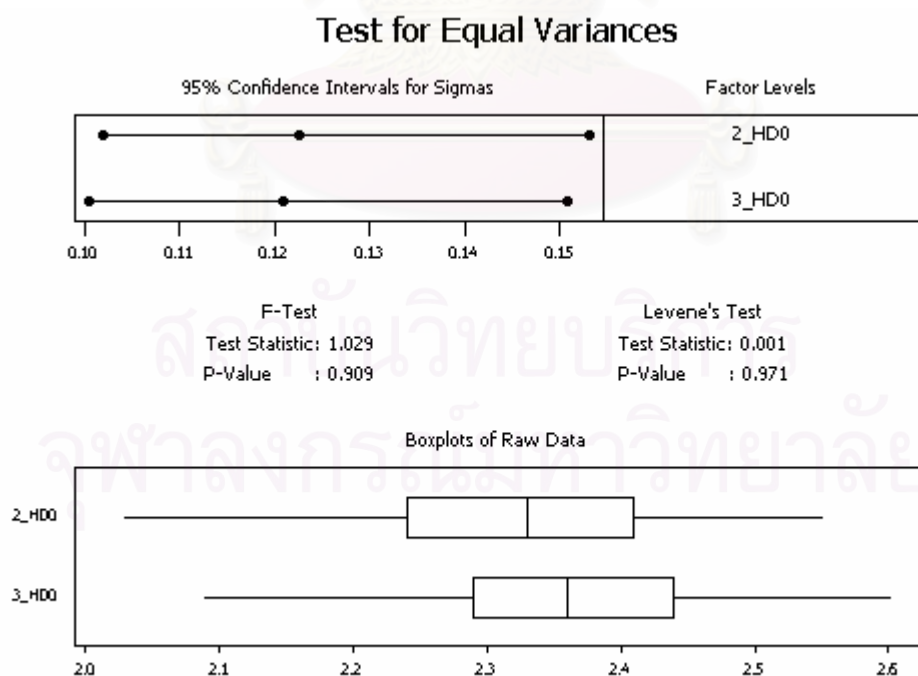
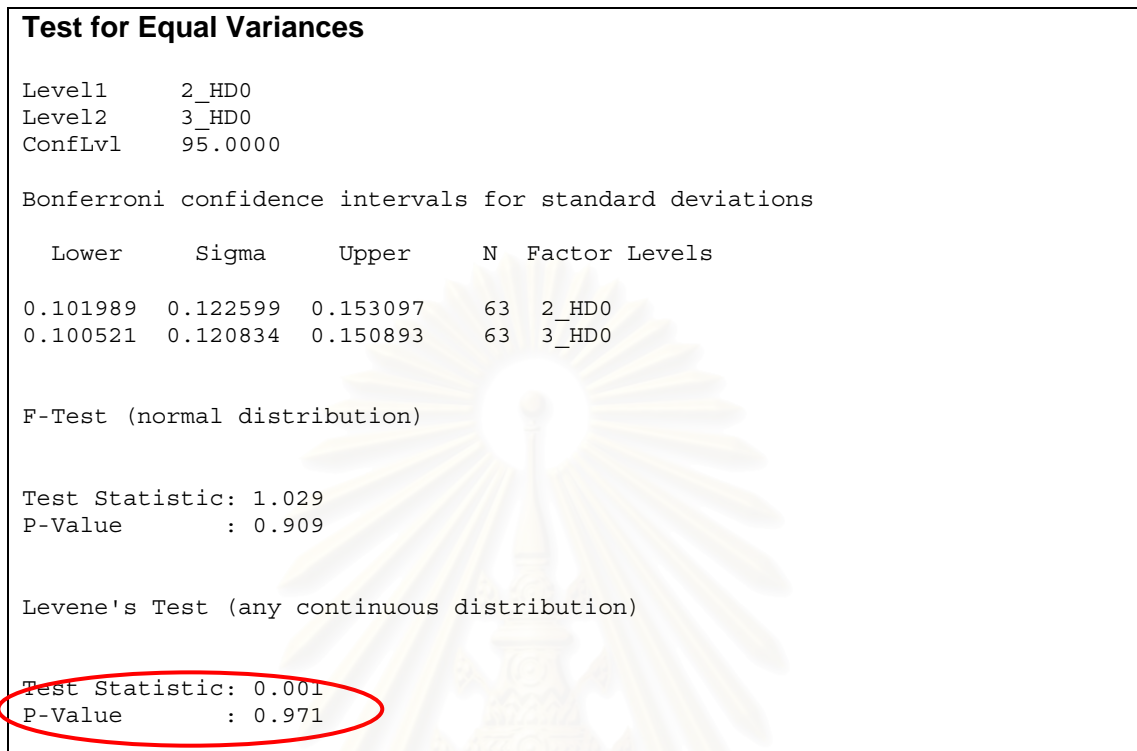
สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

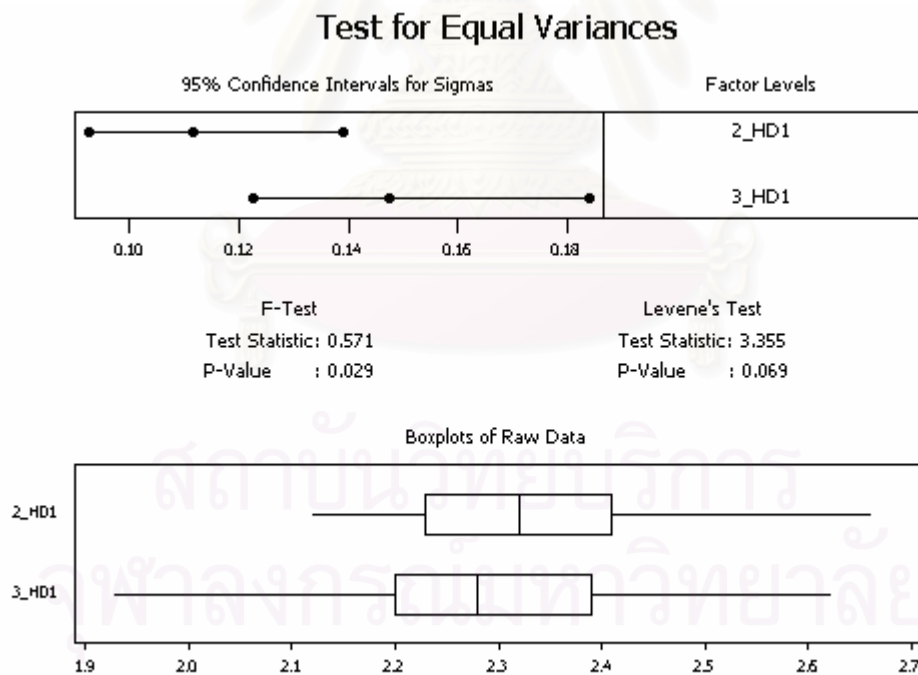
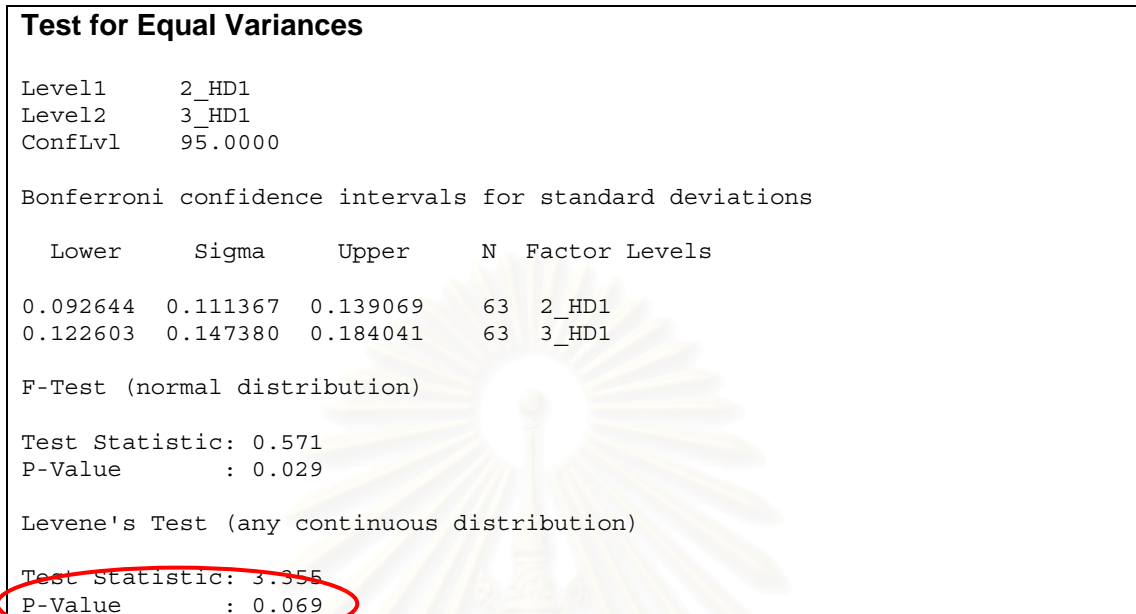
โดยกำหนดให้ σ_1^2 แทนค่าความแปรปรวนของค่า Gramload ของจำนวนลูกบอลที่ใช้ในการ swaging เป็น 2 ลูก และ σ_2^2 แทนค่าความแปรปรวนของค่า Gramload ของจำนวนลูกบอลที่ใช้ในการ swaging เป็น 3 ลูก ดังแสดงในตารางที่ 5.36 และ รูปที่ 5.70 สำหรับ HD0 และ ตารางที่ 5.37 และรูปที่ 5.71 สำหรับ HD1

ตารางที่ 5.36 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากจำนวนลูกบอลที่ใช้ในการ swaging สำหรับ HD0



รูปที่ 5.70 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากจำนวนลูกบอลที่ใช้ในการ swaging สำหรับ HD0

ตารางที่ 5.37 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากจำนวนลูกบอลที่ใช้ในการ swaging สำหรับ HD1



รูปที่ 5.71 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากจำนวนลูกบอลที่ใช้ในการ swaging สำหรับ HD1

จากผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนของค่า Gramload ที่จำนวนลูกบอลที่ใช้ในการ swaging ดังแสดงในตารางที่ 5.36 , 5.37 และรูปที่ 5.70 , 5.71

พบว่า ค่า P-Value มีค่ามากกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่า จำนวนลูกบอลที่ใช้ในการ swaging ไม่มีผลกระทบต่อความแปรปรวนของค่า Gramload ที่ความเชื่อมั่น 95%

และขั้นต่อไปคือการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของค่า Gramload ที่เกิดจากจำนวนลูกบอลที่ใช้ในการ swaging โดยสมมติฐานในการทดสอบเป็นดังนี้

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

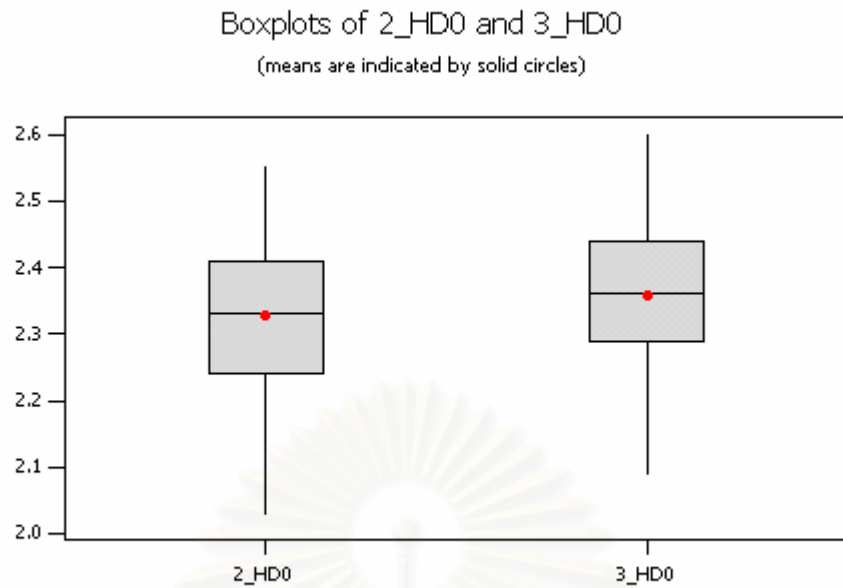
$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

โดยกำหนดให้ μ_1 แทนค่าเฉลี่ยของค่า Gramload ของจำนวนลูกบอลที่ใช้ในการ swaging เป็น 2 ลูก และ μ_2 แทนค่าเฉลี่ยของค่า Gramload ของจำนวนลูกบอลที่ใช้ในการ swaging เป็น 3 ลูก ดังแสดงในตารางที่ 5.38 และ รูปที่ 5.72 สำหรับ HD0 และ ตารางที่ 5.39 และรูปที่ 5.73 สำหรับ HD1

ตารางที่ 5.38 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากจำนวนลูกบอลที่ใช้ในการ swaging สำหรับ HD0

Two-Sample T-Test and CI: 2_HD0, 3_HD0				
Two-sample T for 2_HD0 vs 3_HD0				
	N	Mean	StDev	SE Mean
2_HD0	63	2.329	0.123	0.015
3_HD0	63	2.359	0.121	0.015
Difference = mu 2_HD0 - mu 3_HD0				
Estimate for difference: -0.0305				
95% CI for difference: (-0.0734, 0.0125)				
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -1.41 P-Value = 0.162 DF = 123				

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.72 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากจำนวนลูกบอลที่ใช้ในการ swaging สำหรับ HD0

ตารางที่ 5.39 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากจำนวนลูกบอลที่ใช้ในการ swaging สำหรับ HD1

Two-Sample T-Test and CI: 2_HD1, 3_HD1

Two-sample T for 2_HD1 vs 3_HD1

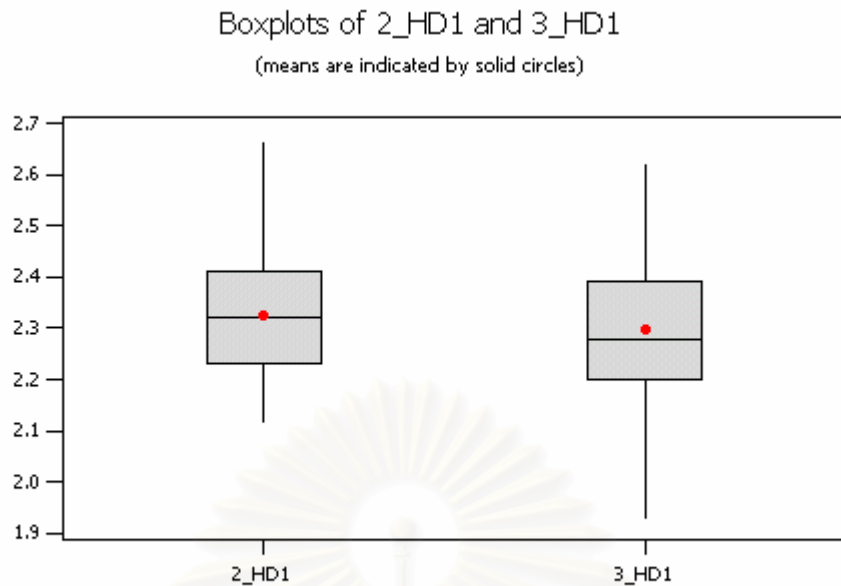
	N	Mean	StDev	SE Mean
2_HD1	63	2.326	0.111	0.014
3_HD1	63	2.300	0.147	0.019

Difference = μ 2_HD1 - μ 3_HD1

Estimate for difference: 0.0260

95% CI for difference: (-0.0201, 0.0721)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 1.12 P-Value = 0.266 DF = 115



รูปที่ 2.73 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากจำนวนลูกบอลที่ใช้ในการ swaging สำหรับ HD1

จากผลการทดสอบสมมติฐาน ดังแสดงในตารางที่ 5.38 และ 5.39 พบว่าค่า P-Value มากกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าจำนวนลูกบอลที่ใช้ในการ swaging มีค่าเฉลี่ยของค่า Gramload ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

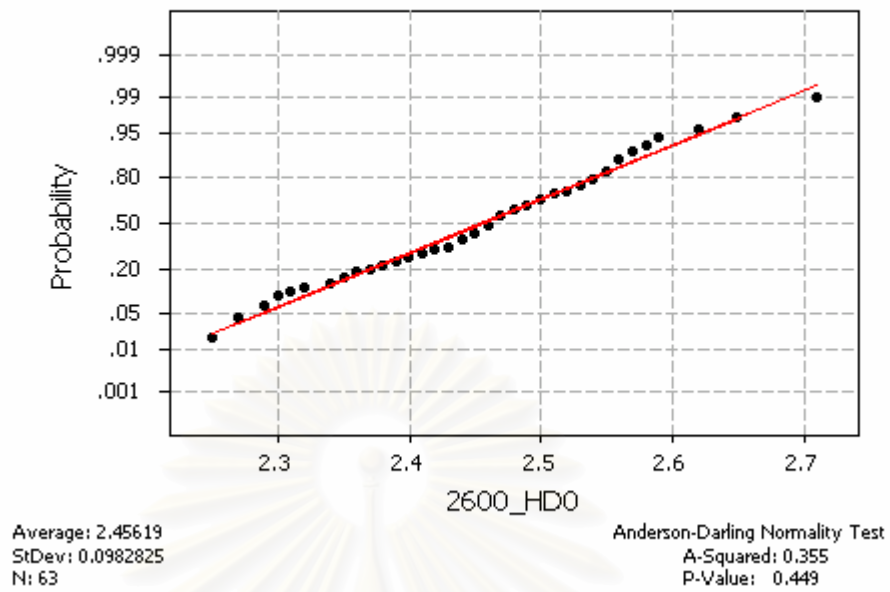
5.4.11 การวิเคราะห์สมมติฐานความเร็วรอบของเครื่อง swaging มีผลต่อค่า Gramload

5.4.2.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ

ผลการทดสอบความถูกต้องของรูปแบบ เพื่อทดสอบข้อกำหนดที่ว่า ข้อมูลที่นำมาทดสอบทั้งสองระดับมีการกระจายเป็นแบบปกติหรือไม่ โดยกำหนดให้ความเร็วรอบของเครื่อง swaging มี 2 ระดับ ได้ผลการทดสอบการกระจายเป็นแบบปกติ เนื่องจากค่า P-Value มากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังรูปที่ 5.74 และ 5.75

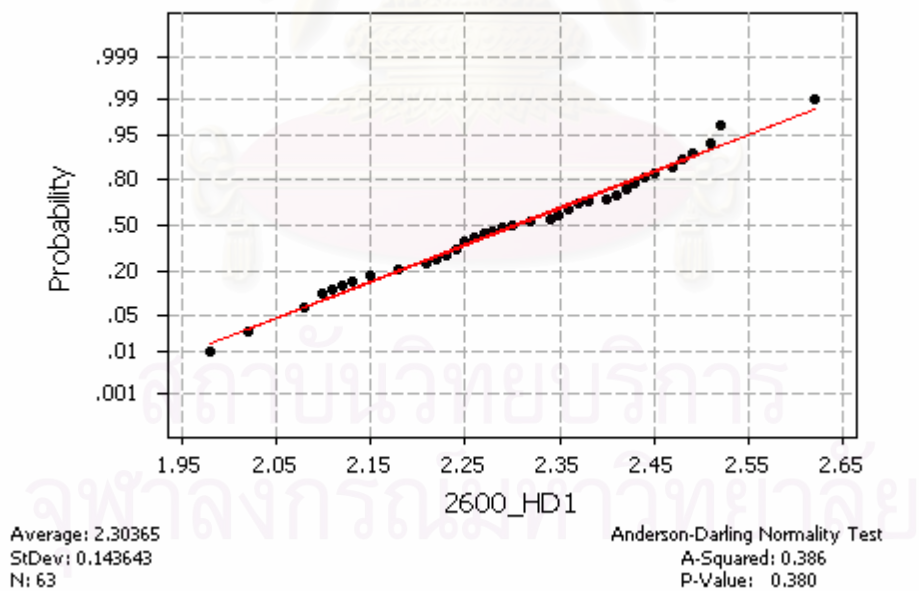
ในการทำการทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐานในครั้งนี้ พบว่า ชุดหัวอ่านสำเร็จเกิดความเสียหายขณะทำการวัดค่า Gramload ทั้งหมด 1 ชิ้น ด้วยกัน ดังนั้นจำนวนสิ่งตัวอย่างที่ได้จากการทดลองจึงเหลือเพียง 63 สิ่งตัวอย่าง

Normal Probability Plot



ก)ความเร็วรอบ 2,600 rpm_HD0

Normal Probability Plot

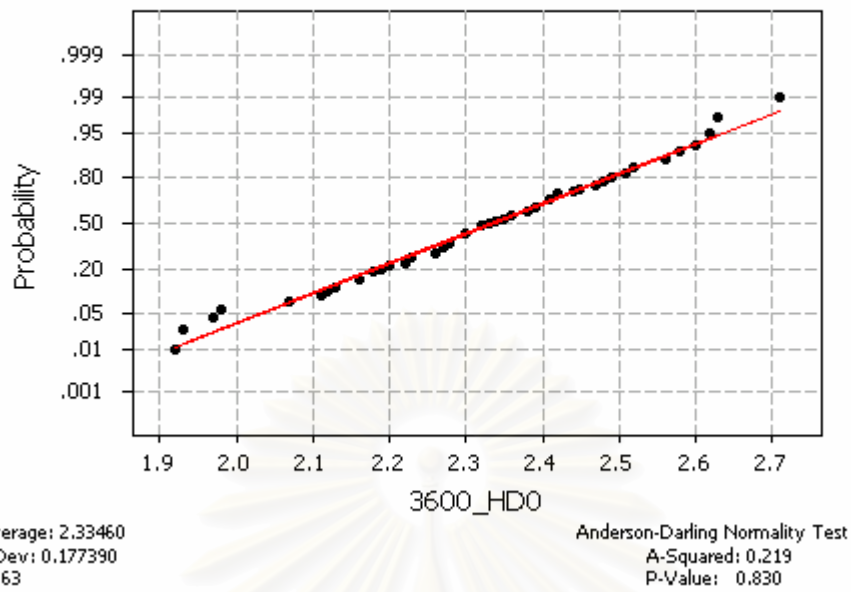


ข)ความเร็วรอบ 2,600 rpm_HD1

รูปที่ 5.74 กราฟแสดงการกระจายของค่า Gramload จากการความเร็วรอบ 2,600 rpm ก) HD0 ข)

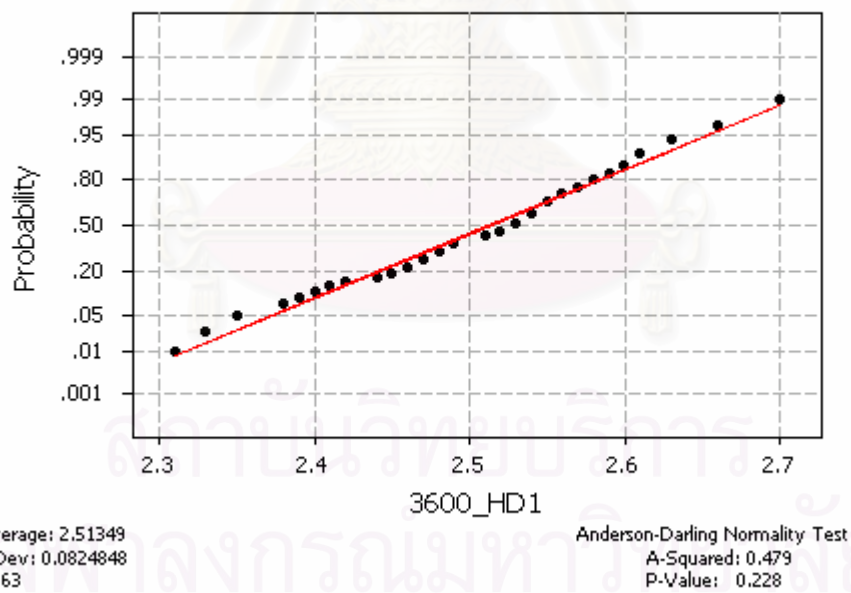
HD1

Normal Probability Plot



ก) ความเร็วรอบ 3,600 rpm_HD0

Normal Probability Plot



ข) ความเร็วรอบ 3,600 rpm_HD1

รูปที่ 5.75 กราฟแสดงการกระจายของค่า Gramload จากความเร็วรอบ 3,600 rpm ก) HD0 ข) HD1

5.4.2.11 การทดสอบสมมติฐาน

ในการทดสอบสมมติฐานในขั้นแรกต้องพิจารณาค่าความแปรปรวนของค่า Gramload จากการตั้งค่าความเร็วรอบของเครื่อง swaging ที่แตกต่างกัน ว่ามีค่าเท่ากันหรือไม่ เพื่อเป็นข้อกำหนดในการทดสอบสมมติฐานของค่าเฉลี่ย โดยสมมติฐานในการทดสอบความแปรปรวนเป็นดังนี้

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

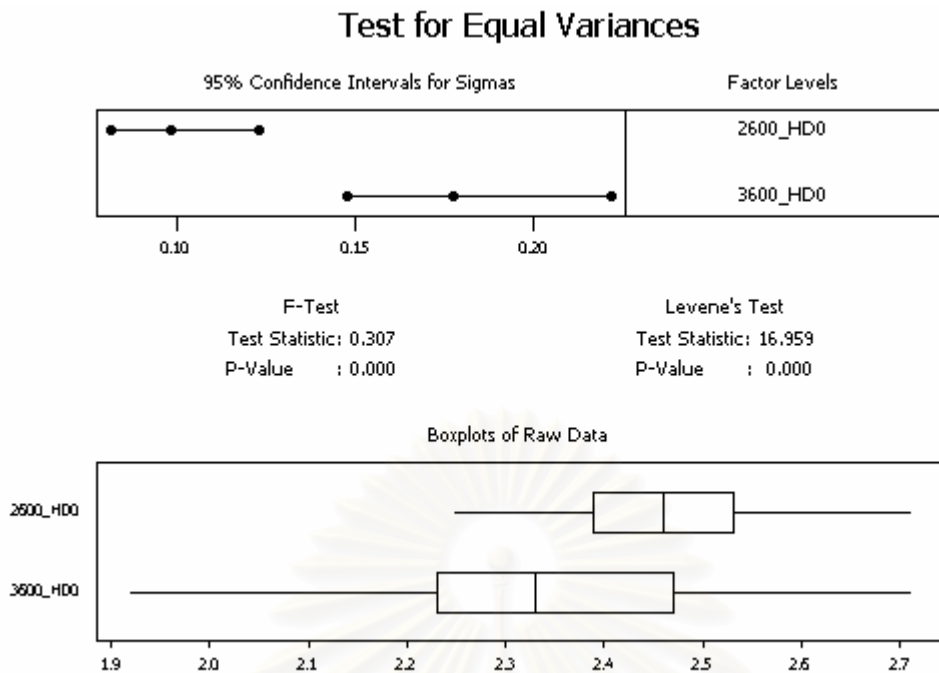
$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

โดยกำหนดให้ σ_1^2 แทนค่าความแปรปรวนของค่า Gramload ของความเร็วรอบของเครื่อง swaging ที่ 2,600 rpm และ σ_2^2 แทนค่าความแปรปรวนของค่า Gramload ของความเร็วรอบของเครื่อง swaging ที่ 3,600 rpm ดังแสดงในตารางที่ 5.40 และ รูปที่ 5.76 สำหรับ HD0 และ ตารางที่ 5.41 และรูปที่ 5.77 สำหรับ HD1

ตารางที่ 5.40 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากความเร็วรอบของเครื่อง swaging สำหรับ HD0

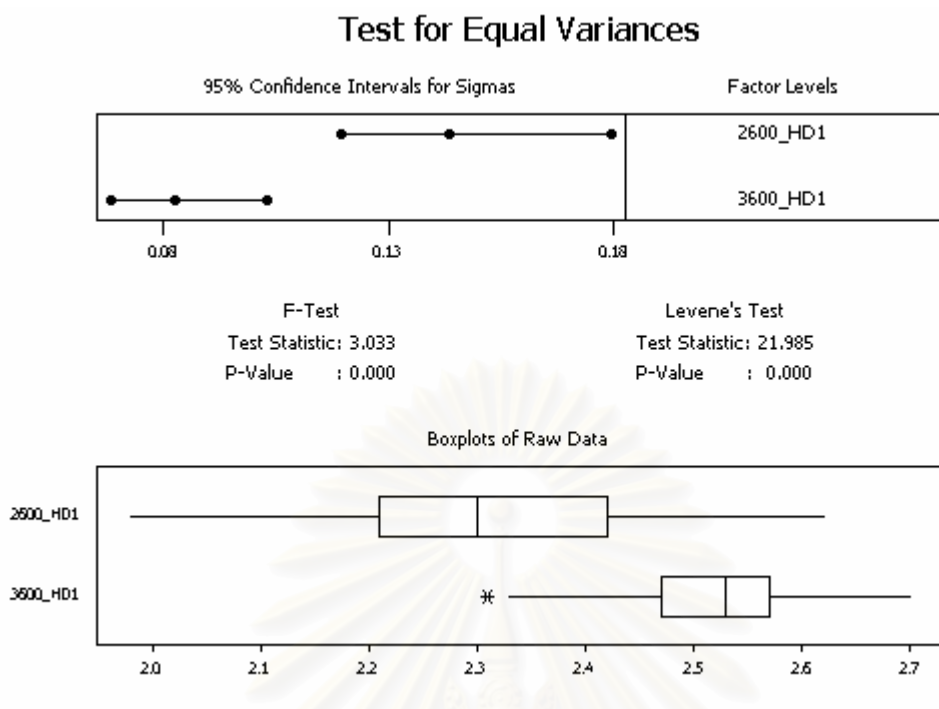
Test for Equal Variances				
Level1	2600_HD0			
Level2	3600_HD0			
ConfLvl	95.0000			
Bonferroni confidence intervals for standard deviations				
Lower	Sigma	Upper	N	Factor Levels
0.081760	0.098282	0.122731	63	2600_HD0
0.147568	0.177390	0.221516	63	3600_HD0
F-Test (normal distribution)				
Test Statistic: 0.307				
P-Value : 0.000				



รูปที่ 5.76 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากความเร็วรอบของเครื่อง swaging สำหรับ HDO

ตารางที่ 5.41 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากความเร็วรอบของเครื่อง swaging สำหรับ HD1

Test for Equal Variances					
Level1	2600_HD1				
Level2	3600_HD1				
ConfLvl	95.0000				
Bonferroni confidence intervals for standard deviations					
Lower	Sigma	Upper	N	Factor Levels	
0.119495	0.143643	0.179374	63	2600_HD1	
0.068618	0.082485	0.103003	63	3600_HD1	
F-Test (normal distribution)					
Test Statistic: 3.033					
P-Value : 0.000					
Levene's Test (any continuous distribution)					
Test Statistic: 21.985					
P-Value : 0.000					



รูปที่ 5.77 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากความเร็วรอบของเครื่อง swaging สำหรับ HD1

จากผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนของค่า Gramload ที่เกิดจากความเร็วรอบของเครื่อง swaging ดังแสดงในตารางที่ 5.40 , 5.41 และรูปที่ 5.76 , 5.77 พบว่า ค่า P-Value มีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่า ความเร็วรอบของเครื่อง swaging มีผลกระทบต่อความแปรปรวนของค่า Gramload ที่ความเชื่อมั่น 95%

และขั้นต่อไปคือการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของค่า Gramload ที่เกิดจากความเร็วรอบของเครื่อง swaging โดยสมมติฐานในการทดสอบเป็นดังนี้

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

โดยกำหนดให้ μ_1 แทนค่าเฉลี่ยของค่า Gramload ของความเร็วรอบของเครื่อง swaging ที่ 2,600 rpm และ μ_2 แทนค่าเฉลี่ยของค่า Gramload ของความเร็วรอบของเครื่อง swaging ที่ 3,600 rpm ดังแสดงในตารางที่ 5.42 และ รูปที่ 5.78 สำหรับ HD0 และ ตารางที่ 5.43 และรูปที่ 5.79 สำหรับ HD1

ตารางที่ 5.42 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากความเร็วรอบของเครื่อง swaging สำหรับ HD0

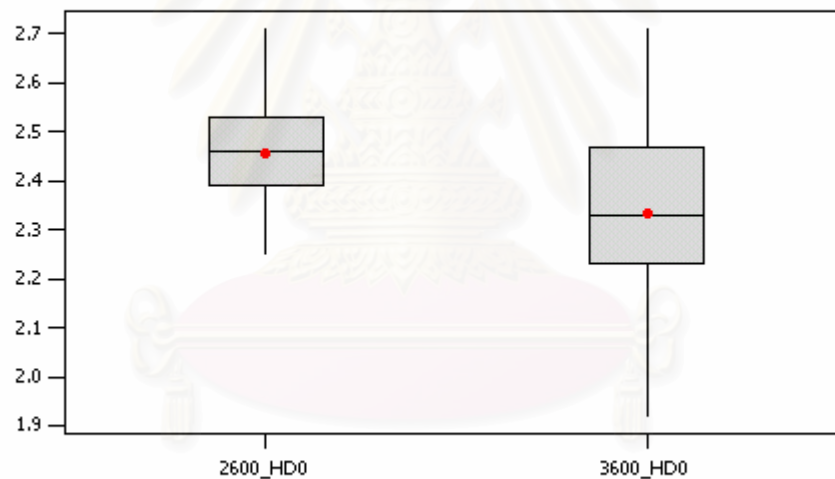
Two-Sample T-Test and CI: 2600_HD0, 3600_HD0

Two-sample T for 2600_HD0 vs 3600_HD0

	N	Mean	StDev	SE Mean
2600_HD0	63	2.4562	0.0983	0.012
3600_HD0	63	2.335	0.177	0.022

Difference = mu 2600_HD0 - mu 3600_HD0
 Estimate for difference: 0.1216
 95% CI for difference: (0.0709, 0.1723)
 T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 4.76 P-Value = 0.000 DF = 96

Boxplots of 2600_HD0 and 3600_HD0
 (means are indicated by solid circles)



รูปที่ 5.78 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากความเร็วรอบของเครื่อง swaging สำหรับ HD0

ตารางที่ 5.43 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากความเร็รรอบของเครื่อง swaging สำหรับ HD1

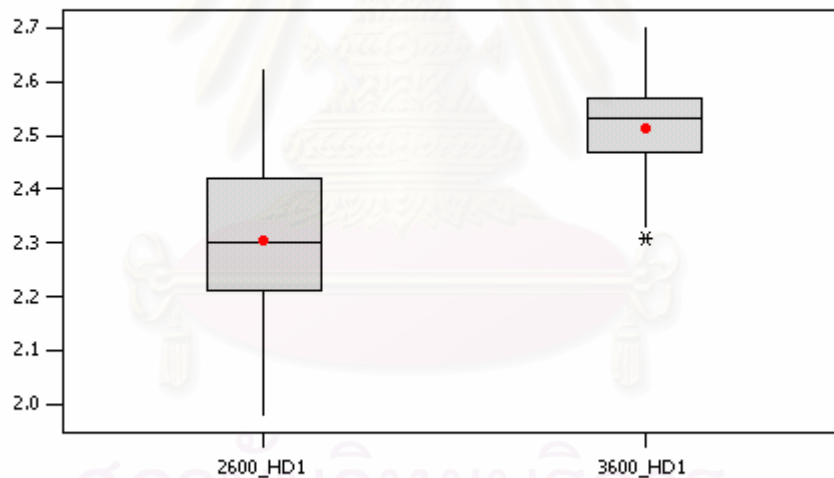
Two-Sample T-Test and CI: 2600_HD1, 3600_HD1

Two-sample T for 2600_HD1 vs 3600_HD1

	N	Mean	StDev	SE Mean
2600_HD1	63	2.304	0.144	0.018
3600_HD1	63	2.5135	0.0825	0.010

Difference = mu 2600_HD1 - mu 3600_HD1
 Estimate for difference: -0.2098
 95% CI for difference: (-0.2513, -0.1684)
 T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -10.06 P-Value = 0.000 DF = 98

Boxplots of 2600_HD1 and 3600_HD1
(means are indicated by solid circles)



รูปที่ 2.79 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากความเร็รรอบของเครื่อง swaging สำหรับ HD1

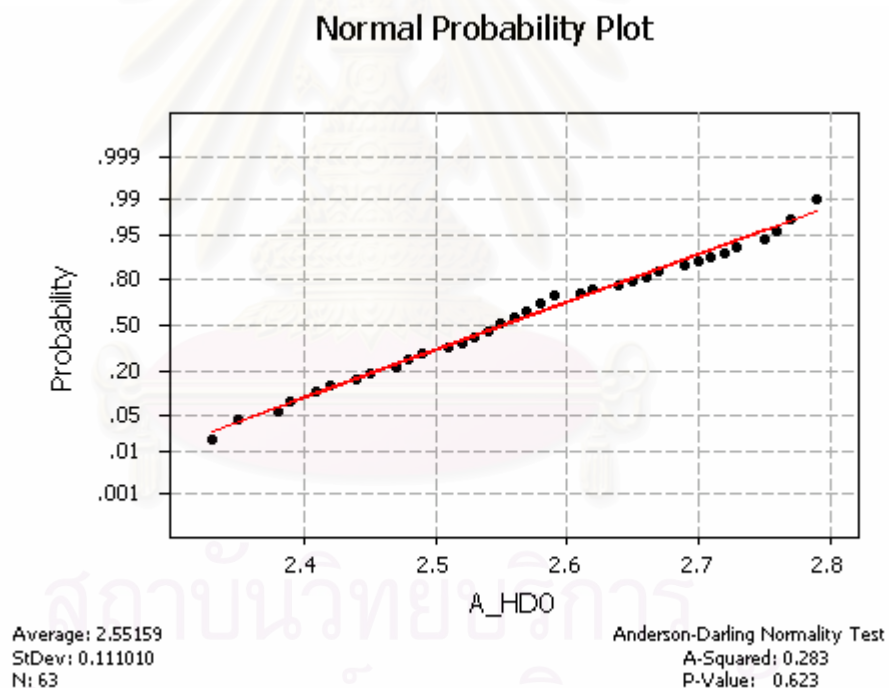
จากผลการทดสอบสมมติฐาน ดังแสดงในตารางที่ 5.42 และ 5.43 พบว่าค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าความเร็รรอบของเครื่อง swaging มีค่าเฉลี่ยของค่า Gramload แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

5.4.12 การวิเคราะห์สมมติฐานขนาดของลูกบอลที่ใช้กับเครื่อง swaging มีผลต่อค่า Gramload

5.4.2.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ

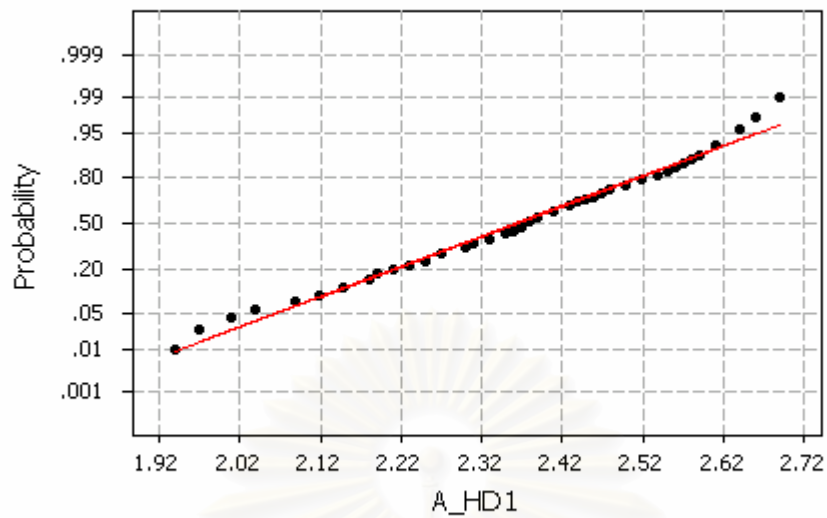
ผลการทดสอบความถูกต้องของรูปแบบ เพื่อทดสอบข้อกำหนดที่ว่า ข้อมูลที่นำมาทดสอบทั้งสองระดับมีการกระจายเป็นแบบปกติหรือไม่ โดยกำหนดให้ขนาดของลูกบอลมีสองระดับ ได้ผลการทดสอบการกระจายเป็นแบบปกติ เนื่องจากค่า P-Value มากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังรูปที่ 5.80 และ 5.81

ในการทำการทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐานในครั้งนี้ พบว่า ชุดหัวอ่านสำเร็จเกิดความเสียหายขณะทำการวัดค่า Gramload ทั้งหมด 1 ชิ้น ด้วยกัน ดังนั้นจำนวนสิ่งตัวอย่างที่ได้จากการทดลองจึงเหลือเพียง 63 สิ่งตัวอย่าง



ก)ขนาดลูกบอล0.078, 0.080, 0.081 นิ้ว_HDO

Normal Probability Plot



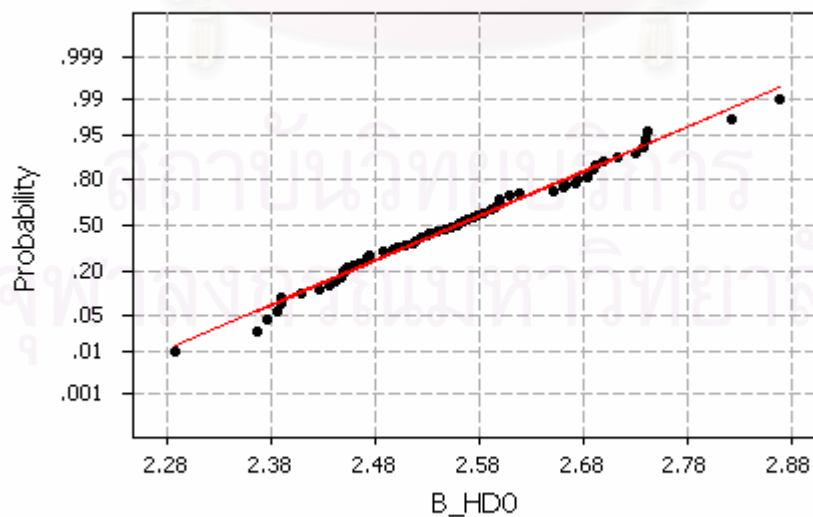
Average: 2.36429
StDev: 0.175368
N: 63

Anderson-Darling Normality Test
A-Squared: 0.246
P-Value: 0.747

ข) ขนาดลูกบอล 0.078, 0.080, 0.081 นิ้ว HD1

รูปที่ 5.80 กราฟแสดงการกระจายของค่า Gramload จากขนาดลูกบอล 0.078, 0.080, 0.081 นิ้ว ก)
HD0 ข) HD1

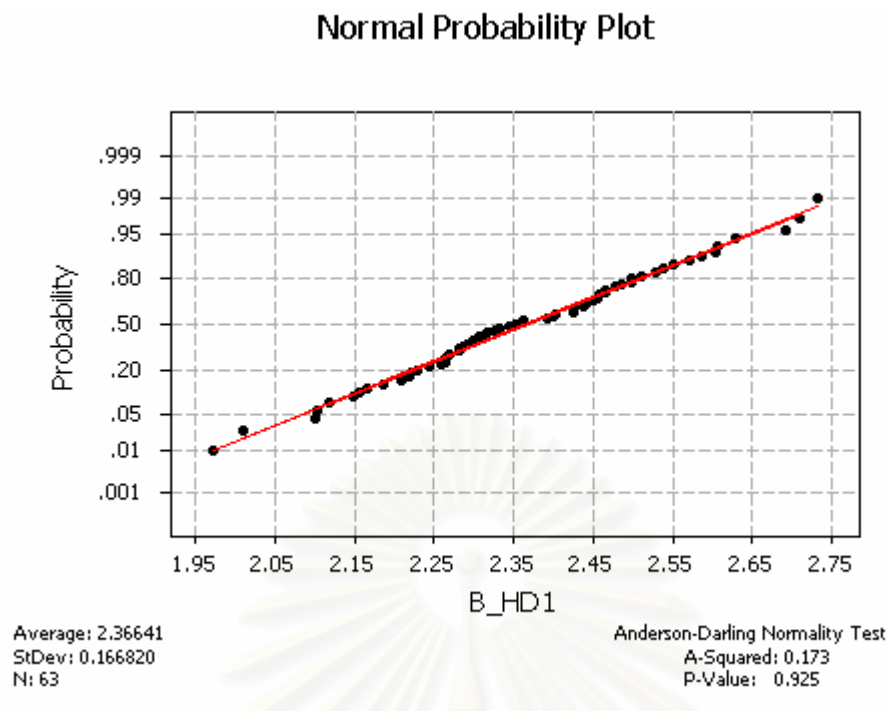
Normal Probability Plot



Average: 2.55934
StDev: 0.119841
N: 63

Anderson-Darling Normality Test
A-Squared: 0.268
P-Value: 0.672

ก) ขนาดลูกบอล 0.080, 0.082, 0.083 นิ้ว HD0



ข) ขนาดลูกบอล 0.080, 0.082, 0.083 นิ้ว HD1

รูปที่ 5.81 กราฟแสดงการกระจายของค่า Gramload จากขนาดลูกบอล 0.080, 0.082, 0.083 นิ้ว ก) HD0 ข) HD1

5.4.2.12 การทดสอบสมมติฐาน

ในการทดสอบสมมติฐานในขั้นแรกต้องพิจารณาค่าความแปรปรวนของค่า Gramload จากการใช้ขนาดลูกบอลสำหรับการ swaging แตกต่างกันว่า มีค่าเท่ากันหรือไม่ เพื่อเป็นข้อกำหนดในการทดสอบสมมติฐานของค่าเฉลี่ย โดยสมมติฐานในการทดสอบความแปรปรวนเป็นดังนี้

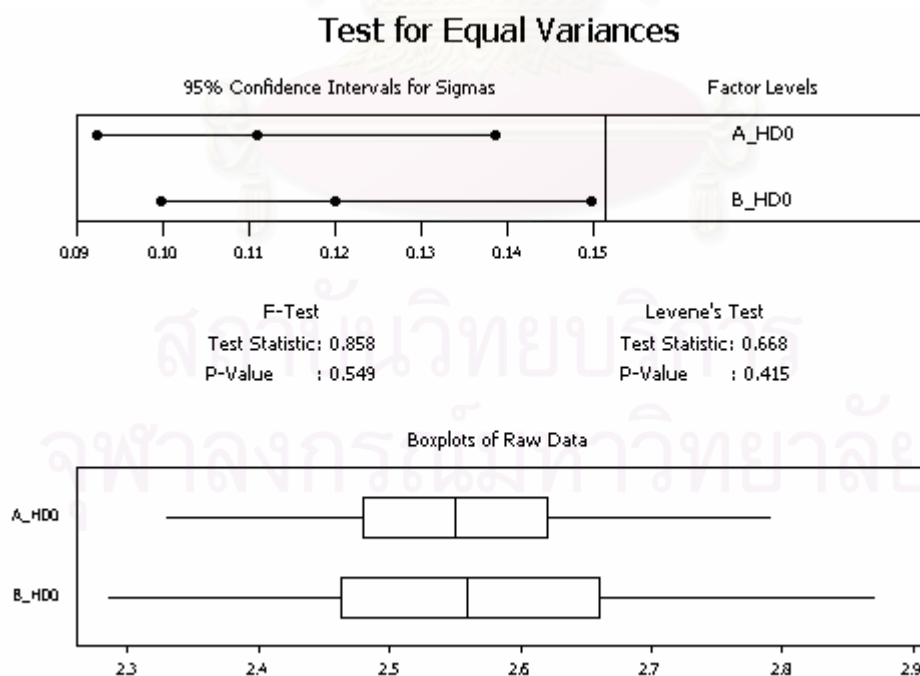
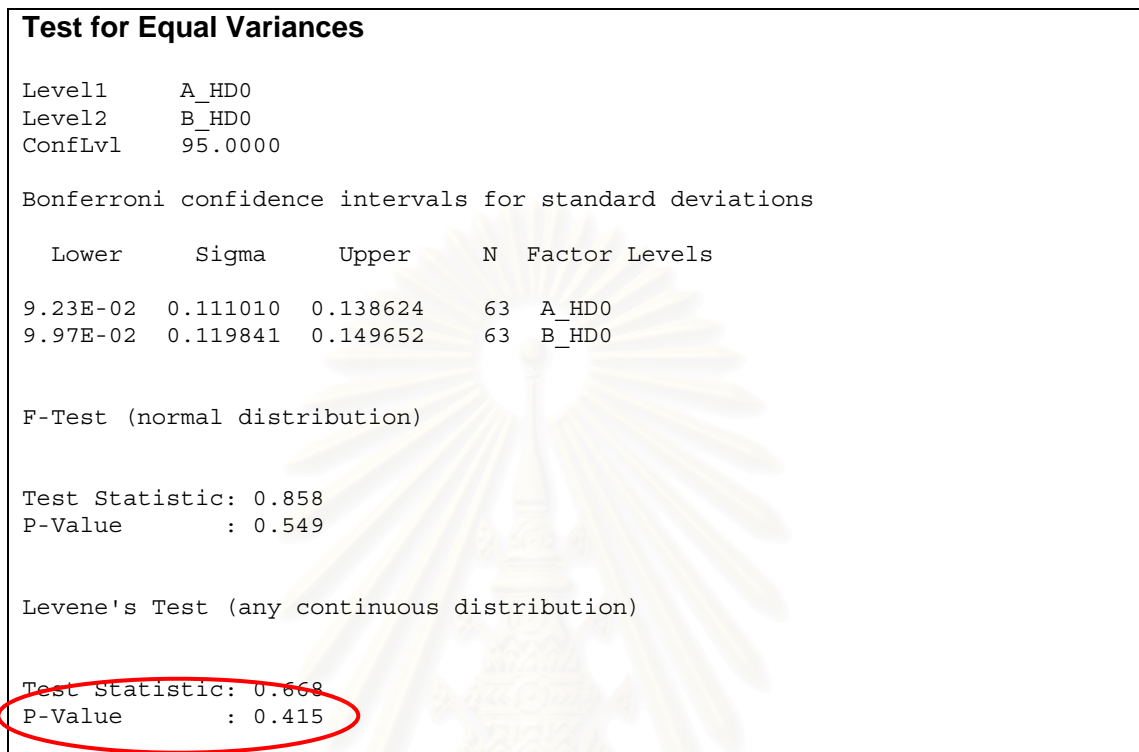
สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

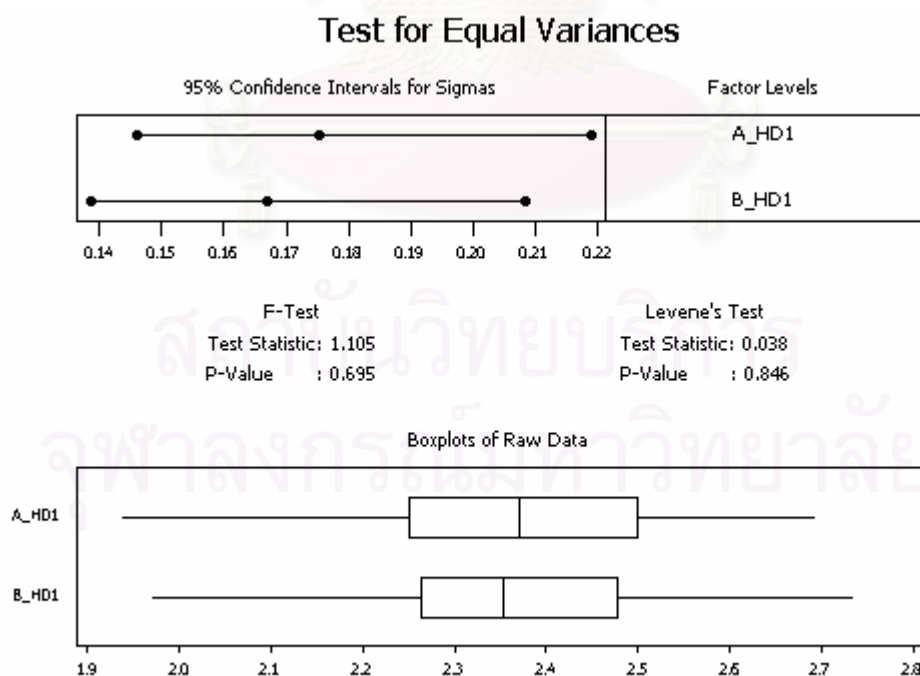
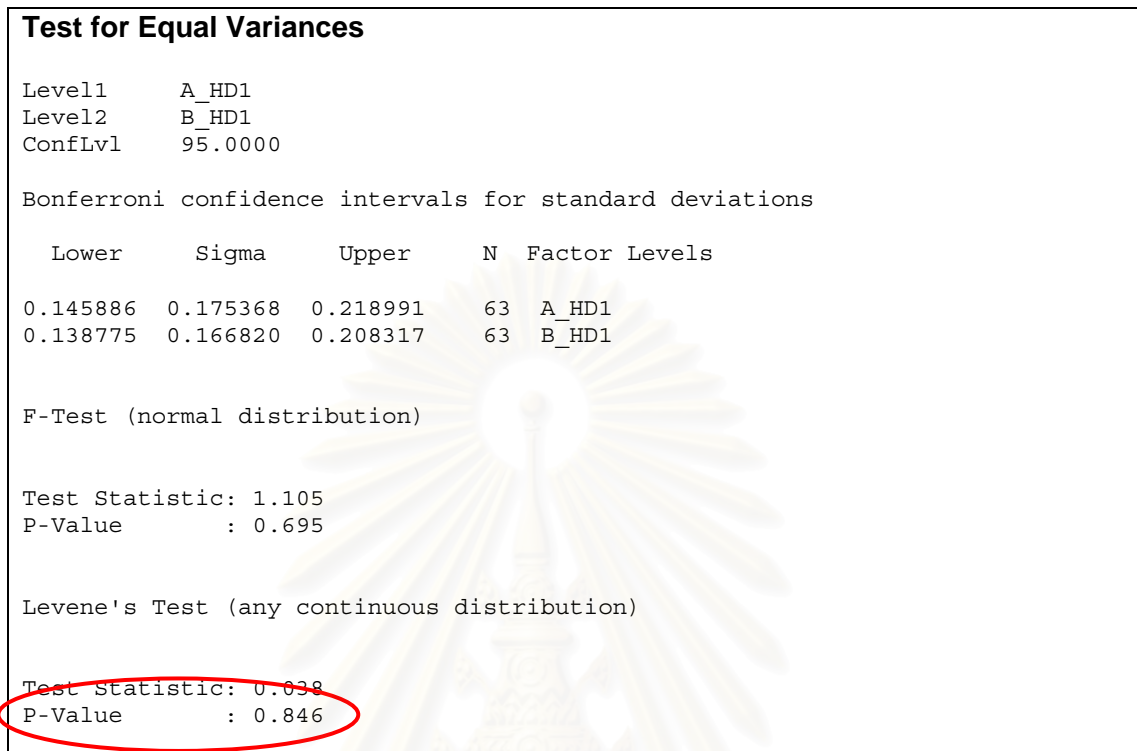
โดยกำหนดให้ σ_1^2 แทนค่าความแปรปรวนของค่า Gramload ของขนาดลูกบอล 0.078, 0.080, 0.081 นิ้ว และ σ_2^2 แทนค่าความแปรปรวนของค่า Gramload ของขนาดลูกบอล 0.080, 0.082, 0.083 นิ้ว ดังแสดงในตารางที่ 5.44 และ รูปที่ 5.82 สำหรับ HD0 และ ตารางที่ 5.45 และรูปที่ 5.83 สำหรับ HD1

ตารางที่ 5.44 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากขนาดของลูกบอลของเครื่อง swaging สำหรับ HD0



รูปที่ 5.82 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากขนาดของลูกบอลของเครื่อง swaging สำหรับ HD0

ตารางที่ 5.45 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากขนาดของลูกบอลของเครื่อง swaging สำหรับ HD1



รูปที่ 5.83 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากขนาดของลูกบอลของเครื่อง swaging สำหรับ HD1

จากผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนของค่า Gramload ที่ขนาดของลูกบอลของเครื่อง swaging ดังแสดงในตารางที่ 5.44 , 5.45 และรูปที่ 5.82 , 5.83 พบว่า ค่า P-Value มีค่ามากกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่า ขนาดของลูกบอลของเครื่อง swaging ไม่มีผลกระทบต่อความแปรปรวนของค่า Gramload ที่ความเชื่อมั่น 95%

และขั้นต่อไปคือการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของค่า Gramload ที่เกิดจากขนาดของลูกบอลของเครื่อง swaging โดยสมมติฐานในการทดสอบเป็นดังนี้

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

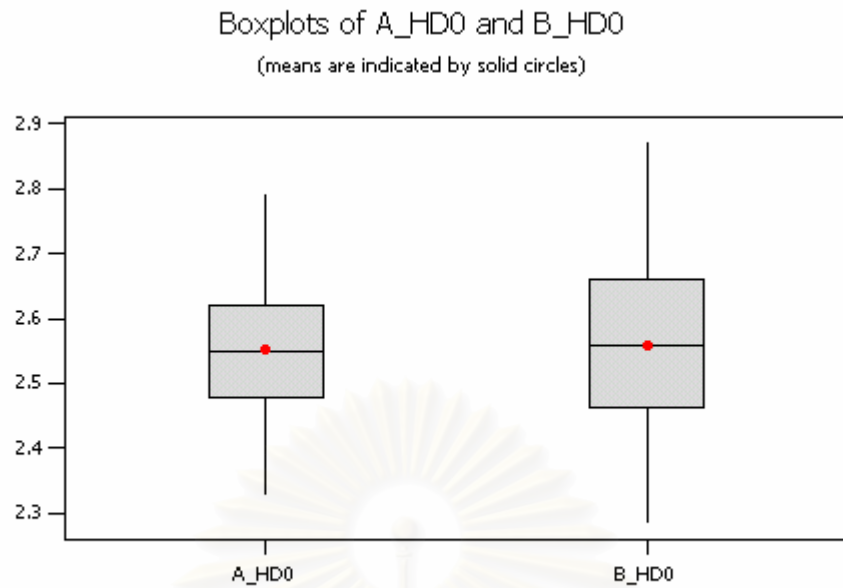
$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

โดยกำหนดให้ μ_1 แทนค่าเฉลี่ยของค่า Gramload ของขนาดลูกบอล 0.078, 0.080, 0.081 นิ้ว และ μ_2 แทนค่าเฉลี่ยของค่า Gramload ของขนาดลูกบอล 0.080, 0.082, 0.083 นิ้ว ดังแสดงในตารางที่ 5.46 และ รูปที่ 5.84 สำหรับ HD0 และ ตารางที่ 5.46 และรูปที่ 5.85 สำหรับ HD1

ตารางที่ 5.46 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากขนาดของลูกบอลของเครื่อง swaging สำหรับ HD0

Two-Sample T-Test and CI: A_HD0, B_HD0				
Two-sample T for A_HD0 vs B_HD0				
	N	Mean	StDev	SE Mean
A_HD0	63	2.552	0.111	0.014
B_HD0	63	2.559	0.120	0.015
Difference = mu A_HD0 - mu B_HD0				
Estimate for difference: -0.0077				
95% CI for difference: (-0.0485, 0.0330)				
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -0.38 P-Value = 0.707 DF = 123				



รูปที่ 5.84 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากขนาดของลูกบอลของเครื่อง swaging สำหรับ HD0

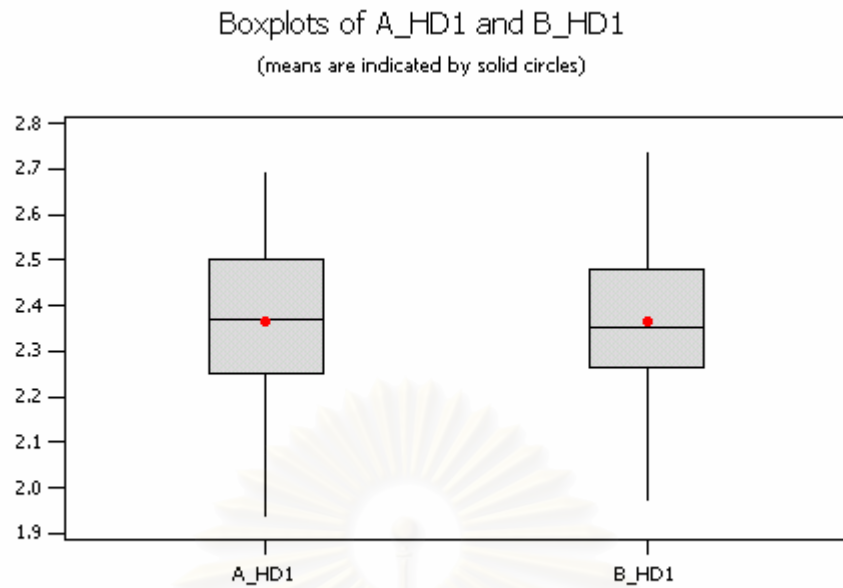
ตารางที่ 5.47 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากขนาดของลูกบอลของเครื่อง swaging สำหรับ HD1

Two-Sample T-Test and CI: A_HD1, B_HD1

Two-sample T for A_HD1 vs B_HD1

	N	Mean	StDev	SE Mean
A_HD1	63	2.364	0.175	0.022
B_HD1	63	2.366	0.167	0.021

Difference = μ A_HD1 - μ B_HD1
 Estimate for difference: -0.0021
 95% CI for difference: (-0.0625, 0.0582)
 T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -0.07 P-Value = 0.945 DF = 123



รูปที่ 2.85 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากขนาดของลูกบอลของเครื่อง swaging สำหรับ HD1

จากผลการทดสอบสมมติฐาน ดังแสดงในตารางที่ 5.46 และ 5.47 พบว่าค่า P-Value มากกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าขนาดของลูกบอลของเครื่อง swaging มีค่าเฉลี่ยของค่า Gramload ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากผลการทดลองเพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้งปัจจัย สรุปผลได้ดังตาราง

ตารางที่ 5.48 สรุปความมีนัยสำคัญของแต่ละปัจจัย

เลขที่	ปัจจัย	ระดับ	ค่า P-Value						ความมีนัยสำคัญ
			การกระจายแบบปกติของข้อมูล		ความเท่ากันของค่าความแปรปรวน		ความเท่ากันของค่าเฉลี่ย		
			HD0	HD1	HD0	HD1	HD0	HD1	
1	วัตถุตีบ (ชุดหัวอ่าน : HGA)	A	0.422	0.221	0.215	0.151	0.151	0.266	Not Sig
		B	0.593	0.371					
2	การเคลื่อนย้ายของ shuttle	เคลื่อนย้าย (กระบวนกรปกติ)	0.697	0.352	0.419	0.192	0.399	0.178	Not Sig
		ไม่มีการเคลื่อนย้าย	0.579	0.258					
3	การตั้งค่า angle block ของ stand	40	0.127	0.934	0.890	0.712	0.456	0.648	Not

	plate	60	0.876	0.361					Sig
4	การตั้งค่าความสูงของฐาน shuttle	12.17	0.178	0.910	0.000	0.001	0.000	0.000	Sig
		12.19	0.547	0.111					Sig
5	การตั้งค่าความหนา 1 st key ของ shuttle	2.274	0.954	0.702	0.011	0.452	0.000	0.006	Sig
		2.279	0.566	0.118					Sig
6	การตั้งค่าความหนา 2 nd key ของ shuttle	2.99	0.676	0.541	0.388	0.735	0.991	0.330	Not Sig
		3	0.371	0.183					Not Sig
7	การตั้งค่าระยะห่างของ Comb Tower Pin Slot	7.635	0.459	0.974	0.838	0.011	0.000	0.000	Sig
		7.655	0.190	0.938					Sig
8	วิธีการขั้นตอนการทำงาน	แบบปัจจุบัน	0.645	0.312	0.361	0.598	0.609	0.662	Not Sig
		แบบใหม่	0.513	0.675					Not Sig
9	จำนวนลูกบอลที่ใช้กับเครื่อง swaging	2	0.460	0.411	0.971	0.069	0.162	0.266	Not Sig
		3	0.566	0.440					Not Sig
10	ความเร็วรอบของเครื่อง swaging	2,600	0.449	0.380	0.000	0.000	0.000	0.000	Sig
		3,600	0.830	0.228					Sig
11	ขนาดของลูกบอลที่ใช้กับเครื่อง swaging	0.078,0.080,0.081	0.262	0.747	0.415	0.846	0.707	0.945	Not Sig
		0.080,0.082,0.083	0.612	0.925					Not Sig

5.5 สรุปปัจจัยที่ระดับของปัจจัยมีความแตกต่างกันจากการทดสอบสมมติฐาน

จากผลการทดสอบสมมติฐานของทั้ง 11 ปัจจัย พบว่า ถ้าค่า P-Value ของปัจจัยนั้นมีค่าน้อยกว่า 0.05 หมายความว่า ค่าเฉลี่ยของของค่า Gramload ของแต่ละปัจจัยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งในที่นี้พบว่าเหลือเพียง 4 ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ คือ ความสูงของฐาน ความหนาของ 1st key ระยะห่างของ Comb Tower Pin Slot สำหรับ shuttle และความเร็วของเครื่อง swaging โดยสามารถสรุประดับของปัจจัยที่สำคัญดังกล่าว ดังแสดงในตาราง 5.49

ตาราง 5.49 สรุปปัจจัยที่ระดับของปัจจัยที่มีความแตกต่างกันจากการทดสอบสมมติฐาน

เลขที่	ปัจจัย	ระดับ		หน่วย
		1	2	
1	การตั้งค่าความสูง ของฐาน shuttle	12.170	12.190	มิลลิเมตร
2	การตั้งค่าความหนา 1 st key ของ shuttle	2.274	2.279	มิลลิเมตร
3	การตั้งค่าระยะห่าง ของ Comb Tower Pin Slot	7.635	7.655	มิลลิเมตร
4	ความเร็วรอบของ เครื่อง swaging	2,600	3,600	rpm

ผลลัพธ์ของขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาที่ได้ทั้ง 4 ปัจจัยดังกล่าวข้างต้นนั้น จะนำไปพิจารณาและวิเคราะห์ในขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการออกแบบการทดลองเพื่อปรับปรุงค่า Gramload ให้ดีขึ้น

บทที่ 6

การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

6.1 บทนำ

หลังจากการทดสอบความมีนัยสำคัญเพื่อเลือกปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่มีผลกระทบต่อความแปรปรวนของค่า Gramload ขั้นตอนต่อไป คือการนำปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัย มาทำการออกแบบการทดลองเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิต

6.2 ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ

จากผลการทดสอบสมมติฐานของทั้ง 11 ปัจจัย พบว่า ถ้าค่า P-Value ของปัจจัยนั้นมีค่าน้อยกว่า 0.05 หมายความว่า ค่าเฉลี่ยของของค่าผลต่างของค่า Gramload ของแต่ละปัจจัยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งในที่นี้พบว่าเหลือเพียง 4 ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ คือ ความสูงของฐาน ความหนาของ 1st key ระยะห่างของ Comb Tower Pin Slot สำหรับ shuttle และ ความเร็วของเครื่อง swaging

เนื่องจากปัจจัยทั้งสี่ปัจจัยเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ shuttle และ เครื่อง swaging ซึ่งในโรงงานตัวอย่างเอง ไม่มีทีมงานที่สามารถพัฒนาและแก้ไขแบบของเครื่องมือได้เอง จึงต้องส่งไปพัฒนาและออกแบบที่อื่น ซึ่งใช้เวลาอย่างน้อยหนึ่งเดือนในการส่งเครื่องมือออกไปและนำกลับมา อีกทั้งยังต้องสูญเสียค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง ไม่สามารถทำได้ในทันทีทันใด ดังนั้นทีมงานจึงได้ลงความเห็นว่าการออกแบบการทดลองเพื่อปรับปรุงการผลิต จะใช้ shuttle และเครื่อง swaging ที่มีอยู่ในโรงงาน ตัวอย่าง ซึ่งก็ยังไม่ได้นำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มที่ ดังนั้นระดับของปัจจัยจะเหมือนกับระดับที่ใช้ในการทำการทดสอบสมมติฐาน โดยสามารถสรุประดับของปัจจัยที่สำคัญดังกล่าว ดังแสดงในตาราง 6.1

ตาราง 6.1 สรุปปัจจัยที่ระดับของปัจจัยที่มีความแตกต่างกันจากการทดสอบสมมติฐาน

เลขที่	ปัจจัย	ระดับ		หน่วย
		1	2	
1	การตั้งค่าความสูงของฐาน shuttle	12.170	12.190	มิลลิเมตร
2	การตั้งค่าความหนา 1 st key ของ shuttle	2.274	2.279	มิลลิเมตร
3	การตั้งค่าระยะห่างของ Comb Tower Pin Slot	7.635	7.655	มิลลิเมตร
4	ความเร็วรอบของเครื่อง swaging	2,600	3,600	rpm

6.3 ตัวแปรตอบสนอง

ค่าตัวแปรตอบสนองคือ ค่า Gramload วัดในหน่วย กรัม (gram) สำหรับกระบวนการการผลิตหัวอ่านสำเร็จรูป โดยเป็นค่าที่ลูกค้ากำหนดให้ โดยกำหนดให้อยู่ระหว่าง 2 – 3 กรัม ค่าเป็น Gramload เป็นค่าที่บอกว่า เมื่อประกอบฮาร์ดดิสก์แล้วการทำงานของหัวอ่านจะมีประสิทธิภาพในการอ่านข้อมูลจากแผ่นดิสก์ มากน้อย เพียงใด

6.4 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองนี้จะใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k โดย ที่ k คือ จำนวนของปัจจัยที่นำมาทดลอง และ 2 คือจำนวนระดับของแต่ละปัจจัย และกำหนดให้ที่แต่ละระดับของแต่ละปัจจัยเป็น ต่ำ (-) กับ สูง (+)

6.4.1. การทำซ้ำ (Replication)

การทำซ้ำหมายถึงการที่ Treatment combination หนึ่งจะถูกทำการทดลองมากกว่า 1 ครั้ง ซึ่งการทำซ้ำนี้จะช่วยให้สามารถเท่าจะประมาณค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดลองได้ และทำให้ขนาดของความคลาดเคลื่อนลดลงได้ โดยการทดลองนี้จะทำการทดลองโดยการ

ทำซ้ำในแต่ละ Treatment 2 ครั้ง (2 replication) เนื่องจากทำให้ประหยัดเวลาในการทดลอง และเป็นการประหยัดวัสดุที่ใช้ในการทดลองด้วยเช่นกัน

ในการวิเคราะห์จำนวนการทดลองซ้ำ จะใช้ effect เท่ากับ 0.2 เนื่องจากเป็นอัตราที่เหมาะสมที่นิยมใช้ในทางปฏิบัติ เพื่อให้สามารถจำแนกความแตกต่างของค่าเฉลี่ยได้ และกำลังของการทดสอบ (Power of Test) เท่ากับ 0.95 ($\beta = 0.05$) โดยสามารถคำนวณหาจำนวนการทดลองซ้ำได้ดัง ตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 กำลังและจำนวนการทดลองซ้ำ

Power and Sample Size				
2-Level Factorial Design				
Sigma = 0.1 Alpha = 0.05				
Factors:	4	Base Design:	4, 16	
Blocks:	none			
Including a term for center points in model.				
Center Points			Target Power	Actual Power
Per Block	Effect	Reps		
3	0.2	2	0.9000	0.9996
3	0.2	2	0.9500	0.9996
3	0.2	2	0.9800	0.9996
3	0.3	2	0.9000	1.0000
3	0.3	2	0.9500	1.0000
3	0.3	2	0.9800	1.0000
3	0.4	1	0.9000	0.9581
3	0.4	1	0.9500	0.9581
3	0.4	2	0.9800	1.0000
3	0.5	1	0.9000	0.9927
3	0.5	1	0.9500	0.9927
3	0.5	1	0.9800	0.9927

จากผลการคำนวณพบว่า ที่จำนวนการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง จะมีค่ากำลังของการทดสอบ (Power of Test) เท่ากับ 0.9996 ซึ่งมากกว่าค่ากำลังของการทดสอบ (Power of Test) ที่กำหนดไว้ที่ 0.950 ดังนั้น การทดลองนี้จึงใช้การออกแบบการทดลองที่มีการทดลองซ้ำ 2 ซ้ำ นั่นคือ จะได้ว่า การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k เป็นแบบ 2^4 Full Factorial Design ที่มีการทำซ้ำ 2 ครั้ง และมีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง (Center Point) เข้าไป 3 จุด เนื่องจากตามทฤษฎีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง ควรมีการเพิ่ม 3 – 5 จุด เป็นการประหยัดจำนวนครั้งของการทดลองเพื่อตรวจสอบสมมติฐานเกี่ยวกับความเป็นเชิงเส้น (Linearity) ของผลที่จะเกิดขึ้นจากปัจจัยต่างๆ

6.4.2 การสุ่ม (Randomization)

การสุ่มเป็นหลักสำคัญในการใช้หลักการทางสถิติในการออกแบบการทดลอง โดยการสุ่มจะหมายถึงการจัดสรรหน่วยการทดลองลำดับการทดลองให้เป็นไปโดยสุ่ม ซึ่งทำให้ผลการทดลองตรงกับข้อกำหนดทางสถิติที่ว่า ค่าสังเกตจากการทดลองต้องมีความเป็นอิสระต่อกัน และการสุ่มยังสามารถที่จะเฉลี่ยบอกความผันแปรภายนอกที่ไม่ได้เกิดจากสาเหตุโดยธรรมชาติออกไปได้ ทำให้การวิเคราะห์ผลจากการทดลองมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

6.4.3 การทดลอง

การสุ่มลำดับการทดลองในการทดลองนี้จะกระทำโดยโปรแกรม MINITAB ซึ่งกำหนดพร้อมกับการสร้างเมตริกการออกแบบ (Design Matrix) โดยสังเกตลำดับการทดลองได้จาก RunOrder ของตาราง รวมทั้งสิ้น 35 การทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 6.3

กำหนดให้

- A แทนปัจจัยความสูงของฐาน shuttle
- B แทนปัจจัยความหนาของ 1st key
- C แทนปัจจัยระยะห่างของ Comb Tower Pin Slot
- D แทนปัจจัยความเร็วของเครื่อง swaging

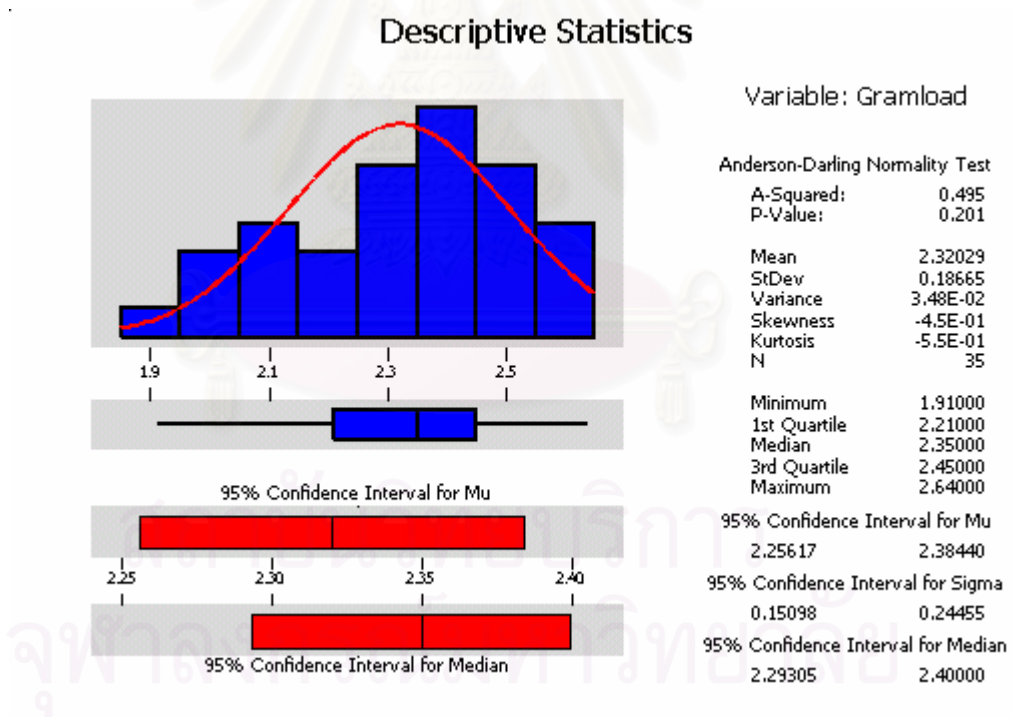
ตารางที่ 6.3 ตารางแสดงผลการทดลอง

RunOrder	CenterPt	Blocks	base	1st key	comb	speed	Gramload
1	1	1	-1	1	-1	-1	2.35
2	1	1	1	1	1	-1	2.51
3	1	1	-1	-1	1	1	2.47
4	1	1	1	1	-1	-1	2.52
5	0	1	0	0	0	0	2.33
6	1	1	-1	1	-1	-1	2.40
7	1	1	1	-1	1	1	2.60
8	1	1	1	1	-1	1	2.44
9	1	1	-1	-1	1	-1	2.10
10	1	1	-1	-1	1	-1	2.04
11	1	1	1	-1	1	1	2.64
12	1	1	-1	1	1	1	2.33
13	1	1	1	1	1	-1	2.55
14	1	1	-1	1	-1	1	2.22
15	1	1	1	-1	1	-1	2.45
16	1	1	1	-1	-1	1	2.22
17	1	1	1	-1	-1	1	2.30
18	1	1	1	-1	-1	-1	2.14
19	1	1	-1	-1	-1	-1	1.91
20	1	1	-1	-1	-1	1	2.21
21	1	1	1	1	-1	-1	2.55

22	1	1	-1	-1	-1	-1	2.00
23	1	1	1	1	1	1	2.06
24	1	1	-1	1	1	-1	2.33
25	1	1	-1	1	-1	1	2.35
26	1	1	-1	-1	1	1	2.35
27	0	1	0	0	0	0	2.30
28	0	1	0	0	0	0	2.19
29	1	1	-1	1	1	-1	2.33
30	1	1	-1	-1	-1	1	2.30
31	1	1	-1	1	1	1	2.29
32	1	1	1	-1	1	-1	2.40
33	1	1	1	-1	-1	-1	2.09
34	1	1	1	1	1	1	2.00
35	1	1	1	1	-1	1	2.40

6.5 การตรวจความถูกต้องของแบบจำลอง

ผลของการทดลองที่ได้จากการทดลองทั้ง 35 การทดลองนั้น สามารถสรุปผลค่าตัวแปรตอบสนอง (Gramload) ได้ดังรูปที่ 6.1



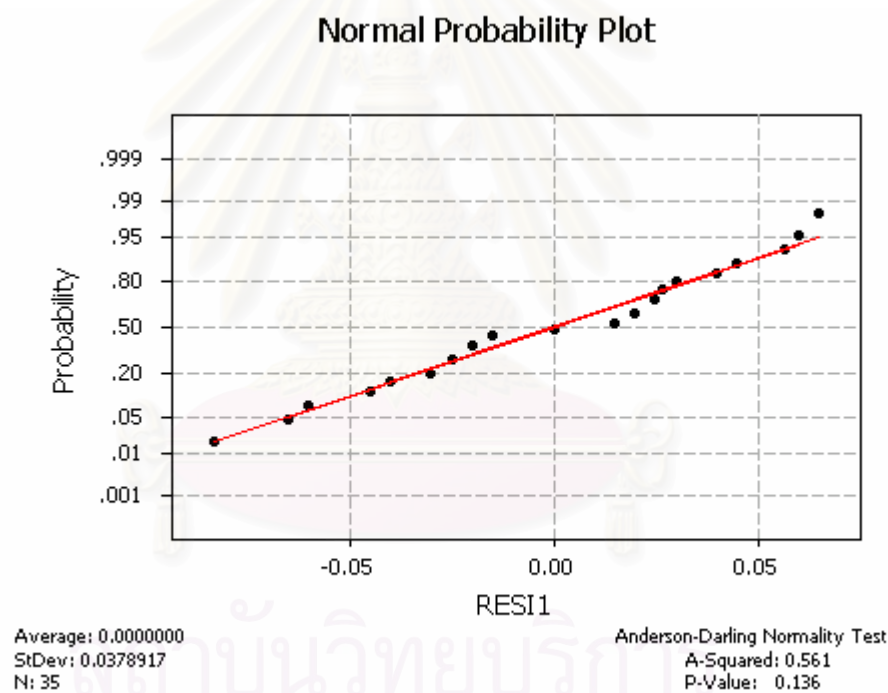
รูปที่ 6.1 แผนภูมิแสดงสถิติเชิงพรรณนาของค่าตัวแปรตอบสนอง (Gramload)

ในการออกแบบการทดลองนั้น จะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขที่สำคัญ คือ NID ($0, \sigma^2$) จึงต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) ว่าเป็นไปตามเงื่อนไขของ NID ($0, \sigma^2$) หรือไม่ โดยการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

ประกอบด้วย การทดสอบข้อกำหนดเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อนของการทดลองภายใต้เงื่อนไข 3 ประการ คือ ข้อมูลเป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน และความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์ และสรุปผลของการออกแบบการทดลอง ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นปกติ

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นปกติ (Normality Assumption) สามารถตรวจสอบด้วยการกระจายของค่าส่วนตกค้างของค่าตัวแปรตอบสนอง (Gramload) ซึ่งกราฟการกระจายของค่าส่วนตกค้างค่าตัวแปรตอบสนอง (Gramload) ที่ได้เป็นเส้นตรง และมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 นั่นคือ ข้อมูลเป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ ดังรูปที่ 6.2



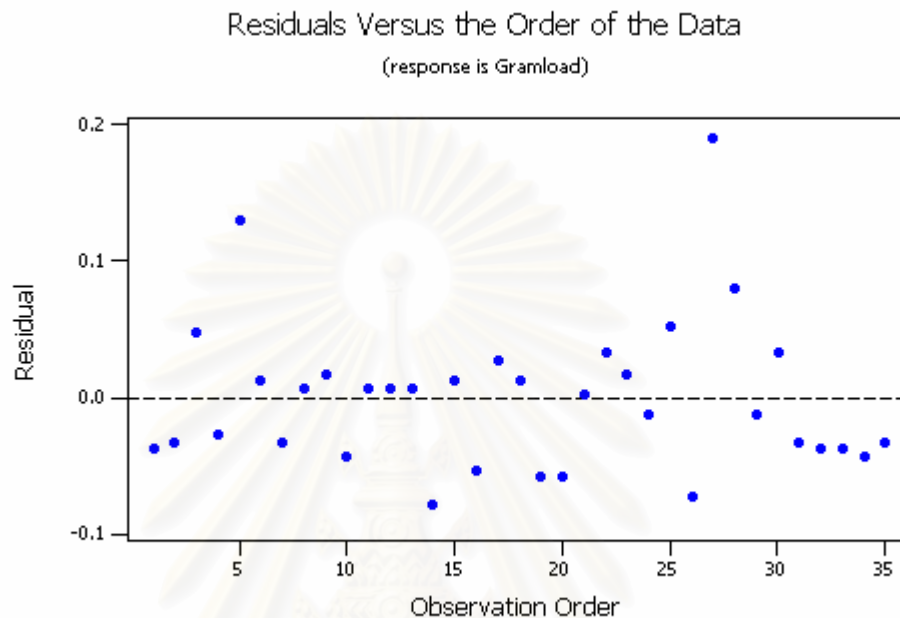
รูปที่ 6.2 กราฟแสดงการกระจายของค่าส่วนตกค้าง

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ (Independent)

การทดสอบสมมติฐานความเป็นอิสระ (Independent) สามารถตรวจสอบโดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับ

ลำดับความต่อเนื่องในแนวโน้มหรือมีรูปแบบใดๆ ควรที่จะมีการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน

จากกราฟที่แสดงในรูปที่ 6.3 ค่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบ ดังนั้นสรุปได้ว่า ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน

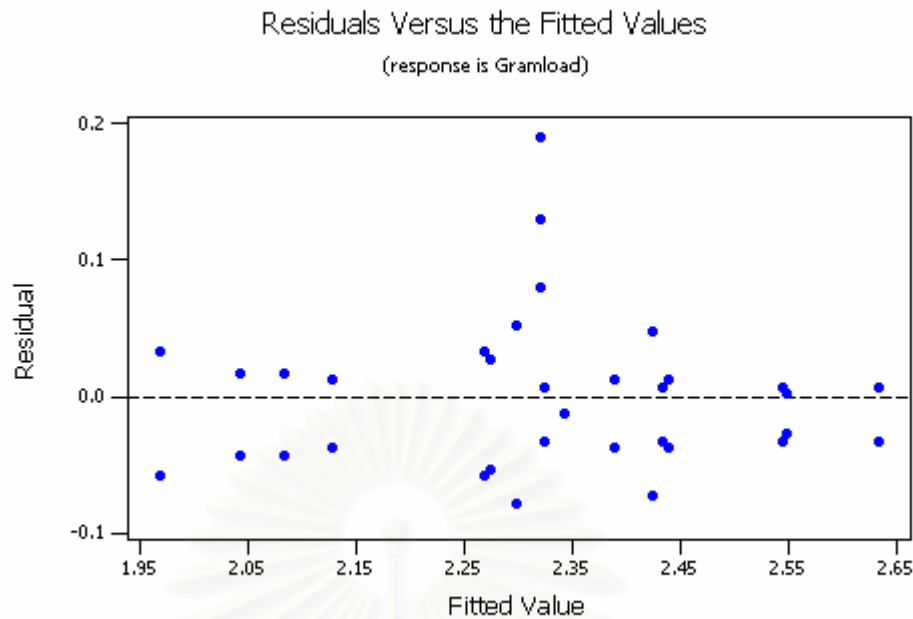


รูปที่ 6.3 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและลำดับของข้อมูล

ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability)

ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) สามารถตรวจสอบได้โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากตัวแบบถดถอย แสดงในรูปที่ 6.4 ซึ่งแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม ควรที่จะจะมีการกระจายตัวเป็นรูปแบบที่แน่นอน

จากกราฟสังเกตได้ว่า ค่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบ ดังนั้นสรุปได้ว่า ข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

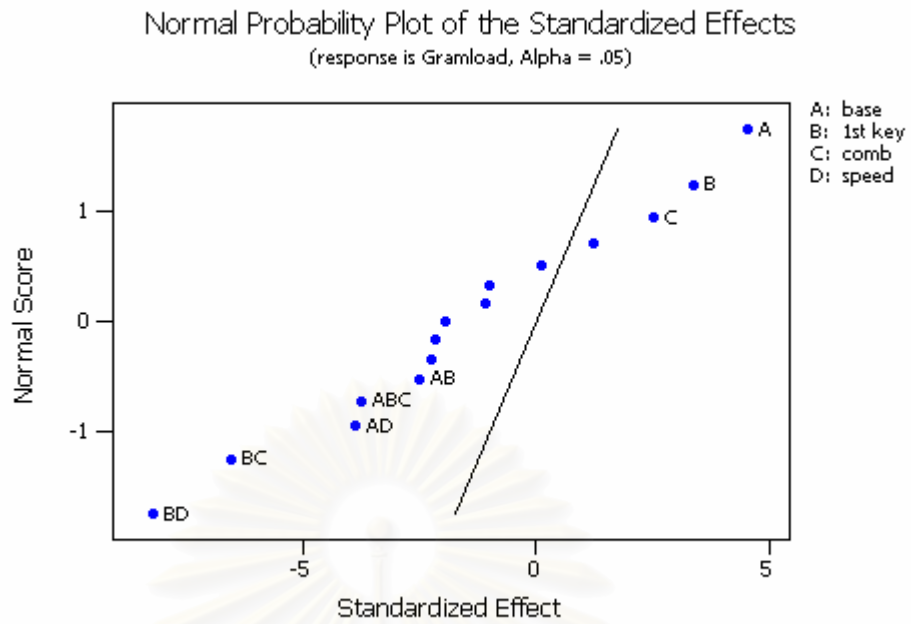


รูปที่ 6.4 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิต

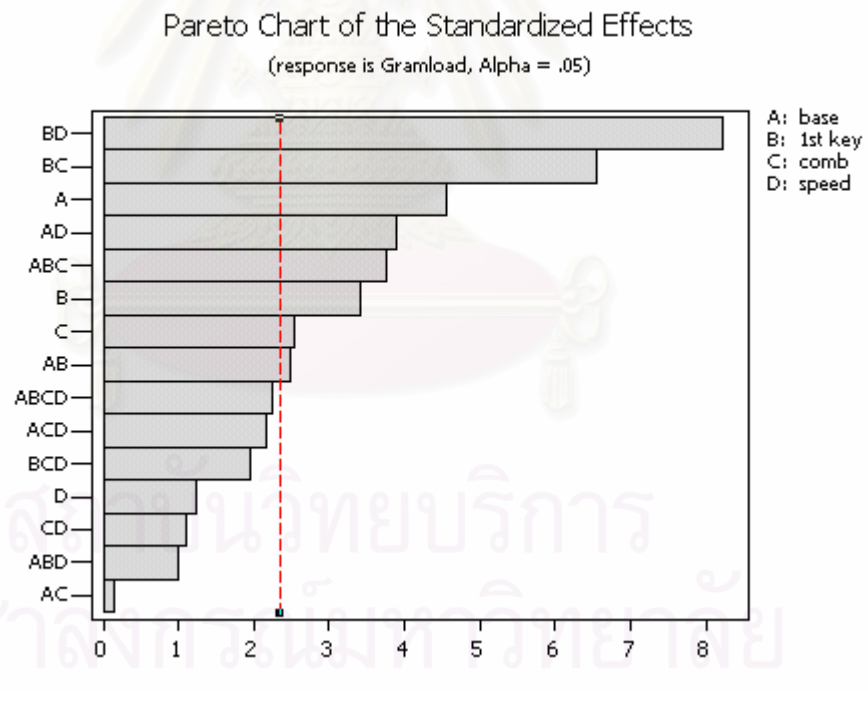
สรุปผลจากการทดสอบความถูกต้องของตัวแบบของตัวแปรตอบสนอง (Gramload) ที่นำมาทดลองนี้ พบว่า ข้อมูลมีสมมติฐานตรงตามข้อกำหนดทั้ง 3 ข้อ คือ มีการกระจายเป็นแบบปกติ มีความเป็นอิสระต่อกัน และมีความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขของการออกแบบการทดลองที่ว่า $NID(0, \sigma^2)$

6.6 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

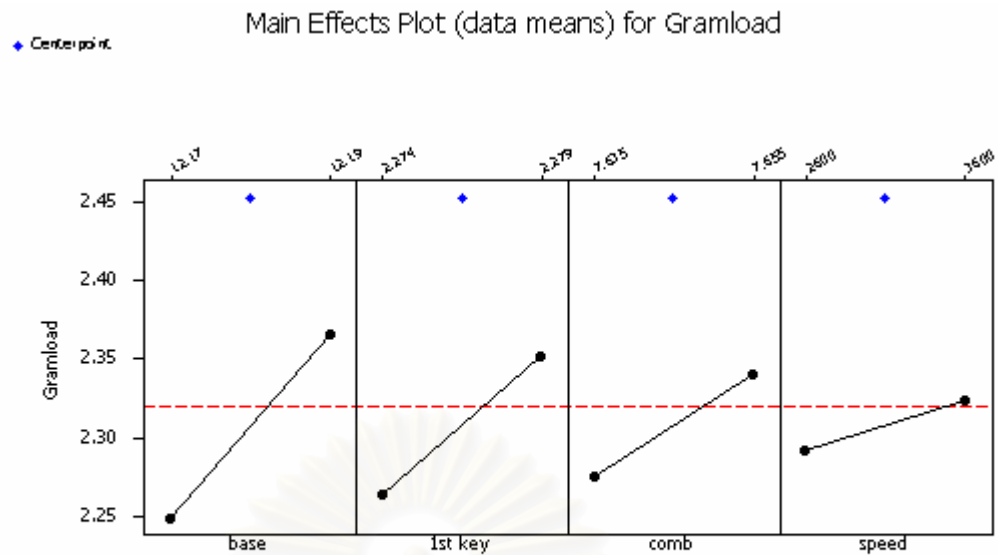
ในการวิเคราะห์ผลการของการออกแบบการทดลองเบื้องต้นด้วยโปรแกรม MINITAB สามารถแสดงผลของปัจจัยหลัก และอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญออกมาในรูปแบบของ Normal Probability Plot และแผนภูมิพาเรโต แสดงในรูปที่ 6.5 และ 6.6 ตามลำดับ รวมถึงแสดงผลของการออกแบบการทดลองของผลหลักของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง (Gramload) ดังแสดงในรูปที่ 6.7 กับผลของอันตรกิริยาของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง (Gramload) ดังแสดงในรูปที่ 6.8



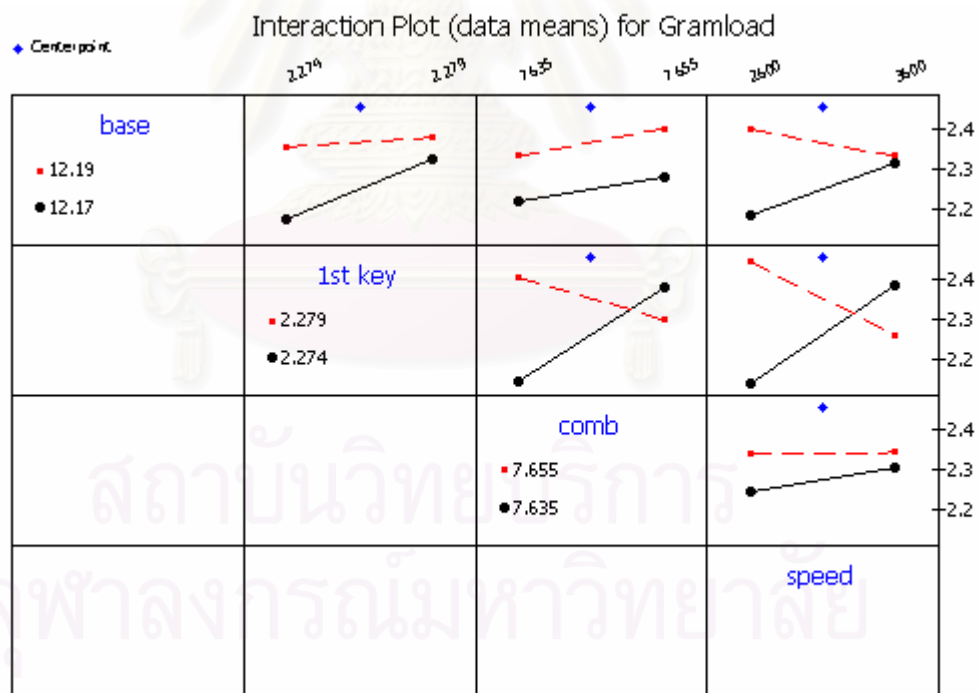
รูปที่ 6.5 กราฟ Normal Probability Plot แสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญ



รูปที่ 6.6 แผนภูมิพาเรโต แสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญ



รูปที่ 6.7 ผลหลักของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง



รูปที่ 6.8 ภาพอันตรกิริยาของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง

จากการวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม MINITAB สามารถแสดงผลการวิเคราะห์การ
 ออกแบบการทดลอง ได้ดังตารางที่ 6.4

ตารางที่ 6.4 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง (Coded Units)

Fractional Factorial Fit: Gramload versus base, 1st key, comb, speed						
Estimated Effects and Coefficients for Gramload (coded units)						
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P	
Constant		2.3203	0.01239	187.26	0.000	
base	0.1181	0.0591	0.01296	4.56	0.000	
1st key	0.0881	0.0441	0.01296	3.40	0.003	
comb	0.0656	0.0328	0.01296	2.53	0.020	
speed	0.0319	0.0159	0.01296	1.23	0.234	
base*1st key	-0.0644	-0.0322	0.01296	-2.48	0.022	
base*comb	0.0031	0.0016	0.01296	0.12	0.905	
base*speed	-0.1006	-0.0503	0.01296	-3.88	0.001	
1st key*comb	-0.1694	-0.0847	0.01296	-6.54	0.000	
1st key*speed	-0.2131	-0.1066	0.01296	-8.22	0.000	
comb*speed	-0.0281	-0.0141	0.01296	-1.09	0.291	
base*1st key*comb	-0.0969	-0.0484	0.01296	-3.74	0.001	
base*1st key*speed	-0.0256	-0.0128	0.01296	-0.99	0.335	
base*comb*speed	-0.0556	-0.0278	0.01296	-2.15	0.045	
1st key*comb*speed	-0.0506	-0.0253	0.01296	-1.95	0.066	
base*1st key*comb*speed	-0.0581	-0.0291	0.01296	-2.24	0.057	
Analysis of Variance for Gramload (coded units)						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	4	0.21634	0.216337	0.054084	10.06	0.000
2-Way Interactions	6	0.71344	0.713444	0.118907	22.13	0.000
3-Way Interactions	4	0.12559	0.125587	0.031397	5.84	0.003
4-Way Interactions	1	0.02703	0.027028	0.027028	5.03	0.057
Residual Error	19	0.10210	0.102100	0.005374		
Curvature	1	0.05808	0.058084	0.058084	23.75	0.000
Pure Error	18	0.04402	0.044017	0.002445		
Total	34	1.18450				

จากผลการทดลองใน ปัจจัยหลัก (Main Effect) และ อันตรกิริยา (Interaction Effect) ที่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ประกอบด้วย

ปัจจัยหลัก (Main Effect)

- ความหนาของ 1st key
- ความสูงของฐาน shuttle
- ระยะห่างของ Comb Tower Slot

อันตรกิริยา (Interaction Effect)

- ความสูงของฐาน และความหนาของ 1st key
- ความสูงของฐาน และความเร็วของเครื่อง swaging
- ความหนาของ 1st key และระยะห่างของ Comb Tower Pin Slot
- ความหนาของ 1st key และความเร็วของเครื่อง swaging
- ความสูงของฐาน ความหนาของ 1st key และระยะห่างของ Comb Tower Pin Slot

ส่วนจุดศูนย์กลาง (Center Point) แสดงถึงรูปแบบของการทดลองที่มีลักษณะของส่วนโค้งเกิดขึ้น โดยดูได้จากค่า Curvature ในตารางที่ 6.4 ที่มีค่า P-Value เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05

6.7 ค่าเงื่อนไขของปัจจัยที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ

เพื่อเป็นการวินิจฉัยและสร้างตัวแบบสำหรับความสัมพันธ์ของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญนี้จะนำหลักการของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Regression Analysis) มาช่วยในการวิเคราะห์ดังนี้ คือ

6.7.1 ตัวแบบถดถอย

จากตารางที่ 6.4 พบว่ารูปแบบของการทดลองนี้มีลักษณะส่วนโค้ง (Curvature) ซึ่งสามารถหาสมการถดถอยที่เป็นตัวแทนของการทดลองได้ดังนี้

$$Y = 2.3203 + 0.0591\text{base} + 0.0441 \text{ 1}^{\text{st}} \text{ key} + 0.0328\text{comb} - 0.0322\text{base}*\text{1}^{\text{st}} \text{ key} - 0.0503\text{base}*\text{speed} + 0.0847 \text{ 1}^{\text{st}} \text{ key}*\text{comb} - 0.1066 \text{ 1}^{\text{st}} \text{ key}*\text{speed} - 0.0484\text{base}*\text{1}^{\text{st}} \text{ key}*\text{comb}$$

6.7.2 ค่าเงื่อนไขที่เหมาะสมจากการทดลอง

เนื่องจากการทดลองนี้มีลักษณะของส่วนโค้ง (Curvature) เกิดขึ้นจึงไม่สามารถที่จะสรุปผลการวิเคราะห์ด้วยการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^k เป็น 2^4 Full Factorial Design ที่มีการทำซ้ำ 2 ครั้ง และมีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง (Center Point) เข้าไป 3 จุด

ดังนั้นจึงต้องนำปัจจัยที่มีผลต่อค่าตัวแปรตอบสนองทั้ง 4 ปัจจัย คือ ความหนาของ 1^{st} key ความสูงของฐาน shuttle ระยะห่างของ Comb Tower Slot และความเร็วของเครื่อง swaging มาทำการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองที่มีลักษณะของส่วนโค้ง (Curvature) ใหม่ โดยใช้วิธีการพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Method) แบบส่วนประสมกลางที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง (Central Composite Design with Center Point) ซึ่งมีขั้นตอนในการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

6.8 การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง (Central Composite Design with Center Point)

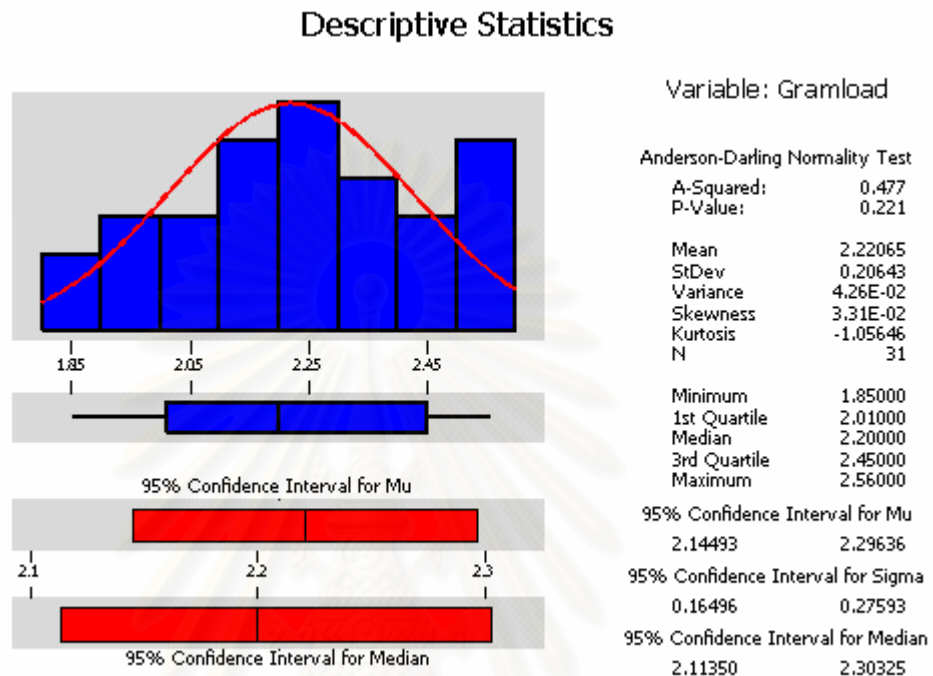
การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง (Central Composite Design with Center Point) เข้าไป 7 จุด ทั้งนี้ เนื่องจากสมมติฐานเกี่ยวกับความเป็นเชิงเส้น (Linearity) ของการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^k เป็น 2^4 Full Factorial Design ที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลางเข้าไป 3 จุดข้างต้นนั้น ไม่สามารถวิเคราะห์ผลที่ถูกต้องของรูปแบบการทดลองนี้ได้ เพราะจากรูปแบบการทดลองมีลักษณะของส่วนโค้ง (Curvature) เกิดขึ้น จึงทำการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการแบบส่วนประสมกลางที่มีการเพิ่มลักษณะกำลังสอง (Second Order) ได้โดยจะทำการทดลองเป็นการทดลองแบบสุ่มรวมทั้งสิ้น 31 การทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 6.5

ตารางที่ 6.5 ตารางแสดงผลการทดลอง

StdOrder	RunOrder	Blocks	base	1st key	comb	speed	Gramload
9	1	1	12.17	2.2740	7.6350	3600	2.45
14	2	1	12.19	2.2740	7.6550	3600	2.56
7	3	1	12.17	2.2790	7.6550	2600	2.20
19	4	1	12.18	2.2764	7.6450	3100	2.16
22	5	1	12.18	2.2765	7.6455	3100	2.30
1	6	1	12.17	2.2740	7.6350	2600	2.10
27	7	1	12.18	2.2765	7.6450	3100	2.20
12	8	1	12.19	2.2790	7.6350	3600	2.48
24	9	1	12.18	2.2765	7.6450	3125	2.01
4	10	1	12.19	2.2790	7.6350	2600	1.98
23	11	1	12.18	2.2765	7.6450	3075	2.10
21	12	1	12.18	2.2765	7.6445	3100	2.31
10	13	1	12.19	2.2740	7.6350	3600	2.51
30	14	1	12.18	2.2765	7.6450	3100	2.33
25	15	1	12.18	2.2765	7.6450	3100	2.12
3	16	1	12.17	2.2790	7.6350	2600	1.88
16	17	1	12.19	2.2790	7.6550	3600	2.51
26	18	1	12.18	2.2765	7.6450	3100	2.20
11	19	1	12.17	2.2790	7.6350	3600	2.45
2	20	1	12.19	2.2740	7.6350	2600	2.00
20	21	1	12.18	2.2766	7.6450	3100	2.15
31	22	1	12.18	2.2765	7.6450	3100	2.29
13	23	1	12.17	2.2740	7.6550	3600	2.51
8	24	1	12.19	2.2790	7.6550	2600	1.85
18	25	1	12.1805	2.2765	7.6450	3100	2.24
28	26	1	12.18	2.2765	7.6450	3100	2.30
6	27	1	12.19	2.2740	7.6550	2600	1.96
5	28	1	12.17	2.2740	7.6550	2600	1.99
29	29	1	12.18	2.2765	7.6450	3100	2.20
15	30	1	12.17	2.2790	7.6550	3600	2.50
17	31	1	12.1795	2.2765	7.6450	3100	2.00

6.8.1 การตรวจความถูกต้องของแบบจำลอง

ผลของการทดลองที่ได้จากการทดลองทั้ง 31 การทดลองนั้น สามารถสรุปผลค่าตัวแปรตอบสนอง (Gramload) ได้ดังรูปที่ 6.9



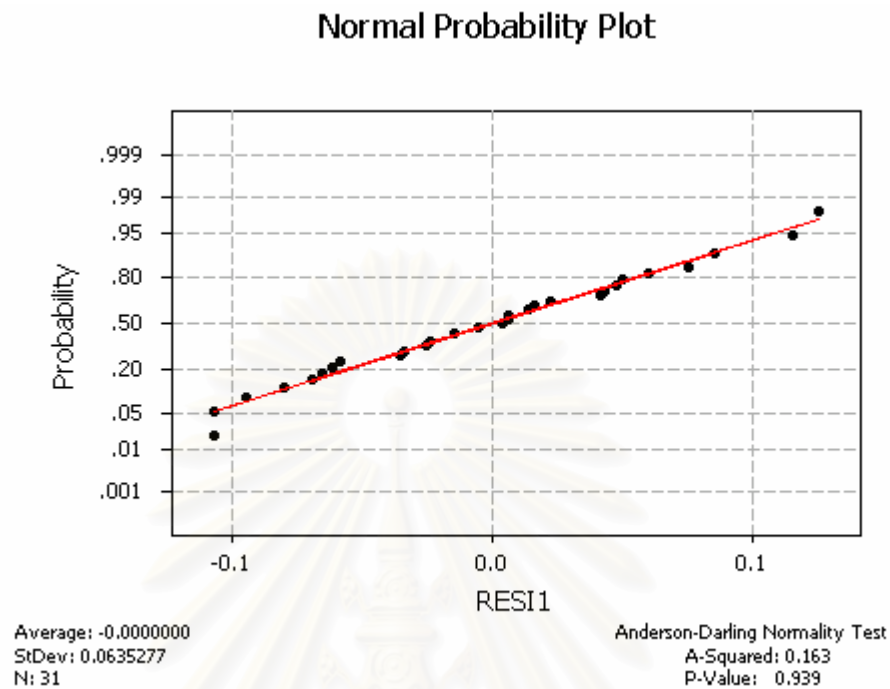
รูปที่ 6.9 แผนภูมิแสดงสถิติเชิงพรรณนาของค่าตัวแปรตอบสนอง (Gramload)

ในการออกแบบการทดลองนั้น จะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขที่สำคัญ คือ NID ($0, \sigma^2$) จึงต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) ว่าเป็นไปตามเงื่อนไขของ NID ($0, \sigma^2$) หรือไม่ โดยการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองประกอบด้วย การทดสอบข้อกำหนดเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อนของการทดลองภายใต้เงื่อนไข 3 ประการ คือ ข้อมูลเป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน และความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์ และสรุปผลของการออกแบบการทดลอง ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นปกติ

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นปกติ (Normality Assumption) สามารถตรวจสอบด้วยการกระจายของค่าส่วนตกค้างของค่าตัวแปรตอบสนอง (Gramload) ซึ่งกราฟการกระจายของค่าส่วนตกค้างค่าตัวแปรตอบสนอง (Gramload) ที่ได้เป็น

เส้นตรง และมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 นั่นคือ ข้อมูลเป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ ดังรูปที่ 6.10

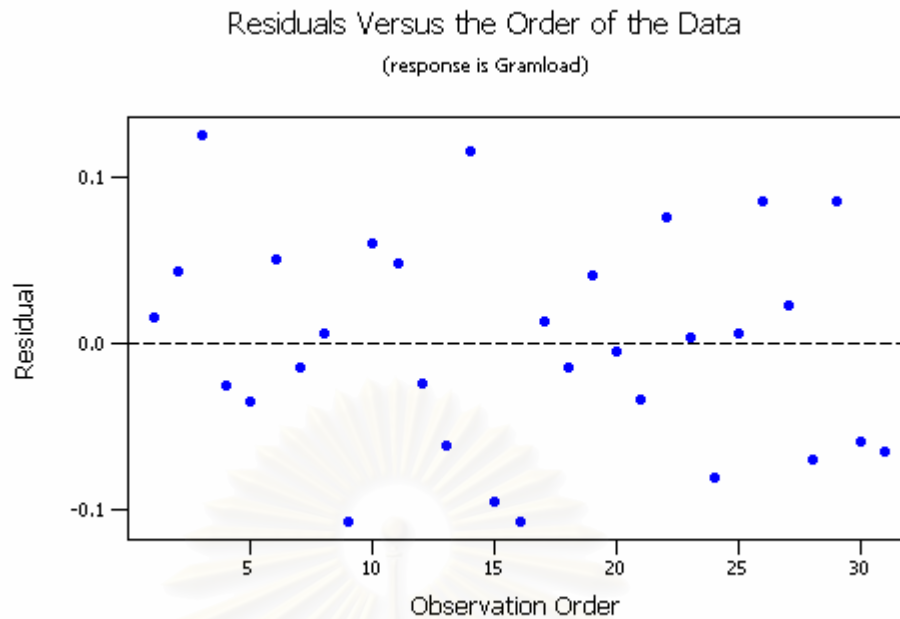


รูปที่ 6.10 กราฟแสดงการกระจายของค่าส่วนตกค้าง

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ (Independent)

การทดสอบสมมติฐานความเป็นอิสระ (Independent) สามารถตรวจสอบ โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับ ลำดับความต่อเนื่องในแนวนอนหรือมีรูปแบบใดๆ ควรที่จะมีการกระจายตัวที่ไม่มี รูปแบบที่แน่นอน

จากกราฟที่แสดงในรูปที่ 6.11 ค่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่ เป็นรูปแบบ ดังนั้นสรุปได้ว่า ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน

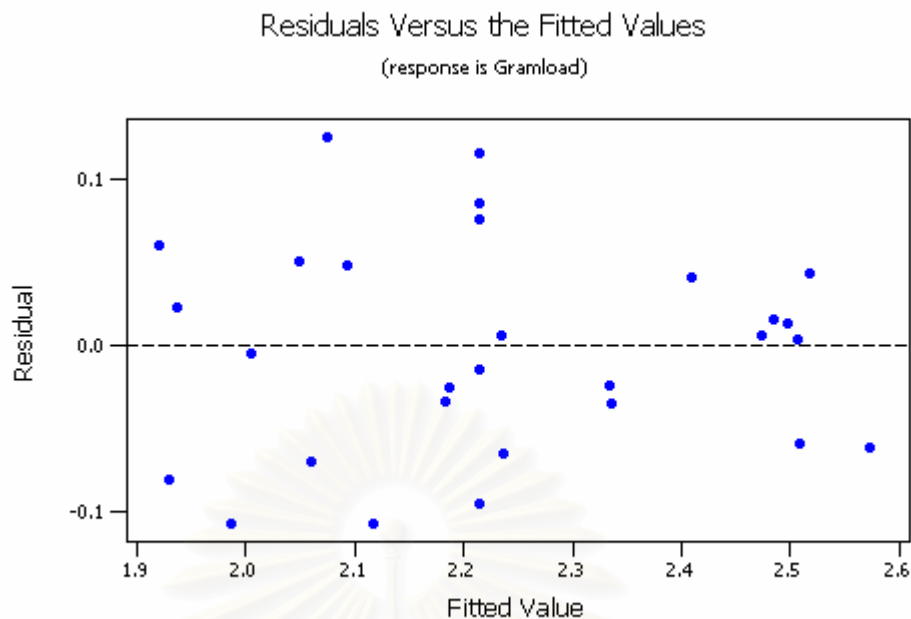


รูปที่ 6.11 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและลำดับของข้อมูล

ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability)

ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) สามารถตรวจสอบได้โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากตัวแบบถดถอย แสดงในรูปที่ 6.12 ซึ่งแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม ควรที่จะจะมีการกระจายตัวเป็นรูปแบบที่แน่นอน

จากกราฟสังเกตได้ว่า ค่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบ ดังนั้นสรุปได้ว่า ข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน



รูปที่ 6.12 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิต

สรุปผลจากการทดสอบความถูกต้องของตัวแบบของตัวแปรตอบสนอง (Gramload) ที่นำมาทดลองนี้ พบว่า ข้อมูลมีสมมติฐานตรงตามข้อกำหนดทั้ง 3 ข้อ คือ มีการกระจายเป็นแบบปกติ มีความเป็นอิสระต่อกัน และมีความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขของการออกแบบการทดลองที่ว่า $NID(0, \sigma^2)$

6.8.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง (Center Point) เข้าไป 7 จุด สามารถวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม MINITAB สามารถแสดงผลจากการวิเคราะห์พื้นผิวตอบ ได้ดังตารางที่ 6.6

ตารางที่ 6.6 ผลการวิเคราะห์พื้นผิวตอบ (Coded Units)

Response Surface Regression: Gramload versus base, 1st key, comb, speed						
The analysis was done using coded units.						
Estimated Regression Coefficients for Gramload						
Term	Coef	SE Coef	T	P		
Constant	2.16	0.0276	78.247	0.000		
base	-0.04	0.0267	-1.363	0.192		
1st key	-0.00	0.0267	-0.089	0.930		
comb	-0.01	0.0267	-0.399	0.695		
speed	0.17	0.0267	6.191	0.000		
base*base	-21.48	26.1630	-0.821	0.424		
1st key*1st key	-19.48	26.1630	-0.744	0.467		
comb*comb	70.52	26.1630	2.696	0.016		
speed*speed	-29.48	26.1630	-1.127	0.277		
base*1st key	-0.07	0.0267	-2.645	0.018		
base*comb	-0.02	0.0267	-0.632	0.536		
base*speed	0.02	0.0267	0.726	0.479		
1st key*comb	0.03	0.0267	1.241	0.233		
1st key*speed	-0.01	0.0267	-0.211	0.836		
comb*speed	0.07	0.0267	2.551	0.021		
S = 0.1068 R-Sq = 81.4% R-Sq(adj) = 65.2%						
Analysis of Variance for Gramload						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	14	0.80125	0.80125	0.05723	5.02	0.001
Linear	4	0.46039	0.46039	0.11510	10.09	0.000
Square	4	0.15818	0.15818	0.03954	3.47	0.032
Interaction	6	0.18269	0.18269	0.03045	2.67	0.055
Residual Error	16	0.18253	0.18253	0.01141		
Lack-of-Fit	10	0.10959	0.10959	0.01096	0.90	0.579
Pure Error	6	0.07294	0.07294	0.01216		
Total	30	0.9				

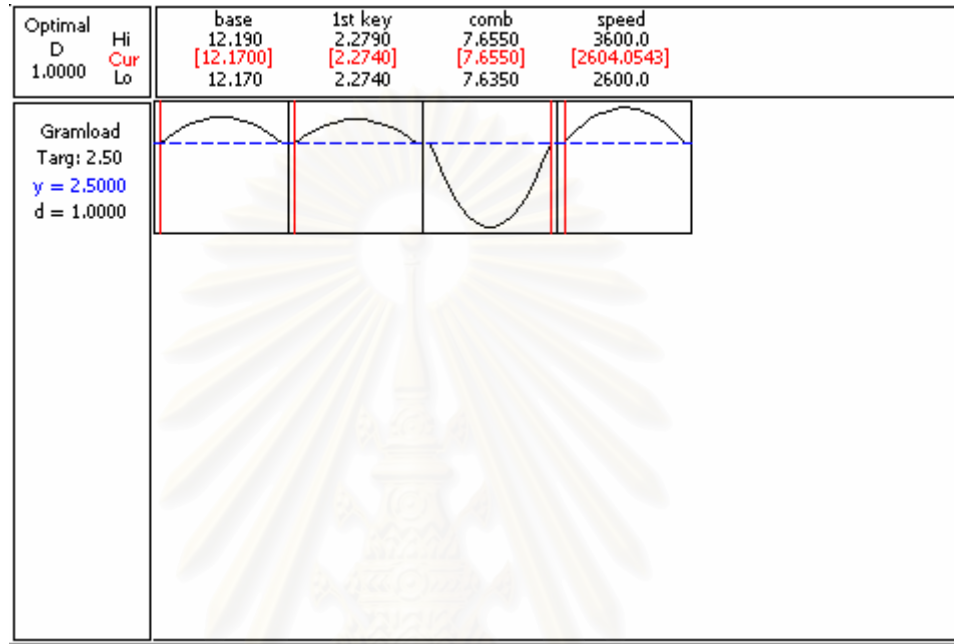
ผลจากตารางที่ 6.6 นี้ พบว่า ค่า P-Value ของ Lack-of-Fit เท่ากับ 0.579 ซึ่งมากกว่า 0.05 แสดงให้ว่ารูปแบบของการทดลองมีความเหมาะสมกับข้อมูล มีค่า R^2 เท่ากับ 81.4% และ R^2 (adj) เท่ากับ 65.2% จากค่า P-Value ของค่า Square เท่ากับ 0.032 และ Interaction เท่ากับ 0.055 ซึ่งน้อยกว่า และใกล้เคียงกับ 0.05 แสดงว่ารูปแบบของการทดลองนี้มีลักษณะของพจน์ที่เป็นสมการกำลังสอง (Second Order) รวมอยู่ด้วย และเป็นลักษณะส่วนโค้ง (Curvature) ซึ่งสามารถหาสมการถดถอยที่เป็นตัวแทนของการทดลองได้ดังนี้

$$Y = 0.0276 + 0.0267*speed + 26.1630*comb*comb + 0.0267*base*1^{st} key + 0.0267*comb*speed$$

6.8.3 ค่าเงื่อนไขของปัจจัยที่เหมาะสมจากการทดลอง

จากตัวแบบถดถอยข้างต้น สามารถพยากรณ์หาระดับที่เหมาะสมของการปรับค่าปัจจัยเกี่ยวข้อง เพื่อให้ได้ค่า Gramload ที่ดีที่สุด ซึ่งผลจากการวิเคราะห์แสดงได้ดังรูปที่

6.13



รูปที่ 6.13 ผลการวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ

จากรูปที่ 6.13 สามารถสรุประดับปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยนำเข้าที่สำคัญได้ดังตารางที่ 6.7

ตารางที่ 6.7 ตารางแสดงปัจจัยและการกำหนดค่าที่เหมาะสมของระดับ

ปัจจัย	การกำหนดค่าที่เหมาะสมของระดับ
ความสูงของฐาน shuttle	12.170 มิลลิเมตร
ความหนาของ 1 st key ของ shuttle	2.274 มิลลิเมตร
ระยะห่างของ Comb Tower Slot ของ shuttle	2.655 มิลลิเมตร
ความเร็วรอบของเครื่อง swaging	2600 rpm

6.9 สรุปขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการนี้ เป็นการนำปัจจัยนำเข้าจากขั้นตอนการวิเคราะห์ทั้ง 4 ปัจจัย ที่มีนัยสำคัญต่อค่า Gramload มาทำการทดลองเพื่อหาระดับของแต่ละปัจจัยที่เหมาะสม โดยออกแบบการทดลองเป็น 2^4 Full Factorial Design ที่มีการทำซ้ำ 2 ครั้ง และมีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง (Center Point) เข้าไป 3 จุด แต่จากการทำการทดลองพบว่า ไม่สามารถวิเคราะห์ผลที่ถูกต้องจากรูปแบบการทดลองนี้ได้ เนื่องจากรูปแบบของการทดลองมีลักษณะของส่วนโค้งเกิดขึ้น จึงจำเป็นต้องทำการทดลองด้วยวิธีการแบบส่วนประสมกลางที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลางเข้าไป 7 จุด

ซึ่งสามารถสรุปผลลัพธ์ของขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการได้เป็นปัจจัยที่มีนัยสำคัญ ส่งผลต่อค่า Gramload จากนั้นนำปัจจัยเหล่านี้ไปหาระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยเพื่อให้ค่า Gramload ที่ดีที่สุด และต้องทำการยืนยันผลการทดลองดังกล่าวก่อนนำไปใช้ในกระบวนการผลิตจริง

บทที่ 7

การทดสอบยืนยันผล

7.1 บทนำ

ในบทนี้เป็นการทดสอบเพื่อยืนยันผลสรุปของค่าของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้ง 4 ปัจจัย จากบทที่ 6 โดยจะทำการปรับค่าปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้ง 4 ปัจจัยตามค่าที่ได้กำหนดไว้ เพื่อตรวจสอบว่าค่าเฉลี่ยของค่า Gramload เป็นไปตามผลการทดลองหรือไม่ พร้อมกับนำงานดังกล่าวผ่านกระบวนการผลิตจนครบสมบูรณ์ เพื่อตรวจสอบค่าเฉลี่ยของ Gramload ของผลิตภัณฑ์ ในลักษณะชุดหัวอ่านสำเร็จรูป ในขั้นตอนการตรวจสอบก่อนส่งมอบให้ลูกค้า และพิจารณาปริมาณของของเสียที่เกิดขึ้นในหน่วย DPPM

7.2 ขั้นตอนการทดสอบยืนยันผล

7.2.1 จุดประสงค์ของการทดสอบ

- เพื่อตรวจสอบค่าเฉลี่ยของค่า Gramload หลังจากปรับค่าปัจจัยนำเข้าทั้ง 4 ปัจจัย คือ ความสูงของฐาน shuttle ความหนาของ 1st key ระยะห่างของ Comb Tower Pin Slot และ ความเร็วของเครื่อง swaging
- เพื่อตรวจสอบความสามารถของกระบวนการหลังจากปรับค่าปัจจัยนำเข้าทั้ง 4 ปัจจัย ที่กล่าวมาแล้ว

7.2.2 การเตรียมการทดลอง

- จำนวนสิ่งตัวอย่าง จะเก็บข้อมูลจากสิ่งตัวอย่างเป็นจำนวน 500 ตัว
- ทำการทดลองที่สภาพการปฏิบัติงานจริงของการผลิต

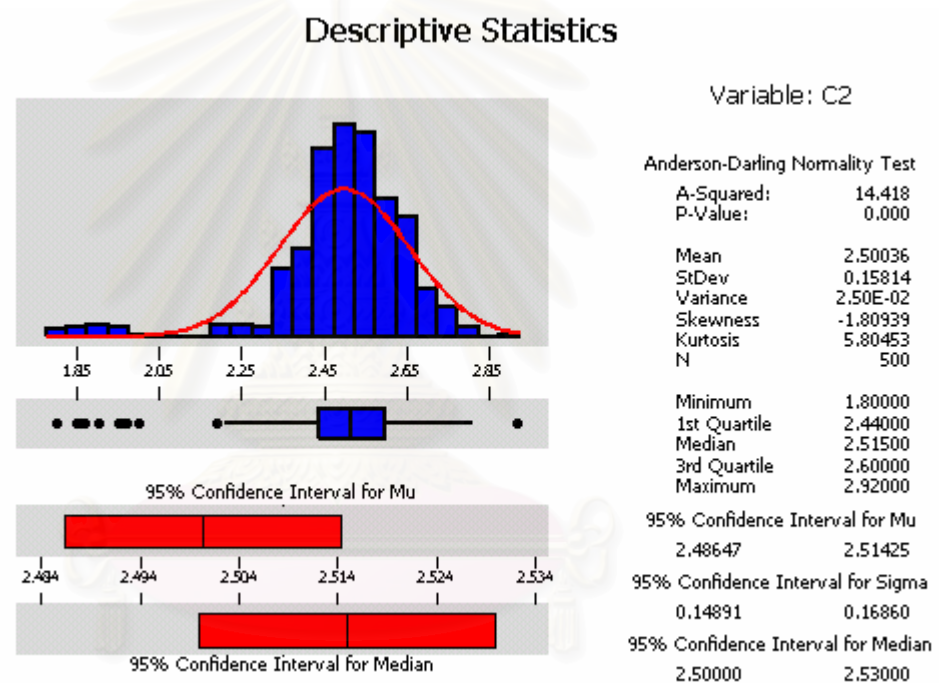
7.2.3 ขั้นตอนในการทดสอบ

นำสิ่งตัวอย่างที่เตรียมไว้ ผ่านเข้ากระบวนการผลิตชุดหัวอ่านสำเร็จรูปตามสภาพการปฏิบัติงานจริงของการผลิต และทำการเก็บข้อมูลของค่า Gramload ของชิ้นงานจากกระบวนการผลิตที่ได้ปรับค่าปัจจัยทั้ง 4 ตามที่ได้กำหนดไว้

7.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

7.3.1 ค่าเฉลี่ยของค่า Gramload

จากข้อมูลการทดสอบที่ได้ นำมาพล็อตกราฟการกระจายของค่าเฉลี่ยของค่า Gramload ดังแสดงในรูปที่ 7.1 พบว่า ค่าเฉลี่ยของค่า Gramload เท่ากับ 2.50 กรัม ซึ่งเพิ่มขึ้นจากเดิมประมาณ 0.2 กรัม จะเห็นได้ว่าที่สภาวะของปัจจัยทั้ง 4 ดังการทดสอบ สามารถที่จะเพิ่มค่าเฉลี่ยของค่า Gramload ได้จริง ดังนั้น จึงเลือกใช้สภาวะของปัจจัยทั้ง 4 ตามการทดลองไปใช้งานจริง เพื่อเพิ่มค่า Gramload

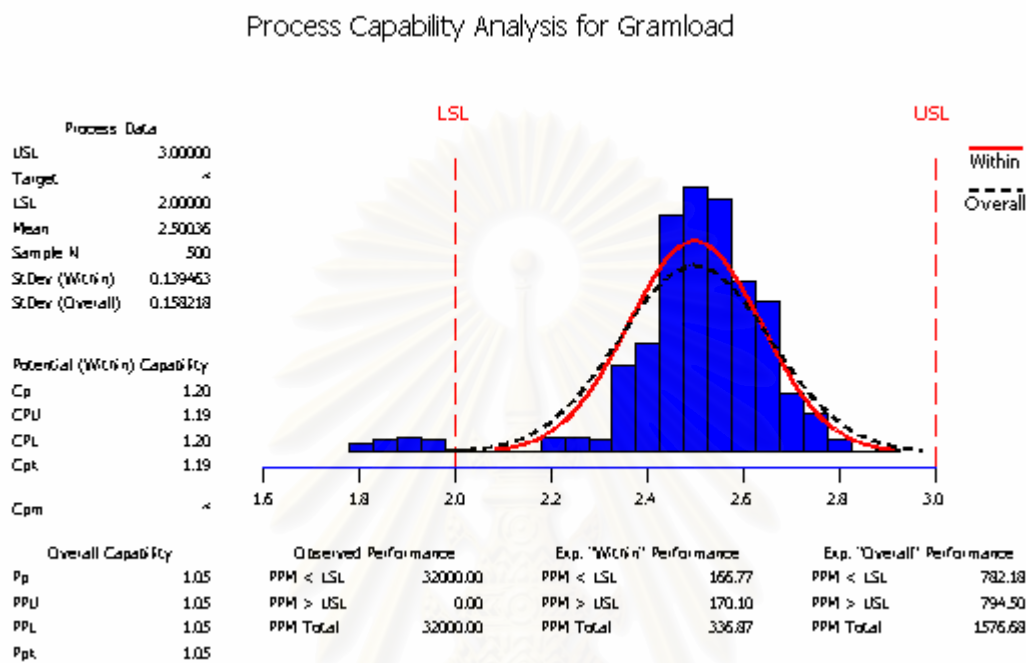


รูปที่ 7.1 กราฟการกระจายของค่าเฉลี่ยของค่า Gramload

7.3.2 ค่าความสามารถของกระบวนการผลิตชุดหัวอ่านสำเร็จ

จากข้อมูลทางการทดสอบที่ได้ นำมาวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ ซึ่งพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของค่า Gramload ตามข้อกำหนดของลูกค้า ความถึงค่า ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น (DPPM) ดังแสดงในรูป 7.2 พบว่าดัชนีความสามารถของ กระบวนการ (Cpk) เท่ากับ 1.19 ซึ่งเพิ่มขึ้นประมาณ 0.14 เมื่อเปรียบเทียบก่อนการ ปรับปรุงกระบวนการ และค่าปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นมีเพียง 1577 DPPM ซึ่งลดลง ประมาณ 7295 DPPM เมื่อเทียบก่อนการปรับปรุงกระบวนการ จะเห็นได้ว่า ที่

สภาวะของปัจจัยทั้ง 4 ดังการทดสอบ สามารถเพิ่มค่าดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการผลิต (Cpk) และลดค่าปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นได้จริง ดังนั้นจึงใช้สภาวะของปัจจัยทั้ง 4 ตัวตามการทดลองในการปฏิบัติงานจริง เพื่อเพิ่มค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการ (Cpk) และ ลดค่าปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น



รูปที่ 7.2 กราฟการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ

7.4 สรุปผลขั้นตอนการทดสอบยืนยัน

จากผลการทดสอบค่า Gramload พบว่า มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.50 กรัม ซึ่งเป็นค่าที่เพิ่มขึ้นจากเดิม จะเป็นไปตามข้อกำหนดของลูกค้าที่ดีที่สุด และมีปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นเพียง 1577 DPPM เพราะฉะนั้น สภาวะของปัจจัยทั้ง 4 คือ ความสูงของฐาน shuttle เท่ากับ 12.170 มิลลิเมตร ความหนาของ 1st key เท่ากับ 2.274 มิลลิเมตร ระยะห่างของ Comb Tower Pin Slot เท่ากับ 7.655 มิลลิเมตร และความเร็วของเครื่อง swaging เท่ากับ 2,600 rpm มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการปฏิบัติงานจริงในกระบวนการผลิต

แต่อย่างไรก็ตาม ผลการทดสอบนี้จะใช้เพียงเพื่อยืนยันถึงสภาวะการใช้งานของปัจจัยทั้ง 4 หลังการปรับปรุงว่าเหมาะสมหรือไม่ ในการศึกษาค่าดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะ และการพิจารณาปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยที่กำหนดนั้น ต้องทำการศึกษาหลังจากการเก็บข้อมูล ในระยะเวลา 30 วัน ซึ่งจะเก็บข้อมูลหลังจากกำหนดแผนการควบคุมปัจจัยทั้ง 4 และนำไปใช้งานจริงแล้ว ดังจะได้กล่าวในรายละเอียดในบทต่อไป

บทที่ 8

การควบคุมกระบวนการผลิต

8.1 บทนำ

การควบคุมกระบวนการผลิตที่จะกล่าวในบทนี้ ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายในวิธีการ ชิกซ์ ซิกมา เพื่อจุดประสงค์ในการตรวจสอบและควบคุมปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่ได้จากการวิเคราะห์ผล และได้ทดสอบเพื่อยืนยันผลการสรุปเรียบร้อยแล้ว ได้แก่ ความสูงของฐาน shuttle ความหนาของ 1st key ระยะห่างของ Comb Tower Pin Slot และความเร็วของเครื่อง swaging โดยการนำความรู้แล เครื่องมือทางสถิติเกี่ยวกับการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ (Statistic Process Control) มาประยุกต์ใช้

จากการทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับตัวแปรที่เหมาะสมต่อตัวแปรตอบ สมอง Gramload ได้ผลสรุปว่าดังนี้

- shuttle ควรตั้งค่าความสูงของฐาน shuttle เท่ากับ 12.170 มิลลิเมตร ความหนาของ 1st key เท่ากับ 2.274 มิลลิเมตร และระยะห่างของ comb tower pin slot เท่ากับ 7.655 มิลลิเมตร
- เครื่อง swaging ควรตั้งค่าความเร็วรอบของเครื่องเท่ากับ 2,600 rpm

8.2 แผนการควบคุม

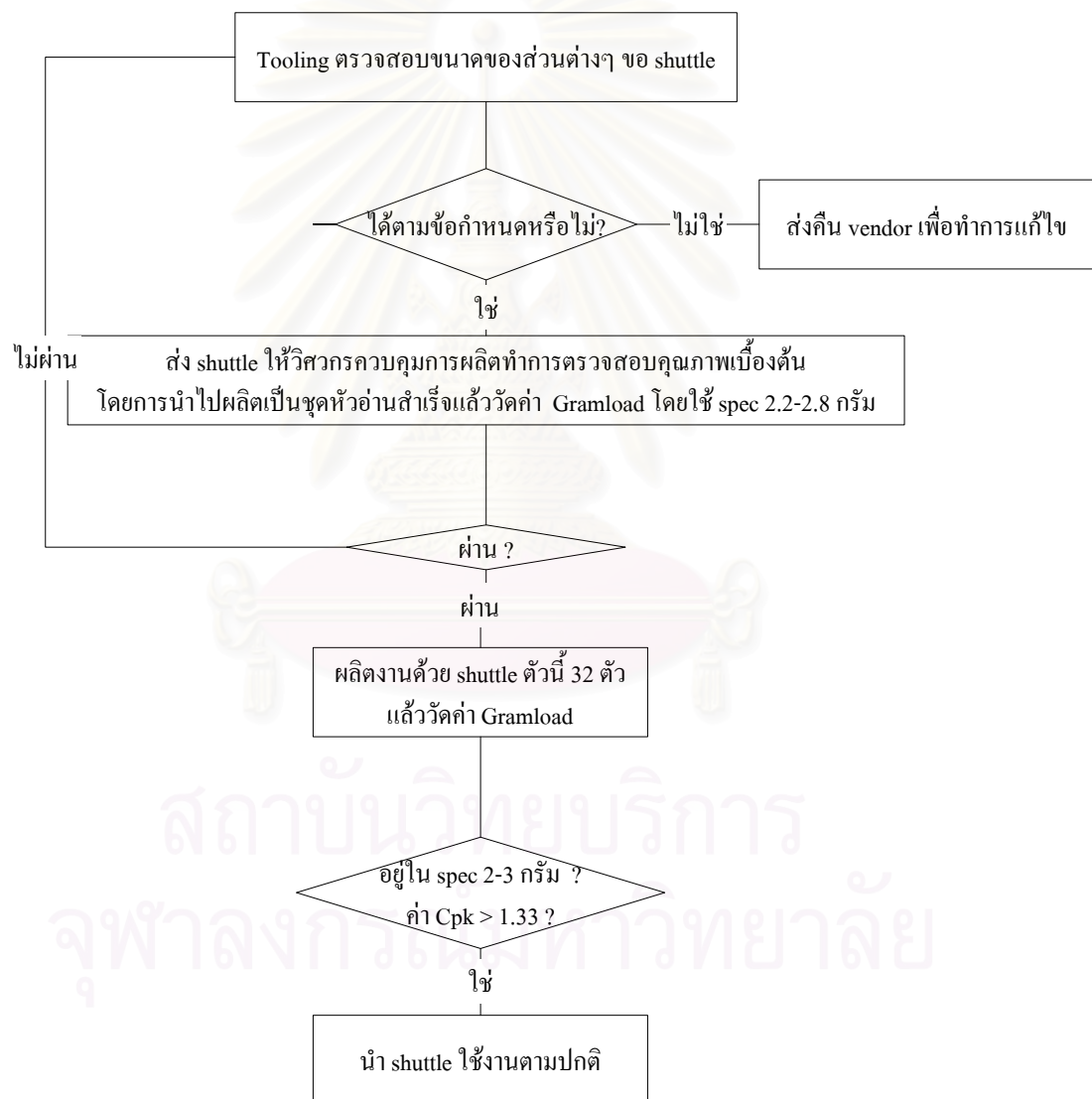
8.2.1. ปัจจัยควบคุม

หลังจากตั้งค่า shuttle และเครื่อง swaging ตามที่กำหนดไว้สำหรับการผลิต ชุดหัวอ่านสำเร็จ ของการผลิตจริง สิ่งที่จะต้องทำการควบคุม

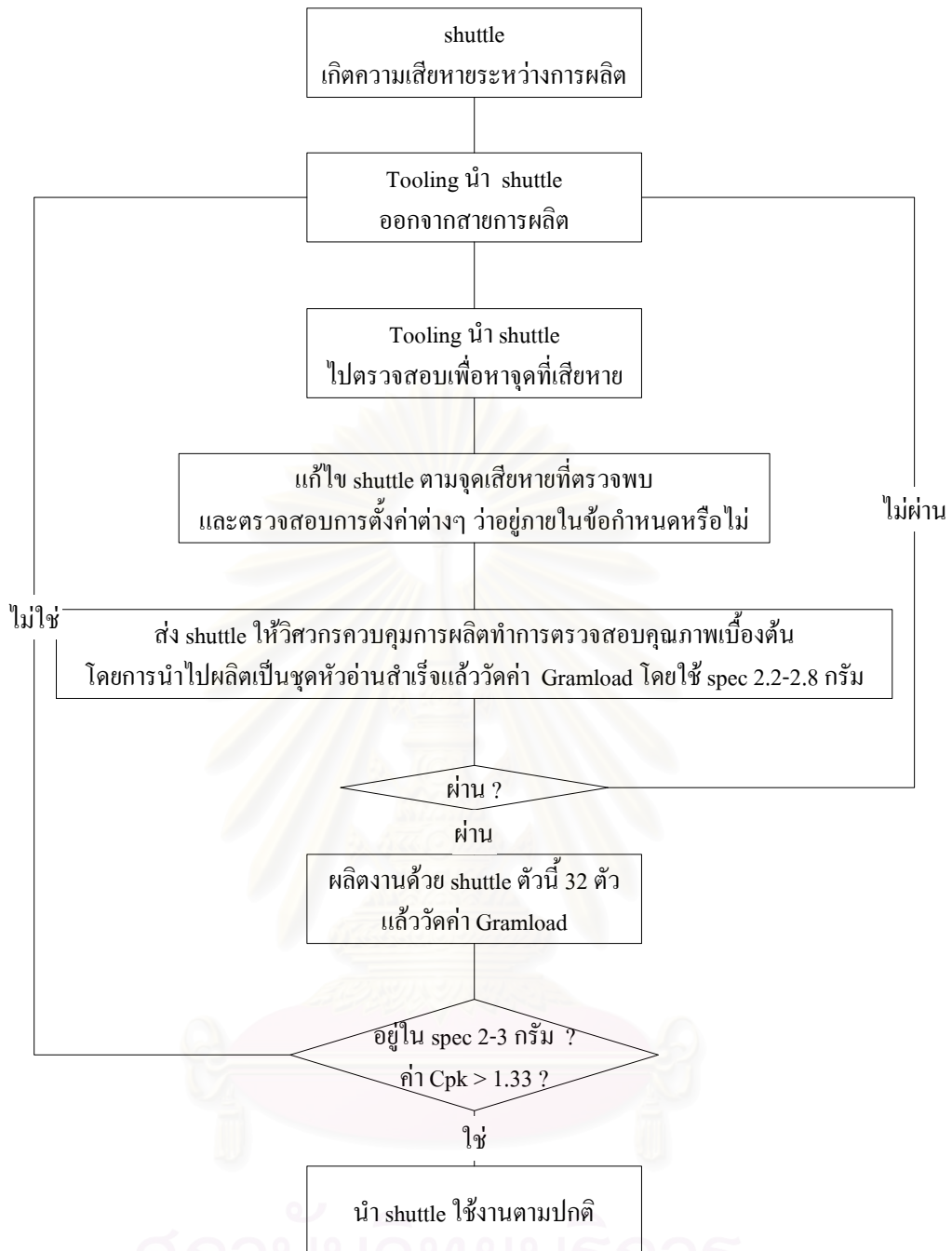
- คุณภาพของ shuttle ควรตั้งค่าความสูงของฐาน shuttle เท่ากับ 12.170 มิลลิเมตร ความหนาของ 1st key เท่ากับ 2.274 มิลลิเมตร และระยะห่างของ comb tower pin slot เท่ากับ 7.655 มิลลิเมตร
- คุณภาพของเครื่อง swaging ควรตั้งค่าความเร็วรอบของเครื่องเท่ากับ 2,600 rpm

8.2.1.1. คุณภาพของ shuttle ที่ใช้ในงานผลิต

ในการควบคุมคุณภาพของ shuttle เพื่อให้ค่า Gramload มีค่าใกล้เคียงค่าค่ากลางมากที่สุด สามารถทำได้โดยแบ่งเป็นการตรวจสอบคุณภาพของ shuttle ใหม่ การซ่อมบำรุง shuttle เมื่อเกิดความเสียหาย และการตรวจเช็ค shuttle เมื่อค่าตัวแปรตอบสนอง Gramload ไม่ได้ตามข้อกำหนด โดยในแต่ละกรณี จะมีวิธีการปฏิบัติ และแก้ไขปัญหา (Out of Control Action Plan : OCAP) แตกต่างกันไป ดังแสดงในรูปที่ 8.1 , 8.2 และ 8.3 ตามลำดับ

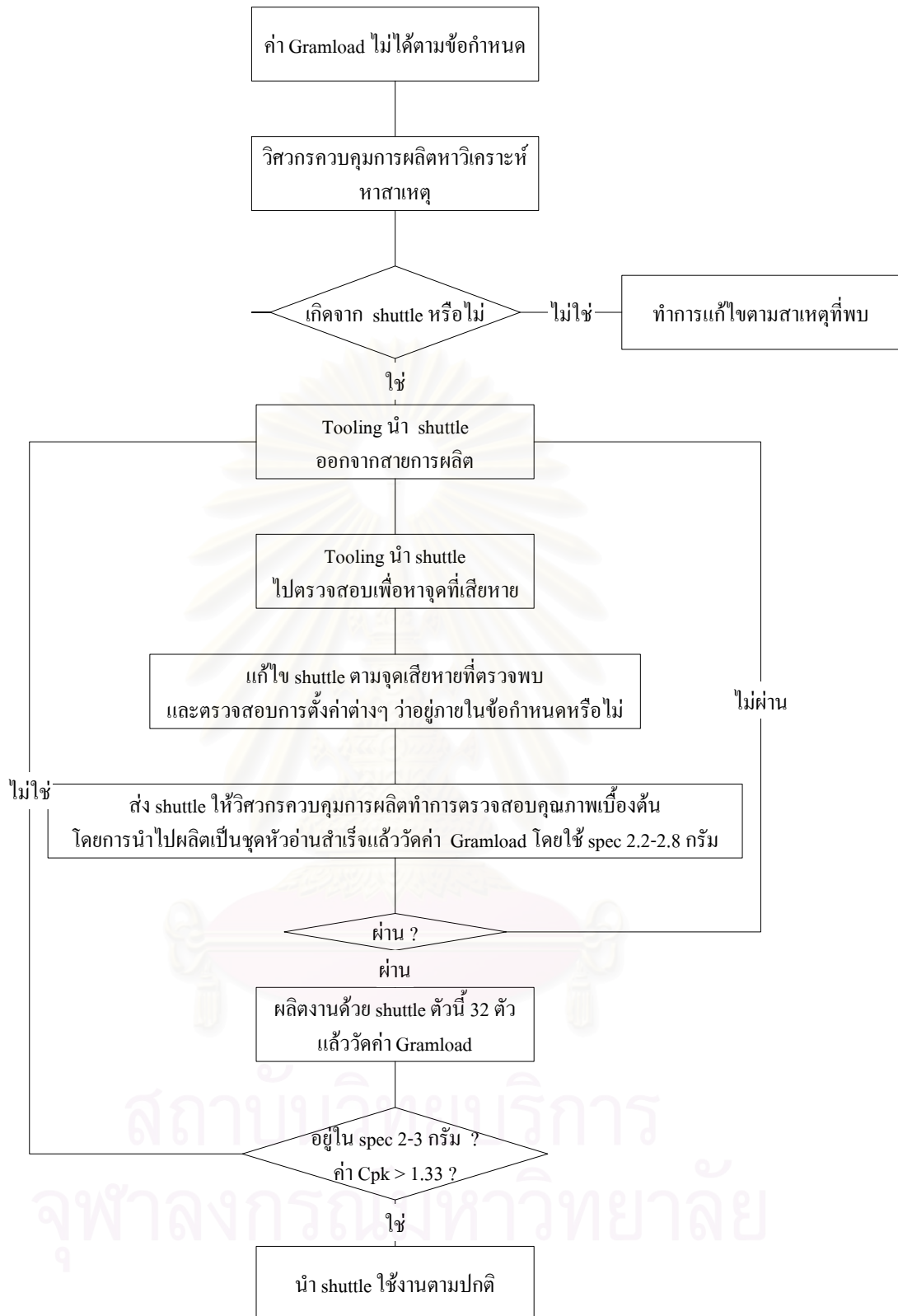


รูปที่ 8.1 OCAP สำหรับ shuttle ใหม่



รูปที่ 8.2 OCAP สำหรับ shuttle ที่เกิดความเสียหายระหว่างการผลิต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 8.3 OCAP สำหรับ shuttle ที่ค่า Gramload ไม่ได้ตามข้อกำหนด

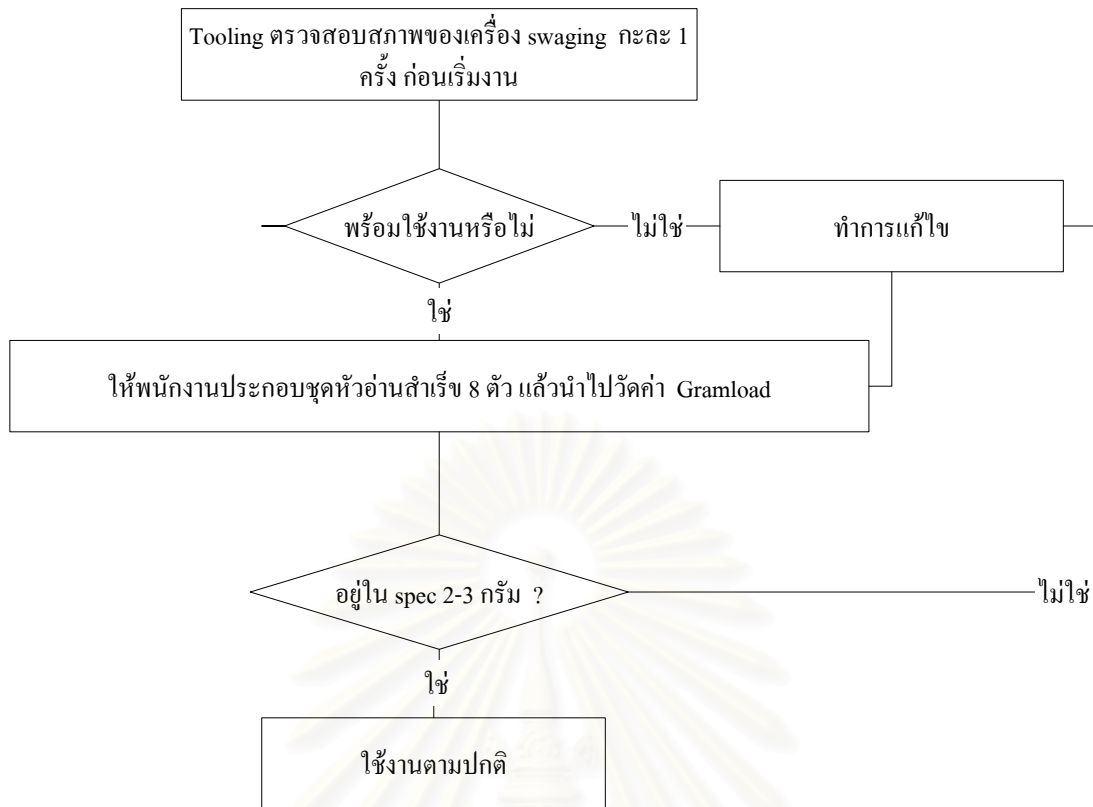
โดยในการตรวจสอบ shuttle ของทุกปัญหาที่พบจะต้องมีการลงบันทึกข้อมูลไว้
 ดังแสดงในตารางที่ 8.1

ตารางที่ 8.1 การบันทึกข้อมูลสำหรับการแก้ปัญหา และตรวจเช็ค shuttle

Shuttle Tracking													
WW	Date	Shuttle no	Model	Line	Observation Finding								
Dimension Verification													
Tool Ball	Mount Plate	Pivot Guide Pin	Lock Pin Hold	Comb Tower HA	Comb Tower Gap Slot	Tang Datum	1st Key Thicks	2nd Key Thicks	3rd Key Thicks	4th Key Thicks	Received Date	Completed Date	Person in charge
Process Buy Off				Received Date	Completed Date	Person in charge	Remark						
H/A	G/L	A/H	A/P										
QC Buy Off				Received Date	Completed Date	Person in charge	Remark						
H/A	G/L	A/H	A/P										

8.2.1.2. คุณภาพของเครื่อง swaging ที่ใช้ในการผลิต

ในการควบคุมคุณภาพของ เครื่อง swaging ก็มีความสำคัญต่อค่า Gramload เช่นกัน เนื่องจากการตั้งค่าของเครื่อง swaging มีความสัมพันธ์กับการตั้งค่าของ shuttle ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมคุณภาพของ เครื่อง swaging ด้วยเช่นกัน วิธีการปฏิบัติ และแก้ไขปัญหา (Out of Control Action Plan : OCAP) สำหรับเครื่อง swaging ดังแสดงในรูปที่ 8.4



รูปที่ 8.4 OCAP สำหรับเครื่อง swaging

โดยในการตรวจสอบเครื่อง swaging ของทุกปัญหาที่พบจะต้องมีการลงบันทึกข้อมูลไว้
 ดังแสดงในตารางที่ 8.2

ตารางที่ 8.2 การบันทึกข้อมูลสำหรับการแก้ปัญหา และตรวจเช็คเครื่อง swaging

Preventive Maintenance Checklist							
Fixture: Swage Press		Module : _____			Date Perform : _____		
S/No : _____		Model: _____			Date Due: _____		
Performed by : _____							
A. Timed Based Replacement		Done	Condition before replacement			Recycle	Remarks
1	Daily Checking		Good	Fair	Bad		
	a. Swage pin						
B. Driven Motor						Remarks	
2	Tension of timing belt	Good	Too tight	Too loosen	Crack		
3	Make sure the tightening of set screw of pulley	Good	Fail	Rect.	Pending		
4	Make sure speed is in specification						
5	Abnormal sound from motor	No	slightly	Yes	others		
C. Slider unit							
6	Wear and Tear of slider screw	Good	Fail	Rect.	Pending	Worn	Torn
						Dented	Others:

8.2.2. การประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม

แผนการควบคุมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้ง 4 ปัจจัยที่กำหนด หลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อเป็นการควบคุมให้ปัจจัยทั้ง 4 นี้อยู่ในค่าที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลอง โดยได้ทำการเปลี่ยนแปลงค่าที่เหมาะสมของปัจจัยทั้ง 4 ดังได้กล่าวมาแล้ว

และได้ทำการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมแบบ \bar{X} and R มาใช้ในการตรวจจับและควบคุมปัจจัยทั้ง 4 ตัวว่าอยู่ในสภาวะตามที่ต้องการหรือไม่ โดยพิจารณาจากค่าตัวแปรตอบสนอง (Gramload) โดยรายละเอียดของแผนภูมิควบคุมที่ประยุกต์ใช้มีดังนี้ คือ

○ ขนาดสิ่งตัวอย่าง

การกำหนดขนาดสิ่งตัวอย่างในการตรวจสอบ จะใช้จำนวนสิ่งตัวอย่าง 3 ตัวต่อการสุ่มวัดต่อช่วงเวลาที่กำหนด เนื่องจากเป็นจำนวนที่เหมาะสมและเป็นไปตามเอกสารควบคุมการผลิต ที่องค์กรกำหนดขึ้น และอีกเหตุผลหนึ่งคือ ทำให้ประหยัดเวลาในการวัดค่าของข้อมูลที่ต้องการ เนื่องจากกำลังการผลิตของเครื่องวัด และกำลังคนในการวัดมีอยู่อย่างจำกัด

○ ความถี่ในการชักสิ่งตัวอย่าง

เนื่องจากองค์กรมีการกำหนดขนาดตัวอย่างไว้ในเอกสารควบคุมการผลิต ซึ่งไม่สามารถแก้ไขได้ เพราะฉะนั้นความถี่ในการชักสิ่งตัวอย่างคือ 1 ครั้งต่อกะ (12 ชั่วโมง) ซึ่งหมายถึงจะชักสิ่งตัวอย่าง ทุกๆ 3 ชั่วโมง

○ วิธีการวัด

ให้พนักงานที่เกี่ยวข้องทำการสุ่มชิ้นงานจากกระบวนการผลิตตามช่วงระยะเวลาที่กำหนดไว้ จากนั้นให้นำงานดังกล่าวไปวัดค่า Gramload โดยการวัดใช้เครื่อง Gramlod Tester

○ กฎการตัดสินใจ

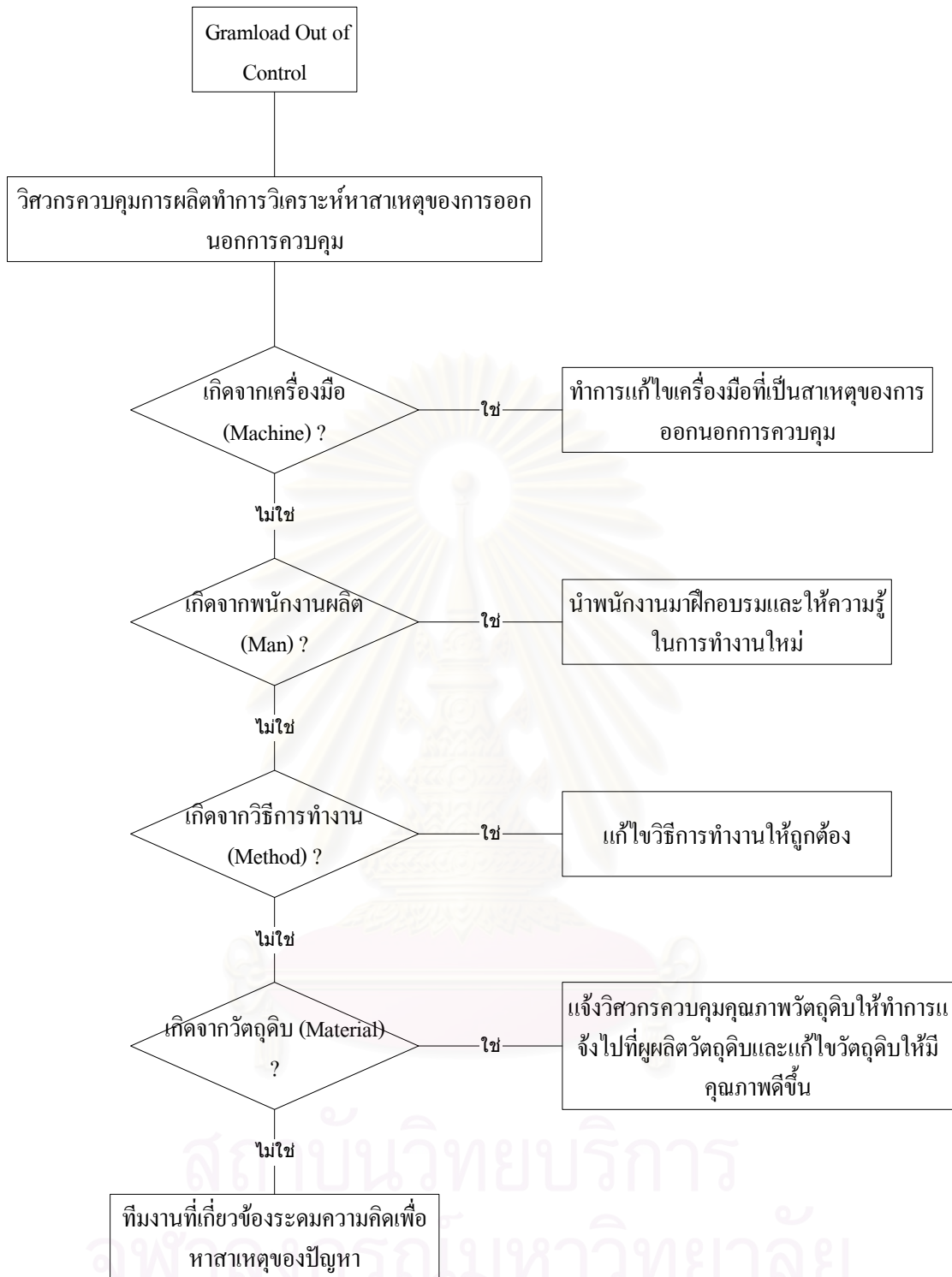
กฎในการตัดสินใจเกี่ยวกับลักษณะรูปแบบของข้อมูลในแผนภูมิควบคุมที่บ่งบอกถึงสภาวะของกระบวนการที่ออกนอกกระบวนการควบคุม จะอ้างอิงกฎในการตัดสินใจ 3 ข้อดังนี้

- ก) ค่าเฉลี่ยเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหัน : มี 1 จุดของข้อมูลล่าสุดออกนอกเส้นควบคุมขีดจำกัดบนหรือขีดจำกัดล่าง โดยที่จุดของข้อมูลที่ผ่านมาจำนวน 4-5 จุดส่วนใหญ่จะกระจายตัวอยู่รอบเส้นกึ่งกลาง

- ข) มีแนวโน้มเคลื่อนขึ้นหรือลง : ข้อมูลล่าสุดจำนวน 7 จุดมีแนวโน้มเคลื่อนตัวขึ้นหรือลงทิศทางใดทิศทางหนึ่ง
- ค) ค่าเฉลี่ยเปลี่ยนแปลงไป : ข้อมูลล่าสุดจำนวน 7 จุด มีแนวโน้มของค่าเฉลี่ยเปลี่ยนแปลง เมื่อเทียบกับข้อมูลในช่วงก่อนหน้า 7 จุดนี้

○ แผนการแก้ไขและป้องกันเพื่อเกิดสภาวะออกนอกการควบคุม

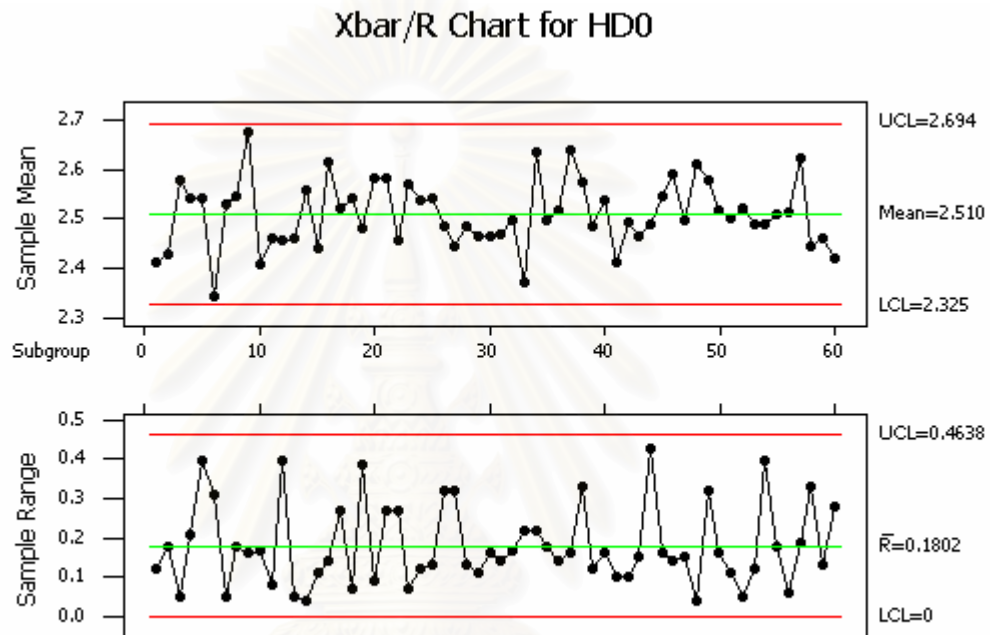
นอกจากนี้ยังได้กำหนดขั้นตอนการปฏิบัติเพื่อที่จะกำจัดหรือป้องกันข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น เมื่อข้อมูลของปัจจัยทั้งสองในแผนภูมิควบคุมการเกิดสภาวะนอกการควบคุม (Out of Control) ซึ่งอ้างอิงจากกฎการตัดสินใจทั้ง 3 ข้อ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว นั่นคือการจัดทำแผนการแก้ไขและป้องกันเมื่อข้อมูลเกิดสภาวะออกนอกการควบคุม (OCAP) โดยขั้นตอนในการวินิจฉัยและแก้ไขปัญหที่เกิดขึ้น ทั้งนี้เพื่อที่จะแก้ไขให้ปัจจัยทั้ง 4 เข้าสู่การควบคุมทางสถิติโดยเร็ว ซึ่งขั้นตอนการปฏิบัติแก้ไขแสดงดังรูปที่ 8.5



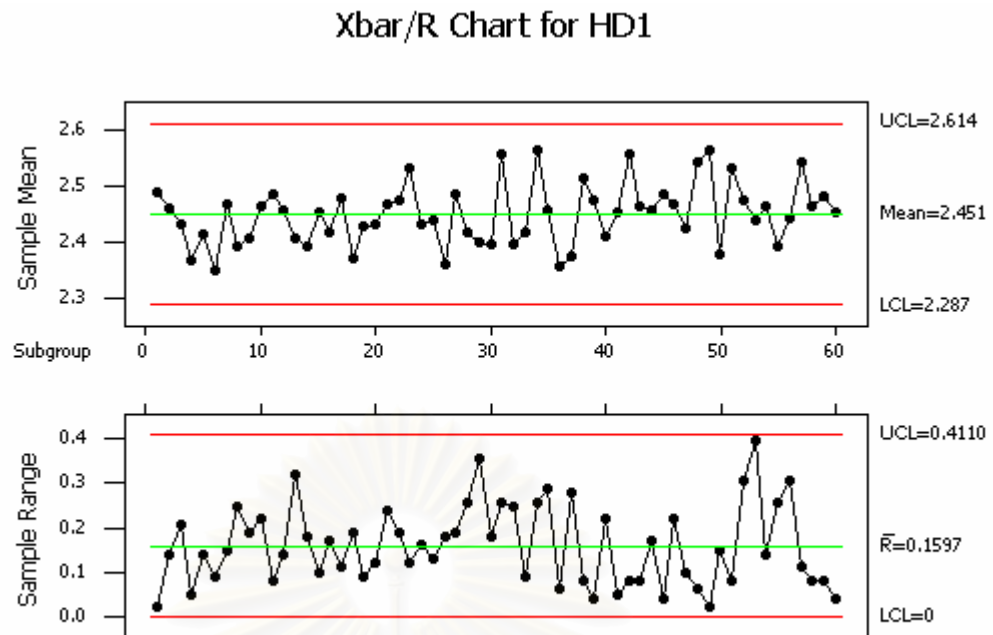
รูปที่ 8.5 OCAP สำหรับค่า Gramload ไม่อยู่ในการควบคุม

9.3 ข้อมูลหลังการปรับปรุงการผลิต

การควบคุมตัวแปรสนอง Gramload ให้มีค่าอยู่ใกล้ค่ากลางของขอบเขตควบคุม มากที่สุด ได้นำเทคนิคทางสถิติควบคุม Statistic Process Control มาประยุกต์ใช้ โดยใช้ \bar{X} and R Chart โดยได้ทำการเก็บข้อมูล 60 กลุ่มข้อมูล (ค่าเฉลี่ยจากการวัดตัวอย่างทั้ง 3 ตัว) จากข้อมูลเดือนกรกฎาคม 2546 กลุ่มข้อมูลละ 3 ตัว โดยสังเกตจากแผนภูมิควบคุม \bar{X} and R ซึ่งแสดงดังรูป รูปที่ 8.5 สำหรับ HD0 และรูปที่ 8.6 สำหรับ HD1



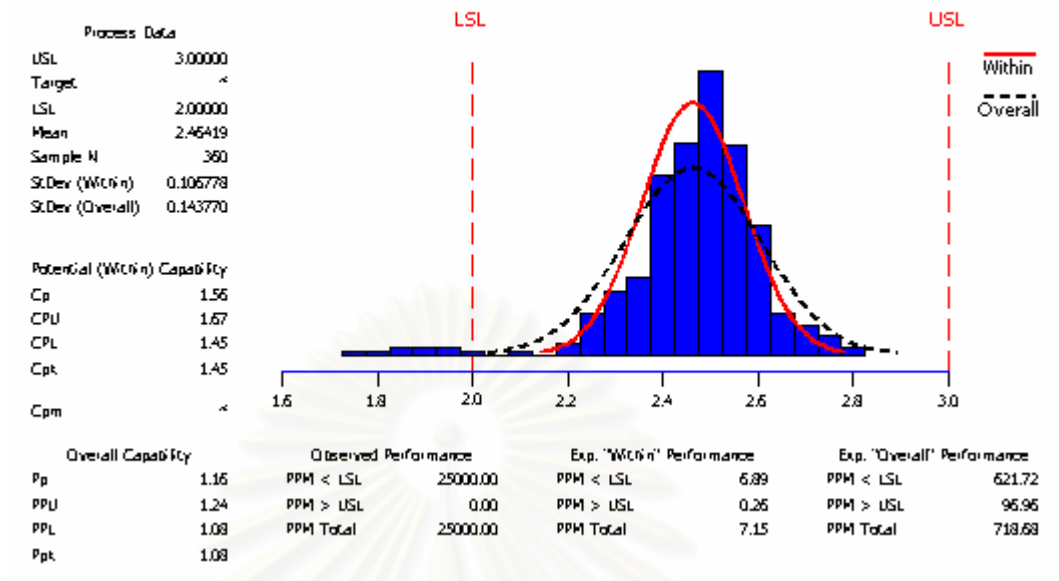
รูปที่ 8.6 กราฟแสดง \bar{X} และ R Chart ของค่า Gramload



รูปที่ 8.7 กราฟแสดง \bar{X} และ R Chart ของค่า Gramload

จากแผนภูมิควบคุมดังกล่าวจะเห็นได้ว่า กระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุมทางสถิติ และมีค่าเฉลี่ยของค่า Gramload 2.51 กรัม สำหรับ HD0 และ 2.451 กรัม สำหรับ HD1 ซึ่งถือว่าเป็นไปตามที่กำหนดไว้ และจากการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการผลิต จะพบว่าค่าความสามารถของกระบวนการผลิตในเดือนกรกฎาคม 2545 เพิ่มขึ้นเป็น 1.45 และปริมาณของเสียลดลงเหลือเพียง 720 DPPM ดังแสดงในรูปที่ 8.8

Process Capability Analysis for Gramload



รูปที่ 8.8 แสดงความสามารถของกระบวนการผลิตในเดือนกรกฎาคม 2545

8.3 สรุปผลขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิต

จากผลการทดสอบยืนยันผลการทดลองที่ผ่านมาพบว่าสามารถกำหนดค่าของปัจจัยที่ได้จากการหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมและรวมถึงการควบคุมผลลัพธ์ของการบวนการจึงได้ทำการควบคุมกระบวนการโดยทำการใช้เทคนิคทางการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ เมื่อทำการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการหลังการปรับปรุงมีค่า 1.45 ซึ่งเป็นค่าที่สูงเพิ่มขึ้น และเป็นไปตามความต้องการของลูกค้า คือมากกว่า 1.33 และค่าปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นมีเพียง 720 DPPM ซึ่งคาดว่าจะสามารถลดปริมาณของเสียลงจากปริมาณของเสียเดิมได้จนถึงในระดับที่แทบไม่มีของเสียเกิดขึ้นในกระบวนการผลิตอีก

บทที่ 9

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

9.1 บทนำ

จากงานวิจัยดังกล่าว ซึ่งได้เสนอแนะแนวทางในการประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีทางซิกซ์ ซิกมา ทั้ง 5 ขั้นตอน นั่นคือ ขั้นตอนการนิยามปัญหา (Define Phase) ขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา (Measure Phase) ขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหา (Analyze Phase) ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase) และขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิต (Control Phase) เพื่อใช้ในการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการผลิตชุดหัวอ่านสำเร็จรูปในการลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น อันเนื่องมาจากค่า Gramload ไม่ได้ตามข้อกำหนดด้านผลิตภัณฑ์ของลูกค้า ซึ่ง Gramload เป็นพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญในการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพของหัวอ่านเขียนภายในฮาร์ดดิสก์ ที่ผู้ผลิตจำเป็นต้องควบคุมคุณภาพให้ได้ตามข้อกำหนดด้านผลิตภัณฑ์ของลูกค้า อีกทั้งยังเป็นพารามิเตอร์ที่ทำให้เกิดของเสียจำนวนมากที่สุดในกระบวนการผลิตก่อนการปรับปรุงของโรงงาน ตัวอย่าง เนื่องจากของเสียดังกล่าวไม่สามารถนำมาแก้ไขปรับปรุงได้

ผลจากการปรับปรุงการผลิตสามารถที่จะลดปริมาณของเสียที่เกิดจากค่า Gramload ที่ไม่ได้ตามข้อกำหนดด้านผลิตภัณฑ์จากลูกค้าให้เหลือประมาณ 720 DPPM และมีความสามารถของกระบวนการผลิตเพิ่มขึ้นเป็น 1.45 จากข้อมูลการผลิตตลอดเดือนกรกฎาคม 2545

9.2 สรุปผลขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา

ผลลัพธ์จากขั้นตอนนี้คือ ผลของการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด ผลจากการวิเคราะห์ปัญหาจากสาเหตุและ และ ผลจากการวิเคราะห์ปัญหาจากสาเหตุและ โดยนำผลลัพธ์ที่ได้เหล่านี้ไปใช้ในขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

9.2.1 ผลจากการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด

จากการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดที่มีการวัดค่า Gramload ของกระบวนการผลิตชุดหัวอ่านสำเร็จ พบว่าเครื่องมือวัดทุกเครื่อง มีความสามารถในการตรวจจับความผันแปรของกระบวนการได้ดี โดยมีค่าระบบการวัด ค่าแปรผันมาจากเครื่องมือวัด ค่าแปรผันมาจากผู้ทำการทดลอง และ ค่าความแปรผันมาจากชิ้นงาน น้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ นั่นคือหากความผันแปรของกระบวนการมีค่า 100 หน่วย จะมีความแปรผัน

เนื่องจากระบบกาวัดน้อยกว่า 10 หน่วย ซึ่งสามารถที่จะใช้ข้อมูลที่ได้จากระบบการวัดนี้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อวิเคราะห์ปัญหาที่ทำการศึกษา

9.2.2. ผลจากการวิเคราะห์ปัญหาจากสาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix)

ได้นำปัจจัยนำเข้าทั้งหมด 37 ปัจจัยมาทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างผลของกระบวนการ (KPOV) และปัจจัยนำเข้า (KPIV) ด้วยตารางสาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix) แล้วจัดเรียงลำดับคะแนนตามความสำคัญด้วยผังพาเรโต จึงเหลือปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองเพียง 20 ปัจจัย จากนั้นนำไปวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA)

9.2.3. ผลจากการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA)

จากการจัดลำดับความสำคัญด้วยผังพาเรโต ในขั้นตอนการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) พบว่าปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่มีผลกระทบต่อค่าความแปรปรวนของ Gramload มีทั้งสิ้น 11 ปัจจัย ได้แก่ วัตถุดิบ (ชุดหัวอ่าน : HGA) การควบคุมการเคลื่อนย้าย shuttle การตั้งค่า angle block ของ shuttle การตั้งค่าความสูงของฐาน shuttle การออกแบบขั้นตอนการทำงาน การตั้งค่า 1st key thickness ของ shuttle การตั้งค่า 2nd key thickness ของ shuttle การตั้งค่า comb tower pin slot ของ shuttle จำนวนของลูกบอลที่ใช้ในการ swaging การตั้งค่าความเร็วของเครื่อง swaging และ ขนาดของลูกบอลที่ใช้ในการ swaging

9.3 สรุปปัจจัยที่ระดับของปัจจัยมีความแตกต่างกันจากการทดสอบสมมติฐาน

จากผลการทดสอบสมมติฐานของทั้ง 11 ปัจจัย พบว่า ถ้าค่า P-Value ของปัจจัยนั้นมีค่าน้อยกว่า 0.05 หมายความว่า ค่าเฉลี่ยของของค่า Gramload ของแต่ละปัจจัยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งในที่นี้พบว่าเหลือเพียง 4 ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญคือ ความสูงของฐาน ความหนาของ 1st key ระยะห่างของ Comb Tower Pin Slot สำหรับ shuttle และความเร็วของเครื่อง swaging โดยสามารถสรุประดับของปัจจัยที่สำคัญดังกล่าว ดังแสดงในตาราง 5.49

ตาราง 9.1 สรุปปัจจัยที่ระดับของปัจจัยที่มีความแตกต่างกันจากการทดสอบสมมติฐาน

ปัจจัย	ระดับ		หน่วย
	1	2	
การตั้งค่าความสูงของฐาน shuttle	12.170	12.190	มิลลิเมตร
การตั้งค่าความหนา 1 st key ของ shuttle	2.274	2.279	มิลลิเมตร
การตั้งค่าระยะห่างของ Tower Pin Slot Comb	7.635	7.655	มิลลิเมตร
ความเร็วรอบของเครื่อง swaging	2,600	3,600	rpm

ผลลัพธ์ของขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาที่ได้ทั้ง 4 ปัจจัยดังกล่าวข้างต้นนั้น จะนำไปพิจารณาและวิเคราะห์ในขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการออกแบบการทดลองเพื่อปรับปรุงค่า Gramload ให้ดีขึ้น

9.4 สรุปขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการนี้ เป็นการนำปัจจัยนำเข้าจากขั้นตอนการวิเคราะห์ทั้ง 4 ปัจจัย ที่มีนัยสำคัญต่อค่า Gramload มาทำการทดลองเพื่อหาระดับของแต่ละปัจจัยที่เหมาะสม โดยออกแบบการทดลองเป็น 2^4 Full Factorial Design ที่มีการทำซ้ำ 2 ครั้ง และมีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง (Center Point) เข้าไป 3 จุด แต่จากการทำการทดลองพบว่า ไม่สามารถวิเคราะห์ผลที่ถูกต้องจากรูปแบบการทดลองนี้ได้ เนื่องจากรูปแบบของการทดลองมีลักษณะของส่วนโค้งเกิดขึ้น จึงจำเป็นต้องทำการทดลองด้วยวิธีการแบบส่วนประสมกลางที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลางเข้าไป 7 จุด

ซึ่งสามารถสรุปผลลัพธ์ของขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการได้เป็นปัจจัยที่มีนัยสำคัญส่งผลกระทบต่อค่า Gramload จากนั้นนำปัจจัยเหล่านี้ไปหาระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยเพื่อให้ค่า Gramload ที่ดีที่สุด และต้องทำการยืนยันผลการทดลองดังกล่าวก่อนนำไปใช้ในกระบวนการผลิตจริง

จากผลการทดสอบค่า Gramload พบว่า มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.50 กรัม ซึ่งเป็นค่าที่เพิ่มขึ้นจากเดิม จะเป็นไปตามข้อกำหนดของลูกค้าที่ดีที่สุด และมีปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นเพียง 1577 DPPM เพราะฉะนั้น สภาวะของปัจจัยทั้ง 4 คือ ความสูงของฐาน shuttle เท่ากับ 12.170 มิลลิเมตร ความหนาของ 1st key เท่ากับ 2.274 มิลลิเมตร ระยะห่างของ Comb Tower Pin Slot เท่ากับ 7.655 มิลลิเมตร และความเร็วของเครื่อง swaging เท่ากับ 2,600 rpm มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการปฏิบัติงานจริงในกระบวนการผลิต

แต่อย่างไรก็ตาม ผลการทดสอบนี้จะใช้เพียงเพื่อยืนยันถึงสภาวะการใช้งานของปัจจัยทั้ง 4 หลังการปรับปรุงว่าเหมาะสมหรือไม่ ในการศึกษาค่าดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะ และการพิจารณาปริมาณของของเสียที่เกิดขึ้นตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยที่กำหนดนั้น ต้องทำการศึกษาหลังจากการเก็บข้อมูล ในระยะเวลา 30 วัน ซึ่งจะเก็บข้อมูลหลังจากกำหนดแผนการควบคุมปัจจัยทั้ง 4 และนำไปใช้งานจริงแล้ว

9.5 สรุปผลขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิต

จากผลการทดสอบยืนยันผลการทดลองที่ผ่านมาพบว่าสามารถกำหนดค่าของปัจจัยที่ได้จากการหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมและรวมถึงการควบคุมผลลัพธ์ของการบวนการจึงได้ทำการควบคุมกระบวนการโดยการใช้เทคนิคทางการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ เมื่อทำการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการหลังการปรับปรุงมีค่า 1.45 ซึ่งเป็นค่าที่สูงเพิ่มขึ้น และเป็นไปตามความต้องการของลูกค้า คือมากกว่า 1.33 และค่าปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นมีเพียง 720 DPPM ซึ่งคาดว่าจะสามารถลดปริมาณของเสียลงจากปริมาณของเสียเดิมได้จนถึงในระดับที่แทบไม่มีของเสียเกิดขึ้นในกระบวนการผลิตอีก

9.6 ข้อจำกัดในการทดลอง

- 9.6.1. เนื่องจากวัตถุประสงค์ที่ใช้ในการทดลอง จะใช้วัตถุดิบคุณภาพเดียวกันกับการผลิตงานจริง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องควบคุมจำนวนงานที่นำมาใช้ในการทดลอง เพื่อควบคุมค่าใช้จ่ายในการทดลองให้มีค่าต่ำที่สุด เนื่องจากงานที่ผ่านการวัดค่า Gramload จะถูกปรับระดับคุณภาพลงมา เพราะฉะนั้นการทดลองเพื่อปรับปรุงแก้ไขกระบวนการผลิตจึงกำหนดการทำซ้ำเพียง 2 ซ้ำเท่านั้น
- 9.6.2. ในการวัดข้อมูลของงานทดลอง จะไม่สารพัดได้อย่างต่อเนื่องให้ครบจำนวนที่ทำการทดลองในครั้งเดียว เนื่องจากงานการผลิตจริงมีความสำคัญมากกว่า และข้อจำกัดด้านกำลังการผลิตของเครื่องมือวัด รวมถึงข้อจำกัดด้านกำลังงานคนด้วยเช่นกัน
- 9.6.3. เนื่องจากการทำการทดลองจะเกี่ยวข้องกับการออกแบบเครื่องมือเป็นส่วนใหญ่ และในโรงงานตัวอย่างเอง ไม่มีทีมงานที่สามารถพัฒนาและแก้ไขแบบของเครื่องมือได้เอง จึงต้องส่งไปพัฒนาและออกแบบที่อื่น การทดลองจึงต้องจำกัดขอบเขตโดยใช้เครื่องมือที่มีอยู่แล้วในโรงงานตัวอย่าง เนื่องจากต้องใช้เวลายาวอย่างน้อยหนึ่งเดือนในการนำเครื่องมือออกไปและนำกลับเข้ามาเพื่อทำการทดลอง อีกทั้งเสียค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง

9.7 ข้อเสนอแนะ

- 9.7.1. การทดลองนี้มุ่งเน้นให้ค่า Gramload อยู่ในข้อกำหนดด้านผลิตภัณฑ์ คือ 2 - 3 กรัม ให้ได้มากที่สุด เพื่อที่จะบรรลุเป้าหมายในการลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ซึ่งผลการปรับปรุงกระบวนการดังกล่าวสามารถที่จะลดปริมาณของเสียได้เพียงระดับหนึ่งเท่านั้น อย่างไรก็ตามหากต้องการที่จะลดปริมาณของเสียให้น้อยลงอีก อาจพิจารณาที่การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการในส่วนอื่น เพื่อให้ได้ค่าของ Gramload เป็นไปตามข้อกำหนดด้านผลิตภัณฑ์คือ 2 - 3 กรัม และเข้าใกล้ค่ากลางคือ 2.5 กรัม เพื่อเพิ่มความสามารถของกระบวนการผลิตด้วย
- 9.7.2. ผลของการปรับปรุงกระบวนการผลิตในการวิจัยนี้ สามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ชุดหัวอ่านสำเร็จที่มีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน แต่ควรที่จะต้องมีการทดสอบเพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นก่อนนำไปใช้งานจริงในกระบวนการผลิต
- 9.7.3. เครื่องมือทางสถิติต่างๆ ที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนตามแนวทางซิกมา ซิกมา นี้ เป็นเพียงแนวทางหนึ่งเท่านั้น ซึ่งการนำระเบียบวิธีการทางซิกมาไปใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมอื่นๆ ควรเลือกประยุกต์ใช้เครื่องมือต่างๆ ตามความเหมาะสมกับลักษณะของกระบวนการผลิตที่ทำการปรับปรุงและข้อจำกัดอื่นๆ ในการประยุกต์ใช้เครื่องมือในองค์กร
- 9.7.4. ในการกำหนดวัตถุประสงค์ของการวิจัย ควรที่จะกำหนดหลังจากศึกษาความสามารถของกระบวนการผลิตแล้ว หรือตามแนวทางซิกมา ซิกมา จะอยู่ในขั้นตอนการนิยามปัญหา ซึ่งควรที่จะพิจารณาทั้งความสามารถของกระบวนการผลิตในระยะสั้น และความสามารถของกระบวนการผลิตในระยะยาว เพื่อพิจารณาถึงโอกาสหรือระดับในการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการที่สามารถจะเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

รายละเอียดของขั้นตอนการวัดค่าการรับน้ำหนักการกด (Gramload) ของชุดหัวอ่านสำเร็จ

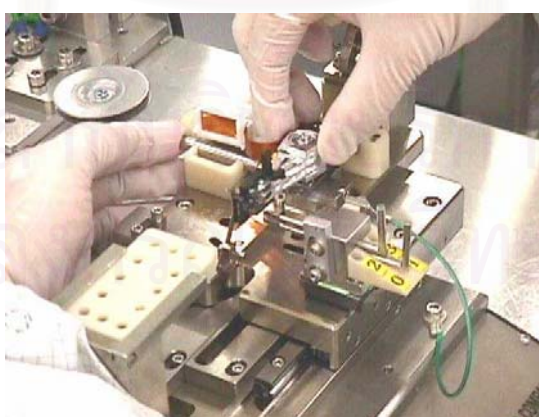
ในการตรวจสอบค่าการรับน้ำหนักการกด (Gramload) ของชุดหัวอ่านสำเร็จมีขั้นตอนการทำงานดังต่อไปนี้

1. ลักษณะทั่วไปของเครื่องวัด Gramload



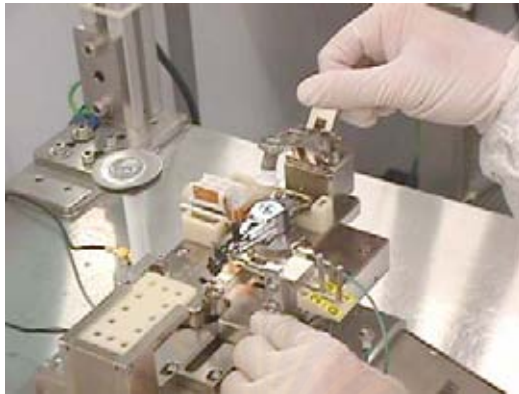
รูปที่ ก.1 ลักษณะทั่วไปของเครื่องวัด Gramload

2. หยิบชุดหัวอ่านสำเร็จวางบนเครื่องวัด Gramload



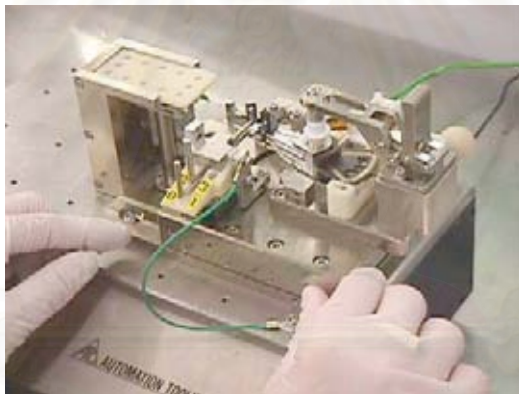
รูปที่ ก.2 วิธีการวางชุดหัวอ่านสำเร็จบนเครื่องวัด Gramload

3. วาง top clamp เพื่อยึดชุดหัวอ่านสำเร็จ



รูปที่ ก.3 วิธีวาง top clamp เพื่อยึดชุดหัวอ่านสำเร็จ

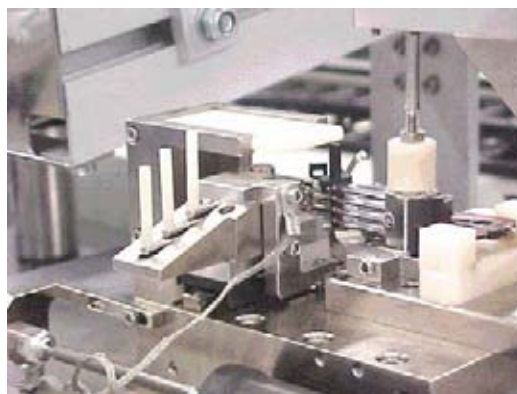
4. เลื่อนเครื่อง Gramload ไปทางซ้ายมือ



รูปที่ ก.4 เลื่อนเครื่อง Gramload ไปทางซ้ายมือ

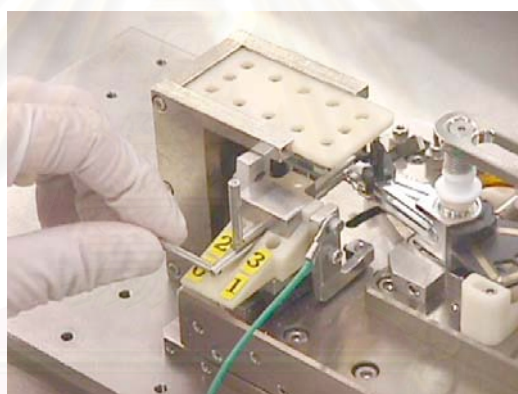
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5. ลักษณะของเครื่องวัด Gramload ที่พร้อมจะเริ่มวัดค่า



รูปที่ ก.5 ลักษณะของเครื่องวัด Gramload ที่พร้อมจะเริ่มวัดค่า

6. วัดค่า Gramload ของชุดหัวอ่านสำเร็จ



รูปที่ ก.6 วัดค่า Gramload ของชุดหัวอ่านสำเร็จ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7. ปลดตัวยึดชุดหัวอ่านออก เพื่อเอาชุดหัวอ่านออกจากเครื่องวัด Gramload



รูปที่ ก.7 ปลดตัวยึดชุดหัวอ่านออก เพื่อเอาชุดหัวอ่านออกจากเครื่องวัด Gramload



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

กระบวนการผลิตอย่างละเอียดในการผลิตชุดหัวอ่านสำเร็จ

ตารางที่ ข.1 กระบวนการผลิตอย่างละเอียดในการผลิตชุดหัวอ่านสำเร็จ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.1 กระบวนการผลิตอย่างละเอียดในการผลิตชุดหัวอ่านสำเร็จ

Process Flow	Process Step	Equipment / Tester	Sampling Plan		Specification Limits	Responsible Person
			Frequency	Sample Size		
	Piece Parts Cleaning : Shipping comb, Flex clip, & Balance weight	Resistance meter Thermometer Atcor Ultra 1232/6252	Per shift	1		PE
	Piece Parts Kitting			1		
	HGA Cut&Fold	Cut & Fold Machine Microscope (10-20x)	twice/shift twice/shift	10 10	No shunt wire at shunt pad Broken trace at folding	Prod
	QC Inspection for HGA Cut & Fold	Microscope (10-30x)	per machine / 2 hr	40 HGA	Per VMI Spec.	QC
	HGAs Loading & Swaging	Swaging Machine Swage Shuttle		100%	Prime 0.079",0.081",0.082" Rework :0.079",0.081",0.0825"	Prod
				100%	Not seated properly in tray	Prod
				100%	Gross damage :Flex & Lifter bent, dimple separation	Prod
				100%	Spreader key misaligned Hard to load / unload	Prod
	TSA Dressing	Microscope (10-20x)	100%	100%	Balance weight misalignment Gross damage : bent,cease dimple separation, swage hole damage	Prod Prod Prod
Ultrasonic Trace Bonding (USTB)	Microscope (10-20x) dentist mirror dentist mirror	Per shift 2400 - 2500 bond count per shift	1	Less than 12k	PE	
			1x		Prod	
			1x	Misbond > 2 attempt on same area	PE	
			100x	Misbond >10 times -hr Consecutively misbond on 2 traces	Prod Prod	
TSA Tacking & Conformal Coating (Encap)	Microscope (10-20x)	100%	100%	Lifted traces, no indentation of traces, damaged bond pad,	Prod	

Process Flow	Process Step	Equipment / Tester	Sampling Plan		Specification Limits	Responsible Person
			Frequency	Sample Size		
					stray shunt wires. Epoxy overflow or bridging > 2 pad Epoxy not covered footprint, missing or uncured epoxy	Prod
	Epoxy curing	UV 300X	N.A per shift	100%	Max : 1 month	Prod
		Dispensor		1x		
	Shunt Removal	Microscope (10-20x) Shunt removal tool	100%	100%	Stray shunt wires Jointed shunt pad	Prod
	VMI Station	Microscope (10-20x) Q- Tip	100%	100%	Epoxy insufficient, overflow, missing, uncured epoxy Max. 50% Bond Pad area	Prod
			100%	100%	Balance weight misalignment	Prod
			100%	100%	Gross damage :Flex & Lifter bent, dimple sep. & swage hole damage	Prod
			100%	100%	Max. 1/3 Bond Pad Area nearest to Preamp Lifted traces, no indentation of traces, damaged bond pad, stray shunt wires.	Prod
	Arm Tip Height	Laser Micrometer Laser Micrometer	Once per shift Per fixture/ shift	1 3	+/- 0.0005" Arm 1 - 0.2122" +/- 0.003" Arm 2 - 0.3205" +/- 0.003"	QC
	Arm Tip Pitch	Laser Micrometer	Per fixture/shift	3	+/- 0.0014"	QC
	Head Alignment	Cal Block	Once per shift	1	+/- 0.0005"	QC
		Head alignment machine	Per fixture/ shift	3	+/- 0.008"	
	Gram Load	Master Gramload HSA	Once per shift	1	+/- 0.05 g	QC
		Gram Load m/c	Per fixture/shift	3	Gram Spec: 2.5 +/- 0.5g	
	Swage Torque	Torque watch	per swager / shift	1	5 in - OZ Minimum	QC
Trace Bond	Pull Strength	Per Machine/ shift	6 traces	Min. 15g	QC	
Pull Strength	Testing M/C					
Quasi Test	Quasi	per shift	1x		TE	
Final QC Visual Inspection	Microscope 10-30x	Per line / shift	4pcs/hr	As per HSA VMI specification	QC	
ORM Monitoring	LPC Tester (Particle Size, NVR/FTIR Tester Outgassing(CVR) Tester				QC	
	Heat & Humidity Chamber	Weekly	4	No corrosion		

ภาคผนวก ค

ค่าผลการทดสอบค่าความแม่นยำของระบบการวัด

ตารางที่ ค.1 ผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการในตอนต้นด้วยค่า Gramload สำหรับเครื่องวัดเครื่องที่ 1

ตารางที่ ค.2 ผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการในตอนต้นด้วยค่า Gramload สำหรับเครื่องวัดเครื่องที่ 2

ตารางที่ ค.3 ผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการในตอนต้นด้วยค่า Gramload สำหรับเครื่องวัดเครื่องที่ 3

ตารางที่ ค.4 ผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการในตอนต้นด้วยค่า Gramload สำหรับเครื่องวัดเครื่องที่ 4



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.1 ผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการในตอนต้นด้วยค่า Gramload สำหรับ
เครื่องวัดเครื่องที่ 1

Part No. and Name <u>Tester I</u>				Gage N <u>GRAMLOAD TESTER</u>					
CONDITION <u>GRAMLOAD - HD 0</u>				PART <u>HEADSTACK</u>					
Total Part Tolerance Zone <u>1.00</u>				Date & <u>Jul-7-2004</u>					
Operator	A _____			B _____			C _____		
Sample	Trial 1	Trial 2	Trial 3	Trial 1	Trial 2	Trial 3	Trial 1	Trial 2	Trial 3
1	2.29	2.29	2.30	2.30	2.29	2.30	2.30	2.29	2.31
2	2.42	2.41	2.42	2.41	2.41	2.42	2.44	2.42	2.42
3	2.28	2.28	2.29	2.28	2.28	2.29	2.27	2.28	2.28
4	2.33	2.33	2.33	2.33	2.33	2.33	2.34	2.33	2.33
5	2.36	2.37	2.37	2.36	2.37	2.37	2.37	2.36	2.36
6	2.36	2.36	2.36	2.35	2.36	2.36	2.36	2.35	2.36
7	2.35	2.36	2.35	2.34	2.36	2.35	2.35	2.35	2.35
8	2.18	2.19	2.18	2.18	2.19	2.18	2.17	2.18	2.18
9	2.29	2.30	2.29	2.29	2.30	2.29	2.29	2.30	2.29
10	2.37	2.37	2.37	2.37	2.37	2.37	2.37	2.37	2.37
TOTALS	23.23	23.26	23.26	23.21	23.26	23.26	23.26	23.23	23.25

Part No. and Name <u>Tester I</u>				Gage N <u>GRAMLOAD TESTER</u>					
CONDITION <u>GRAMLOAD - HD 1</u>				PART <u>HEADSTACK</u>					
Total Part Tolerance Zone <u>1.00</u>				Date & <u>Jul-7-2003</u>					
Operator	A _____			B _____			C _____		
Sample	Trial 1	Trial 2	Trial 3	Trial 1	Trial 2	Trial 3	Trial 1	Trial 2	Trial 3
1	2.35	2.35	2.34	2.35	2.35	2.36	2.33	2.33	2.33
2	2.25	2.26	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.24	2.24
3	2.35	2.35	2.35	2.36	2.37	2.35	2.35	2.35	2.34
4	2.31	2.31	2.30	2.30	2.31	2.30	2.30	2.30	2.30
5	2.35	2.35	2.34	2.35	2.35	2.34	2.35	2.34	2.35
6	2.52	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51	2.52	2.51	2.51
7	2.51	2.51	2.50	2.49	2.48	2.49	2.49	2.49	2.49
8	2.59	2.58	2.58	2.58	2.58	2.57	2.60	2.59	2.59
9	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46
10	2.27	2.26	2.26	2.26	2.25	2.26	2.26	2.25	2.26
TOTALS	23.96	23.94	23.89	23.91	23.91	23.89	23.91	23.86	23.87

ตารางที่ ค.2 ผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการในตอนต้นด้วยค่า Gramload สำหรับ
เครื่องวัดเครื่องที่ 2

Part No. and Name <u>Tester 2</u>				Gage No <u>GRAMLOAD TESTER</u>					
CONDITION <u>GRAMLOAD - HD 0</u>				PART <u>HEADSTACK</u>					
Total Part Tolerance Zone 1.00				Date & S					
Operator	A			B			C		
Sample	Trial 1	Trial 2	Trial 3	Trial 1	Trial 2	Trial 3	Trial 1	Trial 2	Trial 3
1	2.29	2.27	2.30	2.30	2.29	2.29	2.29	2.29	2.28
2	2.33	2.32	2.32	2.30	2.34	2.34	2.32	2.33	2.32
3	2.45	2.48	2.48	2.47	2.47	2.46	2.46	2.45	2.46
4	2.31	2.31	2.32	2.31	2.31	2.31	2.31	2.32	2.31
5	2.30	2.33	2.30	2.33	2.31	2.30	2.31	2.34	2.33
6	2.34	2.33	2.35	2.35	2.35	2.35	2.32	2.32	2.33
7	2.27	2.27	2.28	2.28	2.29	2.28	2.29	2.28	2.29
8	2.14	2.14	2.14	2.14	2.14	2.14	2.14	2.14	2.14
9	2.26	2.26	2.26	2.26	2.27	2.27	2.27	2.26	2.27
10	2.34	2.36	2.34	2.35	2.35	2.36	2.36	2.36	2.35
TOTALS	23.03	23.07	23.09	23.09	23.12	23.10	23.07	23.09	23.08

Part No. and Name <u>Tester 2</u>				Gage No <u>GRAMLOAD TESTER</u>					
CONDITION <u>GRAMLOAD - HD1</u>				PART <u>HEADSTACK</u>					
Total Part Tolerance Zone 1.00				Date & S					
Operator	A			B			C		
Sample	Trial 1	Trial 2	Trial 3	Trial 1	Trial 2	Trial 3	Trial 1	Trial 2	Trial 3
1	2.40	2.41	2.39	2.39	2.39	2.40	2.38	2.38	2.39
2	2.43	2.45	2.44	2.45	2.44	2.42	2.44	2.42	2.44
3	2.42	2.40	2.41	2.41	2.40	2.41	2.41	2.42	2.41
4	2.39	2.38	2.38	2.38	2.38	2.38	2.38	2.37	2.38
5	2.47	2.46	2.45	2.46	2.46	2.47	2.46	2.44	2.45
6	2.61	2.58	2.57	2.57	2.57	2.57	2.60	2.60	2.59
7	2.62	2.62	2.62	2.62	2.63	2.62	2.62	2.62	2.62
8	2.68	2.70	2.70	2.69	2.70	2.69	2.69	2.70	2.70
9	2.57	2.57	2.57	2.57	2.57	2.58	2.57	2.57	2.56
10	2.36	2.39	2.37	2.35	2.36	2.35	2.34	2.35	2.36
TOTALS	24.95	24.96	24.90	24.89	24.90	24.89	24.89	24.87	24.90

ตารางที่ ค.3 ผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการในตอนต้นด้วยค่า Gramload สำหรับ
เครื่องวัดเครื่องที่ 3

Part No. and Name <u>Tester 3</u>				Gage N <u>GRAMLOAD TESTER</u>					
CONDITION <u>GRAMLOAD - HD 0</u>				PART <u>HEADSTACK</u>					
Total Part Tolerance Zone 1.00				Date & :					
Operator	A _____			B _____			C _____		
Sample	Trial 1	Trial 2	Trial 3	Trial 1	Trial 2	Trial 3	Trial 1	Trial 2	Trial 3
1	2.45	2.45	2.45	2.45	2.44	2.45	2.46	2.45	2.45
2	2.35	2.34	2.36	2.35	2.35	2.36	2.35	2.35	2.34
3	2.47	2.48	2.48	2.47	2.47	2.46	2.46	2.45	2.46
4	2.31	2.31	2.32	2.32	2.31	2.31	2.31	2.32	2.31
5	2.30	2.32	2.30	2.33	2.31	2.32	2.33	2.34	2.33
6	2.34	2.33	2.35	2.35	2.35	2.36	2.32	2.32	2.33
7	2.27	2.27	2.28	2.28	2.29	2.28	2.29	2.28	2.29
8	2.53	2.52	2.53	2.53	2.53	2.54	2.54	2.54	2.53
9	2.62	2.62	2.62	2.62	2.63	2.62	2.62	2.62	2.62
10	2.68	2.70	2.70	2.69	2.70	2.69	2.69	2.70	2.70
TOTALS	24.32	24.34	24.39	24.39	24.38	24.39	24.37	24.37	24.36

Part No. and Name <u>Tester 3</u>				Gage N: <u>GRAMLOAD TESTER</u>					
CONDITION <u>GRAMLOAD - HD1</u>				PART <u>HEADSTACK</u>					
Total Part Tolerance Zone 1.00				Date & :					
Operator	A _____			B _____			C _____		
Sample	Trial 1	Trial 2	Trial 3	Trial 1	Trial 2	Trial 3	Trial 1	Trial 2	Trial 3
1	2.63	2.63	2.63	2.64	2.64	2.65	2.65	2.64	2.64
2	2.33	2.32	2.33	2.32	2.33	2.34	2.33	2.34	2.33
3	2.34	2.33	2.35	2.35	2.35	2.36	2.32	2.32	2.33
4	2.37	2.37	2.38	2.37	2.37	2.37	2.38	2.38	2.37
5	2.54	2.54	2.54	2.55	2.55	2.55	2.54	2.54	2.55
6	2.58	2.59	2.58	2.58	2.59	2.59	2.59	2.60	2.59
7	2.62	2.62	2.62	2.62	2.63	2.62	2.62	2.62	2.62
8	2.68	2.70	2.70	2.69	2.70	2.69	2.69	2.70	2.70
9	2.57	2.57	2.57	2.57	2.58	2.58	2.57	2.57	2.56
10	2.46	2.45	2.45	2.44	2.44	2.44	2.43	2.44	2.44
TOTALS	25.12	25.12	25.15	25.13	25.18	25.19	25.12	25.15	25.13

ตารางที่ ค.4 ผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการในตอนต้นด้วยค่า Gramload สำหรับ
เครื่องวัดเครื่องที่ 4

Part No. and Name <u>Tester 4</u>				Gage N <u>GRAMLOAD TESTER</u>					
CONDITION <u>GRAMLOAD - HD 0</u>				PART <u>HEADSTACK</u>					
Total Part Tolerance Zone 1.00				Date & :					
Operator	A _____			B _____			C _____		
Sample	Trial 1	Trial 2	Trial 3	Trial 1	Trial 2	Trial 3	Trial 1	Trial 2	Trial 3
1	2.55	2.56	2.55	2.54	2.55	2.55	2.56	2.56	2.55
2	2.37	2.36	2.37	2.36	2.36	2.36	2.37	2.38	2.38
3	2.65	2.66	2.65	2.65	2.65	2.65	2.66	2.65	2.65
4	2.75	2.75	2.75	2.74	2.74	2.75	2.75	2.75	2.75
5	2.54	2.54	2.54	2.53	2.54	2.54	2.55	2.54	2.54
6	2.31	2.31	2.32	2.31	2.31	2.31	2.31	2.32	2.31
7	2.43	2.43	2.43	2.44	2.44	2.44	2.43	2.43	2.43
8	2.14	2.14	2.14	2.14	2.14	2.14	2.14	2.14	2.14
9	2.32	2.32	2.31	2.33	2.33	2.32	2.33	2.33	2.32
10	2.43	2.43	2.43	2.43	2.44	2.44	2.44	2.44	2.44
TOTALS	24.49	24.50	24.49	24.47	24.50	24.50	24.54	24.54	24.51

Part No. and Name <u>Tester 4</u>				Gage N: <u>GRAMLOAD TESTER</u>					
CONDITION <u>GRAMLOAD - HD1</u>				PART <u>HEADSTACK</u>					
Total Part Tolerance Zone 1.00				Date & :					
Operator	A _____			B _____			C _____		
Sample	Trial 1	Trial 2	Trial 3	Trial 1	Trial 2	Trial 3	Trial 1	Trial 2	Trial 3
1	2.54	2.54	2.55	2.54	2.55	2.54	2.55	2.56	2.56
2	2.36	2.36	2.35	2.36	2.36	2.36	2.35	2.35	2.35
3	2.41	2.40	2.41	2.41	2.40	2.41	2.41	2.42	2.41
4	2.58	2.58	2.58	2.57	2.57	2.57	2.57	2.57	2.57
5	2.34	2.34	2.33	2.33	2.33	2.33	2.35	2.34	2.34
6	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36
7	2.23	2.23	2.23	2.23	2.22	2.23	2.23	2.23	2.23
8	2.43	2.43	2.43	2.41	2.42	2.41	2.40	2.41	2.41
9	2.60	2.60	2.61	2.60	2.60	2.60	2.59	2.60	2.60
10	2.45	2.45	2.45	2.46	2.46	2.46	2.45	2.45	2.45
TOTALS	24.30	24.29	24.30	24.27	24.27	24.27	24.26	24.29	24.28

ภาคผนวก ง

แบบฟอร์มการให้คะแนนเพื่อทำการวิเคราะห์ปัญหาจากการหา
ความสัมพันธ์สาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix)

ตาราง ง.1 แบบฟอร์มการให้คะแนนเพื่อทำการวิเคราะห์ปัญหาจากการหาความสัมพันธ์
สาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix)



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



การจัดเรียงหน้า
ที่ต้นฉบับมีบางหน้า
ขาดหายไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ง.1 แบบฟอร์มการให้คะแนนเพื่อทำการวิเคราะห์ปัญหาจากการหาความสัมพันธ์สาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix)

การให้คะแนนปัจจัยที่มีผลต่อค่า Gramload													
กำหนดให้อัตรารัฐส่วนความสำคัญต่อลูกคามีค่า 0 – 10 โดยที่													
0 = ไม่มีความสำคัญต่อลูกค้า/ไม่มีผลต่อค่า Gramload													
10 = มีความสำคัญต่อลูกค้าอย่างยิ่ง/มีผลต่อค่า Gramload อย่างยิ่ง													
ลำดับที่	จำแนกตามสาเหตุ	ปัจจัยที่มีผล	อัตราความสำคัญต่อลูกค้า/ผลกระทบต่อค่า Gramload (0-10)										
1	Man	พนักงานจับถือชิ้นงานไม่ถูกวิธี	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	Man	พนักงานแกะกล่องไม่ถูกวิธี	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	Man	พนักงานใช้มือสัมผัสหัวอ่าน	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4	Man	พนักงานใช้แรงกดขณะเชื่อมมากเกินไป	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	Man	พนักงานสะกิดลวดเชื่อมออกแรงเกินไป	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6	Man	พนักงานขาดประสบการณ์	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
7	Man	พนักงานขาดความรู้	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8	Man	พนักงานขาดความชำนาญ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
9	Man	พนักงานเกิดความล้า	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	Machine	การตั้งมุม (Angle block) เพื่อประกอบหัวอ่าน (HGA) เข้ากับแขนอ่าน (APFA) ไม่เหมาะสม	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

การให้คะแนนปัจจัยที่มีผลต่อค่า Gramload

กำหนดให้อัตราส่วนความสำคัญต่อลูกค้ำมีค่า 0 – 10 โดยที่

0 = ไม่มีความสำคัญต่อลูกค้ำ/ไม่มีผลต่อค่า Gramload

10 = มีความสำคัญต่อลูกค้ำอย่างยิ่ง/มีผลต่อค่า Gramload อย่างยิ่ง

11	Machine	การออกแบบ 1 st key thickness ของ shuttle ไม่เหมาะสม	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12	Machine	การออกแบบ 2 nd key thickness ของ shuttle ไม่เหมาะสม	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
13	Machine	การออกแบบ comb tower pin height ของ shuttle ไม่เหมาะสม	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
14	Machine	การออกแบบฐานของ shuttle ไม่เหมาะสม (ความตื้น-ลึก)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
15	Machine	shuttle มีการเคลื่อนย้ายบ่อย	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
16	Machine	ขาดระบบการบำรุงรักษาเครื่องมือที่ดี	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
17	Machine	เครื่องมือชำรุด/เสียหาย	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
18	Machine	การตั้งค่า speed เครื่อง swaging ไม่เหมาะสม	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
19	Machine	เครื่อง swaging อยู่ในสภาพไม่พร้อมใช้งาน	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

การให้คะแนนปัจจัยที่มีผลต่อค่า Gramload

กำหนดให้อัตราส่วนความสำคัญต่อลูกคามีค่า 0 – 10 โดยที่

0 = ไม่มีความสำคัญต่อลูกค้า/ไม่มีผลต่อค่า Gramload

10 = มีความสำคัญต่อลูกค้าอย่างยิ่ง/มีผลต่อค่า Gramload อย่างยิ่ง

20	Machine	จำนวนลูกบอลที่ใช้กับเครื่อง swaging ไม่เหมาะสม	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
21	Machine	ขนาดลูกบอลที่ใช้กับเครื่อง swaging ไม่เหมาะสม	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
22	Machine	กาวจากเครื่องหยอดกาวออกมามากเกินไป	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
23	Material	ไม่มีการตรวจสอบคุณภาพของวัตถุดิบก่อนนำไปผลิตจริง	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
24	Material	วัตถุดิบมาจากผู้ขายหลายราย	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
25	Material	บอลที่นำมาใช้กับเครื่อง swaging ไม่ได้ขนาดตามที่กำหนด	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
26	Measurement	พนักงาน QC จับถือชิ้นงานไม่ถูกวิธี	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
27	Measurement	เครื่องวัดค่า Gramload ชำรุดเสียหาย	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
28	Measurement	ขั้นตอนในการวัดไม่เหมาะสม	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
29	Measurement	เครื่องมือวัดขาดการบำรุงรักษา	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

การให้คะแนนปัจจัยที่มีผลต่อค่า Gramload

กำหนดให้อัตราส่วนความสำคัญต่อลูกค้ามีค่า 0 – 10 โดยที่

0 = ไม่มีความสำคัญต่อลูกค้า/ไม่มีผลต่อค่า Gramload

10 = มีความสำคัญต่อลูกค้าอย่างยิ่ง/มีผลต่อค่า Gramload อย่างยิ่ง

30	Measurement	พนักงาน QC ขาดความรู้ ความชำนาญ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
31	Measurement	จุดค่าผิดพลาด	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
32	Method	การจัดสถานที่ทำงานไม่เหมาะสม	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
33	Method	การออกแบบขั้นตอนการทำงานไม่เหมาะสม	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
34	Method	มีงานรอเข้ากระบวนการมากเกินไป	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
35	Method	ไม่มีระบบแก้ไขปัญหาเมื่อเกิดค่า Gramload ไม่ได้ตามข้อกำหนด	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
36	Environmental	มีการสั่นสะเทือนของพื้น ณ จุดที่วัด Gramload	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
37	Environmental	ลมเป่าแรงเกินไป	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

ภาคผนวก จ

ค่าผลการทดสอบสมมติฐานของปัจจัยทั้งหมด

ตารางที่ จ.1 ผลทดสอบสมมติฐานของปัจจัยทั้งหมดสำหรับ HD0

ตารางที่ จ.2 ผลทดสอบสมมติฐานของปัจจัยทั้งหมดสำหรับ HD1



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ.1 ผลทดสอบสมมติฐานของปัจจัยทั้งหมดสำหรับ HD

การเคลื่อนย้าย		ขนาดลูกบอล		จำนวนบอล		ความเร็วของเครื่อง swaging		วิธีการทำงาน		วัสดุตีบ		มุมของ angle block		comb tower		base plate		1st key		2nd key	
เคลื่อนย้าย	ไม่เคลื่อนย้าย	ขนาด A	ขนาด B	2 ลูก	3 ลูก	2600	3600	A	B	A	B	40	60	7.64	7.66	12.2	12.2	2.27	2.28	2.99	3.00
2.51	2.67	2.54	2.12	2.48	2.09	2.50	2.62	2.54	2.24	2.70	2.55	2.45	2.52	2.39	2.56	2.96	2.43	2.50	2.56	2.51	2.45
2.6	2.49	2.55	2.31	2.24	2.25	2.43	1.93	2.57	2.38	2.64	2.56	2.57	2.55	2.43	2.64	2.58	2.41	2.54	2.52	2.43	2.67
2.55	2.57	2.33	2.43	2.20	2.43	2.44	2.30	2.34	2.39	2.67	2.26	2.69	2.6	2.33	2.67	2.85	2.48	2.53	2.62	2.27	2.39
2.63	2.47	2.67	2.04	2.52	2.34	2.52	2.12	2.33	2.25	2.59	2.66	2.54	2.37	2.44	2.45	2.77	2.40	2.51	2.70	2.48	2.45
2.5	2.37	2.77	2.54	2.49	2.53	2.57	2.34	2.44	2.33	2.61	2.45	2.36	2.6	2.25	2.49	2.70	2.49	2.55	2.52	2.33	2.41
2.34	2.58	2.72	2.33	2.33	2.28	2.45	2.49	2.38	2.27	2.65	2.41	2.46	2.5	2.51	2.60	2.56	2.49	2.51	2.54	2.36	2.50
2.49	2.62	2.55	2.49	2.39	2.47	2.55	2.62	2.54	2.47	2.56	2.32	2.62	2.61	2.41	2.66	2.71	2.62	2.53	2.50	2.32	2.46
2.44	2.67	2.42	2.67	2.41	2.54	2.54	2.19	2.55	2.26	2.72	2.46	2.68	2.7	2.33	2.75	2.40	2.58	2.46	2.52	2.33	2.25
2.43	2.56	2.67	2.46	2.43	2.50	2.44	2.41	2.26	2.31	2.73	2.64	2.56	2.48	2.43	2.55	2.79	2.46	2.50	2.56	2.46	2.38
2.47	2.39	2.51	2.52	2.31	2.47	2.55	2.07	2.27	2.30	2.61	2.61	2.4	2.65	2.20	2.52	2.72	2.30	2.51	2.54	2.38	2.42
2.26	2.39	2.49	2.58	2.34	2.27	2.38	2.39	2.62	2.34	2.74	2.53	2.58	2.56	2.43	2.71	2.89	2.26	2.50	2.53	2.24	2.46
2.61	2.71	2.47	2.39	2.32	2.40	2.25	2.30	2.39	2.42	2.60	2.77	2.67	2.5	2.32	2.64	2.41	2.31	2.38	2.62	2.42	2.31
2.5	2.52	2.47	2.46	2.35	2.45	2.53	2.30	2.39	2.17	2.66	2.40	2.38	2.53	2.42	2.71	2.60	2.41	2.50	2.50	2.42	2.37
2.38	2.43	2.69	2.56	2.22	2.30	2.42	2.41	2.43	2.44	2.72	2.55	2.69	2.67	2.53	2.58	2.75	2.30	2.51	2.64	2.49	2.42
2.33	2.69	2.64	2.30	2.10	2.18	2.51	2.42	2.53	2.36	2.46	2.42	2.57	2.56	2.38	2.69	2.78	2.36	2.52	2.52	2.34	2.50

2.66	2.63	2.76	2.30	2.30	2.30	2.46	2.41	2.29	2.14	2.70	2.55	2.56	2.35	2.34	2.32	2.52	2.51	2.51	2.40	2.49	2.38
2.73	2.5	2.49	2.41	2.52	2.44	2.56	2.45	2.52	2.35	2.67	2.60	2.36	2.73	2.39	2.48	3.11	2.31	2.50	2.49	2.39	2.34
2.52	2.3	2.53	2.06	2.42	2.37	2.53	2.30	2.14	2.28	2.59	2.62	2.65	2.49	2.43	2.58	2.68	2.55	2.54	2.38	2.43	2.48
2.46	2.45	2.55	2.55	2.05	2.40	2.30	2.51	2.39	2.33	2.71	2.47	2.48	2.53	2.73	2.77	2.96	2.43	2.53	2.61	2.45	2.44
2.49	2.47	2.61	2.54	2.41	2.45	2.45	2.35	2.77	2.30	2.67	2.24	2.42	2.33	2.41	2.47	2.77	2.31	2.52	2.67	2.43	2.35
2.38	2.2	2.79	2.45	2.13	2.38	2.47	2.48	2.36	2.37	2.71	2.16	2.49	2.32	2.28	2.65	2.57	2.41	2.54	2.62	2.51	2.34
2.47	2.5	2.58	2.65	2.44	2.40	2.71	2.23	2.41	2.30	2.68	2.19	2.5	2.49	2.26	2.56	2.81	2.38	2.59	2.56	2.32	2.55
2.49	2.58	2.53	2.35	2.50	2.32	2.54	2.71	2.25	2.42	2.85	2.43	2.68	2.4	2.39	2.73	2.79	2.64	2.53	2.54	2.43	2.47
2.55	2.45	2.55	2.37	2.35	2.24	2.37	2.16	2.46	2.42	2.69	2.59	2.71	2.41	2.47	2.61	2.58	2.42	2.53	2.65	2.41	2.43
2.47	2.45	2.73	2.49	2.42	2.40	2.58	2.20	2.59	2.44	2.55	2.75	2.69	2.64	2.47	2.30	2.53	2.58	2.52	2.64	2.24	2.47
2.53	2.51	2.39	2.35	2.28	2.33	2.48	2.23	2.42	2.31	2.81	2.68	2.51	2.44	2.46	2.49	2.42	2.57	2.52	2.53	2.30	2.26
2.37	2.5	2.38	2.23	2.10	2.56	2.49	2.56	2.37	2.49	2.57	2.38	2.38	2.63	2.24	2.69	2.63	2.44	2.50	2.66	2.41	2.42
2.45	2.39	2.39	2.54	2.39	2.46	2.46	2.56	2.52	2.39	2.85	2.36	2.44	2.36	2.50	2.80	2.64	2.23	2.53	2.47	2.41	2.38
2.4	2.54	2.56	2.56	2.36	2.41	2.56	2.32	2.46	2.30	2.63	2.65	2.56	2.64	2.55	2.50	2.59	2.19	2.52	2.50	2.53	2.43
2.57	2.5	2.52	2.08	2.49	2.40	2.50	2.16	2.61	2.32	2.82	2.50	2.52	2.71	2.45	2.63	2.78	2.43	2.50	2.54	2.46	2.37
2.42	2.68	2.35	2.15	2.41	2.45	2.27	2.51	2.38	2.33	2.88	2.39	2.43	2.63	2.16	2.63	2.49	2.39	2.53	2.50	2.53	2.54
2.38	2.59	2.47	2.25	2.36	2.32	2.49	2.36	2.43	2.36	2.72	2.51	2.38	2.42	2.29	2.63	2.68	2.42	2.56	2.48	2.48	2.24
2.58	2.63	2.65	2.52	2.28	2.31	2.46	1.92	2.31	2.29	2.80	2.54	2.59	2.48	2.65	2.72	2.82	2.42	2.45	2.60	2.30	2.38
2.38	2.67	2.56	2.43	2.34	2.28	2.62	2.33	2.32	2.25	2.54	2.55	2.65	2.74	2.55	2.43	2.51	2.49	2.55	2.53	2.43	2.46
2.56	2.54	2.58	2.12	2.45	2.16	2.48	2.63	2.52	2.36	2.53	2.50	2.54	2.37	2.38	2.51	2.34	2.54	2.51	2.53	2.35	2.36
2.3	2.59	2.58	2.24	2.46	2.17	2.59	2.23	2.49	2.31	2.67	2.60	2.67	2.5	2.46	2.44	2.79	2.51	2.50	2.51	2.27	2.23
2.29	2.56	2.66	2.43	2.21	2.22	2.65	2.38	2.25	2.22	2.79	2.51	2.57	2.7	2.44	2.68	2.58	2.53	2.50	2.62	2.40	2.37

2.43	2.59	2.59	2.51	2.19	2.39	2.53	2.27	2.50	2.56	2.76	2.75	2.49	2.51	2.20	2.52	2.54	2.43	2.50	2.57	2.46	2.44
2.57	2.58	2.48	2.26	2.52	2.43	2.35	2.36	2.33	2.39	2.65	2.40	2.7	2.25	2.32	2.73	2.83	2.54	2.48	2.56	2.33	2.31
2.37	2.23	2.41	2.31	2.30	2.29	2.34	2.22	2.45	2.33	2.52	2.50	2.4	2.62	2.65	2.60	2.45	2.29	2.51	2.53	2.48	2.48
2.56	2.46	2.44	2.50	2.29	2.34	2.29	2.30	2.45	2.23	2.72	2.50	2.54	2.57	2.19	2.73	2.78	2.60	2.50	2.55	2.34	2.28
2.53	2.23	2.62	2.43	2.40	2.53	2.41	2.47	2.49	2.24	2.70	2.47	2.55	2.58	2.48	2.59	2.56	2.48	2.51	2.43	2.43	2.28
2.8	2.41	2.41	2.31	2.14	2.36	2.43	1.97	2.67	2.36	2.59	2.68	2.47	2.63	2.45	2.51	2.70	2.37	2.52	2.49	2.47	2.25
2.51	2.42	2.51	2.41	2.34	2.57	2.44	2.18	2.50	2.72	2.79	2.51	2.63	2.44	2.32	2.53	2.78	2.52	2.49	2.55	2.34	2.29
2.43	2.71	2.48	2.22	2.03	2.32	2.44	2.47	2.46	2.21	2.51	2.44	2.7	2.46	2.42	2.66	2.57	2.29	2.45	2.59	2.37	2.55
2.38	2.54	2.70	2.44	2.37	2.44	2.32	2.44	2.53	2.28	2.59	2.47	2.67	2.56	2.45	2.51	2.36	2.51	2.54	2.54	2.36	2.45
2.63	2.55	2.54	2.12	2.29	2.60	2.40	2.28	2.32	2.45	2.79	2.32	2.53	2.36	2.59	2.68	2.31	2.46	2.51	2.66	2.37	2.41
2.27	2.5	2.48	2.47	2.38	2.42	2.50	1.98	2.10	2.34	2.62	2.45	2.14	2.69	2.50	2.66	2.94	2.56	2.55	2.42	2.41	2.39
2.36	2.65	2.58	2.38	2.22	2.29	2.46	2.38	2.45	2.20	2.68	2.77	2.69	2.38	2.22	2.55	2.56	2.66	2.59	2.61	2.35	2.46
2.52	2.53	2.62	2.29	2.25	2.09	2.35	2.52	2.21	2.50	2.69	2.29	2.65	2.46	2.29	2.65	2.38	2.49	2.50	2.62	2.57	2.47
2.64	2.79	2.54	2.58	2.31	2.10	2.55	2.60	2.27	2.13	2.64	2.52	2.61	2.45	2.39	2.50	2.37	2.21	2.47	2.44	2.46	2.45
2.67	2.43	2.53	2.36	2.15	2.20	2.56	2.13	2.27	2.46	2.52	2.29	2.5	2.54	2.48	2.71	2.45	2.41	2.53	2.56	2.41	2.29
2.41	2.38	2.57	2.28	2.49	2.47	2.29	2.58	2.57	2.45	2.76	2.70	2.5	2.49	2.11	2.58	2.95	2.23	2.48	2.55	2.41	2.36
2.47	2.35	2.57	2.46	2.22	2.36	2.41	2.39	2.37	2.29	2.82	2.54	2.46	2.27	2.39	2.42	2.81	2.67	2.47	2.54	2.43	2.40
2.68	2.4	2.58	2.12	2.55	2.35	2.39	2.27	2.44	2.34	2.53	2.42	2.36	2.49	2.39	2.65	2.41	2.59	2.49	2.53	2.30	2.34
2.42	2.67	2.75	2.26	2.23	2.56	2.47	2.11	2.69	2.35	2.71	2.37	2.47	2.48	2.35	2.49	2.87	2.50	2.51	2.54	2.37	2.35
2.47	2.43	2.33	2.41	2.31	2.51	2.47	2.26	2.23	2.20	2.72	2.43	2.56	2.54	2.73	2.45	2.47	2.26			2.47	2.41
2.73	2.27	2.65	2.28	2.31	2.41	2.25	2.30	2.39	2.29	2.65	2.45	2.47	2.58	2.48	2.58	2.56	2.54			2.35	2.47
2.57	2.47	2.44	2.05	2.32	2.31	2.31	2.41	2.69	2.24	2.72	2.55	2.62	2.58	2.31	2.45	2.34	2.43			2.38	2.42

2.4	2.27	2.71	2.27	2.33	2.15	2.47	2.30	2.44	2.25	2.74	2.53	2.64	2.74	2.40	2.46	2.60	2.38			2.41	2.35
2.54	2.33	2.56	2.44	2.47	2.42	2.39	2.27	2.31	2.16	2.60	2.36			2.35	2.39	2.40	2.44				
		2.51	2.32	2.32	2.34	2.36	2.16			2.71	2.63					2.73	2.66				
		2.45	2.46	2.20	2.34	2.46	2.56			2.52	2.59					2.59	2.49				
										2.51	2.41					2.57	2.36				



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ.2 ผลทดสอบสมมติฐานของปัจจัยทั้งหมดสำหรับ HD1

การเคลื่อนย้าย		ขนาดลูกบอล		จำนวนบอล		ความเร็วของเครื่อง swaging		วิธีการทำงาน		วัตถุดิบ		มุมของ angle block		comb tower		base plate		1st key		2nd key	
เคลื่อนย้าย	ไม่เคลื่อนย้าย	ขนาด A	ขนาด B	2 ลูก	3 ลูก	2600	3600	A	B	A	B	40	60	7.64	7.66	12.2	12.2	2.27	2.28	2.99	3.00
2.43	2.57	2.39	2.37	2.17	2.54	2.02	2.53	2.47	2.33	2.24	2.37	2.34	2.59	2.54	2.24	2.63	2.52	2.49	2.50	2.22	2.26
2.65	2.41	2.38	2.60	2.32	2.49	2.23	2.61	2.23	2.34	2.35	2.44	2.38	2.52	2.57	2.38	2.44	2.40	2.49	2.64	2.13	2.26
2.31	2.44	2.61	2.42	2.40	2.24	2.47	2.41	2.53	2.24	2.44	2.62	2.18	2.4	2.34	2.39	2.54	2.26	2.45	2.59	2.21	2.18
2.37	2.33	2.47	2.64	2.31	2.36	2.24	2.60	2.52	2.45	2.51	2.31	2.22	2.34	2.33	2.25	2.57	2.42	2.49	2.55	2.36	2.27
2.34	2.49	2.39	2.36	2.19	2.33	2.22	2.31	2.64	2.55	2.27	2.55	2.32	2.59	2.44	2.33	2.73	2.33	2.53	2.50	2.24	2.19
2.66	2.54	2.52	2.61	2.32	2.39	2.08	2.38	2.51	2.24	2.35	2.63	2.5	2.29	2.38	2.27	2.33	2.45	2.51	2.64	2.47	2.24
2.38	2.41	2.61	2.58	2.44	2.31	2.25	2.47	2.51	2.09	2.25	2.55	2.46	2.68	2.54	2.47	2.39	2.43	2.49	2.56	2.33	2.14
2.31	2.52	2.45	2.42	2.42	2.62	2.38	2.56	2.34	2.48	2.36	2.47	2.55	2.4	2.55	2.26	2.58	2.30	2.46	2.64	2.37	2.13
2.52	2.62	2.56	2.54	2.76	2.26	2.28	2.54	2.29	2.25	2.40	2.60	2.33	2.34	2.26	2.31	2.49	2.43	2.50	2.65	2.18	2.25
2.46	2.53	2.37	2.61	2.26	2.27	2.15	2.49	2.35	2.37	2.32	2.46	2.41	2.21	2.27	2.30	2.32	2.41	2.46	2.54	2.36	2.22
2.27	2.63	1.94	2.40	2.18	2.47	2.44	2.56	2.19	2.45	2.44	2.48	2.35	2.66	2.62	2.34	2.34	2.29	2.47	2.78	2.13	2.15
2.56	2.4	2.33	2.72	2.37	2.15	2.27	2.33	2.65	2.60	2.30	2.42	2.66	2.41	2.39	2.42	2.33	2.53	2.51	2.59	2.21	2.16
2.39	2.17	2.04	2.55	2.29	2.32	1.98	2.48	2.32	2.35	2.33	2.50	2.4	2.6	2.39	2.17	2.44	2.47	2.48	2.48	2.20	2.20
2.55	2.58	2.15	2.55	2.40	2.10	2.35	2.61	2.54	2.40	2.45	2.40	2.32	2.44	2.43	2.44	2.34	2.53	2.52	2.69	2.25	2.19
2.5	2.3	2.21	2.44	2.16	2.10	2.41	2.48	2.37	2.51	2.44	2.52	2.42	2.27	2.53	2.36	2.67	2.41	2.52	2.60	2.24	2.20

2.46	2.3	2.52	2.55	2.17	2.60	2.52	2.58	2.45	2.46	2.31	2.60	2.5	2.36	2.29	2.14	2.35	2.33	2.50	2.57	2.35	2.13
2.3	2.3	2.41	2.34	2.24	2.27	2.43	2.54	2.74	2.67	2.54	2.63	2.25	2.38	2.52	2.35	2.45	2.45	2.45	2.64	2.21	2.18
2.43	2.45	2.37	2.37	2.23	2.54	2.15	2.56	2.47	2.30	2.44	2.36	2.41	2.5	2.14	2.28	2.38	2.44	2.45	2.49	2.29	2.17
2.49	2.42	1.97	2.39	2.55	2.25	2.47	2.58	2.47	2.40	2.39	2.43	2.39	2.51	2.39	2.33	2.61	2.26	2.51	2.61	2.30	2.20
2.59	2.41	2.37	2.61	2.35	2.23	2.32	2.40	2.23	2.26	2.39	2.78	2.33	2.14	2.77	2.30	2.78	2.49	2.40	2.56	2.50	2.14
2.37	2.16	2.27	2.40	2.34	2.15	2.51	2.52	2.37	2.42	2.35	2.45	2.46	2.41	2.36	2.37	2.44	2.30	2.53	2.57	2.39	2.13
2.46	2.3	2.43	2.37	2.18	2.41	2.24	2.66	2.26	2.26	2.19	2.54	2.47	2.26	2.41	2.30	2.46	2.38	2.48	2.64	2.28	2.24
2.37	2.46	2.27	2.52	2.22	2.19	2.42	2.53	2.33	2.53	2.53	2.40	2.35	2.29	2.25	2.42	2.32	2.41	2.48	2.70	2.32	2.22
2.3	2.45	2.55	2.79	2.44	2.26	2.11	2.70	2.39	2.46	2.32	2.50	2.43	2.68	2.46	2.42	2.53	2.24	2.48	2.69	2.29	2.19
2.38	2.3	2.19	2.44	2.24	2.09	2.44	2.55	2.35	2.54	2.38	2.57	2.57	2.44	2.59	2.44	2.36	2.47	2.52	2.63	2.38	2.33
2.49	2.29	2.66	2.28	2.12	2.18	2.41	2.48	2.35	2.44	2.39	2.28	2.53	2.48	2.42	2.31	2.64	2.29	2.45	2.58	2.25	2.31
2.28	2.33	2.35	2.64	2.37	2.11	2.10	2.51	2.27	2.59	2.47	2.57	2.53	2.36	2.37	2.49	2.56	2.17	2.45	2.50	2.33	2.19
2.46	2.34	2.39	2.57	2.16	2.34	2.36	2.55	2.48	2.61	2.44	2.48	2.5	2.36	2.52	2.39	2.57	2.43	2.51	2.60	2.18	2.26
2.42	2.48	2.50	2.66	2.42	2.43	2.28	2.66	2.39	2.18	2.15	2.50	2.6	2.51	2.46	2.30	2.35	2.31	2.54	2.48	2.33	2.33
2.31	2.29	2.25	2.61	2.41	2.24	2.21	2.54	2.40	2.63	2.16	2.65	2.46	2.58	2.61	2.32	2.46	2.30	2.50	2.58	2.47	2.42
2.45	2.61	2.15	2.57	2.30	2.42	2.08	2.39	2.57	2.25	2.39	2.48	2.49	2.33	2.38	2.33	2.42	2.35	2.54	2.61	2.37	2.24
2.3	2.44	2.15	2.60	2.25	2.19	2.29	2.53	2.41	2.65	2.49	2.45	2.42	2.26	2.43	2.36	2.39	2.31	2.46	2.61	2.26	2.30
2.55	2.48	2.43	2.39	2.66	2.24	2.25	2.40	2.61	2.52	2.31	2.47	2.09	2.63	2.31	2.29	2.41	2.49	2.47	2.54	2.31	2.41
2.25	2.4	2.33	2.59	2.37	2.08	2.34	2.61	2.63	2.16	2.31	2.81	2.45	2.36	2.32	2.25	2.39	2.37	2.60	2.50	2.35	2.47
2.49	2.4	2.41	2.82	2.28	2.41	2.18	2.46	2.60	2.43	2.53	2.37	2.29	2.52	2.52	2.36	2.64	2.38	2.49	2.58	2.33	2.26
2.43	2.41	2.69	2.72	2.21	2.37	2.24	2.58	2.40	2.45	2.20	2.42	2.46	2.56	2.49	2.31	2.41	2.41	2.55	2.50	2.20	2.23
2.42	2.38	2.44	2.47	2.34	1.93	2.36	2.44	2.37	2.50	2.44	2.60	2.66	2.31	2.25	2.22	2.32	2.32	2.50	2.53	2.17	2.36

2.27	2.39	2.27	2.68	2.48	2.53	2.45	2.57	2.44	2.38	2.45	2.49	2.22	2.43	2.50	2.56	2.50	2.42	2.50	2.76	2.12	2.44
2.34	2.59	2.25	2.46	2.37	2.35	2.42	2.49	2.62	2.45	2.34	2.47	2.56	2.36	2.33	2.39	2.28	2.40	2.51	2.63	2.30	2.37
2.49	2.28	2.01	2.55	2.45	2.27	2.48	2.45	2.31	2.46	2.49	2.53	2.57	2.54	2.45	2.33	2.57	2.51	2.53	2.56	2.33	2.36
2.57	2.24	2.30	2.67	2.28	2.31	2.51	2.47	2.47	2.44	2.42	2.63	2.73	2.29	2.45	2.23	2.32	2.44	2.54	2.58	2.30	2.30
2.44	2.3	2.46	2.54	2.23	2.59	2.12	2.51	2.34	2.26	2.47	2.41	2.4	2.38	2.49	2.24	2.56	2.56	2.50	2.55	2.34	2.30
2.38	2.52	2.58	2.57	2.42	2.56	2.43	2.35	2.45	2.30	2.62	2.43	2.47	2.37	2.67	2.36	2.54	2.30	2.51	2.55	2.21	2.39
2.55	2.49	2.19	2.53	2.31	2.20	2.32	2.42	2.08	2.30	2.26	2.50	2.38	2.39	2.50	2.72	2.70	2.42	2.50	2.54	2.25	2.32
2.43	2.39	2.54	2.85	2.43	2.32	2.08	2.57	2.47	2.41	2.44	2.43	2.24	2.55	2.46	2.21	2.64	2.48	2.54	2.65	2.23	2.33
2.54	2.41	2.23	2.42	2.34	2.25	2.36	2.53	2.54	2.35	2.40	2.53	2.36	2.23	2.53	2.28	2.54	2.41	2.53	2.66	2.35	2.25
2.56	2.56	2.27	2.66	2.48	2.34	2.35	2.55	2.47	2.49	2.45	2.44	2.51	2.53	2.32	2.45	2.50	2.46	2.54	2.44	2.37	2.32
2.57	2.45	2.37	2.57	2.40	2.33	2.62	2.46	2.41	2.32	2.28	2.53	2.36	2.32	2.10	2.34	2.85	2.55	2.53	2.56	2.34	2.32
2.4	2.41	2.30	2.57	2.45	2.28	2.26	2.48	2.41	2.53	2.47	2.58	2.55	2.56	2.45	2.20	2.69	2.19	2.60	2.58	2.23	2.39
2.5	2.31	2.50	2.55	2.36	2.25	2.40	2.52	2.44	2.45	2.48	2.50	2.29	2.53	2.21	2.50	2.52	2.48	2.42	2.58	2.29	2.43
2.47	2.29	2.33	2.70	2.19	2.37	2.52	2.49	2.29	2.49	2.33	2.62	2.65	2.39	2.27	2.13	2.49	2.45	2.52	2.60	2.40	2.44
2.49	2.58	2.47	2.52	2.35	2.21	2.49	2.47	2.34	2.42	2.23	2.56	2.47	2.42	2.27	2.46	2.23	2.43	2.52	2.54	2.28	2.39
2.31	2.65	2.12	2.56	2.26	2.31	2.21	2.51	2.32	2.69	2.34	2.45	2.58	2.39	2.57	2.45	2.48	2.26	2.51	2.52	2.50	2.33
2.42	2.48	2.59	2.64	2.27	2.22	2.48	2.45	2.30	2.30	2.56	2.59	2.2	2.55	2.37	2.29	2.53	2.31	2.52	2.56	2.29	2.30
2.54	2.33	2.61	2.77	2.45	2.11	2.24	2.60	2.35	2.09	2.25	2.74	2.42	2.51	2.44	2.34	2.44	2.27	2.51	2.53	2.42	2.35
2.49	2.19	2.64	2.57	2.28	2.42	2.37	2.63	2.46	2.38	2.30	2.69	2.57	2.52	2.69	2.35	2.67	2.48	2.48	2.56	2.46	2.27
2.43	2.43	2.57	2.67	2.37	2.11	2.18	2.54	2.49	2.15	2.29	2.57	2.5	2.45	2.23	2.20	2.22	2.31			2.18	2.26
2.36	2.26	2.48	2.69	2.47	2.20	2.30	2.60	2.23	2.41	2.16	2.31	2.61	2.29	2.39	2.29	2.29	2.34			2.26	2.26
2.56	2.58	2.36	2.52	2.16	2.32	2.23	2.53	2.29	2.42	2.38	2.55	2.61	2.21	2.69	2.24	2.51	2.32			2.20	2.41

2.44	2.41	2.41	2.39	2.32	2.39	2.26	2.59	2.31	2.32	2.48	2.57	2.51	2.41	2.44	2.25	2.60	2.40			2.26	2.41
2.5	2.22	2.09	2.44	2.49	2.10	2.36	2.54	2.31	2.20	2.27	2.68			2.31	2.16	2.12	2.32				
		2.31	2.57	2.22	2.16	2.13	2.35	2.35	2.41	2.35	2.63					2.48	2.46				
		2.18	2.56	2.39	2.49	2.08	2.55	2.34	2.40	2.59	2.49					2.63	2.35				
										2.06	2.65					2.41	2.50				



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ฉ

ผลการทดลองการปรับปรุงกระบวนการ

ตารางที่ ฉ.1 ผลการทดลองแบบแฟคทอเรียลของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความแปรปรวนของค่า Gramload

ตารางที่ ฉ.2 ผลการทดลองแบบพื้นผิวตอบสนองของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความแปรปรวนของค่า Gramload



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ.1 ผลการทดลองแบบแฟคทอเรียลของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความแปรปรวนของค่า

Gramload

19	1	1	1	12.17	2.279	7.635	2600	2.35
8	2	1	1	12.19	2.279	7.655	2600	2.51
13	3	1	1	12.17	2.274	7.655	3600	2.47
4	4	1	1	12.19	2.279	7.635	2600	2.52
35	5	0	1	12.18	2.2765	7.645	3100	2.33
3	6	1	1	12.17	2.279	7.635	2600	2.40
30	7	1	1	12.19	2.274	7.655	3600	2.60
28	8	1	1	12.19	2.279	7.635	3600	2.44
5	9	1	1	12.17	2.274	7.655	2600	2.10
21	10	1	1	12.17	2.274	7.655	2600	2.04
14	11	1	1	12.19	2.274	7.655	3600	2.64
15	12	1	1	12.17	2.279	7.655	3600	2.33
24	13	1	1	12.19	2.279	7.655	2600	2.55
27	14	1	1	12.17	2.279	7.635	3600	2.22
22	15	1	1	12.19	2.274	7.655	2600	2.45
26	16	1	1	12.19	2.274	7.635	3600	2.22
10	17	1	1	12.19	2.274	7.635	3600	2.30
18	18	1	1	12.19	2.274	7.635	2600	2.14
1	19	1	1	12.17	2.274	7.635	2600	2.19
25	20	1	1	12.17	2.274	7.635	3600	2.21
20	21	1	1	12.19	2.279	7.635	2600	2.55
17	22	1	1	12.17	2.274	7.635	2600	2.00
16	23	1	1	12.19	2.279	7.655	3600	2.06
23	24	1	1	12.17	2.279	7.655	2600	2.33
11	25	1	1	12.17	2.279	7.635	3600	2.35
29	26	1	1	12.17	2.274	7.655	3600	2.35
34	27	0	1	12.18	2.2765	7.645	3100	2.19
33	28	0	1	12.18	2.2765	7.645	3100	2.19
7	29	1	1	12.17	2.279	7.655	2600	2.33
9	30	1	1	12.17	2.274	7.635	3600	2.30
31	31	1	1	12.17	2.279	7.655	3600	2.29
6	32	1	1	12.19	2.274	7.655	2600	2.40
2	33	1	1	12.19	2.274	7.635	2600	2.09
32	34	1	1	12.19	2.279	7.655	3600	2.00
12	35	1	1	12.19	2.279	7.635	3600	2.40

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๓.2 ผลการทดลองแบบพื้นผิวตอบสนองของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความแปรปรวน
ของค่า Gramload

StdOrder	RunOrder	Blocks	base	1st key	comb	speed	Gramload
9	1	1	12.17	2.2740	7.6350	3600	2.45
14	2	1	12.19	2.2740	7.6550	3600	2.56
7	3	1	12.17	2.2790	7.6550	2600	2.20
19	4	1	12.18	2.2764	7.6450	3100	2.16
22	5	1	12.18	2.2765	7.6455	3100	2.30
1	6	1	12.17	2.2740	7.6350	2600	2.10
27	7	1	12.18	2.2765	7.6450	3100	2.20
12	8	1	12.19	2.2790	7.6350	3600	2.48
24	9	1	12.18	2.2765	7.6450	3125	2.01
4	10	1	12.19	2.2790	7.6350	2600	1.98
23	11	1	12.18	2.2765	7.6450	3075	2.10
21	12	1	12.18	2.2765	7.6445	3100	2.31
10	13	1	12.19	2.2740	7.6350	3600	2.51
30	14	1	12.18	2.2765	7.6450	3100	2.33
25	15	1	12.18	2.2765	7.6450	3100	2.12
3	16	1	12.17	2.2790	7.6350	2600	1.88
16	17	1	12.19	2.2790	7.6550	3600	2.51
26	18	1	12.18	2.2765	7.6450	3100	2.20
11	19	1	12.17	2.2790	7.6350	3600	2.45
2	20	1	12.19	2.2740	7.6350	2600	2.00
20	21	1	12.18	2.2766	7.6450	3100	2.15
31	22	1	12.18	2.2765	7.6450	3100	2.29
13	23	1	12.17	2.2740	7.6550	3600	2.51
8	24	1	12.19	2.2790	7.6550	2600	1.85
18	25	1	12.1805	2.2765	7.6450	3100	2.24
28	26	1	12.18	2.2765	7.6450	3100	2.30
6	27	1	12.19	2.2740	7.6550	2600	1.96
5	28	1	12.17	2.2740	7.6550	2600	1.99
29	29	1	12.18	2.2765	7.6450	3100	2.20
15	30	1	12.17	2.2790	7.6550	3600	2.50
17	31	1	12.1795	2.2765	7.6450	3100	2.00

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ช

ค่าผลการทดสอบการยืนยันผลการทดสอบ

ตารางที่ ช.1 ค่า Gramload ในขั้นตอนการยืนยันผลการทดลอง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.1 ค่า Gramload ในขั้นตอนการยืนยันผลการทดลอง

2.55	2.38	2.63	2.50	2.67	2.40	2.33	2.38	2.31	2.46
2.69	2.30	2.53	2.53	2.44	2.16	2.60	2.69	2.46	2.24
2.31	2.48	2.59	2.48	2.51	2.40	2.56	2.34	2.45	2.23
2.66	2.68	2.55	2.51	2.25	2.46	2.42	2.37	2.60	2.58
2.15	2.48	2.63	2.12	2.81	2.54	2.28	2.44	2.55	2.21
2.39	2.51	2.51	2.70	2.39	2.68	2.23	2.55	2.61	2.53
2.44	2.64	2.40	2.33	2.47	2.22	2.36	2.63	2.17	2.61
2.63	2.54	2.55	2.79	2.39	2.43	2.39	1.94	2.49	2.32
2.42	2.55	2.30	2.65	2.30	2.24	2.42	2.70	2.21	2.36
2.54	2.59	2.31	2.71	2.60	2.59	2.55	2.56	2.50	2.64
2.56	2.50	2.46	2.23	2.63	2.64	2.33	2.39	2.52	2.46
2.59	2.28	2.46	2.71	2.27	2.60	2.70	2.49	2.58	2.27
2.39	2.35	2.62	2.75	2.62	2.12	2.37	2.66	2.40	2.70
2.72	2.28	2.68	2.29	2.72	2.63	2.22	2.63	2.52	2.73
2.65	2.88	2.54	2.55	2.83	2.38	2.21	2.40	2.68	2.41
2.45	2.43	2.33	2.69	2.54	2.55	2.35	2.76	2.35	2.31
2.74	2.42	2.36	2.32	2.29	2.56	2.75	2.44	2.54	2.56
2.30	2.56	2.47	2.50	2.23	2.25	2.46	2.74	2.52	2.38
2.46	2.21	2.44	2.42	2.33	2.58	2.59	2.67	2.60	2.47
2.23	2.74	2.84	2.32	2.28	2.69	2.35	2.56	2.67	2.60
2.68	2.35	2.19	2.47	2.40	2.46	2.60	2.46	2.54	2.58
2.37	2.26	2.57	2.47	2.26	2.76	2.64	2.71	2.69	2.56
2.70	2.31	2.64	2.42	2.48	2.27	2.48	2.55	2.55	2.57
2.24	2.49	2.48	2.60	2.62	2.38	2.40	2.48	3.00	2.67
2.57	2.47	2.31	2.35	2.51	2.61	2.58	2.61	2.66	2.35
2.32	2.41	2.48	2.43	2.85	2.75	2.67	2.56	2.71	2.48
2.53	2.54	2.77	2.29	2.35	2.41	2.35	2.23	2.80	2.72
2.42	2.56	2.48	2.35	2.52	2.74	2.72	2.73	2.59	2.60
2.58	2.49	2.20	2.18	2.64	2.32	2.62	2.59	2.57	2.53
2.33	2.47	2.48	2.37	2.35	2.42	2.50	2.40	2.43	2.40
2.52	2.43	2.37	2.57	2.49	2.44	2.61	2.55	2.50	2.60
2.50	2.88	2.22	2.51	2.33	2.84	2.62	2.30	2.55	2.57
2.38	2.69	2.50	2.46	2.36	2.52	2.33	2.63	2.30	2.59
2.49	2.51	2.34	2.33	2.60	2.61	2.44	2.34	2.53	2.37
2.76	2.61	2.48	2.37	2.32	2.61	2.53	2.71	2.47	2.25
2.60	2.55	2.49	2.49	2.43	2.35	2.27	2.81	2.53	2.38
2.49	2.52	2.61	2.59	2.68	2.06	2.81	2.64	2.79	2.36
2.32	2.54	2.55	2.13	2.82	2.50	2.39	2.44	2.59	2.56
2.35	2.84	2.37	2.62	2.02	2.45	2.86	2.70	2.71	2.38
2.31	2.56	2.61	2.23	2.69	2.40	2.83	2.37	2.72	2.65
2.52	2.57	2.49	2.86	2.30	2.21	2.39	2.58	2.42	2.47
2.81	2.78	2.75	2.85	2.64	2.50	2.40	2.32	2.38	2.43
2.56	2.33	2.68	2.57	2.56	2.60	2.49	2.67	2.53	2.58
2.73	2.40	2.19	2.31	2.61	2.55	2.44	2.64	2.42	2.61
2.52	2.46	2.61	2.87	2.62	2.69	2.35	2.41	2.83	2.62
2.70	2.76	2.62	2.73	2.61	2.51	2.08	2.65	2.67	2.37
2.56	2.75	2.42	2.29	2.48	2.43	2.73	2.35	2.45	2.52
2.54	2.36	2.20	2.22	2.65	2.64	2.56	2.65	2.56	2.27
2.35	2.46	2.13	2.53	2.35	2.41	2.65	2.51	2.64	2.41
2.75	2.65	2.50	2.66	2.25	2.49	2.80	2.27	2.45	2.51

ภาคผนวก ซ

ค่าผลการปรับปรุงกระบวนการผลิต

ตาราง ซ. 1 ตารางข้อมูลการควบคุมการตั้งค่าของ shuttle และเครื่อง swaging สำหรับ HD0

ตาราง ซ. 2 ตารางข้อมูลการควบคุมการตั้งค่าของ shuttle และเครื่อง swaging สำหรับ HD1



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข. 1 ตารางข้อมูลการควบคุมการตั้งค่าของ shuttle และเครื่อง swaging สำหรับ HD0

2.49	2.55	2.55	2.43	2.45	2.73	2.45	2.46	2.27
2.38	2.64	2.58	2.7	2.48	2.51	2.35	2.61	2.53
2.37	2.54	2.38	2.62	2.42	2.42	2.44	2.63	2.53
2.49	2.46	2.45	2.61	2.55	2.6	2.5	2.59	2.41
2.49	2.77	2.49	2.42	2.4	2.47	2.44	2.58	2.59
2.31	2.61	2.54	2.34	2.51	2.46	2.54	2.74	2.55
2.57	2.65	2.68	2.56	2.49	2.6	2.39	2.42	2.5
2.56	2.43	2.62	2.61	2.55	2.49	2.47	2.43	2.49
2.61	2.48	2.7	2.54	2.46	2.6	2.54	2.59	2.73
2.68	2.31	2.43	2.49	2.39	2.58	2.71	2.53	2.54
2.47	2.51	2.44	2.52	2.51	2.74	2.28	2.55	2.6
2.48	2.44	2.57	2.61	2.38	2.45	2.48	2.44	2.55
2.43	2.43	2.56	2.5	2.52	2.78	2.5	2.51	2.23
2.8	2.27	2.5	2.5	2.4	2.49	2.49	2.54	2.56
2.4	2.67	2.49	2.63	2.57	2.54	2.65	2.54	2.38
2.28	2.43	2.28	2.54	2.52	2.42	2.55	2.49	2.49
2.53	2.45	2.67	2.3	2.29	2.5	2.54	2.42	2.51
2.22	2.44	2.58	2.62	2.51	2.62	2.68	2.54	2.38
2.54	2.49	2.54	2.28	2.32	2.46	2.59	2.51	2.58
2.5	2.54	2.63	2.6	2.67	2.54	2.44	2.67	2.3

ตาราง ข. 2 ตารางข้อมูลการควบคุมการตั้งค่าของ shuttle และเครื่อง swaging สำหรับ HD1

2.1	2.54	2.5	2.34	2.42	2.6	2.43	2.48	2.5
2.5	2.39	2.32	2.49	2.26	2.42	2.45	2.53	2.52
2.48	2.52	2.46	2.58	2.48	2.33	2.48	2.52	2.25
2.53	2.27	2.5	2.58	2.52	2.62	2.6	2.58	2.42
2.39	2.33	2.4	2.46	2.57	2.42	2.55	2.56	2.51
2.46	2.52	2.53	2.39	2.21	2.35	2.52	2.58	2.52
2.34	2.37	2.37	2.61	2.42	2.33	2.45	2.56	2.56
2.41	2.39	2.36	2.5	2.43	2.39	2.43	2.44	2.25
2.55	2.4	2.52	2.49	2.47	2.53	2.51	2.29	2.59
2.37	2.61	2.41	2.53	2.29	2.25	2.38	2.41	2.48
2.34	2.52	2.51	2.37	2.69	2.35	2.55	2.48	2.56
2.39	2.5	2.33	2.4	2.43	2.55	2.44	2.56	2.47
2.48	2.44	2.3	2.45	2.56	2.47	2.48	2.56	2.42
2.34	2.43	2.49	2.5	2.44	2.53	2.51	2.48	2.5
2.42	2.4	2.47	2.37	2.5	2.5	2.47	2.63	2.47
2.32	2.54	2.44	2.36	2.25	2.47	2.34	2.32	2.53
2.41	2.44	2.38	2.45	2.39	2.46	2.51	2.48	2.45
2.32	2.55	2.42	2.27	2.48	2.3	2.56	2.62	2.44
2.39	2.23	2.5	2.43	2.39	2.41	2.38	2.22	2.44
2.48	2.36	2.38	2.61	2.68	2.52	2.42	2.38	2.48

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวภัทรา อายุวัฒน์ เกิดเมื่อวันที่ 15 มกราคม พ.ศ. 2519 ที่จังหวัดร้อยเอ็ด สำเร็จ การศึกษาระดับปริญญา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม จากมหาวิทยาลัย เทคโนโลยีสุรนารี เมื่อปี พ.ศ. 2541 และได้เข้าศึกษาต่อในระดับบัณฑิตศึกษา ภาควิชาวิศวกรรม อุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2544



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย