

การลดของเสียที่เกิดจากการไม่ผ่านการทวนสอบของเครื่องปรับความสมดุล
ในสายการประกอบแผ่นบันทึกข้อมูลโดยวิธีซิกซ์ ซิกม่า



นายปรีชา สุดาทิพย์

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

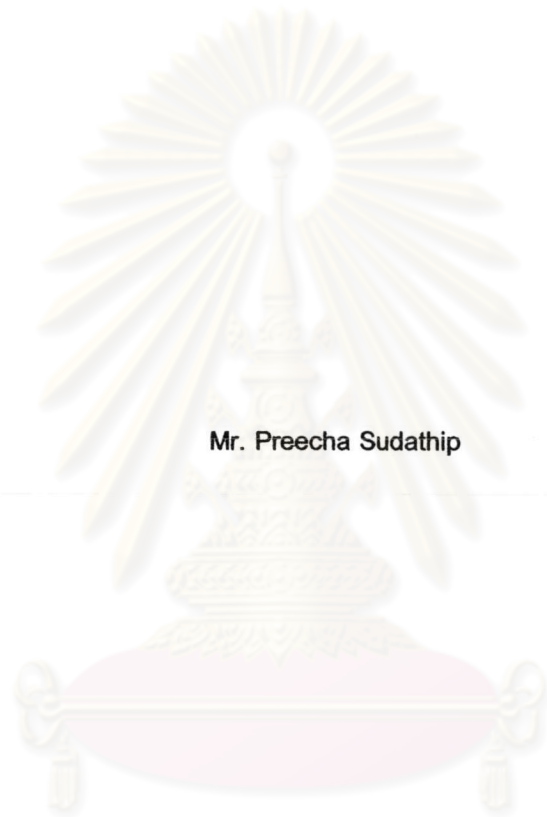
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-4657-1

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**DEFECT REDUCTION FROM VERIFY FAILED OF BALANCER MACHINE IN
HARD DISK DRIVE ASSEMBLY LINE BY SIX SIGMA**



Mr. Preecha Sudathip

ศูนย์วิทยทรัพยากร
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

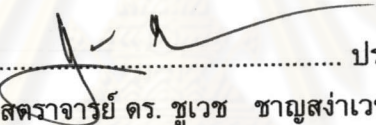
ISBN 974-17-4657-1

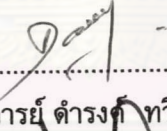
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การลดของเสียที่เกิดจากการไม่ผ่านการทวนสอบของเครื่องปรับความสมดุล
ในสายการประกอบแผ่นบันทึกข้อมูลโดยวิธีซิกซ์ ซิกมา
โดย นายปรีชา สุดาทิพย์
สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


..... คณะบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. ดีเรก ลาวัญย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชูเวช ชาญสง่าเวช)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุตติมา)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ เภาประเสริฐวงศ์)

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปริษา สุดาทิพย์ : การลดของเสียที่เกิดจากการไม่ผ่านการทวนสอบของเครื่องปรับความสมดุลในสายการประกอบแผ่นบันทึกข้อมูลโดยวิธีซิกซ์ ซิก (Defect Reduction from Verify Failed of Balancer machine in Hard Disk Drive Assembly Line by Six Sigma)
 อ.ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย, 179 หน้า.

การวิจัยนี้เสนอแนวทางการควบคุมคุณภาพโดยใช้แนวทางของซิกซ์ ซิกมา เพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการการประกอบชุดหัวอ่านสำเร็จ อันเนื่องมาจากข้อบกพร่องต่างๆ โดยนำวิธีการตามแนวทางซิกซ์ ซิกมา มาประยุกต์ใช้ปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อศึกษาหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความสมดุลแผ่นบันทึกข้อมูลในกระบวนการปรับดุล ซึ่งเป็นข้อกำหนดด้านผลิตภัณฑ์ของลูกค้า และหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยดังกล่าวในการผลิตที่จะทำให้ปริมาณของเสียลดลง โดยหน่วยวัดผลระดับการปรับปรุงของการวิจัยที่กำหนดคือ อัตราส่วนของเสียที่เกิดขึ้นซึ่งก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิตมีของเสียส่วนของเสียที่เกิดจากการไม่ผ่านการทวนสอบเท่ากับ 2.90%

ขั้นตอนการวิจัยดำเนินการตามขั้นตอนตามวิธีการทางซิกซ์ ซิกมา ทั้ง 5 ขั้นตอน โดยเริ่มจากขั้นตอนนิยามปัญหา ขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ และขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิต ตามลำดับ ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ของกระบวนการ คือ สามารถกำหนดค่าของระดับของปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความสมดุลในกระบวนการปรับดุลแผ่นบันทึกข้อมูลในฮาร์ดดิสก์มีค่าเฉลี่ยลดลงจากเดิมโดยการนำปัจจัยนำเข้าทั้ง 2 ปัจจัยมาทำการออกแบบการทดลอง โดยใช้วิธีการ 2^2 Full Factorial Design โดยจากการวิเคราะห์หาระดับที่เหมาะสมของการปรับค่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องนั้น เพื่อให้ได้ค่าความแตกต่างน้อยที่สุดของค่าความสมดุลหลังจากผ่านการหมุนสกรูหลังการปรับดุล โดยการกำหนดค่าแรงในการหมุนสกรูก่อนการปรับดุล(Pre-Torque)เท่ากับ 0.8 in.lb และแรงในการหมุนสกรูหลังการปรับดุล(Final Torque)เท่ากับ 4.4 in.lb แล้วทำการทดสอบเพื่อยืนยันผลก่อนนำไปใช้งานจริงในกระบวนการผลิต จากนั้นทำการควบคุมปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้งสองด้วยกระบวนการเชิงสถิติในขั้นตอนการควบคุมกระบวนการ

จากข้อมูลหลังการปรับปรุงกระบวนการพบว่า มีปริมาณของเสียที่เกิดจากการไม่ผ่านการทวนสอบเกิดขึ้น 515 ชิ้นงานของการผลิต 37850 ชิ้นงาน ซึ่งคิดเป็น 1.36 เปอร์เซ็นต์โดยก่อนการปรับปรุงมีของเสีย 1254 ชิ้นงานของการผลิต 43218 ชิ้นงานหรือ 2.90% ดังนั้นหลังการปรับปรุงของเสียลดลง 1.54% หรือลดลง 53% ของอัตราส่วนของเสียเดิม

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ
 สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ
 ปีการศึกษา 2546

ลายมือชื่อนิสิต
 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

4571435621 : MAJOR INDUSTRY ENGINEERING

KEY WORD : SIX SIGMA / DEFECT PART PER MILLION / DEFINE PHASE / MEASURE PHASE / ANALYZE PHASE / IMPROVE PHASE / CONTROL PHASE

PREECHA SUDATHIP : DEFECT REDUCTION FROM VERIFY FAILED OF BALANCER MACHINE IN HARD DISK DRIVE ASSEMBLY LINE BY SIX SIGMA
 THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. DAMRONG THAVEESAENSAKULTHAI,

179 pp.

The objective of this research is to reduce the number of defects in hard disk drive assembly process. Six Sigma Approach is applied not only to study the factors influencing the imbalance and the product specification limit, but also to identify the appropriate operative conditions for reducing defects. The efficient improvement is measure by the defect rate . The current process has defect rate of Verify Failed is 2.90 %

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 imbalance value of before and after final torque process. Two KPIVs have been used to perform and experiment with 2^2 Fractional Full Factorial with 5 center points in improvement phase. It is found that the appropriate average pre-torque value is 0.8 in.lb, and final torque value is 4.4 in.lb. 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 Verify Failed defect after process improvement shows 515 drives of 37850 drives produced which is equal to 1.36 % of amount of defect .The defect before improving is 1254 drives of 43218 drives produced which is equal 2.90%.So,Verify Failed defect is reduced 1.54% or 53% of defect rate 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 ดำรง ทวีแสงสกุลไทย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งเป็นผู้ที่ให้ความรู้ทางทฤษฎี หลักการ ตลอดจนคำแนะนำแก้ไขและชี้แนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ด้วยดี และขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ชูเวช ชาญสง่าเวช ประธานกรรมการ รองศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชูติมาและรองศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ เภาประเสริฐวงศ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ พร้อมทั้งตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องภายในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ประโยชน์และความดีอันพึงเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแต่ บิดา มารดา พี่น้อง เพื่อนนิสิต และเพื่อนร่วมงาน นอกจากนั้นขอขอบคุณทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวไว้ในที่นี้ ที่กรุณาให้ความร่วมมือช่วยเหลือ และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จด้วยดี



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญรูป	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ประวัติความเป็นมาและรายละเอียดของโรงงานกรณีศึกษา.....	1
1.3 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	2
1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	8
1.5 ขอบเขตการวิจัย	8
1.6 แนวทางของการดำเนินการวิจัย	8
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	9
บทที่ 2 การสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 การสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	10
2.2 การสำรวจทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	13
บทที่ 3 การนิยามปัญหา	
3.1 บทนำ	29
3.2 การกำหนดทีมงานดำเนินงาน	29
3.3 การศึกษากระบวนการผลิต	30
3.4 แผนผังแสดงสายการประกอบ Hard Disk Drive (Line Lay Out).....	31
3.5 สภาพปัญหาในปัจจุบัน.....	32
3.6 การกำหนดปัญหา	33
3.7 การกำหนดขั้นตอนการดำเนินงานและเครื่องมือที่ใช้.....	37
3.8 การสรุปนิยามปัญหา	39

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา	
4.1 บทนำ	40
4.2 การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (GR&R)	40
4.3 การวิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุ (Cause & Effect Diagram)	46
4.4 การวิเคราะห์ปัญหาจากการหาความสัมพันธ์สาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix)	50
4.5 การให้เหตุผลถึงสาเหตุของปัจจัยที่ถูกตัดทิ้งไป.....	53
4.6 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA)	54
4.7 สรุปผลขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา	70
บทที่ 5 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา	
5.1 บทนำ	72
5.2 ปัจจัยนำเข้าที่นำมาทดสอบสมมติฐาน	72
5.3 สรุประดับของแต่ละปัจจัยนำเข้าที่นำมาทดสอบสมมติฐาน	79
5.4 การวิเคราะห์ผลการทดสอบสมมติฐาน	79
5.5 สรุปปัจจัยที่ระดับของปัจจัยมีความแตกต่างกันจากการทดสอบ สมมติฐาน	99
บทที่ 6 การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ	
6.1 บทนำ	100
6.2 ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ	100
6.3 ตัวแปรตอบสนอง	101
6.4 การออกแบบการทดลอง	101
6.5 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง	106
6.6 การวิเคราะห์ผลการทดลอง	109
6.7 ค่าเงื่อนไขของปัจจัยที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ	113
6.8 สรุปขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ	121

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 7 การทดสอบยืนยันผล	
7.1 บทนำ	122
7.2 ขั้นตอนการทดสอบยืนยันผล	122
7.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง	123
7.4 สรุปผลขั้นตอนการทดสอบยืนยัน	124
บทที่ 8 การควบคุมกระบวนการผลิต	
8.1 บทนำ	125
8.2 แผนการควบคุม	125
8.3 การประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม.....	132
8.4 ข้อมูลที่ได้จากการควบคุม	133
8.5 สรุปผลขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิต	144
บทที่ 9 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	
9.1 บทนำ	145
9.2 สรุปผลขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา	145
9.3 สรุปปัจจัยที่ระดับของปัจจัยมีความแตกต่างกันจากการ ทดสอบสมมติฐาน	146
9.4 สรุปขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ	147
9.5 สรุปผลขั้นตอนการควบคุมการผลิต	148
9.6 ข้อเสนอแนะ	148
9.7 สิ่งที่ได้จากการศึกษาและปรับปรุงกระบวนการลดของเสียที่เกิดจาก การไม่ผ่านการทวนสอบ (Verify Failed) โดยวิธี ชิกซ์ ชิกมา.....	149
9.8 ปัญหาและอุปสรรคในการทดลอง.....	149
รายการอ้างอิง	150

สารบัญญัตินำ

ตารางที่	หน้า
3.1 เครื่องมือที่เลือกใช้และตัววัดผลของขั้นตอนต่าง ๆ.....	37
4.1 ผลการวิเคราะห์การประเมินระบบการวัดที่ Main Nest	42
4.2 ผลการวิเคราะห์การประเมินความผันแปรของระบบการวัดที่ Verify Nest	44
4.3 ปัจจัยภายในและปัจจัยภายนอกที่ส่งผลต่อค่าความสมดุลของแผ่นบันทึกข้อมูล.....	47
4.4 การวิเคราะห์ปัญหาจากการหาความสัมพันธ์สาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix)	51
4.5 การให้เหตุผลถึงสาเหตุของปัจจัยที่ถูกตัดทิ้ง.....	53
4.6 การสรุปการวิเคราะห์ FMEA สำหรับกระบวนการประกอบฮาร์ดดิสก์	68
4.7 การวิเคราะห์ FMEA สำหรับกระบวนการประกอบฮาร์ดดิสก์	70
5.1 สรุปปัจจัยและระดับของปัจจัยในการทดสอบสมมุติฐาน	79
5.2 ผลการคำนวณสิ่งตัวอย่าง	80
5.3 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนทั้งในกรณีที่ใช้ค่า Pre-Torque 0.4 และ 0.8 in.lb	82
5.4 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยค่าความสมดุลแผ่นบันทึกข้อมูลหลังการหมุนสกรูครั้งสุดท้ายด้วยแรงที่ใช้ในขั้นตอน Pre-Torque ที่ 0.4 และ 0.8 in.lb	84
5.5 ผลการคำนวณสิ่งตัวอย่าง	85
5.6 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวน	87
5.7 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยค่าความสมดุลแผ่นบันทึกข้อมูลก่อนและหลังการหมุนสกรูครั้งสุดท้าย (Final Torque)	89
5.8 ผลการคำนวณสิ่งตัวอย่าง	90
5.9 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวน	93
5.10 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยค่าความสมดุลแผ่นบันทึกโดยการปรับตั้งระยะการแกว่งตัวของที่วางงานเพื่อการทวนสอบ (Verify Nest) ที่ 3 mm และ 6 mm	94
5.11 ผลการทดสอบสมมุติฐานความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างค่าสมดุลของ Golden Drive และค่าความสมดุลที่อ่านได้จาก Main Nest	96
5.12 ผลการทดสอบสมมุติฐานความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างค่าสมดุลของ Golden Drive และค่าความสมดุลที่อ่านได้จาก Verify Nest	97
5.13 สรุปความมีนัยสำคัญของแต่ละปัจจัย.....	98
5.14 สรุปปัจจัยที่ระดับของปัจจัยที่มีความแตกต่างกันจากการทดสอบสมมุติฐาน	99

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
6.1 สรุปปัจจัยที่ระดับของปัจจัยที่มีความแตกต่างกันจากการทดสอบสมมติฐาน	100
6.2 กำลังและจำนวนการทดลองซ้ำ	102
6.3 ตารางแสดงผลการทดลอง	103
6.4 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง (Coded Units)	112
6.5 ตารางแสดงปัจจัยและการกำหนดค่าที่เหมาะสมของระดับ	113
6.6 แสดงผลการทดลองโดยการขยายช่วงปัจจัย (Modify Design)	114
6.7 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง (Coded Units)	119
6.8 ตารางแสดงปัจจัยและการกำหนดค่าที่เหมาะสมของระดับ	120
6.9 ตารางแสดงปัจจัยและการกำหนดค่าที่เหมาะสมของระดับ	120
8.1 แสดงลำดับและหัวข้อที่ทำการตรวจสอบเครื่องปรับดุล(Balancer)ประจำวัน.....	129
8.2 แสดงการวิเคราะห์ระบบการวัดค่าแรงบิดของมอเตอร์.....	134
8.3 ตารางสรุปผลการตรวจสอบเครื่องปรับดุลแผ่นบันทึกข้อมูล ของเดือนมกราคม 2547.....	141
8.4 ตารางแสดงผลการตรวจสอบค่าความสามารถของระบบการวัด ของที่วางงานในเดือนมกราคม 2547.....	142
8.5 ตารางแสดงผลการสอบเทียบที่วางงานกับชิ้นงานมาตรฐาน ในเดือนมกราคม 2547.....	143
9.1 สรุปปัจจัยที่ระดับของปัจจัยที่มีความแตกต่างกันจากการทดสอบสมมติฐาน.....	147

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 แสดงผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์สำหรับคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ.....	2
1.2 แสดงความสามารถโดยรวมของเครื่องจักรในแต่ละหน่วยการผลิตในเดือน กรกฎาคม 2546	3
1.3 แสดงลักษณะทางกายภาพของเครื่อง Balancer	4
1.4 แสดงรูปการจำลองผลของค่าความสมดุลที่จอแสดงผล(Monitor)	5
1.5 แสดงรูปการจำลองผลของค่าความสมดุลที่จอแสดงผล.....	5
1.6 แสดงความรุนแรงของปัญหาต่างๆ ที่เกิดจากเครื่อง Balancer	6
1.7 แสดงความสามารถของเครื่องจักรแต่ละเครื่อง	7
2.1 ส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์	14
3.1 แผนภาพกระบวนการผลิตรวม	30
3.2 แสดงแผนผังสายผลิตการประกอบ Hard Disk Drive	31
3.3 แสดงความสามารถโดยรวมของเครื่องจักรในแต่ละหน่วยการผลิตใน เดือนกรกฎาคม 2546	32
3.4 แสดงลักษณะทางกายภาพของเครื่อง Balancer.....	33
3.5 การจำลองผลของค่าความสมดุลที่จอแสดงผล(Monitor).....	34
3.6 การจำลองผลของค่าความสมดุลที่จอแสดงผล	34
3.7 แสดงความรุนแรงของปัญหาต่างๆ ที่เกิดจากเครื่อง Balancer.....	35
3.8 แสดงความสามารถของเครื่องจักรแต่ละเครื่อง	36
4.1 แผนภาพการประเมินระบบการวัดที่ Main Nest	43
4.2 แผนภาพการประเมินระบบการวัดที่ Verify Nest	45
4.3 แผนผังแสดงเหตุและผล.....	49
4.4 แผนภูมิพาเรโตเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยต่างๆ จากการวิเคราะห์ ด้วย Cause & Effect Matrix	52
4.5 แสดงลักษณะที่วางงาน (Nest)	59
4.6 แสดงตัวอย่างแบบฟอร์มการตรวจสอบที่วางงาน(Nest)เป็นสัปดาห์	60
4.7 แสดงตัวอย่างแบบฟอร์มการตรวจสอบค่า Final Torque	61
4.8 แสดงตัวอย่างในการตรวจสอบแผ่นบันทึกข้อมูล.....	63
4.9 แสดงตัวอย่างในการตรวจสอบแผ่นบันทึกข้อมูล.....	64

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.10 แสดงตัวอย่างการตรวจค่า GR&R	65
5.1 ขั้นตอนการทดลองสำหรับแรงที่ใช้ Pre-Torque.....	73
5.2 ขั้นตอนการทดลองสำหรับการเลื่อนตัวของแผ่นบันทึกข้อมูลในช่วง Final Torque	75
5.3 ขั้นตอนการทดลองสำหรับการคลายตัวของสกรูกันแกว่งของที่วางงานเพื่อ การทวนสอบ(Verify Nest)	77
5.4 ขั้นตอนการทดลองสำหรับการอ่านค่าของแต่ละ Nest	78
5.5 กราฟแสดงการกระจายของค่าความสมดุลในกรณีที่ใช้ค่า pre-torque เท่ากับ 0.4 in.lb	80
5.6 กราฟแสดงการกระจายของค่าความสมดุลในกรณีที่ใช้ค่า pre-torque เท่ากับ 0.8 in.lb	81
5.7 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนทั้งในกรณี ที่ใช้ค่า Pre-Torque 0.4 และ 0.8 in.lb	82
5.8 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยค่าความสมดุล แผ่นบันทึกข้อมูลหลังการหมุนสกรูครั้งสุดท้ายด้วยแรงที่ใช้ในขั้นตอน pre-torque ที่ 0.4 และ 0.8 in.lb	84
5.9 กราฟแสดงการกระจายของค่าความสมดุลก่อนการหมุนสกรูครั้งสุดท้าย	86
5.10 กราฟแสดงการกระจายของค่าความสมดุลหลังการหมุนสกรูครั้งสุดท้าย	86
5.11 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวน	88
5.12 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยค่าความสมดุลแผ่นบันทึกข้อมูล ก่อนและหลังการหมุนสกรูครั้งสุดท้าย (Final Torque)	89
5.13 กราฟแสดงการกระจายของค่าความสมดุลที่ระยะกันแกว่ง 3 mm	91
5.14 กราฟแสดงการกระจายของค่าความสมดุลที่ระยะกันแกว่ง 6 mm	91
5.15 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวน	93
5.16 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยค่าความสมดุลแผ่นบันทึก โดยการปรับตั้งระยะการแกว่งตัวของที่วางงานเพื่อการทวนสอบ(Verify Nest) ที่ 3 mm และ 6 mm	95
6.1 แผนภูมิแสดงสถิติเชิงพรรณนาของค่าตัวแปรตอบสนอง	106

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.2 กราฟแสดงการกระจายของค่าส่วนตกค้าง	107
6.3 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและลำดับของข้อมูล	108
6.4 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิต	109
6.5 กราฟ Normal Probability Plot แสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญ	110
6.6 แผนภูมิพาเรโต แสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญ	110
6.7 ผลหลักของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง	111
6.8 ภาพอันตรกิริยาของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง	111
6.9 ผลการวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ	113
6.10 กราฟแสดงการกระจายของค่าส่วนตกค้าง	116
6.11 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและลำดับของข้อมูล.....	117
6.12 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิต.....	118
7.1 กราฟการกระจายของค่าความสมดุขของแผ่นบันทึกข้อมูล	123
8.1 การบันทึกข้อมูลสำหรับการแก้ปัญหา และตรวจเช็ค แรงในการหมุนสกรูในการทำ Pre-Torque	126
8.2 การบันทึกข้อมูลสำหรับการแก้ปัญหา และตรวจเช็ค แรงในการหมุนสกรูในการทำ Final-Torque	127
8.3 การบันทึกข้อมูลสำหรับการตรวจสอบสภาพโดยรวม ของเครื่อง Balancer	128
8.4 การสอบเทียบของที่วางงาน (Nest).....	131
8.5 กราฟแสดง \bar{X} และ R Chart ของค่า แรงหมุนสกรูของ Motor 1.....	135
8.6 กราฟแสดง \bar{X} และ R Chart ของค่า แรงหมุนสกรูของ Motor 2.....	136
8.7 กราฟแสดง \bar{X} และ R Chart ของค่า แรงหมุนสกรูของ Motor 3.....	137
8.8 กราฟแสดง \bar{X} และ R Chart ของค่า แรงหมุนสกรูของ Motor 4.....	138
8.9 กราฟแสดง \bar{X} และ R Chart ของค่า แรงหมุนสกรูของ Motor 5.....	139
8.10 กราฟแสดง \bar{X} และ R Chart ของค่า แรงหมุนสกรูของ Motor 6.....	140
8.11 แสดงความสามารถของเครื่องกรณีศึกษาเดือนมกราคม 2547.....	143