การลดของเสียที่เกิดจากฝุ่นของชุดหัวอ่าน – เขียนสำหรับฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ
: กรณีศึกษาโรงงานประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

นางสาวเภสัช ชัยพงษ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-53-2427-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DUST DEFECTIVES REDUCTION FOR HEAD STACK ASSEMBLY IN HARD DISK DRIVE

Miss Phesat Chaiyaphong

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering
Department of Industrial Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2005

ISBN 974-53-2427-2

481720

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การลดของเสียที่เกิดจากฝุ่นของชุดหัวอ่าน – เขียนสำหรับฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ : กรณีศึกษาโรงงานประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ
โดย	นางสาวเภสัช ชัยพงษ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. วันชัย ริจิรวนิช

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการสอบ

(รองศาสตราจารย์ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร. วันชัย ริจิรวนิช)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมชาย พัวจินดาเนตร)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน)

เภสัช ชัยพงษ์ : การลดของเสียที่เกิดจากฝุ่นของชุดหัวอ่าน – เขียนสำหรับฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ : กรณีศึกษาโรงงานประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (DUST DEFECTIVES REDUCTION FOR HEAD STACK ASSEMBLY IN HARD DISK DRIVE) อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร. วันชัย ริจิรวนิช, 271 หน้า. ISBN 974-53-2427-2

การวิจัยมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาวิเคราะห์ปัญหาของเสียที่เกิดจากฝุ่นในชุดหัวอ่าน – เขียนสำหรับฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟขนาด 2.5 นิ้ว ซึ่งใช้ในคอมพิวเตอร์แบบ Note Book จากการศึกษาพบว่าฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟขนาด 2.5 นิ้วซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ตัวใหม่ของบริษัทตัวอย่างมีปัญหาเกี่ยวกับของเสียที่เกิดจากอนุภาคฝุ่นที่ตกค้างอยู่บนชุดหัวอ่าน – เขียนที่ประกอบสำเร็จแล้วมีค่ามากกว่าสเปคที่กำหนด

งานวิจัยฉบับนี้มุ่งเน้นถึงการศึกษาแนวทางใหม่ในการทำความสะอาดชิ้นส่วนย่อยก่อนนำเข้าสู่สายการประกอบชุดหัวอ่าน – เขียน โดยมุ่งเน้นไปที่ทำความสะอาดชิ้นส่วนย่อยแต่ละชิ้นส่วนให้บรรลุตามข้อกำหนดเกี่ยวกับการตกค้างของอนุภาคฝุ่นที่ควบคุมภายในของบริษัทตัวอย่างเสียก่อน จึงจะสามารถนำเข้าสู่สายการประกอบชุดหัวอ่าน – เขียนได้ จากนั้นจึงทำความสะอาดชุดหัวอ่าน – เขียนสำเร็จรูปอีกเป็นครั้งสุดท้ายเพื่อให้ปริมาณอนุภาคฝุ่นที่ตกค้างบนชุดหัวอ่าน – เขียนได้ตามความต้องการของลูกค้า

ผลการวิจัยพบว่าการเลือกทำความสะอาดชิ้นส่วนย่อยที่มีอนุภาคฝุ่นตกค้างค่อนข้างน้อยด้วยเครื่องล้างระบบ Aqueous System และการทำความสะอาดชิ้นส่วนย่อยที่มีจำนวนอนุภาคฝุ่นตกค้างจำนวนมากด้วยเครื่องล้างระบบ Solvent System ภายในโรงงานเองก่อนนำเข้าสู่สายการประกอบชุดหัวอ่าน – เขียน และทำความสะอาดชุดหัวอ่าน – เขียนสำเร็จรูปด้วยเครื่องล้างระบบ Solvent System ทำให้ได้ค่าอนุภาคฝุ่นที่ตกค้างสุดท้ายตามที่ลูกค้าต้องการ คือสามารถลดจำนวนอนุภาคฝุ่นตกค้างจาก 7,632 อนุภาค / ตารางเซนติเมตร เป็น 4,563 อนุภาค / ตารางเซนติเมตร หรือคิดเป็น 40.21% และค่า DPPM เฉลี่ย ลดลงจาก 911 เป็น 491 หรือคิดเป็น 53.89 % อีกทั้ง % LRR ลดลงจาก 16 % เป็น 2 %

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2548

4671459821 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORD : DUST DEFECTIVES REDUCTION FOR HEAD STACK ASSEMBLY

PHESAT CHAIYAPHONG : DUST DEFECTIVES REDUCTION FOR HEAD STACK ASSEMBLY IN HARD DISK DRIVE. THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF. WANCHAI RIJIRAVANICH,Ph.D., 271 pp. ISBN 974-53-2427-2

The research objective is to analyze the problem of dust defectives in Head Stack Assembly for Hard Disk Drives size 2.5 inches that use for Notebook Computer. According to the study, the Hard Disk Drives size 2.5 inches is the new products of the factory case study. The smaller components for smaller Hard Disk Drive are difficult to clean when compare with the old one. Also the specification about cleanliness for new product was reduce from the old product about 50%

This research emphasizes on the analysis of components cleaning optimization before send to Head Stack Assembly line. Because of the old cleaning procedure that use for the old product don't have enough efficiency to meet customers cleanliness requirement. The study for new cleaning procedure will concentrate on components cleaning to meet internal specification first, after that will send these components to Head Stack Assembly line. Finally final cleaning for Head Stack Assembly will be applied.

The research result determined that the best way to meet customer requirement on cleanliness specification is clean low LPC components by Aqueous Cleaning System and clean high LPC components by Solvent Cleaning System by the factory case study itself. Final cleaning for Head Stack Assembly will be applied by solvent Cleaning System can make final product to meet customer requirement. The number of LPC reduce from 7,632 particles / cm^3 to 4,563 particles / cm^3 = 40.21% reduction. DPPM by average reduced from 911 to 491 or 53.89%. % LRR reduced from 16% to 2 %

Department	Industrial Engineering	Student's signature.....
Field of study	Industrial Engineering	Advisor's signature .....
Academic year	2005	

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความอนุเคราะห์ช่วยเหลือและการให้คำปรึกษาอย่างดียิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร. วันชัย ริจิรวนิช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ตลอดระยะเวลาของการทำวิทยานิพนธ์ ทำให้ผู้วิจัยสามารถมองเห็นภาพอุตสาหกรรมและปัญหาที่เกิดขึ้นในมุมกว้าง ทำให้เกิดความคิดรวบยอดและสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานจริงได้เป็นอย่างดี ตลอดจนการตรวจสอบแก้ไขเพื่อความถูกต้องสมบูรณ์ในรายละเอียดของวิทยานิพนธ์จากคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน อันประกอบด้วย รศ. ดำรง ทวีแสงสกุลไทย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมชาย พัวจินดาเนตร ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้จัดการโรงงานที่นำมาเป็นกรณีศึกษา หัวหน้าที่คอยช่วยเหลือและให้คำแนะนำอีกทั้งเปิดโอกาสให้ผู้วิจัยได้ทำการวิจัยอย่างเต็มที่ ผู้ประสานงานด้านการผลิตในส่วนของการผลิตและสนับสนุนการผลิตที่อนุเคราะห์ในการให้ข้อมูลที่มีประโยชน์อย่างยิ่งต่อการทำวิจัยในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดาผู้ล่วงลับและมารดาที่คอยส่งเสริมและมอบกำลังใจที่ดีที่สุดตลอดมา ความสำเร็จในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แทนคำขอบคุณแด่ดวงวิญญาณของบิดาที่ยังอยู่ในใจของผู้ทำวิจัยตลอดเวลาและมารดาผู้ประเสริฐ รวมทั้งพี่ ๆ และหลาน ๆ ที่น่ารักทุกคน ทางผู้วิจัยต้องขอขอบคุณ ณ ที่นี้ด้วย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .....ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ

กิตติกรรมประกาศ.....ฉ

สารบัญ.....ช

สารบัญตาราง.....ฌ

สารบัญภาพ.....ฎ

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1. ข้อมูลทั่วไปของโรงงานตัวอย่าง.....2

1.2. ที่มาของปัญหางานวิจัย.....18

1.3. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....23

1.4. ขอบเขตของงานวิจัย.....23

1.5. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....23

1.6. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....24

บทที่ 2 ทฤษฎีที่และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....25

2.1. ทฤษฎีทีข้อง.....25

2.2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....85

บทที่ 3 การศึกษาและวิเคราะห์สภาพทั่วไปของโรงงานตัวอย่าง.....92

3.1. การดำเนินงานและการจัดองค์กรของโรงงานตัวอย่าง.....92

3.2. ผลิตภัณฑ์และการตลาดของโรงงานตัวอย่าง.....93

3.3. ข้อมูลด้านการผลิตในโรงงานตัวอย่าง.....94

3.4. สภาพปัญหาในโรงงานตัวอย่าง.....104

หน้า

บทที่ 4 การดำเนินการศึกษากระบวนการทำความสะอาดชิ้นส่วนย่อยในปัจจุบัน....117

4.1. ศึกษาขั้นตอนและกระบวนการผลิตของชิ้นส่วนของหน่วยงานต่าง ๆ 119

4.2. การศึกษากลไกในการทำความสะอาดชิ้นส่วนย่อย.....112

4.3. ศึกษาวิธีการวิเคราะห์และคำนวณค่า LPC.....127

4.4. ศึกษาประสิทธิภาพในการทำความสะอาดชิ้นงานของเครื่องล้าง.....130

บทที่ 5 แนวทางการปรับปรุงกระบวนการทำความสะอาดชิ้นส่วนย่อย.....131

5.1. แนวทางในการปรับปรุงกระบวนการทำความสะอาดชิ้นส่วนย่อย.....132

5.2. ผลการทดลองหาค่า LPC จาก 3 ทางเลือก.....142

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย วิจารณ์ และข้อเสนอแนะ.....147

6.1. การศึกษากระบวนการทำความสะอาดชิ้นส่วนย่อยในปัจจุบัน.....147

6.2. การวิเคราะห์แนวทางในการทำความสะอาดชิ้นส่วนย่อย.....149

6.3. สรุปผลเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุง.....152

6.4 ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงการทำความสะอาดชิ้นส่วนย่อยจากทางเลือกที่ 2...157

6.5 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงานวิจัย.....159

6.6 ข้อเสนอแนะในการพัฒนางานวิจัยในอนาคต.....161

รายการอ้างอิง.....162

ภาคผนวก.....164

ภาคผนวก ก. เครื่องมือวัดเกี่ยวกับความสะอาด.....165

ภาคผนวก ข. การหาค่า LPC และถ่ายรูปวเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM 172

ภาคผนวก ค. Component Cleanliness Test Procedure.....179

ภาคผนวก ง. Cleanroom Consumable Test Method & Specification.....239

ภาคผนวก จ. ค่า LPC ของแต่ละทางเลือกจาก Analytical Service Lab.....261

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....271

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1.1. ผลิตภัณฑ์ตัวอย่างของบริษัท.....7
1.2. กำลังการผลิต แผนการผลิตและผลการผลิตระหว่างไตรมาสที่ 2 / 04 ถึง 2 / 05.....9
1.3. กำลังการผลิต แผนการผลิตและผลการผลิตของผลิตภัณฑ์ 2.5 นิ้ว.....10
1.4. เปอร์เซนต์กำลังการผลิต แผนการผลิตและผลการผลิตของผลิตภัณฑ์ 2.5 นิ้ว.....11
1.5. ชิ้นส่วนย่อยของชุดหัวอ่าน – เขียนสำหรับผลิตภัณฑ์ขนาด 2.5 นิ้ว.....12
1.6. ของเสียโดยรวมในหน่วย DPPM และ % LRR ของผลิตภัณฑ์ขนาด 2.5 นิ้ว.....18
1.7. สาเหตุของของเสียในช่วงเดือน ตุลาคม 2547 ถึง เดือนมกราคม 2548.....20
1.8. สาเหตุเบื้องต้นจากการวิเคราะห์ของเครื่อง Backend Debug.....21
2.1. คุณสมบัติทางกายภาพของ Solvent 35
2.2. Kauri – Butanol Value ของ Solvent ชนิดต่างๆ.....36
2.3. จุดเดือดของ Solvent ชนิดต่าง ๆ.....37
2.4. ความหนาแน่นของไอสำหรับ Solvent ชนิดต่าง ๆ.....38
2.5 ค่าแรงตึงผิวของ Solvent แต่ละชนิด.....39
2.6. ความดันไอของ Solvent ชนิดต่าง ๆ.....40
2.7. ค่าความร้อนของการกลายเป็นไอของ Solvent ชนิดต่าง ๆ.....41
2.8. ค่า HAPs ของ Solvent ชนิดต่าง ๆ.....42
2.9. ค่า TLV ของ Solvent ชนิดต่าง ๆ.....43
2.10. จุดวาบไฟ (Flash Point) ของ Solvent ชนิดต่าง ๆ.....44
2.11 ค่าอันตรายโดยรวม (Total Hazardous Value).....44
2.12 ชนิดของการตรวจสอบแรกเข้า.....61
3.1. ชิ้นส่วนย่อยสำหรับการประกอบชุดหัวอ่าน – เขียน.....96
3.2. เครื่องจักรที่ใช้ในการประกอบชุดหัวอ่าน – เขียน.....99
3.3. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการประกอบชุดหัวอ่าน – เขียน.....100
4.1. Surface Tension ของ Solvent ชนิดต่าง ๆ และน้ำ.....125
5.1. ค่า LPC สำหรับชิ้นส่วนย่อยและชุดหัวอ่าน-เขียนของผลิตภัณฑ์ Scorpio ในปัจจุบัน..141
5.2. ค่า LPC สำหรับชิ้นส่วนย่อยและชุดหัวอ่าน- เขียนจากทางเลือกที่ 1.....142

5.3. ค่า LPC สำหรับชิ้นส่วนย่อยและชุดหัวอ่าน- เขียนจากทางเลือกที่ 2.....144
5.4. ค่า LPC สำหรับชิ้นส่วนย่อยและชุดหัวอ่าน- เขียนจากทางเลือกที่ 3.....145
6.1. ค่า LPC สำหรับชิ้นส่วนย่อยและชุดหัวอ่าน-เขียนของผลิตภัณฑ์ 2.5 นิ้ว.....148
6.2. ค่า LPC ที่ได้จากกระบวนการทำความสะอาดปัจจุบันเปรียบเทียบกับ 3 ทางเลือก.....150
6.3 ตัวแบบการตัดสินใจในรูปตาราง.....151
6.4 เปรียบเทียบค่า Cpk ของกระบวนการล้างในช่วงเวลาต่าง ๆ 154
6.5 เปรียบเทียบค่า DPPM และ % LRR ของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟก่อน ระหว่าง และหลังการปรับปรุง.....155

สารบัญภาพ

รูปภาพที่ **หน้า**

1.1. ผังโครงสร้างองค์กร.....4
1.2. ตัวอย่างฮาร์ดดิสก์ของบริษัทตัวอย่างที่มีการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ.....8
1.3. การผลิตโดยรวมแต่ละไตรมาสของโรงงานตัวอย่าง.....9
1.4. การผลิตของผลิตภัณฑ์ 2.5 นิ้วแต่ละไตรมาสของโรงงานตัวอย่าง.....10
1.5. เปรียบเทียบการผลิตของผลิตภัณฑ์ 2.5 นิ้วกับผลิตภัณฑ์โดยรวมแต่ละไตรมาส.....11
1.6. ชุดประกอบหัวอ่าน – เขียนสำเร็จรูปของผลิตภัณฑ์ขนาด 2.5 นิ้ว.....13
1.7. กระบวนการประกอบชุดหัวอ่าน – เขียน สำหรับผลิตภัณฑ์ขนาด 3.5 นิ้ว.....14
1.8. กระบวนการประกอบชุดหัวอ่าน – เขียน สำหรับผลิตภัณฑ์ขนาด 2.5 นิ้ว.....16
1.9. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า DPPM เป้าหมายและค่าจริงที่เกิดขึ้น และ % LRR.....19
1.10. แผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram) ของสาเหตุการเกิดของเสีย.....20
1.11 แผนภูมิก้างปลาแสดงสาเหตุของค่า LPC ของ HSA สูงกว่าสเปค.....22
2.1 ส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ.....26
2.2.ทฤษฎีแม่เหล็ก..... 27
2.3. โครงสร้างและการพัฒนาแผ่นดิสก์.....28
2.4. Spindle Motor แบบต่าง ๆ.....29
2.5. การเขียนข้อมูลลงบนแผ่นดิสก์.....30
2.6. การอ่านข้อมูลจากแผ่นดิสก์.....30
2.7. Head Stack Assembly.....31
2.8. แรงตึงผิวของน้ำกับอุปสรรคในการทำความสะอาดชิ้นงาน.....32
2.9. สารลดแรงตึงผิวตกค้างบนคราบสกปรกของชิ้นส่วนที่ต้องการทำความสะอาด.....33
2.10..ลักษณะของเครื่องล้างระบบ Aqueous Cleaning และระบบ Solvent Cleaning.....34
2.11.พาเรโต.....46
2.12 แผนภูมิควบคุม.....49
2.13 กระบวนการที่สมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์.....53

2.14 แนวความคิดของการตรวจสอบบัญชีการตัดสินใจ.....63
3.1. แผนภาพการไหลของกระบวนการประกอบชุดหัวอ่าน – เขียน.....95
3.2. ผังโรงงานสำหรับกระบวนการประกอบชุดหัวอ่าน – เขียน.....98
3.3. ความแตกต่างของระบบ Aqueous และ Solvent System.....101
3.4. ลักษณะการทำงานภายในของเครื่องระบบ Solvent System.....102
3.5. ลักษณะภายนอกของเครื่องระบบ Solvent System.....103
3.6. ค่า LPC ของชุดหัวอ่าน – เขียน เทียบกับสเปคเก่าและสเปคใหม่.....105
3.7. แรงตึงผิวของน้ำเป็นปัญหากับการทำความสะอาดในช่องแคบ ๆ.....106
3.8. สารลดแรงตึงผิวกับปัญหาคราบตกค้างในช่องแคบ ๆ.....106
3.9. ค่า Cpk สำหรับLPC ของ Balance Arm จาก Supplier A.....107
3.10 ค่า Cpk สำหรับ LPC ของ Balance Arm จาก Supplier 107
3.11 ค่า Cpk สำหรับ LPC ของ Balance Weight จาก Supplier 108
3.12 ค่า Cpk สำหรับ LPC ของ Balance Weight จาก Supplier B.....108
3.13 ค่า Cpk สำหรับ LPC ของ Shipping Comb จาก Supplier A.....109
3.14 ค่า Cpk สำหรับ LPC ของ Shipping Comb จาก Supplier B.....109
3.15 ค่า Cpk สำหรับ LPC ของ Suspension จาก Supplier A.....110
3.16 ค่า Cpk สำหรับ LPC ของ Suspension จาก Supplier B.....110
3.17 ค่า Cpk สำหรับ LPC ของ Nut จาก Supplier A.....111
3.18 ค่า Cpk สำหรับ LPC ของ Nut จาก Supplier B.....111
3.19 ค่า Cpk สำหรับ LPC ของ Spacer จาก Supplier A.....112
3.20 ค่า Cpk สำหรับ LPC ของ Spacer จาก Supplier B.....112
3.21 ค่า Cpk สำหรับ LPC ของ Washer จาก Supplier A.....113
3.22 ค่า Cpk สำหรับ LPC ของ Washer จาก Supplier B.....113
3.23 ค่า Cpk สำหรับ LPC ของ Screw จาก Supplier A.....114
3.24 ค่า Cpk สำหรับ LPC ของ Screw จาก Supplier B.....114
3.25 ค่า Cpk สำหรับ LPC ของ C - Clip จาก Supplier A.....115
3.26 ค่า Cpk สำหรับ LPC ของ C - Clip จาก Supplier B.....115
4.1 กระบวนการทำความสะอาดชิ้นงานสำหรับผลิตภัณฑ์ 3.5 นิ้ว.....121
4.2 กระบวนการทำความสะอาดชิ้นงานสำหรับผลิตภัณฑ์ 2.5 นิ้ว.....122

4.3 กลไกการทำงานของเครื่องล้างระบบ Aqueous Cleaning System.....123
4.4 สารลดแรงตึงผิวก่อให้เกิดปัญหาการทิ้งคราบในช่องแคบ ๆ.....124
4.5 แรงตึงของเหลวแต่ละชนิดแสดงรูปร่างที่ต่างกัน.....125
4.6 กลไกการทำงานของเครื่องล้างระบบ Solvent Cleaning System.....126
4.7 การแช่ชิ้นงานในน้ำ DI เพื่อนำไปวัดค่า LPC.....129
4.8 กราฟเปรียบเทียบค่า LPC ของชิ้นงานที่ได้เครื่องระบบ Aqueous และ Solvent.....130
5.1 กระบวนการทำความสะอาดชิ้นส่วนย่อยของผลิตภัณฑ์รุ่น Scorpio ในปัจจุบัน.....133
5.2 ทางเลือกที่ 1 ยกเลิกการไม่ล้างชิ้นส่วนย่อย.....137
5.3 ทางเลือกที่ 2 ล้างชิ้นส่วนย่อยด้วยเครื่อง Solvent Cleaning ทั้งหม.....139
5.4 ทางเลือกที่ 3 ทุกชิ้นส่วนย่อยล้างโดย Suppliers.....140
5.5 กราฟเปรียบเทียบค่า LPC ที่ได้หลังการล้างชิ้นส่วนย่อยกับสเปคที่กำหนด.....141
5.6 กราฟเปรียบเทียบค่า LPC ที่ได้หลังการล้างชิ้นส่วนย่อยด้วยทางเลือกที่ 1 กับสเปค ที่กำหนด.....143
5.7 กราฟเปรียบเทียบค่า LPC ที่ได้หลังการล้างชิ้นส่วนย่อยด้วยทางเลือกที่ 2 กับสเปค ที่กำหนด.....144
5.8 กราฟเปรียบเทียบค่า LPC ที่ได้หลังการล้างชิ้นส่วนย่อยด้วยทางเลือกที่ 3 กับสเปค ที่กำหนด.....146
6.1 เปรียบเทียบค่า LPC จากกระบวนการทำความสะอาดปัจจุบันกับ 3 ทางเลือก.....150
6.2 ค่า LPC ของชุดประกอบหัวอ่าน – เขียน ก่อน ระหว่าง และหลังการปรับปรุง.....152
6.3 ค่า Cpk ของกระบวนการล้างชิ้นส่วนย่อยก่อนการปรับปรุง.....153
6.4 ค่า Cpk ของกระบวนการล้างชิ้นส่วนย่อยระหว่างการปรับปรุง.....153
6.5 ค่า Cpk ของกระบวนการล้างชิ้นส่วนย่อยหลังการปรับปรุง.....154
6.6 เปรียบเทียบค่า DPPM และ % LRR ของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟก่อน ระหว่าง และ หลังการปรับปรุง.....156
6.7 เปรียบเทียบการทำงานของเครื่องล้างระบบ Single solvent และ Co – Solvent.....158