การเพิ่มเวลาพร้อมใช้งานของเครื่องขัดชิ้นงานในกระบวนการผลิต
ชิ้นส่วนหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์

นางสาวเพียงนภา มาประจง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2557
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

INCREASING AVAILABILITY OF LAPPING MACHINES IN A HARD DISK READ/WRITE HEAD PRODUCTION PROCESS

Miss Piangnapa Maprachong

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 2014

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเพิ่มเวลาพร้อมใช้งานของเครื่องขัดชิ้นงานในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์
โดย	นางสาวเพียงนภา มาประจง
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สีรง ปรีชานนท์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โอฬาร กิตติธีรพรชัย)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันทชัย การตานันทะ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เพียงนภา มาประจง : การเพิ่มเวลาพร้อมใช้งานของเครื่องขัดชิ้นงานในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ (INCREASING AVAILABILITY OF LAPPING MACHINES IN A HARD DISK READ/WRITE HEAD PRODUCTION PROCESS) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ, หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มเวลาพร้อมใช้งานของเครื่องขัดชิ้นงานในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนหัวอ่านและหัวเขียนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ จากความต้องการสินค้ารุ่นใหม่ที่เพิ่มมากขึ้นทำให้เครื่องขัดชิ้นงานของโรงงานกรณีศึกษากลายเป็นเครื่องจักรคอขวด ซึ่งจากข้อมูลพบว่าเครื่องขัดชิ้นงานมีเวลาพร้อมใช้งานเพียง 73.1% งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาหาสาเหตุและทำการแก้ไขเพื่อเพิ่มเวลาพร้อมใช้งานให้สูงขึ้น

การดำเนินงานวิจัยเริ่มจากศึกษาสาเหตุที่ทำให้เครื่องจักรสูญเสียเวลาในการทำงานซึ่งพบว่า สาเหตุส่วนใหญ่เกิดจากการทำงานผิดปกติของเครื่องจักรเนื่องจากนโยบายการเปลี่ยนชิ้นส่วนเมื่อเกิดความเสียหายขึ้นแล้ว การรอชิ้นงานจากกระบวนการก่อนหน้าและการรอซ่อมเครื่องจักร จึงเกิดแนวคิดที่จะปรับปรุงแผนการเปลี่ยนชิ้นส่วนที่เหมาะสมโดยใช้แบบจำลองสถานการณ์และพิจารณาร่วมกับค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น รวมถึงการปรับปรุงกระบวนการทำงานให้ดีขึ้นโดยใช้แนวคิดแบบลีน โดยระดับของการเปลี่ยนชิ้นส่วนในการทดลองแบ่งเป็น 3 ระดับได้แก่ ระดับที่ 1 คือการเปลี่ยนชิ้นส่วนเมื่อหมดอายุการใช้งาน ระดับที่ 2 คือการเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ 75% ของอายุการใช้งาน และระดับที่ 3 คือการเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ 50% ของอายุการใช้งาน

จากผลการทดลองพบว่าแผนการเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ดีที่สุดคือการเปลี่ยนมอเตอร์และหัวบอนด์เมื่อหมดอายุการใช้งาน การเปลี่ยนเซนเซอร์ พาวเวอร์ซัพพลาย วอยซ์คอยล์ฟิงเกอร์ และลิ่มที่ 75% ของอายุการใช้งาน และการเปลี่ยนคอนโทรลพาเนลที่ 50% ของอายุการใช้งาน ซึ่งจากแผนการเปลี่ยนชิ้นส่วนนี้ทำให้เวลาพร้อมใช้งานของเครื่องขัดชิ้นงานเพิ่มขึ้นเป็น 83.8% โดยสามารถลดค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อเครื่องจักรในปี 2558 ได้ 897,501 เหรียญสหรัฐ

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2557

5570928821 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS: MACHINE AVAILABILITY / OEE / PRODUCTIVITY IMPROVEMENT / SIMULATION

PIANGNAPA MAPRACHONG: INCREASING AVAILABILITY OF LAPPING MACHINES IN A HARD DISK READ/WRITE HEAD PRODUCTION PROCESS. ADVISOR: ASSOC. PROF. WIPAWEE THARMMAPHORNPHILAS, Ph.D., pp.

The primary objective of this thesis is to increase availability of lapping machines in a hard disk read and write head production process. Nowadays, the world hard disk demand has exponentially risen up. Therefore, the company wants to maximize the utilization of the existing lapping machines because those machines are bottleneck of the process. Currently utilization is only 73.1% utilization.

This research studies the performance of lapping machines to analyze waste associated in a lapping process. The major cases of low utilization are machine breakdown that the current procedure provides only a corrective maintenance, the waiting due to input from a previous process and the waiting due to machine repair. This idea becomes research objective to propose proper duration for spare part replacement by using simulation considering spare part and machine replacement costs. LEAN manufacturing is used to reduce waiting time to repair machine. The experiment is performed to find a proper spare part replacement duration in 3 difference time periods; - replacement at end of lifetime, 75% of lifetime, and 50% of lifetime.

The experiment shows that the best plan of replacing spare part of a lapping machine is changing motor and bond head at the end of lifetime, changing sensor, power supply, voice coil finger and wedge at 75% of lifetime, and changing control panel at 50% of lifetime. From this improvement, time availability of a lapping machine is increased to be 83.8% which can reduce the machine ordering in 2015 about $897,501.

Department: Industrial Engineering Student's Signature .....

Field of Study: Industrial Engineering Advisor's Signature .....

Academic Year: 2014

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยดี โดยได้รับการสนับสนุนเป็นอย่างดีจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ ซึ่งผู้ทำวิทยานิพนธ์ขอใช้โอกาสนี้กราบขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูงที่ได้สละเวลาและกรุณาให้ความรู้ คำแนะนำและข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัยเป็นอย่างมาก ตลอดจนการตรวจสอบข้อบกพร่องต่างๆจนกระทั่งวิทยานิพนธ์เล่มนี้สามารถเสร็จสิ้นได้อย่างสมบูรณ์

กราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สีรง ปรีชานนท์ ประธานกรรมการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โอฬาร กิตติธีรพรชัย กรรมการภายในและผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันทชัย กานตานันทะ กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็น ตลอดจนให้การสนับสนุนให้งานวิจัยเกิดขึ้นและสำเร็จลงได้ด้วยดี

ขอขอบคุณผู้จัดการแผนกวิศวกรรมอุตสาหการ และผู้จัดการแผนกซ่อมบำรุงและรักษาเครื่องจักรที่ให้การสนับสนุนงานวิจัย วิศวกรผู้ดูแลกระบวนการขัดชิ้นงานที่ให้ข้อมูลและร่วมแสดงความคิดเห็น ตลอดจนเพื่อนร่วมงานที่มีส่วนช่วยและให้คำแนะนำในงานวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณคณะครูอาจารย์และบุคคลากรทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้ความรู้และการสนับสนุนการเรียนการสอน ทำให้ผู้ทำวิจัยสามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในงานวิจัยและในที่ทำงานได้เป็นอย่างดี

และสุดท้ายขอกราบขอบพระคุณครอบครัว ผู้ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังที่ดีมาโดยตลอด และขอขอบคุณอีกหลายๆท่านที่ไม่ได้กล่าวถึงที่มีส่วนช่วยให้งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้

Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญรูปภาพ ..... ฏ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ข้อมูลทั่วไปของโรงงานกรณีศึกษา 1

1.2 กระบวนการผลิตชิ้นส่วนหัวอ่านและหัวเขียนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ 2

1.3 สภาพของปัญหาและความสำคัญของปัญหา 6

1.4 วัตถุประสงค์ของการทำวิจัย 10

1.5 ขอบเขตการทำงานวิจัย 10

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงานโครงการวิจัย 11

1.7 สิ่งที่นำส่ง 11

1.8 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการวิจัย 12

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 13

2.1 การวัดประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร 13

2.2 การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน 15

2.3 การจำลองสถานการณ์ 16

2.4 การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม 19

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 22

บทที่ 3 การวิเคราะห์และการกำหนดแนวทางแก้ไขปัญหา 28

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

3.1 การวิเคราะห์ปัญหา 28
3.2 การกำหนดแนวทางการแก้ไขปัญหา 35
บทที่ 4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 37
4.1 ตัวแบบจำลอง 37
4.2 การศึกษาพฤติกรรมการเสียหายของชิ้นส่วนในเครื่องจักร 39
4.3 การทดสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง 44
4.4 การออกแบบการทดลอง 44
บทที่ 5 การปรับปรุงการรอซ่อมเครื่องจักรด้วยแนวคิดแบบลีน 50
5.1 การจัดตั้งคณะทำงานเพื่อปรับปรุงปัญหา 50
5.2 การศึกษาสภาพของปัญหาการรอซ่อมเครื่องจักร 50
5.3 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้วย 5 Why 51
5.4 ผลการแก้ไขปัญหาการรอซ่อมบำรุงเครื่องจักร 56
บทที่ 6 ผลการทดลองและระยะการเปลี่ยนชิ้นส่วนที่เหมาะสมที่สุด 58
6.1 ผลการทดลอง 58
6.2 การหาระยะการเปลี่ยนชิ้นส่วนที่เหมาะสมที่สุด 62
บทที่ 7 ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ 67
7.1 การวิเคราะห์ปัญหา 67
7.2 การกำหนดแนวทางการแก้ไขปัญหา 68
7.3 การทดลองและการวิเคราะห์ผล 69
7.4 ข้อจำกัดในงานวิจัย 70
7.5 ข้อเสนอแนะ 70
..... 71

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

รายการอ้างอิง..... 71

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 129

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 ลักษณะชิ้นงานและคำอธิบายในแต่ละกระบวนการ 3
ตารางที่ 1.2 ความต้องการเครื่องขัดชิ้นงานในปี 2558 (ก่อนการปรับปรุง) 7
ตารางที่ 1.3 ความสามารถในการผลิตของกระบวนการผลิตชิ้นส่วนหัวอ่าน 8
ตารางที่ 1.4 ความสามารถในการผลิตของเครื่องจักรในกระบวนการขัด..... 8
ตารางที่ 2.1 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 26
ตารางที่ 3.1 สรุปสาเหตุและเวลาการสูญเสียจากแต่ละสาเหตุ 34
ตารางที่ 3.2 สรุปปัญหาและโอกาสปรับปรุง..... 36
ตารางที่ 4.1 อายุการใช้งานเฉลี่ยของชิ้นส่วนวิกฤตในเครื่องขัดชิ้นงานและการแจกแจง 41
ตารางที่ 4.2 อายุการใช้งานเฉลี่ยของชิ้นส่วนวิกฤตในเครื่องเชื่อมสายและการแจกแจง..... 43
ตารางที่ 4.3 อายุการใช้งานของชิ้นส่วนในแต่ละระดับของการทดลอง 46
ตารางที่ 4.4 ตัวอย่างตารางแบบการทดลอง 47
ตารางที่ 4.5 ราคาชิ้นส่วนในแต่ละระดับของแผนการเปลี่ยนชิ้นส่วน..... 48
ตารางที่ 4.6 ตัวอย่างตารางราคาการเปลี่ยนชิ้นส่วนรวม..... 49
ตารางที่ 5.1 การวิเคราะห์สาเหตุการรอซ่อมเครื่องจักรด้วย 5 Why..... 52
ตารางที่ 5.2 ทักษะการทำงานของพนังงานฝ่ายซ่อมบำรุง 54
ตารางที่ 5.3 จำนวนชิ้นส่วนอะไหล่ในระดับปลอดภัยของเครื่องขัดชิ้นงาน..... 55
ตารางที่ 5.4 จำนวนชิ้นส่วนอะไหล่ในระดับปลอดภัยของเครื่องเชื่อมสาย 56
ตารางที่ 5.5 ผลการปรับปรุงการลดเวลารอซ่อมเครื่องจักร..... 56
ตารางที่ 6.1 ตัวอย่างตารางสรุปเวลาการสูญเสียทั้งหมดและความสามารถในการผลิต 59
ตารางที่ 6.2 ปริมาณความต้องการในการผลิตต่อวันในปี 2558..... 60

หน้า

ตารางที่ 6.3 ตัวอย่างตารางความสามารถในการผลิตและจำนวนเครื่องขัดชิ้นงานที่ต้องการ 60

ตารางที่ 6.4 ตัวอย่างตารางค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนชิ้นส่วนที่เพิ่มขึ้นในปี 2558 61

ตารางที่ 6.5 ตัวอย่างตารางกำไรสุทธิ 62

ตารางที่ 6.6 เปรียบเทียบเวลาการสูญเสียของเครื่องขัดชิ้นงานก่อนและหลังการปรับปรุง..... 66

ตารางที่ 7.1 ความต้องการเครื่องขัดชิ้นงานก่อนและหลังการปรับปรุงในปี 2558 70

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1 ผลผลิตของแต่ละส่วนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ 2
รูปที่ 1.2 ลักษณะการประกอบชิ้นงานเข้ากับอุปกรณ์ช่วยจับและการขัดบนเครื่องขัดชิ้นงาน 4
รูปที่ 1.3 ความต้องการสินค้าตั้งแต่เดือนมกราคม ปี 2557 ถึงเดือนธันวาคม ปี 2558 6
รูปที่ 1.4 สัดส่วนเวลาที่สูญเสียและเวลาที่เครื่องขัดชิ้นงานทำงานจริง..... 9
รูปที่ 1.5 สัดส่วนเวลาที่สูญเสียและเวลาที่เครื่องเชื่อมสายทำงานจริง 9
รูปที่ 2.1 การออกแบบเชิงแฟกทอรเรียล 2 ปัจจัย (ปารเมศ ชุติมา, 2545) 20
รูปที่ 2.2 การออกแบบเชิงแฟกทอรเรียล 2 ปัจจัยที่มีอันตรกิริยา (ปารเมศ ชุติมา, 2545)..... 21
รูปที่ 2.3 การออกแบบส่วนประกอบกลาง สำหรับ k=2 และ k=3 (ปารเมศ ชุติมา, 2545) 22
รูปที่ 3.1 เวลาการหยุดเครื่องขัดชิ้นงานจากแต่สาเหตุ..... 29
รูปที่ 3.2 เวลาการทำงานผิดปกติของเครื่องขัดชิ้นงานจากแต่ละชิ้นส่วน 30
รูปที่ 3.3 เวลาการหยุดเครื่องเชื่อมสายจากแต่ละสาเหตุ 31
รูปที่ 3.4 เวลาการทำงานผิดปกติของเครื่องเชื่อมสายจากแต่ละชิ้นส่วน 32
รูปที่ 4.1 การแจกแจงของเวลาการทำงานของเครื่องเชื่อมสาย..... 38
รูปที่ 4.2 การแจกแจงของเวลาการทำงานของเครื่องขัดชิ้นงาน..... 38
รูปที่ 4.3 กระบวนการไหลของชิ้นงาน 39
รูปที่ 4.4 ตัวอย่างการวิเคราะห์การแจกแจงของระยะเวลาระหว่างการเสียหาย 40
รูปที่ 4.5 การทดสอบ t-test ของตัวแบบจำลอง 44
รูปที่ 5.1 ช่วงเวลาระหว่างเครื่องจักรเกิดความเสียหายและเครื่องจักรถูกแก้ไขอย่างสมบูรณ์ 51
รูปที่ 5.2 บอร์ดไคเซน 53
รูปที่ 6.1 ระดับการเปลี่ยนชิ้นส่วนที่เหมาะสมจากฟังก์ชัน Response Optimizer 64

บทที่ 1
บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีการเก็บข้อมูลด้วยหน่วยความจำที่เรียกว่าฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟได้เข้ามามีบทบาทมากมายกับสังคมมนุษย์แทนการเก็บข้อมูลด้วยวิธีการแบบเดิมๆ เช่นการเขียนหรือพิมพ์ลงบนเอกสาร เนื่องจากข้อมูลมีโอกาสที่จะสูญหายและยากต่อการค้นหา ทำให้ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟกลายเป็นอุปกรณ์ที่เป็นที่ต้องการของทุกสังคม ทั้งทางการศึกษา การค้า การแพทย์ หรือแม้กระทั่งเพื่อความบันเทิง อุตสาหกรรมผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟจึงเป็นอุตสาหกรรมที่มีการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง และมีการแข่งขันในระดับที่ค่อนข้างสูง ทั้งในเรื่องของราคาและคุณภาพ จึงทำให้กลุ่มผู้ลงทุนต้องมีการปรับปรุงกระบวนการผลิตและการเลือกใช้เครื่องจักรที่มีเทคโนโลยีการผลิตที่สูงขึ้นเพื่อให้มีความสามารถที่จะรองรับความเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟได้อยู่เสมอ เช่นเดียวกับโรงงานกรณีศึกษาที่พบว่า การเพิ่มขั้นตอนการขัดละเอียดให้กับชิ้นงานในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนหัวอ่านและหัวเขียนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟด้วยเครื่องขัดชิ้นงาน จะทำให้คุณภาพการอ่านเขียนสัญญาณของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเพิ่มสูงขึ้น เครื่องขัดชิ้นงานจึงกลายเป็นเครื่องจักรคอขวด (Bottleneck) ที่มีความต้องการเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟรุ่นใหม่ที่เริ่มเข้ามาทดแทนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟรุ่นเก่า

แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากเทคโนโลยีการผลิตที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วและราคาเครื่องจักรที่ค่อนข้างสูง ดังนั้นการลงทุนซื้อเครื่องจักรจึงควรมีการพิจารณาอย่างถี่ถ้วน โรงงานกรณีศึกษาจึงมีความต้องการที่จะศึกษาและปรับปรุงการใช้งานของเครื่องจักรที่มีอยู่ให้เต็มประสิทธิภาพสูงสุด

1.1 ข้อมูลทั่วไปของโรงงานกรณีศึกษา

โรงงานกรณีศึกษาเป็นโรงงานผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟซึ่งถูกก่อตั้งขึ้นในปี พ.ศ. 2539 บนเนื้อที่ 64 ไร่ ประกอบด้วยส่วนการผลิต 3 ส่วนคือ ส่วนการผลิตชิ้นส่วนหัวอ่านและหัวเขียน ส่วนการประกอบหัวอ่านและหัวเขียน และส่วนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ดังรูปที่ 1.1 แสดงผลผลิตของแต่ละส่วนการผลิต

ชิ้นส่วนหัวอ่านและหัวเขียน

หัวอ่านและหัวเขียน

ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

รูปที่ 1.1 ผลผลิตของแต่ละส่วนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

1.2 กระบวนการผลิตชิ้นส่วนหัวอ่านและหัวเขียนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

ชิ้นส่วนหัวอ่านและหัวเขียนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ มีขั้นตอนการผลิตทั้งหมดมากกว่าสองร้อยขั้นตอน ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 5 กระบวนการหลักคือ

1) กระบวนการตัด (Cutting Process)

2) กระบวนการขัด (Lapping Process)

3) กระบวนการกัด (Milling Process)

4) กระบวนการวัด (Measurement Process)

5) กระบวนการล้าง (Cleaning Process)

ชิ้นงานตั้งต้นของส่วนการผลิตชิ้นส่วนหัวอ่านและหัวเขียนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ เป็นแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์วงกลมที่เรียกว่าเวเฟอร์ ใน 1 แผ่นเวเฟอร์ประกอบด้วยชิ้นส่วนหัวอ่านและหัวเขียนจำนวน 77,004 ชิ้น วางเรียงต่อกันเป็นแถวตามความยาวของแผ่นเวเฟอร์ หลังจากรับแผ่นเวเฟอร์มาจากแหล่งผลิตแผ่นเวเฟอร์จะถูกนำเข้าสู่กระบวนการแรกที่เรียกว่า กระบวนการตัด

กระบวนการตัด เป็นกระบวนการเปลี่ยนรูปจากแผ่นเวเฟอร์วงกลมเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดใหญ่จำนวน 27 ชิ้น ซึ่งชิ้นงานสี่เหลี่ยมผืนผ้าแต่ละชิ้นประกอบด้วยแถวของชิ้นส่วนหัวอ่านและหัวเขียนจำนวน 46 แถว โดยแต่ละแถวประกอบด้วยชิ้นส่วนหัวอ่านและหัวเขียนที่ยังอยู่ติดกันจำนวน 62 ชิ้น จากนั้นชิ้นงานสี่เหลี่ยมผืนผ้าจะถูกนำเข้าสู่เครื่องสไลด์ เพื่อทำการตัดสไลด์แถวของชิ้นส่วนหัวอ่านและหัวเขียนแต่ละแถวให้หลุดออกจากกัน เมื่อสิ้นสุดกระบวนการตัด จะได้ชิ้นงานออกมาในรูปของแท่งชิ้นงานที่ชิ้นส่วนหัวอ่านและหัวเขียน 62 ชิ้นยังติดกันอยู่

หลังจากได้แท่งชิ้นงานจากกระบวนการตัด แท่งชิ้นงานทั้งหมดจะถูกนำไปเก็บที่ห้องเก็บชิ้นงานเพื่อรอนำจ่ายเข้าสู่กระบวนการขัด ซึ่งเป็นกระบวนการขั้นที่ 2

กระบวนการขัดเป็นกระบวนการขั้นที่ 2 ซึ่งมีหน้าที่ในการลดความหนาและปรับความเรียบพื้นผิวของแท่งชิ้นงานให้ได้ตามข้อกำหนด เมื่อแท่งชิ้นงานได้ระดับความหนาตามข้อกำหนดแล้วจะเข้าสู่กระบวนการกัด เพื่อทำลวดลายลงบนผิวของชิ้นงานตามคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์นั้นๆ หลังจากนั้นเข้าสู่กระบวนการวัด เพื่อตรวจสอบค่าต่างๆ ซึ่งในกระบวนการนี้จะมีการตัดแยกชิ้นส่วนหัวอ่านและหัวเขียน 62 ชิ้นให้หลุดออกจากกันและเข้าสู่เครื่องคัดแยกชิ้นงาน จากนั้นเข้าสู่กระบวนการล้างเพื่อทำความสะอาดจนได้เป็นชิ้นส่วนหัวอ่านและหัวเขียนที่สมบูรณ์ สำหรับงานปกติที่ทำการผลิตตั้งแต่กระบวนการตัดและสิ้นสุดที่กระบวนการล้าง ใช้เวลาทั้งหมดประมาณ 7 วัน ดังตารางที่ 1.1 แสดงลักษณะของชิ้นงานและคำอธิบายในแต่ละกระบวนการของส่วนผลิตชิ้นส่วนหัวอ่านและหัวเขียนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

ตารางที่ 1.1 ลักษณะชิ้นงานและคำอธิบายในแต่ละกระบวนการ

กระบวนการ	ลักษณะชิ้นงาน	คำอธิบาย
กระบวนการตัด		การตัดแผ่นเวเฟอร์วงกลมให้เป็นแท่งชิ้นงานที่มีชิ้นส่วนหัวอ่าน/เขียน 62 ชิ้นอยู่ติดกัน
กระบวนการขัด		การลดความหนาและปรับเรียบพื้นผิวของแท่งชิ้นงานให้มีความหนาตามข้อกำหนด
กระบวนการกัด		การทำลวดลายบนผิวหน้าของแท่งชิ้นงานตามคุณสมบัติที่กำหนด
กระบวนการวัด		การตรวจสอบคุณภาพของแท่งชิ้นงานและตัดชิ้นส่วนหัวอ่าน/เขียน 62 ชิ้นให้แยกเป็นอิสระต่อกัน
กระบวนการล้าง		การล้างทำความสะอาดและได้เป็นชิ้นส่วนหัวอ่านและหัวเขียนที่เสร็จสมบูรณ์

1.2.1 กระบวนการขัด

กระบวนการขัดเป็นกระบวนการขั้นที่สองของส่วนการผลิตชิ้นส่วนหัวอ่านและหัวเขียนที่มีหน้าที่หลักคือการลดความหนาและปรับความเรียบของพื้นผิวชิ้นงาน เนื่องจากความเรียบและระดับความลึกของชิ้นงานที่เหมาะสมจะทำให้การอ่านและการเขียนสัญญาณบนแผ่นมีเดียมีคุณภาพ

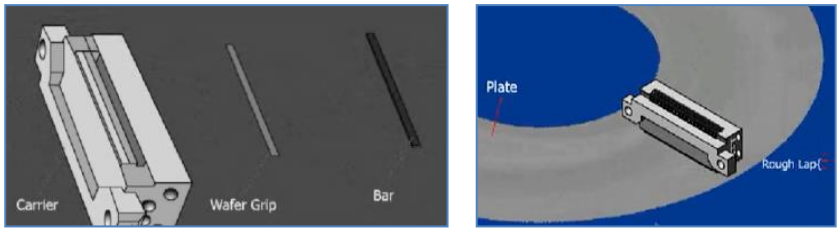
แท่งชิ้นงานที่ถูกเบิกมาจากห้องเก็บชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการตัดมาแล้ว จะถูกนำไปติดบนอุปกรณ์ช่วยจับชิ้นงาน (Fixture) ซึ่งมีความเหนียวจากกาวที่ถูกหลอมด้วยเครื่องอบ จากนั้นนำแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์มาติดขนานโดยใช้เทปกาวใสเป็นตัวยึด ก่อนที่จะเข้าสู่ขั้นตอนการเชื่อมสายระหว่างแผงวงจรและชิ้นงานด้วยเครื่องเชื่อมสาย (Bonder Machine) และเข้าสู่ขั้นตอนการขัดรอบที่ 1 ด้วยเครื่องขัดชิ้นงาน (Lapping Machine)

หลังจากผ่านขั้นตอนการขัดรอบแรก ชิ้นงานจะถูกถอดสายเชื่อม แผงวงจร และอุปกรณ์ช่วยจับชิ้นงานอันเดิมออก เพื่อเปลี่ยนอุปกรณ์ช่วยจับชิ้นงานและแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์อันใหม่สำหรับทำการขัดรอบที่ 2 โดยในรอบนี้ชิ้นงานจะถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ

- กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มของผลิตภัณฑ์รุ่นเก่า ซึ่งใช้เทคโนโลยีการขัดด้วยเครื่องขัดชิ้นงานรุ่นเก่า และไม่มีการเชื่อมสายกับแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์

- กลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มของผลิตภัณฑ์รุ่นใหม่ ซึ่งใช้เทคโนโลยีการขัดด้วยเครื่องขัดชิ้นงานรุ่นใหม่ และมีการเชื่อมสายกับแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์อีกครั้งบนอุปกรณ์ช่วยจับชิ้นงานรุ่นใหม่ ลักษณะการประกอบชิ้นงานเข้ากับอุปกรณ์ช่วยจับชิ้นงานและลักษณะการขัดชิ้นงานแสดงดังรูปที่ 1.2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 1.2 ลักษณะการประกอบชิ้นงานเข้ากับอุปกรณ์ช่วยจับและการขัดบนเครื่องขัดชิ้นงาน

1.2.2 การทำงานของเครื่องเชื่อมสายและเครื่องขัดชิ้นงาน

เครื่องเชื่อมสายเป็นเครื่องที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์เข้าไปในชิ้นส่วนหัวอ่านและหัวเขียนด้วยวิธีการบัดกรี ซึ่งสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ที่ถูกส่งเข้าไปผ่านทางสายเชื่อมนี้จะช่วยในการวัดระดับความลึกในขั้นตอนของการขัดชิ้นงาน

หลังจากที่แท่งชิ้นงานถูกติดลงบนอุปกรณ์ช่วยจับชิ้นงานและแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์แล้ว พนักงานจะนำแท่งชิ้นงานวางลงบนถาดวางงานเพื่อบรรจุเข้าไปในเครื่องเชื่อมสาย เมื่อพนักงานกดปุ่มเริ่มทำงาน ถาดวางงานจะเคลื่อนเข้าไปในเครื่องเชื่อมสาย จากนั้นเครื่องเชื่อมสายจะทำการเชื่อมสายชิ้นส่วนหัวอ่านและหัวเขียนทุกชิ้น โดยเครื่องเชื่อมสายจะทำงานได้ครั้งละ 1 แท่งชิ้นงาน

เครื่องขัดชิ้นงานเป็นเครื่องที่ทำหน้าที่ขัดผิวชิ้นงานให้ได้ความลึกตามข้อกำหนด เครื่องขัดชิ้นงานประกอบด้วยแขนจับชิ้นงาน 4 แขน สามารถบรรจุชิ้นงานเพื่อทำการขัดได้แขนละ 1 ชิ้น หลังจากที่พนักงานกดปุ่มเพื่อเริ่มทำงาน แขนจับจะวางชิ้นงานลงบนแท่นขัด และแท่นขัดจะหมุนในแนวระนาบ โดยมีเซนเซอร์เป็นตัววัดระดับการขัดในแต่ละแขน เมื่อการขัดเสร็จสิ้น เซนเซอร์จะทำการส่งสัญญาณไปที่แขนขัดนั้นๆ เพื่อให้แขนขัดยกชิ้นงานขึ้นจากแท่นขัดและรอจนกระทั่งแขนขัดอื่นๆทำงานเสร็จ พนักงานจึงสามารถนำชิ้นงานออกจากเครื่องจักรได้

แท่นขัดชิ้นงานเป็นแท่นที่มีหน้าเคลือบด้วยผงเพชรละเอียด ที่ผ่านกระบวนการอัดเคลือบด้วยเครื่องจักรพิเศษ การทำหน้าเคลือบหนึ่งครั้งจะสามารถนำไปใช้งานได้หลายรอบ จนกว่าจะถึงอายุการใช้งาน ซึ่งอายุการใช้งานของแท่นขัดวัดด้วยจำนวนแท่งชิ้นงานที่ถูกทำการขัดเป็นจำนวนประมาณ 100-150 ชิ้น เมื่อแท่นขัดถูกนำไปใช้งานจนครบจำนวนอายุงาน เครื่องจักรจะหยุดทำงานและส่งสัญญาณเพื่อให้พนักงานทำการเปลี่ยนแท่นขัดแท่นใหม่ แต่อย่างไรก็ตาม หากการเคลือบหน้าแท่นขัดไม่มีคุณภาพหรือเกิดปัญหาระหว่างการขัด เครื่องจักรก็สามารถที่จะหยุดทำงานและส่งสัญญาณเพื่อให้เปลี่ยนแท่นขัดก่อนกำหนดได้เช่นกัน โดยนอกจากการเปลี่ยนแท่นชิ้นงานตามอายุและตามคุณภาพของแท่นขัดแล้ว การเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ที่จะทำการผลิตก็มีผลต่อการเปลี่ยนแท่นขัด เนื่องจากสูตรการผลิตที่แตกต่างกันในแต่ละผลิตภัณฑ์ สูตรการขัดของโรงงานกรณีศึกษามีทั้งหมด 3 สูตรได้แก่

1) สูตร AKL2.5CB ซึ่งจะใช้น้ำยา CB15 บนแท่นขัด FAPC

2) สูตร AKL2RS ซึ่งจะใช้น้ำยา RS42-1 บนแท่นขัด FAPC

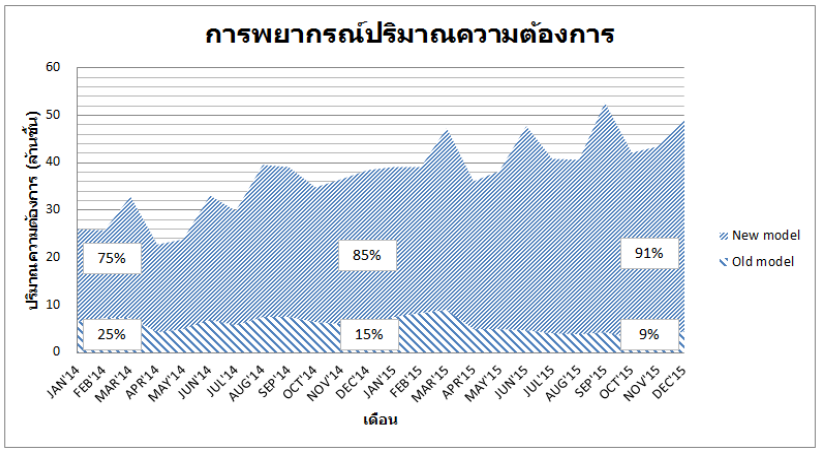
3) สูตร AKL3 ซึ่งจะใช้น้ำยา STKL1097 บนแท่นขัด MHH

สำหรับงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ที่จะปรับปรุงการผลิต ในกระบวนการขัดสำหรับส่วนผลิตชิ้นส่วนหัวอ่านและหัวเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เท่านั้น เนื่องจากกระบวนการอื่นไม่ใช่คอขวด จึงไม่มีการอธิบายถึงกระบวนการอื่นๆในงานวิจัยเล่มนี้

1.3 สภาพของปัญหาและความสำคัญของปัญหา

1.3.1 ปริมาณความต้องการและความสามารถในการผลิต

เนื่องจากปริมาณความต้องการที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะความต้องการของกลุ่มผลิตภัณฑ์รุ่นใหม่ จากรูปที่ 1.3 แสดงปริมาณความต้องการของลูกค้าตั้งแต่เดือนมกราคม ปี 2557 จนถึงเดือนธันวาคม ปี 2558 ปริมาณความต้องการเพิ่มขึ้นจาก 25 ล้านชิ้นในเดือนมกราคม ปี 2557 เป็นจำนวน 38 ล้านชิ้นในเดือนธันวาคม ปี 2557 และจะเพิ่มจำนวนเป็น 49 ล้านชิ้นในเดือนธันวาคม ปี 2558 ซึ่งสัดส่วนของกลุ่มผลิตภัณฑ์รุ่นใหม่เพิ่มขึ้นจาก 75% ในเดือนมกราคม ปี 2557 เป็น 85% ในเดือนธันวาคม ปี 2557 และเพิ่มขึ้นเป็น 91% ในเดือนธันวาคม ปี 2558 ทำให้ความต้องการเครื่องขัดชิ้นงาน ซึ่งเป็นเครื่องจักรที่ใช้สำหรับผลิตภัณฑ์รุ่นใหม่และเป็นเครื่องจักรคอขวดมีปริมาณความต้องการเพิ่มมากขึ้น ดังตารางที่ 1.2 แสดงปริมาณความต้องการเครื่องขัดชิ้นงาน ซึ่งในปัจจุบันโรงงานกรณีศึกษามีเครื่องจักรขัดชิ้นงานจำนวน 66 เครื่อง



รูปที่ 1.3 ความต้องการสินค้าตั้งแต่เดือนมกราคม ปี 2557 ถึงเดือนธันวาคม ปี 2558

ตารางที่ 1.2 ความต้องการเครื่องขัดชิ้นงานในปี 2558 (ก่อนการปรับปรุง)

ความต้องการเครื่องขัดชิ้นงาน (เครื่อง)	ม.ค. 2558	ก.พ. 2558	มี.ค. 2558	เม.ย. 2558	พ.ค. 2558	มิ.ย. 2558	ก.ค. 2558	ส.ค. 2558	ก.ย. 2558	ต.ค. 2558	พ.ย. 2558	ธ.ค. 2558
ก่อนการปรับปรุง	55	55	55	61	62	62	66	66	67	70	70	73

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากเทคโนโลยีการผลิตที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ประกอบกับราคาของเครื่องจักรที่ค่อนข้างสูง ดังนั้นโรงงานกรณีศึกษาจึงมีความต้องการที่จะใช้เครื่องจักรที่มีอยู่ให้เต็มประสิทธิภาพสูงสุดก่อนการตัดสินใจซื้อเครื่องต่อไป ซึ่งจากข้อมูลในตารางที่ 1.3 แสดงความสามารถในการผลิตของกระบวนการผลิตชิ้นส่วนหัวอ่านและหัวเขียนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟทั้ง 5 กระบวนการ โดยกระบวนการขัดเป็นกระบวนการที่มีกำลังการผลิตต่ำที่สุดคือ 990,651 ชิ้นต่อวัน และจากตารางที่ 1.4 แสดงความสามารถในการผลิตของเครื่องจักรในกระบวนการขัด โดยเครื่องขัดชิ้นงานเป็นเครื่องจักรที่มีความสามารถในการผลิตต่ำที่สุดคือ 990,651 ชิ้นต่อวัน และเครื่องเชื่อมสายมีความสามารถในการผลิตรองลงมาคือ 1,050,969 ชิ้นต่อวัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 1.3 ความสามารถในการผลิตของกระบวนการผลิตชิ้นส่วนหัวอ่านและหัวเขียนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

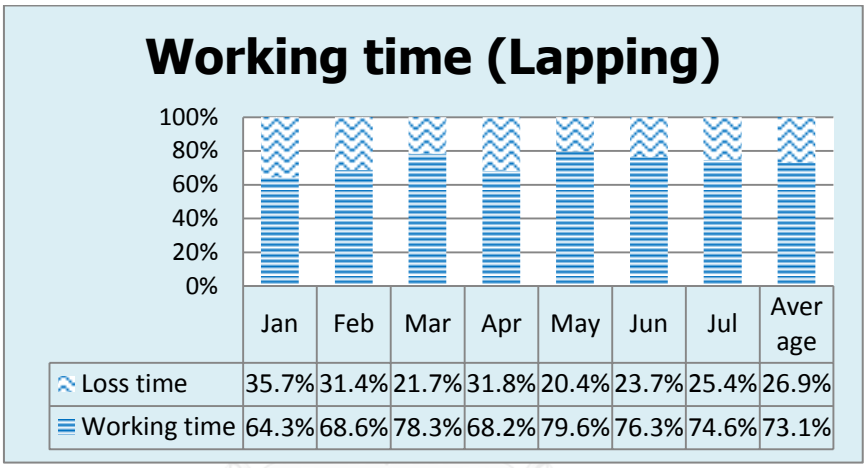
กระบวนการผลิต	ความสามารถในการผลิต (ชิ้นต่อวัน)
กระบวนการตัด	1,780,000
กระบวนการขัด	990,651
กระบวนการกัด	1,557,000
กระบวนการวัด	1,620,000
กระบวนการล้าง	1,690,000

ตารางที่ 1.4 ความสามารถในการผลิตของเครื่องจักรในกระบวนการขัด

ขั้นตอนการผลิตในกระบวนการขัด	ความสามารถในการผลิต (ชิ้นต่อวัน)
เครื่องติดชิ้นงานลงบนอุปกรณ์ช่วยจับชิ้นงาน	1,780,000
เครื่องเชื่อมสายระหว่างชิ้นงานและแผงวงจร	1,560,000
เครื่องขัดชิ้นงาน (การขัดรอบที่ 1)	1,650,000
เครื่องถอดสายระหว่างชิ้นงานและแผงวงจร	1,730,000
เครื่องถอดชิ้นงานออกจากอุปกรณ์ช่วยจับ	1,725,000
เครื่องติดชิ้นงานลงบนอุปกรณ์ช่วยจับชิ้นงาน	1,683,000
เครื่องเชื่อมสายระหว่างชิ้นงานและแผงวงจร	1,050,969
เครื่องขัดชิ้นงาน (การขัดรอบที่ 2)	990,651
เครื่องถอดสายระหว่างชิ้นงานและแผงวงจร	1,600,000
เครื่องถอดชิ้นงานออกจากอุปกรณ์ช่วยจับ	1,637,000

1.3.2 การศึกษาอัตราการทำงานของเครื่องขัดชิ้นงานและเครื่องเชื่อมสาย

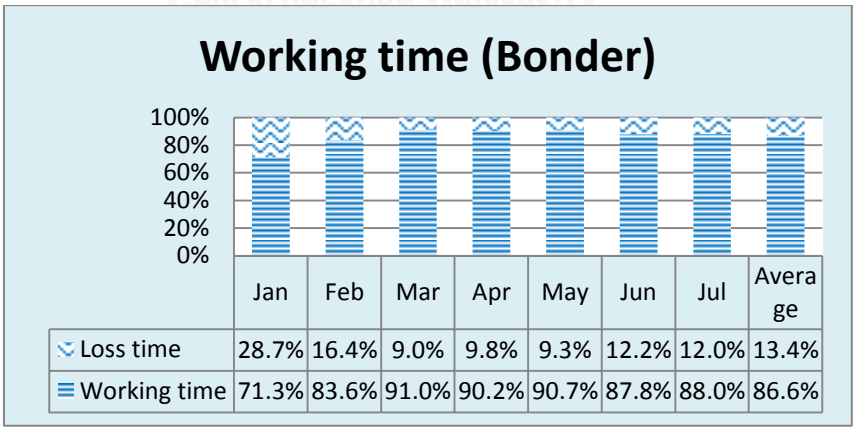
จากการศึกษาข้อมูลย้อนหลังโดยการดึงข้อมูลจากฐานเก็บข้อมูลของโรงงานกรณีศึกษา ตั้งแต่เดือนมกราคม ปี 2556 จนถึงเดือน กรกฎาคม ปี 2556 พบว่า เครื่องขัดชิ้นงานมีเวลาการทำงานเฉลี่ย 73.1% ดังรูปที่ 1.4 แสดงสัดส่วนเวลาที่สูญเสียกับเวลาที่เครื่องขัดชิ้นงานทำงานจริง ในขณะที่เครื่องเชื่อมสายซึ่งเป็นเครื่องจักรก่อนหน้าที่มีความสามารถในการผลิตใกล้เคียงกัน มีเวลาการทำงานเฉลี่ย 86.6% ดังรูปที่ 1.5 แสดงสัดส่วนเวลาที่สูญเสียกับเวลาที่เครื่องเชื่อมสายทำงานจริง



	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Average
Loss time	35.7%	31.4%	21.7%	31.8%	20.4%	23.7%	25.4%	26.9%
Working time	64.3%	68.6%	78.3%	68.2%	79.6%	76.3%	74.6%	73.1%

รูปที่ 1.4 สัดส่วนเวลาที่สูญเสียและเวลาที่เครื่องขัดชิ้นงานทำงานจริง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Average
Loss time	28.7%	16.4%	9.0%	9.8%	9.3%	12.2%	12.0%	13.4%
Working time	71.3%	83.6%	91.0%	90.2%	90.7%	87.8%	88.0%	86.6%

รูปที่ 1.5 สัดส่วนเวลาที่สูญเสียและเวลาที่เครื่องเชื่อมสายทำงานจริง

จากข้อมูลการทำงานของเครื่องขัดชิ้นงานซึ่งเป็นเครื่องจักรคอขวดของโรงงานกรณีศึกษา จะเห็นได้ว่า เครื่องขัดชิ้นงานมีเวลาการทำงานเพียง 73.1% ซึ่งโดยทั่วไปเครื่องจักรควรมีเวลาการทำงานอย่างน้อย 85% ดังนั้นโรงงานกรณีศึกษาจึงมีความต้องการที่จะศึกษาหาสาเหตุและทำการปรับปรุงเพื่อเพิ่มเวลาการทำงานให้กับเครื่องขัดชิ้นงานให้ได้มากที่สุดก่อนการพิจารณาซื้อเครื่องจักรใหม่

1.4 วัตถุประสงค์ของการทำวิจัย

เพื่อเพิ่มเวลาพร้อมใช้งานให้กับเครื่องขัดชิ้นงาน

1.5 ขอบเขตการทำงานวิจัย

1.5.1 งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาการผลิตระหว่างเครื่องเชื่อมสายและเครื่องขัดชิ้นงานเท่านั้น โดยกำหนดว่ามีชิ้นงานเข้าสู่เครื่องเชื่อมสายซึ่งเป็นเครื่องจักรก่อนหน้าเครื่องขัดชิ้นงานตลอดเวลา

1.5.2 ชิ้นส่วนวิกฤตในเครื่องขัดชิ้นงานมีทั้งหมด 9 ชิ้นส่วนได้แก่ คอนโทรลพาเนล วอยซ์คอยล์ฟิงเกอร์ เซนเซอร์ พาวเวอร์ซัพพลาย มอเตอร์ แขนจับ สแกนเนอร์จัดเรียง โพโกพิน และคอมพิวเตอร์ โดยในการทดลองจะทำการปรับปรุง 5 ชิ้นส่วนคือ คอนโทรลพาเนล วอยซ์คอยล์ฟิงเกอร์ เซนเซอร์ พาวเวอร์ซัพพลาย และมอเตอร์ สำหรับชิ้นส่วนวิกฤตในเครื่องเชื่อมสายมีทั้งหมด 4 ชิ้นส่วนได้แก่ หัวบอนด์ ลิ่ม เซนเซอร์จัดเรียง และพาวเวอร์ซัพพลาย โดยในการทดลองจะทำการปรับปรุง 2 ชิ้นส่วนคือหัวบอนด์และลิ่ม สำหรับชิ้นส่วนที่เหลือจะไม่มีการปรับปรุงใดๆ แต่ยังมีผลในการทดลองตามลักษณะการเสียหายของชิ้นส่วนนั้นๆ

1.5.3 สาเหตุการหยุดเครื่องจักรอื่นๆ ซึ่งได้แก่ การเปลี่ยนแท่นขัดชิ้นงาน การปรับตั้งค่าจากการเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ การซ่อมบำรุงเครื่องจักรตามแผน และการทดลองของวิศวกรจะไม่มีผลในการทดลองแต่ยังมีสัดส่วนของเวลาที่สูญเสียเท่าเดิม

1.5.4 ไม่มีการคิดต้นทุนแรงงานและไม่มีการคำนวณอัตราดอกเบี้ย

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงานโครงการวิจัย

1.6.1 ศึกษาสภาพทั่วไปและการกำหนดปัญหางานวิจัย (Research Problem): การศึกษากระบวนการผลิตชิ้นส่วนหัวอ่านและหัวเขียนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ และสภาพทั่วไปของกระบวนการผลิต เพื่อหากระบวนการที่เป็นคอขวดและกำหนดเป็นเป้าหมายของการปรับปรุง

1.6.2 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Review): การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้เป็นแนวทางการแก้ไขปัญหา รวมถึงการศึกษาเครื่องมือสำหรับการแก้ปัญหา

1.6.3 การกำหนดกรอบแนวความคิดและการออกแบบงานวิจัย (Conceptual and Research design): การจัดตั้งคณะทำงาน เพื่อระดมสมองในการวิเคราะห์สาเหตุและกำหนดแนวทางการทำวิจัยร่วมกัน

1.6.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล (Data Collection): การดึงข้อมูลจากฐานเก็บข้อมูล เพื่อศึกษาลักษณะการทำงานของเครื่องจักรคอขวดและลักษณะการเกิดของสาเหตุที่ทำให้เครื่องจักรคอขวดทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ

1.6.5 การจัดการและวิเคราะห์ข้อมูล (Data processing and Analysis): การทำการทดลองบนแบบจำลองสถานการณ์เพื่อเก็บข้อมูลการผลิตตามขั้นตอนของการวิจัย

1.6.6 การแปรผล อภิปราย และสรุปผล (Interpretation, Discussion and Conclusion of Results

1.6.7 การจัดทำรูปเล่มและเผยแพร่ผลงานวิจัย (Report and Presentation)

1.7 สิ่งที่นำส่ง

1.7.1 กำหนดระยะเวลาการเปลี่ยนชิ้นส่วนที่มีความเหมาะสมทั้งเรื่องของอัตราการผลิตที่จะเพิ่มขึ้นและเรื่องของต้นทุนการเปลี่ยนชิ้นส่วน

1.7.2 แบบจำลองสถานการณ์ระหว่างเครื่องเชื่อมสายและเครื่องขัดชิ้นงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.8 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการวิจัย

1.8.1 เครื่องขัดชิ้นงานซึ่งเป็นเครื่องจักรคอขวดของกระบวนการผลิตชิ้นส่วนหัวอ่านและหัวเขียนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟจะได้ผลผลิตมากขึ้นเนื่องจากเวลาสูญเสียน้อยลง

1.8.2 ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพเพิ่มมากขึ้น และของเสียลดลง

1.8.3 ต้นทุนการผลิตลดลง เนื่องจากการลงทุนซื้อเครื่องจักรลดลง

1.8.4 สามารถนำหลักการเดียวกันไปประยุกต์ใช้กับกระบวนการผลิตขั้นอื่นๆได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การวัดประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร

ชาญชัญ พรศิริรุ่ง (2549) กล่าวว่าการวัดประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (Overall Equipment Effectiveness) เป็นตัวชี้วัดที่ครอบคลุมถึงการวัดประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรที่เป็นการวัดในเชิงปริมาณของผลผลิตที่ควรจะได้ รวมถึงการวัดประสิทธิผลการทำงานของเครื่องจักรที่เป็นการวัดในเชิงคุณภาพของการผลิตที่ควรจะได้ ค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรประกอบด้วยตัวแปรหลัก 3 ค่าคือ

- อัตราการเดินเครื่อง (Availability Rate: A)
- ประสิทธิภาพการเดินเครื่อง (Performance Efficiency: P)
- อัตราคุณภาพ (Quality Rate: Q)

คำนิยามที่เกี่ยวเวลาต่างๆที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต

- เวลาทั้งหมด (Total Availability Time) คือช่วงเวลาทำงานทั้งหมดในการทำงาน เช่น 1 วันหรือ 1 สัปดาห์
- เวลารับภาระงาน (Loading Time) คือเวลาที่ต้องการให้เครื่องจักรทำงานซึ่งเป็นเวลาทั้งหมดหักด้วยเวลาหยุดตามแผน
- เวลาเดินเครื่อง (Operating Time) คือเวลาที่เครื่องจักรทำงานได้ ซึ่งเป็นเวลารับภาระงานหักด้วยเวลาที่สูญเสียจากเครื่องจักรหยุด เช่น การขัดข้องของเครื่องจักร การสูญเสียเวลาในการปรับแต่ง เป็นต้น
- เวลาเดินเครื่องสุทธิ (Net Operating Time) คือเวลาที่ต้องใช้เดินเครื่องจักรตามทฤษฎีเมื่อต้องการผลิตชิ้นงานตามจำนวนที่กำหนด
- จำนวนชิ้นงานทั้งหมด (Output) คือจำนวนชิ้นงานที่ผลิตได้ทั้งหมดรวมทั้งของดีและของเสีย

2.1.1 อัตราการเดินเครื่อง คือความพร้อมของเครื่องจักรในการทำงาน เป็นการเปรียบเทียบระหว่างเวลาเดินเครื่องกับเวลารับภาระงาน โดยที่การสูญเสียเวลาที่เครื่องจักรหยุด (Downtime Loss) มีสาเหตุมาจากความสูญเสียเนื่องจากเครื่องขัดข้อง (Machine Breakdowns) และความสูญเสียจากการปรับแต่ง (Setups and Adjustments)

อัตราการเดินเครื่อง = (เวลารับภาระงาน – เวลาที่เครื่องจักรหยุด) / เวลารับภาระงาน
= เวลาเดินเครื่อง / เวลารับภาระงาน

2.1.2 ประสิทธิภาพการเดินเครื่อง คือสมรรถนะการทำงานของเครื่องจักร โดยการเปรียบเทียบระหว่างเวลาเดินเครื่องสุทธิกับเวลาเดินเครื่อง โดยที่การสูญเสียด้านประสิทธิภาพ (Performance Loss) มีสาเหตุมาจากความสูญเสียเนื่องจากการหยุดเล็กๆน้อยๆ การเดินเครื่องตัวเปล่า (Minor Stoppage and Idling Losses) และความสูญเสียความเร็วของเครื่อง (Speed Losses)

ประสิทธิภาพการเดินเครื่อง = (เวลามาตรฐาน x จำนวนชิ้นงานที่ผลิตได้) / เวลาเดินเครื่อง
= เวลาเดินเครื่องสุทธิ / เวลาเดินเครื่อง

2.1.3 อัตราคุณภาพ คือความสามารถในการผลิตของดีให้ตรงตามข้อกำหนดของเครื่องจักรและตามข้อกำหนดของลูกค้าต่อจำนวนของที่ผลิตได้ทั้งหมด โดยที่การสูญเสียด้านคุณภาพ (Quality Loss) มีสาเหตุมาจากความสูญเสียเนื่องจากงานเสีย (Defects) งานซ่อม (Rework) และความสูญเสียช่วงเริ่มต้นการผลิต (Startup Loss)

อัตราคุณภาพ = (จำนวนชิ้นงานทั้งหมด – จำนวนชิ้นงานที่เสีย) / จำนวนชิ้นงานทั้งหมด
= จำนวนชิ้นงานดี / จำนวนชิ้นงานทั้งหมด

2.1.4 ค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร คือค่าที่ได้จากผลคูณระหว่างอัตราการเดินเครื่อง ประสิทธิภาพการเดินเครื่อง และอัตราคุณภาพ ซึ่งแสดงถึงความพร้อมของเครื่องจักรในการใช้งานว่าเป็นอย่างไร การเดินเครื่องจักรเต็มความสามารถหรือไม่ มีการผลิตชิ้นงานเสียมากน้อยเท่าไร ดังนั้น

ค่าประสิทธิผลโดยรวม = อัตราการเดินเครื่อง x ประสิทธิภาพการเดินเครื่อง x อัตราคุณภาพ
(Availability Rate) (Performance Efficiency) (Quality Rate)

2.2 การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

วิศวกรรมสถาน ในพระบรมราชูปถัมภ์ (2543) ได้อธิบายความหมายของการบำรุงรักษาว่าเป็นการผสมผสานกัน ของการทำงานด้านเทคนิคและการจัดการเพื่อคงไว้ซึ่งสภาพของอุปกรณ์หรือฟื้นฟูสภาพของอุปกรณ์ให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งานตลอดเวลา ซึ่งการซ่อมบำรุงรักษามี 2 ประเภทคือ การซ่อมบำรุงรักษาแบบแก้ไข (Corrective Maintenance) เป็นการบำรุงรักษาที่จะดำเนินการเมื่ออุปกรณ์ เครื่องจักรเกิดการขัดข้องหรือชำรุด และการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) เป็นการบำรุงรักษาที่จะดำเนินการก่อนเกิดการขัดข้องหรือชำรุด การบำรุงรักษาเชิงป้องกันมีอยู่ 2 ลักษณะได้แก่

2.2.1 การซ่อมบำรุงโดยใช้ระยะเวลาเป็นตัวกำหนด (Time Base or Fixed Time Maintenance)

การบำรุงรักษาโดยใช้เวลาเป็นตัวกำหนดนี้ เราคิดจากเวลาในการทำงาน ซึ่งช่วงเวลาในการทำงานต้องดำเนินการอย่างสม่ำเสมอเป็น แบบวัฏจักร เช่นการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องทุกๆ 5,000-10,000 กม. หรือ Tool life ของมีดกลึง ที่กำหนดให้เปลี่ยนหรือลับคมทุก 200 ชม. เป็นต้น แต่บางครั้งเราก็สามารถเอาจำนวนชิ้นเป็นตัวกำหนดได้ เช่นเปลี่ยนคมมีดทุก ๆ 5,000 ชิ้น เป็นต้น การบำรุงรักษาวิธีนี้ครอบคลุมการเปลี่ยนอะไหล่ การเติมหรือเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่น การปรับแต่งต่างๆ วิธีนี้จะได้ผลก็ต่อเมื่อผู้วางแผนการบำรุงรักษาต้องรู้ข้อมูลของชิ้นส่วนต่างๆอย่างแน่นอน เช่น อายุการทำงาน วิธีการนี้เหมาะสมกับชิ้นส่วนที่ถอดเปลี่ยนง่าย หรือเครื่องจักรที่เป็นเอกเทศ เพราะจะเป็นการลดความเสี่ยงในการสร้างความเสียหายโดยไม่เจตนาแก่ชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้องอื่นๆขณะดำเนินการ

การชำรุดเสียหายของชิ้นส่วนเครื่องจักรกลขึ้นอยู่กับเวลาคือ ความล้า การสึกหรอทั้งจากการเสียดสีและการกัดกร่อนหรืออาจเกิดจากกรรมวิธีการผลิตก็ได้ และจากพื้นฐานการชำรุดของชิ้นส่วนมีอยู่ 4 แบบคือ

1) ประเภทมีโอกาสชำรุดไม่แน่นอนและค่อยๆเสื่อมสภาพ มีเวลาในการพัฒนาตัวของการเสื่อม

2) ประเภทมีโอกาสชำรุดไม่แน่นอนและเสื่อมสภาพทันทีทันใด ไม่มีเวลาในการพัฒนาตัวของการเสื่อมสภาพ

3) ประเภทมีโอกาสชำรุดแน่นอนและค่อยๆเสื่อมสภาพ มีเวลาในการพัฒนาตัวของการเสื่อม

4) ประเภทมีโอกาสชำรุดแน่นอนและเสื่อมสภาพทันทีทันใด ไม่มีเวลาในการพัฒนาตัวของการเสื่อมสภาพ

เมื่อพิจารณาจากข้างต้นแล้วจะเห็นว่าการชำรุดของชิ้นส่วนแบบที่ 1 และ 3 เราสามารถใช้การบำรุงรักษาเชิงป้องกันเข้ามาแก้ไขได้ ส่วนแบบที่ 2 และ 4 เราต้องใช้การบำรุงรักษาแบบแก้ไขเพียงอย่างเดียว

การบำรุงรักษาโดยการใช้เวลาเป็นตัวกำหนดอายุการใช้งานนี้ ก่อนที่จะกำหนดเวลานี้ได้ต้องมีข้อมูลทางด้านสถิติที่เพียงพอในการที่จะหาอายุการใช้งานเฉลี่ย (Mean Time To Failure) ค่านี้จะเป็นค่าระยะเวลาสูงสุดที่ชิ้นส่วนจะมีโอกาสชำรุด แต่ก็ยังมีโอกาสที่ชิ้นส่วนจะชำรุดก่อนหรือหลังจากจุดนี้ได้ ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยเราจึงต้องทำการเผื่อระยะเวลา (Safety Period) ในการเปลี่ยนชิ้นส่วนนั้นๆ ก่อนถึงจุดที่ควรทำการเปลี่ยนชิ้นส่วนที่เรียกว่า Mean Time To Repair (MTTR)

2.2.2 การซ่อมบำรุงโดยตรวจสอบสภาพเครื่องจักร (Condition based or Predictive maintenance)

การตรวจสอบเครื่องจักรเราสามารถทำได้ทั้งโดยผู้ปฏิบัติงานและโดยผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งขึ้นอยู่กับการให้ระดับความสำคัญของแต่ละโรงงาน เราสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบคือ การตรวจสอบโดยใช้ประสาทสัมผัส และการตรวจสอบโดยใช้เครื่องมือที่ทันสมัย

2.3 การจำลองสถานการณ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประจวบ กล่อมจิต และ กัญจนา ทองสนิท (2554) ได้อธิบายว่า การจำลองสถานการณ์ (Simulation) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ ออกแบบ และแก้ไขปัญหาหรือกระบวนการทำงานต่างๆ โดยการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ที่ต้องการศึกษาแล้วทำการศึกษาพฤติกรรมของสถานการณ์นั้น โดยผ่านแบบจำลองที่สร้างขึ้นมา เหตุผลที่การจำลองสถานการณ์ได้รับความนิยมและนำไปใช้ในงานอย่างแพร่หลายคือ ความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์

2.3.1 ความหมายของการจำลองระบบ

การจำลองระบบหมายถึง กระบวนการออกแบบตัวแบบจำลองของระบบงานจริง แล้วทำการทดลองใช้ตัวแบบจำลองนั้น เพื่อศึกษาพฤติกรรมของระบบภายใต้ข้อกำหนดที่วางไว้ โดยมีความสัมพันธ์กันระหว่างระบบงานจริงกับแบบจำลอง

2.3.2 ระบบงาน (System)

ระบบงาน หมายถึง กลุ่มขององค์ประกอบ (Elements) ที่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันและมีความร่วมมือประสานงานกัน เพื่อให้ได้ผลสำเร็จในวัตถุประสงค์บางอย่างของระบบงานนั้นๆ สิ่งสำคัญในการศึกษาระบบงานคือ การกำหนดขอบเขตของระบบงาน (System Boundaries) ซึ่งประกอบด้วย การกำหนดองค์ประกอบของระบบงาน การแสดงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบต่างๆ และการกำหนดองค์ประกอบอื่นๆ ที่อยู่นอกระบบงานแต่ส่งผลกระทบต่อการปฏิบัติงานของระบบงาน เรียกโดยรวมว่า ภาวะแวดล้อมของระบบงาน (System Environment) นอกจากการกำหนดของเขตของระบบงานแล้ว ยังต้องกำหนดลักษณะเฉพาะตัว (Attributes) ขององค์ประกอบต่างๆทั้งองค์ประกอบภายในระบบงานและองค์ประกอบภายนอกระบบงาน ซึ่งลักษณะเฉพาะตัวนี้จะทำให้เกิดกิจกรรม และกิจกรรมบางอย่างภายใต้เงื่อนไขบางข้อ ก็จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานภาพของระบบงาน (System Status)

องค์ประกอบของระบบ โดยทั่วไปประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 4 ส่วนคือ

- ส่วนทำการ (Entity) คือส่วนที่จะดำเนินการต่างๆภายในระบบหรือสมาชิกของระบบ
- ลักษณะการทำการ (Attribute) คือคุณลักษณะหรือหน้าที่ของส่วนทำการในระบบ
- กิจกรรม (Activity) คือกรรมวิธีหรือลักษณะที่ส่วนทำการกระทำในระบบ
- สถานภาพของระบบ (State of System) คือลักษณะหรือสถานภาพของส่วนทำการ

2.3.2 ตัวแบบจำลอง (Model)

ตัวแบบจำลอง หมายถึง ตัวแทนของลักษณะหรือพฤติกรรมของสิ่งที่สนใจ ใช้ในการนำเสนอเพื่อศึกษาหรือเลียนแบบเพื่อใช้งาน ซึ่งการศึกษาจะนำเฉพาะจุดที่สนใจจะศึกษามาทำแบบเท่านั้นประเภทของแบบจำลอง จำแนกได้ตามลักษณะพิเศษเฉพาะตัวของแบบจำลองดังนี้

- แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เป็นแบบจำลองที่ใช้สัญลักษณ์และฟังชันคณิตศาสตร์แทนองค์ประกอบในระบบงานจริง เช่น แบบจำลองระบบคิว เป็นต้น
- แบบจำลองทางกายภาพ มีลักษณะเหมือนระบบงานจริง อาจมีขนาดเท่ากับของจริงหรือมีขนาดเล็กกว่าหรือใหญ่กว่า ได้แก่ แบบจำลองของเครื่องบินที่ใช้ทดสอบในอุโมงค์ลม เป็นต้น
- แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ อยู่ในรูปของโปรแกรมคอมพิวเตอร์
- เกมการบริหาร เป็นแบบจำลองการตัดสินใจในกิจการต่างๆ เช่น ธุรกิจ สงคราม การลงทุน เป็นต้น
- แบบจำลองอนาลอก เป็นแบบจำลองที่มีพฤติกรรมเหมือนระบบงานจริง ตัวอย่างของแบบจำลองประเภทนี้ เช่น แบบจำลองในระบบควบคุมโรงกลั่นน้ำมัน เป็นต้น

โครงสร้างของแบบจำลอง อาจเขียนเป็นรูปแบบแสดงความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ได้เป็น

$$E = f(x_i, y_i)$$

E คือ ผลของการปฏิบัติการของระบบ

x_i คือ ตัวแปรและพารามิเตอร์ที่เราสามารถควบคุมได้

y_i คือ ตัวแปรและพารามิเตอร์ที่เราไม่สามารถควบคุมได้

f คือ ความสัมพันธ์ของ x_i และ y_i ที่ทำให้เกิด E

จะเห็นได้ว่าสมรรถนะของระบบนั้น เป็นผลกระทบมาจากตัวแปรต่างๆทั้งที่มีอยู่และไม่มีอยู่ในความควบคุมของเรา โดยที่ระบบทุกระบบที่ทำการศึกษาจะต้องมีขอบเขตจำกัดและต้องมีวัตถุประสงค์ของการศึกษา เมื่อรวมเข้ากับรูปแบบความสัมพันธ์ข้างต้น โครงสร้างของแบบจำลองจะประกอบด้วย

- องค์ประกอบ (Component) ในแบบจำลองสถานการณ์ที่ใช้แทนระบบงานประกอบด้วยองค์ประกอบที่จำเป็นสำหรับการทำงานของระบบ
- พารามิเตอร์ (Parameters) คือค่าคงที่ซึ่งผู้ใช้แบบจำลองสถานการณ์เป็นผู้กำหนด อาจกำหนดขึ้นเองเพื่อศึกษาผลที่เกิดขึ้นจากค่าพารามิเตอร์นั้น
- ตัวแปร (Variables) คือค่าแปรผัน มีได้หลายค่าตามสภาวะจริงของการใช้งาน จำแนกได้ 2 ประเภท คือ ตัวแปรภายใน หมายถึง ตัวแปรที่เกิดขึ้นภายในระบบ และตัวแปรจากภายนอก หมายถึง ตัวแปรจากภายนอกระบบซึ่งเข้ามามีผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบ ในทางสถิติตัวแปรภายนอกคือ ตัวแปรอิสระ (Independent Variables) และตัวแปรภายใน คือตัวแปรตาม (Dependent Variables)
- ฟังก์ชันความสัมพันธ์ (Functional Relationships) เป็นฟังก์ชันที่อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์กับตัวแปร ส่วนใหญ่จะเขียนในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์
- ขอบเขตจำกัด (Constraints) เป็นข้อจำกัดของค่าตัวแปรต่างๆ อาจเป็นข้อจำกัดที่ผู้ใช้แบบจำลองสถานการณ์เป็นผู้กำหนด เช่น ข้อจำกัดในด้านการขนส่ง เป็นต้น
- ฟังก์ชันเป้าหมาย (Criterion Function) บอกถึงจุดประสงค์หรือเป้าหมายของระบบงานและวิธีการประเมินผลตามเป้าหมาย วัตถุประสงค์การดำเนินงานอาจแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือวัตถุประสงค์เพื่อแสวงหาระบบที่สามารถเพิ่มค่าได้และวัตถุประสงค์เพื่อ ทำให้ระบบสามารถคงสภาพการใช้ทรัพยากร

ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ โดยทั่วไปมีการดำเนินการดังนี้

1) กำหนดปัญหาและวางแผนการศึกษา

2) เก็บข้อมูลและกำหนดแบบจำลอง

3) ทดสอบความถูกต้องของข้อมูล

4) สร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์และตรวจสอบ

5) ทำการรันโปรแกรมเบื้องต้น

6) ทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองสถานการณ์

7) ออกแบบการทดลองและดำเนินการรันจริง

8) วิเคราะห์ข้อมูลและจัดแสดงผลลัพธ์

2.4 การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม

ปารเมศ ชุติมา (2545) ได้กล่าวว่าการออกแบบการทดลองเชิงสถิติ (Design of Experiment) หมายถึง กระบวนการในการวางแผนการทดลองเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสม ที่จะสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีทางสถิติ ซึ่งจะทำให้เราสามารถหาข้อสรุปที่สมเหตุสมผลได้ ดังนั้นสิ่งที่สำคัญ 2 ประการคือ การออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ

หลักการพื้นฐาน 3 ประการสำหรับการออกแบบการทดลองคือ เรพลิเคชัน (Replication) แรนดอมไมเซชัน (Randomization) และบล็อกกิ้ง (Blocking)

1) เรพลิเคชัน หมายถึง การทำการทดลองซ้ำ ซึ่งการทำเรพลิเคชันจะทำให้ผู้ทดลองสามารถหาค่าประมาณของความผิดพลาดในการทดลองได้ และตัวประมาณค่าความผิดพลาดนี้จะช่วยในการพิจารณาความแตกต่างของข้อมูลในเชิงสถิติ นอกจากนี้การทำเรพลิเคชันยังทำให้ผู้ทดลองสามารถหาตัวประมาณในการประมาณผลกระทบได้ถูกต้องยิ่งขึ้น

2) แรนดอมไมเซชัน หมายถึง การทดลองแบบสุ่ม (Random) ไม่ว่าจะเป็นเรื่องของที่วัสดุที่ใช้ในการทดลองและการลำดับของการทดลองแต่ละครั้ง โดยวิธีการเชิงสถิติจะมีการกำหนดว่าข้อมูลหรือความผิดพลาดจะต้องเป็นตัวแปรแบบสุ่มที่มีการกระจายแบบอิสระ ซึ่งการแรนดอมไมเซชันนี้จะทำให้สมมติฐานนี้เป็นจริงและทำให้สามารถลดผลของปัจจัยภายนอกที่อาจจะเกิดขึ้นในการทดลองได้

3) บล็อกกิ้ง เป็นเทคนิคที่ช่วยให้เกิดความเที่ยงตรง (Precision) ให้แก่การทดลอง บล็อกอันหนึ่งอาจจะหมายถึงส่วนหนึ่งของวัสดุที่ใช้ในการทดลองที่ควรจะมีความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันมากกว่าเซตทั้งหมดของวัสดุ ซึ่งจะทำให้เกิดการเปรียบเทียบเงื่อนไขต่างๆในแต่ละบล็อกที่น่าสนใจ

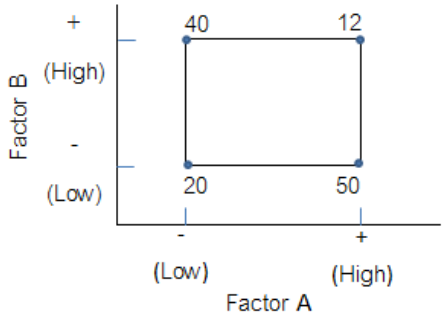
2.4.1 การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล (Factorial Design)

การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล หมายถึง การทดลองที่พิจารณาถึงผลที่เกิดจากการรวมกันของระดับ (Level) ของปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการทดลองนั้น ตัวอย่างเช่น กรณี 2 ปัจจัย ถ้าปัจจัย A ประกอบด้วย a ระดับ และปัจจัย B ประกอบด้วย b ระดับ ในการทดลอง 1 เรพลิเคตจะประกอบด้วยแบบการทดลองทั้งหมด ab การทดลอง และเมื่อปัจจัยที่เกี่ยวข้องถูกนำมาจัดให้อยู่ในรูปแบบของการออกแบบเชิงแฟกทรอเรียล เราจะกล่าวว่าปัจจัยเหล่านี้มีการไขว้ (Cross) ซึ่งกันและกัน

ผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่ง หมายถึง การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับผลตอบ (Response) ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยนั้นๆ ซึ่งเรียกว่า ผลหลัก (Main Effect) ตัวอย่างการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 2 ปัจจัยในรูปที่ 2.1 โดยแต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับคือ ระดับต่ำแทนด้วยเครื่องหมายลบ และระดับสูงแทนด้วยเครื่องหมายบวก ดังนั้นผลหลักของปัจจัย A คือผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของผลตอบที่ระดับต่ำและระดับสูงของปัจจัย A ซึ่งเขียนเป็นตัวเลขได้ว่า

$$A = (50+12)/2 - (20+40)/2 = 1$$

หมายความว่า การเพิ่มขึ้นของปัจจัย A จากระดับต่ำไประดับสูง จะทำให้ผลตอบเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 1 หน่วย ซึ่งมีค่าต่ำมาก จึงมีแนวโน้มสรุปได้ว่า ผลจากปัจจัย A นั้นไม่มีนัยสำคัญ



รูปที่ 2.1 การออกแบบเชิงแฟกทรอเรียล 2 ปัจจัย (ปารเมศ ชุติมา, 2545)

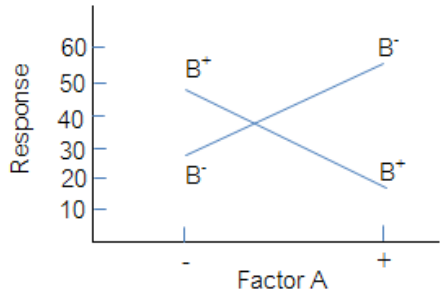
ในการทดลองบางอย่าง เราอาจจะพบว่าผลตอบของปัจจัยหนึ่งอาจจะขึ้นกับระดับของปัจจัยอื่น เรียกเหตุการณ์นี้ว่า การมีอันตรกิริยา (Interaction) ระหว่างกัน จากรูปที่ 2.1ผลของปัจจัย A ที่ปัจจัย B อยู่ที่นะดับต่ำมีค่าเป็น

$$A = 50\text{-}20 = 30$$

และผลของปัจจัย Aที่ปัจจัย B ที่ระดับสูงมีค่าเป็น

$$A = 12\text{-}40 = -28$$

เนื่องจากผลของปัจจัย A ขึ้นกับระดับปัจจัย B ที่ถูกเลือก ดังนั้นจะกล่าวได้ว่า ปัจจัย A และ B มีอันตรกิริยาต่อกัน แนวคิดดังกล่าวแสดงได้ดังรูปที่ 2. 2



รูปที่ 2.2 การออกแบบเชิงแฟกทอรเียล 2 ปัจจัยที่มีอันตรกิริยา (ปารเมศ ชุติมา, 2545)

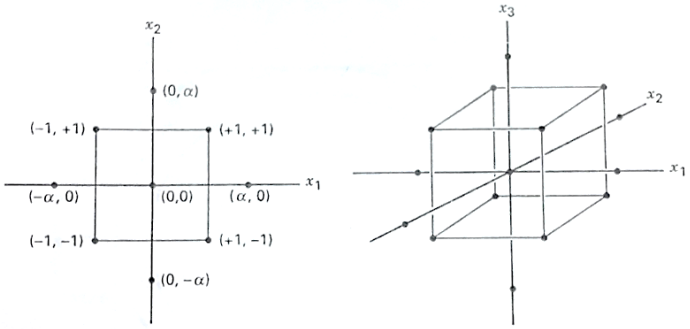
2.4.2 วิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology: RSM)

เป็นการรวบรวมเทคนิคทั้งทางคณิตศาสตร์และทางสถิติที่มีประโยชน์ต่อการสร้างแบบจำลองและการวิเคราะห์ปัญหา โดยที่ผลตอบที่เราสนใจขึ้นอยู่กับหลายตัวแปร และเรามีวัตถุประสงค์ที่จะหาค่าที่ดีที่สุดของผลตอบนี้ ซึ่งผู้วิจัยจะต้องหาตัวประมาณที่เหมาะสมที่จะใช้เป็นตัวแทนสำหรับแสดงความสัมพันธ์ที่แท้จริงระหว่างค่า y กับเซ็ตของตัวแปอิสระ ถ้าแบบจำลองของผลตอบมีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นกับตัวแปรอิสระ ฟังก์ชันที่ใช้ในการประมาณความสัมพันธ์จะเป็นแบบจำลองกำลังหนึ่ง แต่ถ้ามีส่วนโค้งเข้ามาในระบบ ฟังก์ชันที่ใช้ จะเป็นฟังก์ชันพหุนามที่มีกำลังสูงขึ้น

2.4.3 การออกแบบส่วนประกอบกลาง (Central Composite Design)

เป็นเทคนิคหนึ่งในวิธีการวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบสนองที่ได้รับความนิยม ในการออกแบบและการพัฒนาผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิตที่ใช้การออกแบบการและโดยทั่วไปแล้ว การออกแบบส่วนประกอบกลางจะประกอบด้วย 2k แฟกทอเรียลที่มี nf หน่วยทดลอง 2k หน่วย

ทดลองในแนวแกนหรือในแนวรูปดาว (star) และ nc หน่วยทดลองที่จุดศูนย์กลาง แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การออกแบบส่วนประกอบกลาง สำหรับ k=2 และ k=3 (ปารเมศ ชุติมา, 2545)

ในทางปฏิบัติจริง การออกแบบส่วนประกอบกลางจะเกิดขึ้นจากการทดลองแบบเป็นอันดับ (Sequential Experimentation) กล่าวคือการออกแบบ 2k แฟกทอเรียล ถูกนำมาใช้เมื่อมีการสร้างข้อมูลเข้ากับแบบจำลองที่หนึ่ง เมื่อพบว่าแบบจำลองอันดับที่หนึ่งไม่เหมาะสมกับข้อมูลชุดนี้ จึงมีการทำการทดลองเพิ่มในแนวแกนหรือในแนวรูปดาวเพื่อให้สามารถใส่พจน์ ควอดราติก ลงในแบบจำลองได้ อย่างไรก็ตาม ถ้าหากเรารู้ว่าข้อมูลที่ได้มานั้นสามารถทำการสร้างเข้ากับแบบจำลองที่เป็นควอดราติกได้ เราก็สามารถทำการออกแบบการทดลองโดยใช้การออกแบบส่วนประกอบกลางได้ทันที โดยไม่ต้องออกแบบ 2k แฟกทอเรียล เพื่อการสร้างข้อมูลให้เข้ากับแบบจำลองอันดับที่หนึ่ง

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การเพิ่มความสามารถในกระบวนการผลิตโดยที่ไม่มีการเพิ่มเครื่องจักรหรือค่าใช้จ่ายใดๆ เป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่มีความเหมาะกับสำหรับกระบวนการผลิตชิ้นส่วนขนาดเล็ก โดยเฉพาะชิ้นส่วนทางอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากเทคโนโลยีที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ทำให้การลงทุนซื้อเครื่องจักรเกิดความไม่คุ้มค่า งานวิจัยของ Folwer et al. (2545) ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับงานที่ไหลในกระบวนการในกระบวนการผลิตเวเฟอร์ (Wafer Fabricate) โดยการจัดลำดับการผลิต งานวิจัยของ Leachman et al. (2545) ได้มีการใช้เทคนิค Short Cycle Time and Low Inventory

In Manufacturing: SLIM ซึ่งเป็นเทคนิคการจัดลำดับการผลิตเพื่อควบคุมเวลาการผลิตที่ทำการศึกษาในบริษัทซัมซุง งานวิจัยของ Huangy et al. (2546) ได้นำเทคนิคการสร้างแบบจำลองมาใช้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร (OEE) และประสิทธิภาพโดยรวมของผลผลิต (OTE) งานวิจัยของ Matsuo (2547) ที่นำเทคนิคการสร้างแบบจำลองมาใช้ในการควบคุมงานในกระบวนการ (Work in process: WIP) เพื่อวิเคราะห์ความผันผวนในกระบวนการเช่น เครื่องจักรหยุดทำงานหรืออัตราผลผลิตงานที่มีคุณภาพผิดปกติ เช่นเดียวกับ Al-Kahtan et al. (2557) ที่ใช้แบบจำลองในการออกแบบผังโรงงานและการวางแผนการไหลของงาน เนื่องจากการมีงานในสายการผลิตควรมีการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาชิ้นงานควบคู่ไปด้วย เพื่อให้การวางแผนการผลิตเกิดประโยชน์สูงสุด

จากงานวิจัยที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่า มีนักวิจัยหลายท่านที่พยายามนำเครื่องมือต่างๆมาช่วยในการวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการและการวางผังโรงงาน เพื่อเพิ่มความสามารถในการผลิตให้ได้มากที่สุด หรือแม้แต่การศึกษาเทคนิคทางคณิตศาสตร์เพื่อนำมาประยุกต์ใช้การปรับปรุงกระบวนการผลิตเช่น งานวิจัยของ Yu et al. (2556) ที่มีการศึกษาการหาวิธีการผลิตที่ให้ค่าเวลาการทำงานที่ต่ำที่สุดบนเครื่องจักรเดี่ยว โดย 3 หลักการทางคณิตศาสตร์ได้แก่ Classical list scheduling (LS) algorithm, the longest processing time first (LPT) algorithm และ the modified longest processing time first (MLPT) algorithm

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ทำการศึกษาการเพิ่มความสามารถในการผลิต โดยการออกแบบวิธีการทำงานให้กับเครื่องจักรควบคู่ไปกับการวางแผนการซ่อมบำรุงเชิงป้องกัน เนื่องจากการวางแผนการซ่อมบำรุงเชิงป้องกันเป็นอีกหนึ่งวิธีการในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตให้กับเครื่องจักร เช่นงานวิจัยของ Tasi et al. (2544) ได้ออกแบบการวางแผนการซ่อมบำรุงโดยใช้หลักการการหาค่าที่เหมาะสม (Optimization) ในการวิเคราะห์ความเหมาะสมในการวางแผนการซ่อมบำรุงและค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง ในขณะที่ Kacem et al. (2549) ได้ศึกษาการออกแบบวิธีการผลิตบนเครื่องจักรเดี่ยวเพื่อลดเวลาการผลิต โดยพิจารณาเวลาพร้อมใช้งานที่เหลือจากการซ่อมบำรุงเครื่องจักรโดยใช้หลัก Branch and Bound

งานวิจัยของ Hsu et al. (2550) ได้มีการออกแบบวิธีการทำงานให้กับเครื่องจักรเพื่อลดเวลาการผลิตให้มากที่สุด โดยการพิจารณาควบคู่ไปกับการวางแผนซ่อมบำรุงที่ถูกกำหนดไว้ บนเครื่องจักรเพียงเครื่องเดียว และในปีเดียวกันนั้น Hsu et al. (2550) ฉบับที่ 2 ได้ทำการศึกษาลักษณะการเสียหายของเครื่องจักรเชิงเส้น (Simple Linear Deterioration)

งานวิจัยของ Low et al. (2550) พิจารณาการลดเวลาในการผลิตบนเครื่องจักรเพียงเครื่องเดียว โดยการปรับปรุงแผนการซ่อมบำรุงตามความเหมาะสม งานวิจัยของ Chiu et al. (2554) ได้มีการใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ในการศึกษาการเกิดความเสียหายของเครื่องจักรแบบสุ่ม เพื่อการแสดงผลของเวลาพร้อมใช้งานของการผลิตและความเสียหายจากการผลิต งานวิจัยของ Pan et al. (2555) ได้กล่าวว่าการเสียหายของเครื่องจักรจะมีผลกระทบต่อกระบวนการผลิต จึงได้ทำการออกแบบวิธีการทำงานให้กับเครื่องจักรโดยใช้หลักการการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด โดยการพิจารณาการวางแผนการซ่อมบำรุงโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เวลาพร้อมใช้งานของเครื่องมีค่าสูงสุด และงานวิจัยของ Harrath et al. (2555) ได้วิจัยการลดเวลาในการผลิต ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับแผนการซ่อมบำรุงเครื่องจักรที่เหมาะสม โดยพิจารณาค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับการซ่อมบำรุงร่วมด้วย

นอกจากการใช้เทคนิคทางคณิตศาสตร์ในการหาวิธีการในการปรับปรุงการผลิตแล้ว ยังมีการใช้แบบจำลองการผลิตในการวิเคราะห์ร่วมด้วย เนื่องจากแบบจำลองจะช่วยให้สามารถคาดเดาสถานการณ์ต่างๆที่จะเกิดขึ้นในสายการผลิตได้ค่อนข้างแม่นยำและครอบคลุม Roux et al. (2553) ได้ศึกษาความถี่ของการเสียหายและนำเทคนิคการสร้างแบบจำลองร่วมกับการหาค่าที่ดีที่สุดเพื่อออกแบบแผนการซ่อมบำรุงเชิงป้องกันแบบพิจารณาหลายชิ้นส่วนประกอบ งานวิจัยของ Ramırez-Hernandez et al. (2553) มีการสร้างซอฟแวร์ Preventive maintenance optimization software tool (PMOST) โดยมีจุดประสงค์คือการเพิ่มอัตราการเดินเครื่องจักรโดยมีเงื่อนไขของทรัพยากรที่มีอยู่จำกัด งานวิจัยของ Benmansour et al. (2554) ใช้แบบจำลองในการออกแบบแผนการซ่อมบำรุงสำหรับเครื่องจักรเดี่ยว โดยมีการพิจารณาร่วมกันระหว่างการซ่อมบำรุงเครื่องจักรและผลผลิตของสายการผลิตเพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายต่อลูกค้า

งานวิจัยของ Widyadana และ Wee (2554) มีความต้องการที่จะลดการเกิดความเสียหายของเครื่องจักรโดยพิจารณาควบคู่ไปกับสินค้าคงคลังโรงงาน (Inventory) เนื่องจากสินค้าคงคลังมีผลโดยตรงกับค่ารักษาสินค้า โดยลักษณะการเสียหายของงานวิจัยนี้จะมีความแปรปรวนที่เวลาไม่คงที่ (Stochsic)

งานวิจัยของ Li et al. (2555) ได้ศึกษาการลดการซ่อมบำรุงเครื่องจักร โดยยังคงความน่าเชื่อถือของกระบวนการผลิต

งานวิจัยของ Khanh Nguyen et al. (2556) ได้ศึกษาการวางแผนการซ่อมบำรุงที่เหมาะสมที่สุด โดยการพิจารณาค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับชิ้นส่วนอะไหล่ โดยใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์ผล

จากงานวิจัยที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่า ผู้วิจัยมีความพยายามที่จะเพิ่มเวลาและความสามารถให้กับกระบวนการผลิตด้วยการออกแบบการทำงานและการวางแผนการซ่อมบำรุงที่เหมาะสม เพื่อให้กระบวนการผลิตสามารถผลิตงานได้เต็มกำลังสูงสุด รวมถึงการผลิตงานออกมาอย่างมีคุณภาพโดยเกิดค่าใช้จ่ายต่างๆอย่างเหมาะสมรวมถึงเรื่องของการส่งมอบ การรักษาระดับของสินค้าคงคลังและการควบคุมชิ้นส่วนอะไหล่ ซึ่งยังมีงานวิจัยจำนวนไม่มากที่ทำการศึกษาการเปลี่ยนชิ้นส่วนในเครื่องจักรให้เร็วขึ้นกว่าอายุการใช้งานจริงสำหรับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาแผนการเปลี่ยนชิ้นส่วนสำหรับเครื่องขัดชิ้นงานของกระบวนการผลิตชิ้นส่วนหัวอ่านและหัวเขียนฮาร์ดดิสก์เพื่อนำเสนอเป็นแนวทางในการปรับปรุงต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2.1 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Researcher	Problem Statement	Objective Function	Solution
Thesis	Parallel machine	Increasing availability	Computer simulation
Folwer et al [1]	Scheduling of workload control	Maximize utilization	Heuristics
Leachman et al [2]	Scheduling applications for managing cycle time	Minimize cycle time	Heuristic algorithms
Samuel et al [3]	Productivity improvement in a manufacturing system	Creat metrics of OEE and OTE	Computer simulation
Hirofumi et al [4]	Optimizes work-in-process inventory	Minimum WIP	Computer simulation
Mohammed et al [5]	Investigate the effects of input factors, including various layout types	Maximize profits	Cost - Benefits analysis
Xianyu et al [6]	A single-machine scheduling problem with periodic maintenance and non-preemptive jobs	Minimize the makespan	The classical list scheduling (LS) algorithm The longest processing time first (LPT) algorithm The modified longest processing time first (MLPT) algorithm
Yuo-Tern et al [7]	Single-machine scheduling problem	Optimizing preventive	Genetic algorithms
Imed et al [8]	Single-machine scheduling problem with one unavailability period,	Minimize the weighted sum completion time	Branch-and-bound method
Chou-Jung et al [9]	Deals with a single-machine scheduling problem where the machine should be stopped for maintenance after a fixed periodic interval (T) or after a fixed number of jobs (K) have been processed	Minimize the makespan	Algorithm Best-Fit-Butterfly (BBF) performs
Chou-Jung at al [10]	Single-machine scheduling problem with simple linear deteriorating jobs and availability constraint.	Minimize the total completion time	Mixed integer programming model and solved optimally by LINGO v11.0

ตารางที่ 2.1 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

Researcher	Problem Statement	Objective Function	Solution
Chinyao et al [11]	Flexible maintenance considerations	Minimize the makespan	Heuristic algorithms
Yuan-Shyi et al [12]	Solving manufacturing run time problem with random defective rate and stochastic machine breakdown	Minimize production inventory cost	Mathematical
Ershun et al [13]	Scheduling optimization integrade with preventive maintenance of a single machine	Maximize avaliablity	Scheduling optimisation model
Youssef et al [14]	Multiobjective job shop scheduling problem subject to availablity constraint	minimize makespan and total cost	Genetic algorithm based heuristic
Roux et al [15]	The objective is to simultaneously ensure a low frequency of failures by an efficient periodic preventive maintenance and minimize the unavailability of the system due to preventive maintenance.	minimize unavailable	Integrating optimization and simulation
Jose et al [16]	Maintenance Scheduling	Optimizing preventive	PM software
Rachid et al [17]	Integrated production-maintenance strategy	minimize total cost	Computer simulation
Gede et al [18]	This study develops deteriorating items production inventory models with random machine breakdown and stochastic repair time	Minimize total cost (Inventory, lost sales, repair cost)	Math model
Li et al [19]	Methodology to obtain the optimal scheduling for preventive maintenance using time-dependent reliability principles	Minimize total cost (PM and Reliability)	Optimization algorithm
T.P. et al [20]	This paper aims to study the impact of spare parts inventory on equipment maintenance and replacement decisions under technological change	Minimize total cost	A Markov decision process formulation

บทที่ 3
การวิเคราะห์และการกำหนดแนวทางแก้ไขปัญหา

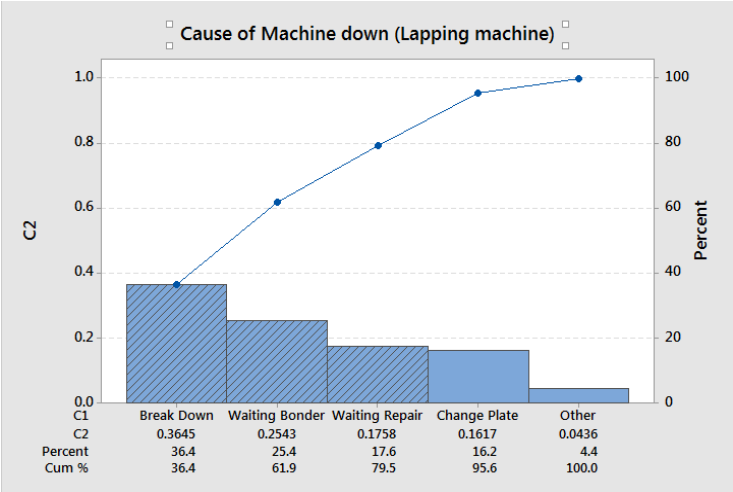
เพื่อการแก้ปัญหาที่ถูกต้อง การศึกษาสาเหตุของปัญหาจึงเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญ โดยในบทนี้จะกล่าวถึงสาเหตุของปัญหาโดยละเอียด พร้อมกับโอกาสและแนวทางในการแก้ไขปัญหาตามขั้นตอนซึ่งมีดังนี้

3.1 การวิเคราะห์ปัญหา

จากการศึกษาข้อมูลย้อนหลังการทำงานของเครื่องขัดชิ้นงาน โดยการดึงข้อมูลจากฐานเก็บข้อมูลของโรงงานตั้งแต่เดือนมกราคม ปี 2556 จนถึงเดือนกรกฎาคม ปี 2556 พบว่าเครื่องขัดชิ้นงานมีเวลาการทำงานเฉลี่ย 73.1% ซึ่งจากบันทึกลักษณะการทำงานของเครื่องขัดชิ้นงานที่บันทึกโดยพนักงานฝ่ายผลิต สามารถแยกสาเหตุของการสูญเสียเวลาได้ 7 สาเหตุดังนี้

1) เครื่องขัดชิ้นงานทำงานผิดปกติ (Breakdown)
2) การรองานจากเครื่องเชื่อมสาย (Waiting Bonder)
3) การรอซ่อมเครื่องขัดชิ้นงาน (Waiting Repair)
4) การเปลี่ยนแท่นขัดตามอายุ (Change Plate)
5) การปรับค่าติดตั้งจากการเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ (Conversion)
6) การซ่อมบำรุงเครื่องจักรตามแผน (Preventive Maintenance: PM)
7) การทดลองของวิศวกร (Evaluation)

จากแผนภูมิพาเรโตในรูปที่ 3.1 จะเห็นได้ว่าสาเหตุที่ทำให้เครื่องขัดชิ้นงานต้องหยุดทำงานมากที่สุด 4 อันดับแรกได้แก่ การหยุดเนื่องจากเครื่องขัดชิ้นทำงานผิดปกติ การรองานจากเครื่องเชื่อมสาย การรอซ่อมเครื่องขัดชิ้นงาน และการเปลี่ยนแท่นขัด



รูปที่ 3.1 เวลาการหยุดเครื่องขัดชิ้นงานจากแต่สาเหตุ

แต่อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแท่นขัดชิ้นงานตามอายุและการปรับค่าติดตั้งบนเครื่องจักรจากการเปลี่ยนแปลงผลิตภัณฑ์เป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ เนื่องจากอายุของแท่นขัดและชนิดของแท่นขัดมีผลต่อคุณภาพการขัดชิ้นงานและถือเป็นข้อกำหนดการผลิตของผลิตภัณฑ์นั้นๆ ส่วนการทดลองของวิศวกรและการซ่อมบำรุงเครื่องจักรตามแผน เป็นสิ่งที่มีประโยชน์ต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์และเป็นการควบคุมความสามารถในการผลิตให้อยู่ในระดับที่กำหนด และทำให้เครื่องจักรสูญเสียเวลาไปเพียงเล็กน้อย ดังนั้นสาเหตุที่สามารถนำไปทำการปรับปรุงแก้ไขจึงได้แก่ การทำงานที่ผิดปกติของเครื่องขัดชิ้นงาน การรองานจากเครื่องเชื่อมสาย และการรอซ่อมเครื่องขัดชิ้นงาน ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของเวลาที่สูญเสียทั้งหมด 79.5%

3.1.1 การทำงานผิดปกติของเครื่องขัดชิ้นงาน

เนื่องจากเครื่องขัดชิ้นงานประกอบด้วยชิ้นส่วนมากมาย และแต่ละชิ้นส่วนจะมีอายุการใช้งานที่แตกต่างกัน สำหรับนโยบายการเปลี่ยนชิ้นส่วนของเครื่องขัดชิ้นงานของโรงงานกรณีศึกษาในปัจจุบัน จะให้มีการเปลี่ยนชิ้นส่วนใหม่เมื่อชิ้นส่วนเก่าได้เกิดความเสียหายขึ้นแล้ว ทำให้การผลิตหยุดชะงัก ชิ้นงานเกิดความเสียหาย และบางครั้งต้องเสียเวลาในการตรวจสอบหาสาเหตุว่ามาจากการเสียหายของชิ้นส่วนใด เครื่องจักรจึงสูญเสียเวลาเป็นจำนวนมากเมื่อเกิดการทำงานผิดปกติในแต่ละครั้ง ชิ้นส่วนที่มีความสำคัญหรือเป็นชิ้นส่วนวิกฤต (Critical Part) ของเครื่องขัดชิ้นงานมีทั้งหมด 9 ชิ้นได้แก่

1) คอนโทรลพาเนล (Control Panel) คือชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่ในการควบคุมระบบการทำงานของเครื่องขัดชิ้นงาน

2) วอยซ์คอยล์ฟิงเกอร์ (Voice coil Finger) คือชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่ปรับตำแหน่งขึ้นลงตามแกน

3) เซนเซอร์ (Sensor) คือชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่วัดระยะการเคลื่อนที่ของแขนกลและวัดระดับการขัด

4) พาวเวอร์ซัพพลาย (Power Supply) คือชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการจ่ายกระแสไฟในเครื่องจักร

5) มอเตอร์ (Motor) คือชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของแขนกล

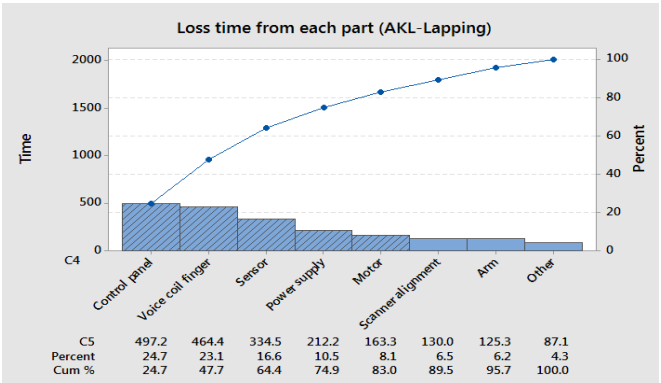
6) แขนจับ (Arm) คือแขนจับชิ้นงานที่ทำหน้าที่ในการนำชิ้นงานเคลื่อนที่สู่พื้นที่ขัด

7) สแกนเนอร์จัดเรียง (Scanner Alignment) คือชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่ในการควบคุมระนาบการเคลื่อนที่และการขัด

8) โพโกพิน (Pogo Pin) คือชิ้นส่วนที่ใช้เกี่ยวกับการส่งสัญญาณ

9) คอมพิวเตอร์ (Computer) คือคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลและซอฟแวร์ของระบบสั่งงาน

จากแผนภูมิพาเรโตในรูปที่ 3.2 แสดงเวลาที่เครื่องจักรต้องหยุดทำงานเนื่องจากการทำงานที่ผิดปกติจากแต่ละชิ้นส่วน จะเห็นได้ว่าชิ้นส่วนที่ทำให้เครื่องขัดชิ้นงานเสียเวลาในการทำงานมากที่สุด 5 อันดับแรกได้แก่ คอนโทรลพาเนล วอยซ์คอยล์ฟิงเกอร์ เซนเซอร์ พาวเวอร์ซัพพลาย และมอเตอร์ ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของเวลาที่สูญเสียทั้งหมด 83.0%



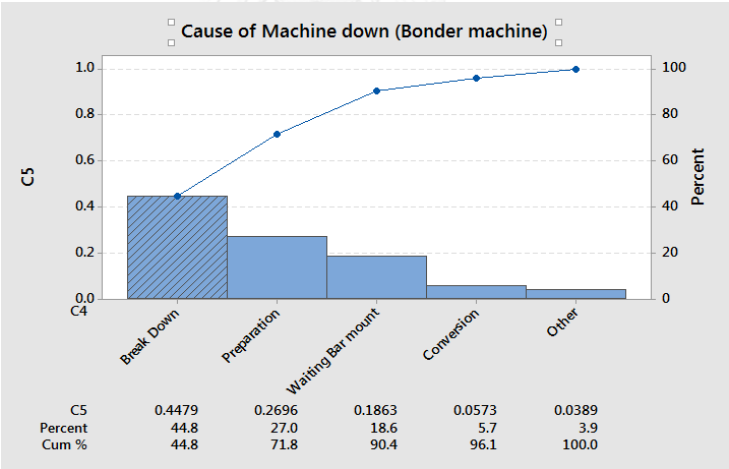
รูปที่ 3.2 เวลาการทำงานผิดปกติของเครื่องขัดชิ้นงานจากแต่ละชิ้นส่วน

3.1.2 การรองานจากเครื่องเชื่อมสาย

เนื่องจากเครื่องเชื่อมสายและเครื่องขัดชิ้นงานเป็นเครื่องจักรที่ทำงานต่อเนื่องกัน และมีความสามารถในการผลิตค่อนข้างใกล้เคียงกัน คือเครื่องเชื่อมสายมีความสามารถในการผลิต 1,050,969 ชิ้นต่อวัน และเครื่องขัดชิ้นงานมีความสามารถในการผลิต 990,651 ชิ้นต่อวัน ดังนั้นเมื่อเครื่องเชื่อมสายหยุดทำงานจากสาเหตุต่างๆ ทำให้บางครั้งไม่มีชิ้นงานป้อนเข้าสู่เครื่องขัดชิ้นงาน เครื่องขัดชิ้นงานจึงเกิดการว่างงานเกิดขึ้น

จากการศึกษาเวลาการทำงานของเครื่องเชื่อมสายพบว่าเครื่องเชื่อมสายมีเวลาการทำงานเฉลี่ย 86.6% โดยการหยุดทำงานของเครื่องเชื่อมสายมี 5 สาเหตุดังรูปที่ 3.3 ได้แก่

1) เครื่องเชื่อมสายทำงานผิดปกติ (Breakdown)
2) การเตรียมการเชื่อมสาย (Preparation)
3) การรองานจากขั้นตอนการติดชิ้นงานบนอุปกรณ์จับชิ้นงาน (Waiting Bar Mounting)
4) การปรับค่าติดตั้งจากการเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ (Conversion)
5) การซ่อมบำรุงตามแผน (Preventive Maintenance: PM)



รูปที่ 3.3 เวลาการหยุดเครื่องเชื่อมสายจากแต่ละสาเหตุ

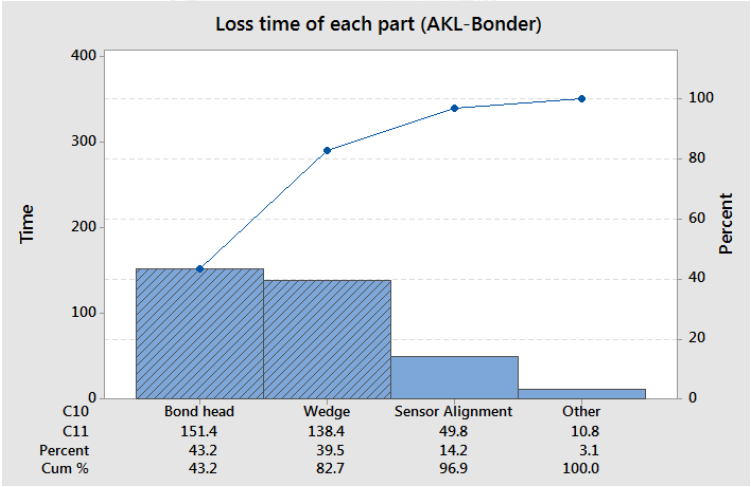
เนื่องจากการรองานจากขั้นตอนการติดชิ้นงานบนอุปกรณ์จับชิ้นงานซึ่งเป็นขั้นตอนก่อนหน้าการเชื่อมสาย การปรับค่าติดตั้งสำหรับการเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ การเตรียมการเชื่อมสายและการซ่อมบำรุงตามแผนเป็นสาเหตุการหยุดเครื่องที่อยู่นอกขอบเขตการศึกษา ดังนั้นจึง

ทำการศึกษาเพิ่มเติมเฉพาะสาเหตุที่ทำให้เครื่องเชื่อมสายทำงานผิดปกติ ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของเวลาที่สูญเสียทั้งหมด 44.8%

เครื่องเชื่อมสายมีนโยบายการเปลี่ยนชิ้นส่วนเช่นเดียวกับเครื่องขัดชิ้นงาน คือให้มีการเปลี่ยนชิ้นส่วนเมื่อเกิดความเสียหายขึ้นแล้ว ซึ่งชิ้นส่วนวิกฤตของเครื่องเชื่อมสายมีทั้งหมด 4 ชิ้นส่วนได้แก่

1) หัวบอนด์ (Bond Head) คือชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่โดยตรงในการเชื่อมสายระหว่างชิ้นงานและแผงวงจร
2) ลิ่ม (Wedge) คือชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่ในการถ่วงน้ำหนักและจัดทิศทางของเส้นเชื่อม
3) เซนเซอร์จัดเรียง (Sensor Alignment) คือชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่จับสัญญาณและปรับตำแหน่งการเชื่อม
4) พาวเวอร์ซัพพลาย (Power Supply) คือชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการจ่ายไฟฟ้าทั้งระบบ

จากแผนภูมิพาเรโตในรูปที่ 3.4 แสดงเวลาที่เครื่องจักรต้องหยุดทำงานเนื่องจากการทำงานที่ผิดปกติจากแต่ละชิ้นส่วน จะเห็นได้ว่าชิ้นส่วนที่ทำให้เครื่องเชื่อมสายเสียเวลาในการทำงานมากที่สุด 2 อันดับแรกได้แก่ หัวบอนด์และลิ่ม ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของเวลาที่สูญเสียทั้งหมด 82.7%



รูปที่ 3.4 เวลาการทำงานผิดปกติของเครื่องเชื่อมสายจากแต่ละชิ้นส่วน

3.1.3 สรุปการศึกษาข้อมูลและการนิยามปัญหา

เครื่องขัดชิ้นงานเป็นเครื่องจักรคอขวดของโรงงานกรณีศึกษาที่มีเวลาพร้อมใช้งานค่อนข้างต่ำคือ 73.1% ซึ่งจากข้อมูลพบว่า เวลาที่สูญเสีย 26.9% เกิดจากการหยุดเครื่องจักร 7 สาเหตุ ได้แก่การทำงานผิดปกติของเครื่องจักร การรองานจากเครื่องเชื่อมสาย การรอซ่อมเครื่องจักร การเปลี่ยนแท่นขัดชิ้นงานตามอายุ การปรับค่าติดตั้งสำหรับการเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ การทดลองของวิศวกร และการซ่อมบำรุงเครื่องจักรตามแผน

การทำงานที่ผิดปกติของเครื่องขัดชิ้นงาน เกิดจากนโยบายการเปลี่ยนชิ้นส่วนหลังเกิดความเสียหายขึ้นแล้ว โดยชิ้นส่วนวิกฤตของเครื่องขัดชิ้นงานมี 9 ชิ้นส่วนได้แก่ คอนโทรลพาเนล วอยซ์คอยล์ฟิงเกอร์ เซนเซอร์ พาวเวอร์ซัพพลาย มอเตอร์ สแกนเนอร์จัดเรียง แขนจับและคอมพิวเตอร์

การรองานจากเครื่องเชื่อมสายเกิดขึ้นเนื่องจากการมีความสามารถในการผลิตค่อนข้างใกล้เคียงกัน ดังนั้นเมื่อเครื่องเชื่อมสายหยุดการทำงานเนื่องจากสาเหตุต่างๆ ทำให้บางครั้งไม่มีชิ้นงานป้อนเข้าเครื่องขัดชิ้นงาน โดยสาเหตุที่เครื่องเชื่อมสายหยุดการทำงานมี 5 สาเหตุได้แก่ การทำงานผิดปกติของเครื่องเชื่อมสาย การเตรียมการเชื่อมสาย การรอคอยจากสาเหตุต่างๆ การปรับค่าติดตั้งสำหรับการเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ และการซ่อมบำรุงตามแผน ซึ่งสาเหตุที่เครื่องเชื่อมสายทำงานผิดปกติ เกิดจากนโยบายการเปลี่ยนชิ้นส่วนหลังเกิดความเสียหายขึ้นแล้วเช่นเดียวกับเครื่องขัดชิ้นงาน โดยชิ้นส่วนวิกฤตของเครื่องเชื่อมสายได้แก่ หัวบอนด์ ลิ่ม เซนเซอร์จัดเรียงและพาวเวอร์ซัพพลาย

สรุปสาเหตุการหยุดเครื่องขัดชิ้นงานและเครื่องเชื่อมสายพร้อมเปอร์เซ็นต์เวลาการสูญเสียได้ดังตารางที่ 3.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3.1 สรุปสาเหตุและเวลาการสูญเสียจากแต่ละสาเหตุ

สาเหตุของการสูญเสียเวลาของเครื่องขัดชิ้นงาน			%เวลาที่สูญเสีย
สาเหตุหลัก	สาเหตุย่อย		
1. เครื่องขัดชิ้นงานทำงานผิดปกติ	1.1 Control panel		2.4
	1.2 Voice coil finger		2.3
	1.3 Sensor		1.6
	1.4 Power supply		1.0
	1.5 Motor		0.8
	1.6 Arm		0.6
	1.7 Scanner alignment		0.6
	1.8 Pogo Pin		0.2
	1.9 Computer error		0.2
2. การรอรองานจากเครื่องเชื่อมสาย	2.1 การรอการรองานจากขั้นตอนการติดชิ้นงานลงบนอุปกรณ์ช่วยจับ		1.3
	2.2 การปรับค่าติดตั้งจากการเปลี่ยนผลิตภัณฑ์		0.4
	2.3 การเตรียมการเชื่อมสาย		1.9
	2.4 การซ่อมบำรุงตามแผน		0.3
	2.5 เครื่องเชื่อมสายทำงานผิดปกติ	2.5.1 Bond head	1.3
		2.5.2 Wedge	1.2
		2.5.3 Sensor Alignment	0.4
		2.5.4 Power supply	0.1
3. การรอซ่อมเครื่องขัดชิ้นงาน			4.7
4. การเปลี่ยนแท่นขัดชิ้นงานตามอายุ			4.4
5. การปรับค่าติดตั้งจากการเปลี่ยนผลิตภัณฑ์			0.9
6. การซ่อมบำรุงเครื่องจักรตามแผน			0.3
7. การทำการทดลองของวิศวกร			0.0
รวมทั้งหมด			26.9

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.2 การกำหนดแนวทางการแก้ไขปัญหา

จากตารางที่ 3.1 จะเห็นได้ว่าการทำงานผิดปกติของเครื่องจักรเป็นสาเหตุที่มากที่สุด ที่ทำให้เวลาพร้อมใช้งานของเครื่องขัดชิ้นงานและเครื่องเชื่อมสายต่ำลง ซึ่งนโยบายการเปลี่ยนชิ้นส่วนหลังเกิดความเสียหาย นอกจากจะทำให้เครื่องจักรสูญเสียเวลาในการผลิตแล้ว ยังทำให้ชิ้นงานเกิดความเสียหายหรือมีคุณภาพต่ำ นอกจากนี้หากเครื่องจักรในขั้นตอนใดหยุดทำงานอย่างกะทันหัน ก็อาจส่งผลกระทบต่อกระบวนการถัดไปได้เช่นกัน ดังนั้นปัญหาการทำงานผิดปกติของเครื่องจักรจึงเป็นปัญหาที่ควรได้รับการแก้ไขเป็นอันดับต้นๆ

จากขอบเขตของการวิจัยและการปรึกษาร่วมกับคณะทำงาน สรุปได้ว่าชิ้นส่วนในเครื่องขัดชิ้นงานทั้ง 9 ชิ้นมีความสำคัญต่อเครื่องจักรและมีผลกระทบต่อเครื่องจักรหากเกิดความเสียหายเท่ากัน ดังนั้นจึงเลือกชิ้นส่วนที่มีสัดส่วนเวลาการสูญเสียมากที่สุดมาทำการศึกษาลักษณะความเสียหายเพื่อทำการปรับปรุงแผนการเปลี่ยนชิ้นส่วน ซึ่งได้แก่ คอนโทรลพาเนล วอยซ์คอยล์ฟิงเกอร์เซนเซอร์ พาวเวอร์ซัพพลายและมอเตอร์ คิดเป็นเวลาที่สูญเสียรวมกันทั้งสิ้น 83.0% ดังแผนภูมิพาเรโตในรูปที่ 3.2

เช่นเดียวกับเครื่องเชื่อมสายที่ชิ้นส่วนทั้ง 5 ชิ้นมีความสำคัญเท่ากัน และมีผลกระทบต่อเครื่องจักรหากเกิดความเสียหายเท่ากัน ดังนั้นจึงเลือกชิ้นส่วนที่มีสัดส่วนเวลาการสูญเสียมากที่สุดมาทำการศึกษาลักษณะความเสียหายเพื่อทำการปรับปรุงแผนการเปลี่ยนชิ้นส่วน ได้แก่ หัวบอนด์และลิ่ม ซึ่งคิดเป็นเวลาที่สูญเสียรวมกันทั้งสิ้น 82.7% ดังแผนภูมิพาเรโตในรูปที่ 3.4

แต่อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนชิ้นส่วนก่อนเกิดความเสียหายย่อมทำให้ค่าใช้จ่ายในส่วนของการซ่อมบำรุงเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นการสร้างแผนการเปลี่ยนชิ้นส่วนก่อนเกิดความเสียหายจึงควรได้รับการวิเคราะห์อย่างถี่ถ้วนทั้งในเรื่องของการลงทุนและผลกำไร การใช้การจำลองสถานการณ์จึงเป็นทางเลือกที่จะใช้ในการจำลองผลจากแผนการเปลี่ยนชิ้นส่วนแต่ละแผน เพื่อเก็บข้อมูลและนำไปวิเคราะห์ก่อนลงทุนปฏิบัติจริง

ในส่วนของการรอซ่อมเครื่องจักร เป็นการรอเนื่องจากความล่าช้าในการติดต่อและการเข้ามาทำการแก้ไขปัญหาของพนักงานฝ่ายซ่อมบำรุง รวมถึงการรอชิ้นส่วนที่กำลังสั่งซื้อ ซึ่งปัญหาเหล่านี้สามารถปรับปรุงโดยใช้แนวคิดของลีน (Lean Manufacturing) เข้ามาช่วย จากปัญหาและแนวทางในการแก้ไขทั้งหมดสามารถสรุปโอกาสของการปรับปรุงได้ 15.4% ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สรุปปัญหาและโอกาสปรับปรุง

สรุปปัญหาที่จะทำการปรับปรุงแก้ไข			%เวลาที่สูญเสีย
สาเหตุหลัก	สาเหตุย่อย		
1. เครื่องขัดชิ้นงานทำงานผิดปกติ	1.1 Control panel		2.4
	1.2 Voice coil finger		2.3
	1.3 Sensor		1.6
	1.4 Power supply		1.0
	1.5 Motor		0.8
2. การรอรองานจากเครื่องเชื่อมสาย	2.5 เครื่องเชื่อมสายทำงานผิดปกติ	2.5.1 Bond head	1.3
		2.5.2 Wedge	1.2
3. การรอซ่อมเครื่องขัดชิ้นงาน			4.7
<u>รวมทั้งหมด</u>			15.4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4
ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

นโยบายการเปลี่ยนชิ้นส่วนในเครื่องจักรหลังเกิดความเสียหายทำให้เครื่องจักรสูญเสียเวลาในการผลิตไปค่อนข้างมากและยังทำให้ชิ้นงานที่ผลิตออกมามีคุณภาพไม่ดีเท่าที่ควร แต่อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนชิ้นส่วนที่เร็วเกินไปอาจมีผลต่อต้นทุนการผลิต ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาอายุการใช้งานและลักษณะการเกิดความเสียหายของชิ้นส่วนในเครื่องจักร เพื่อหาแผนการเปลี่ยนชิ้นส่วนที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งในการทดลองการเปลี่ยนชิ้นส่วนจะใช้เวลาค่อนข้างนานและเสียค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำเทคนิคการสร้างแบบจำลองมาใช้ในการทดสอบผลจากแผนการเปลี่ยนชิ้นส่วนแต่ละแผน และนำผลที่ได้ไปทำการวิเคราะห์เพื่อหาแผนการเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ดีที่สุด

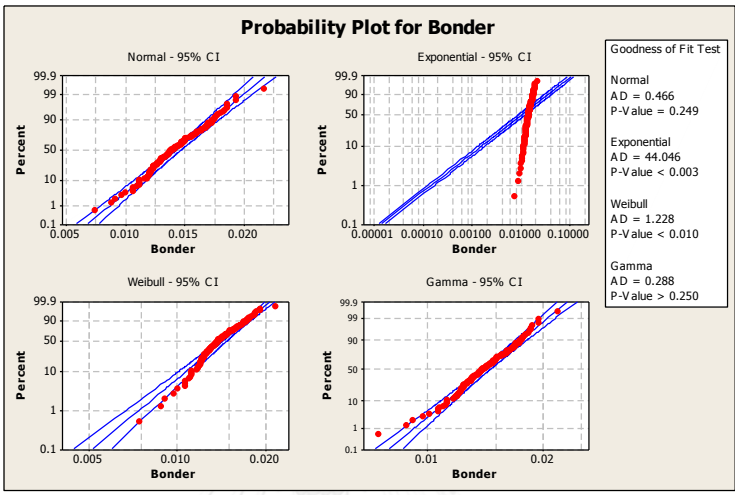
ในส่วนของการรอซ่อมเครื่องขัดชิ้นงานซึ่งเป็นปัญหาของการดำเนินงานในฝ่ายการผลิต จะใช้แนวคิดแบบลีนมาช่วยในการปรับปรุงและแก้ไขปัญหาซึ่งจะกล่าวต่อไปในบทที่ 5

4.1 ตัวแบบจำลอง

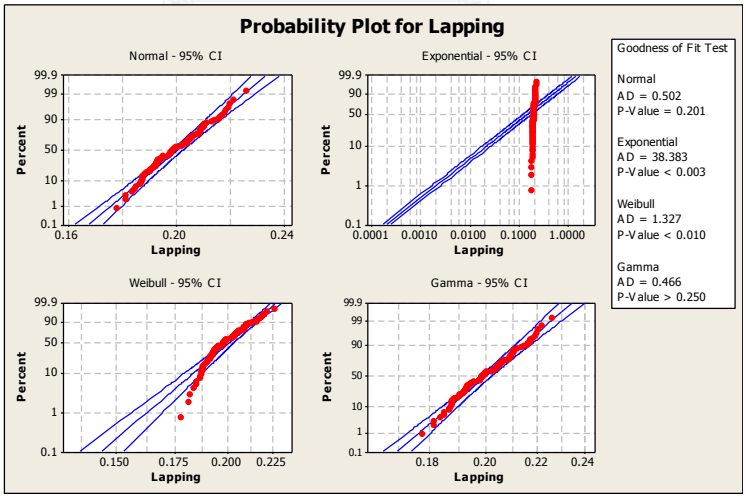
ตัวแบบจำลองที่ใช้ในการทดลองถูกจำลองมาจาก 1 สายการผลิตของกระบวนการขัดชิ้นงานของโรงงานกรณีศึกษาโดยมีขอบเขตระหว่างเครื่องเชื่อมสายและเครื่องขัดชิ้นงาน ซึ่งประกอบด้วยเครื่องเชื่อมสายจำนวน 3 เครื่องและเครื่องขัดชิ้นงานจำนวน 12 เครื่อง ในปัจจุบันโรงงานกรณีศึกษามีสายการผลิตในส่วนของกระบวนการขัดจำนวน 5 สายการผลิตโดยมีจำนวนเครื่องเชื่อมสายทั้งหมด 16 เครื่องและเครื่องขัดชิ้นงานทั้งหมด 66 เครื่อง

ชิ้นงานจะออกจากจุดตั้งต้นของตัวแบบจำลองเพื่อเข้าสู่เครื่องเชื่อมสายด้วยความเร็วที่มากกว่าการทำงานของเครื่องเชื่อมสาย เพื่อเป็นการควบคุมให้มีชิ้นงานเข้าสู่เครื่องเชื่อมสายได้ 100% เมื่อชิ้นงานเข้าสู่เครื่องเชื่อมสาย เครื่องเชื่อมสายจะทำงานครั้งละ 1 ชิ้นด้วยการแจกแจงแบบปกติที่ค่าเฉลี่ย 0.0413 ชั่วโมงและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.0024 ชั่วโมง โดยมีค่า P-Value เท่ากับ 0.249 ดังรูปที่ 4.1 เครื่องเชื่อมสายจะมีโอกาสเกิดการทำงานผิดปกติจากพฤติกรรมการเสียหายของชิ้นส่วนวิกฤตทั้ง 4 ชิ้นได้แก่ หัวบอนด์ ลิ่ม เซนเซอร์จัดเรียงและพาวเวอร์ซัพพลาย จากนั้นชิ้นงานจะออกจากเครื่องเชื่อมสายเพื่อเข้าสู่เครื่องขัดชิ้นงาน โดยก่อนที่จะเข้าสู่เครื่องขัดชิ้นงาน ชิ้นงานจะทำการรวมกลุ่มให้ได้ครั้งละ 4 ชิ้น เครื่องขัดชิ้นงานทำงานด้วยการแจกแจงแบบ

ปกติที่ค่าเฉลี่ย 0.2 ชั่วโมงและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.0105 ชั่วโมง โดยมีค่า P-Value เท่ากับ 0.201 ดังรูปที่ 4.2 เครื่องขัดชิ้นงานจะมีโอกาสเกิดการทำงานผิดปกติจากพฤติกรรมการเสียหายของชิ้นส่วนวิกฤต 9 ชิ้นได้แก่ คอนโทรลพาเนล วอยซ์คอยล์ฟิงเกอร์ เซนเซอร์ พาวเวอร์ซัพพลาย มอเตอร์ แขนจับ แสกนเนอร์จัดเรียง โพโกพิน และคอมพิวเตอร์



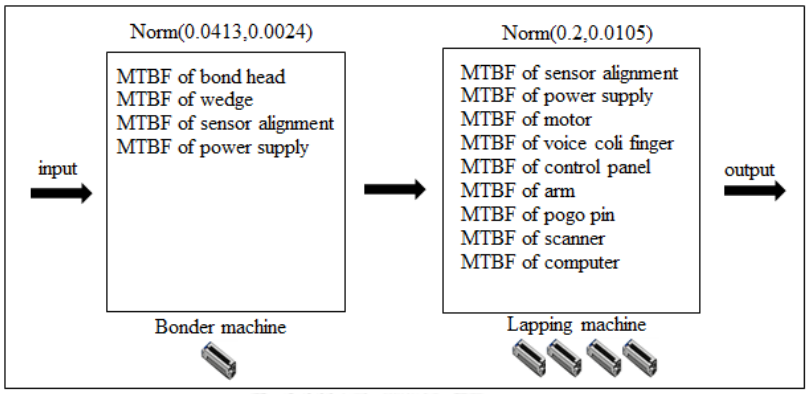
รูปที่ 4.1 การแจกแจงของเวลาการทำงานของเครื่องเชื่อมสาย



รูปที่ 4.2 การแจกแจงของเวลาการทำงานของเครื่องขัดชิ้นงาน

ในการรันโปรแกรมจะใช้เวลาในการรัน 10,080 ชั่วโมงหรือ 14 เดือน ตามอายุการใช้งานของเซนเซอร์ซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่มีอายุการใช้งานนานที่สุด กระบวนการไหลของชิ้นงานแสดงดังรูปที่

4.3 สำหรับปัจจัยอื่นๆในสายการผลิตได้แก่ การเปลี่ยนแท่นขัดตามอายุการใช้งาน การปรับตั้งค่าจากการเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ การเตรียมการเชื่อมสาย การซ่อมบำรุงเครื่องจักรตามแผน และการทดลองของวิศวกร จะไม่ถูกนำมาจำลองในระบบ แต่เวลาที่สูญเสียไปจากปัจจัยเหล่านี้จะยังมีสัดส่วนเท่าเดิม ซึ่งจะอยู่ในขั้นตอนการสรุปเวลาการสูญเสียหลังการปรับปรุงในตอนท้าย



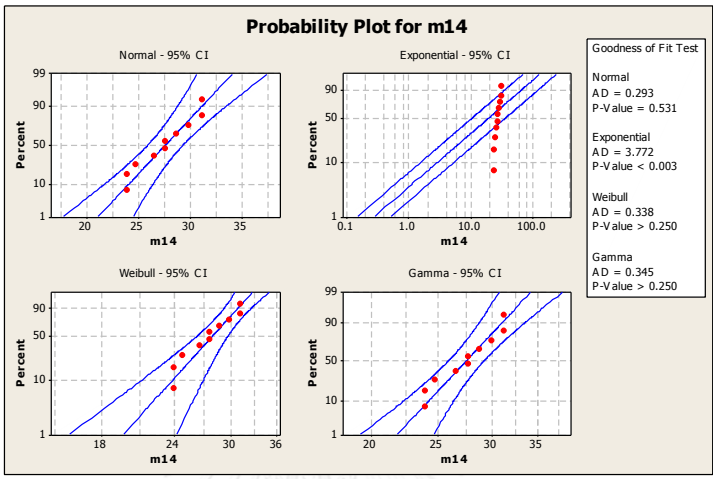
รูปที่ 4.3 กระบวนการไหลของชิ้นงาน

4.2 การศึกษาพฤติกรรมการเสียหายของชิ้นส่วนในเครื่องจักร

จากข้อมูลการทำงานของเครื่องจักรที่ถูกบันทึกโดยพนักงานฝ่ายผลิต ซึ่งประกอบด้วยชื่อเฉพาะของเครื่องจักรที่ระบุเป็นตัวเลข เวลาที่เครื่องจักรหยุดทำงาน สาเหตุของการหยุดทำงาน และเวลาที่เครื่องจักรกลับมาทำงานอีกครั้ง ซึ่งระยะเวลาระหว่างที่เครื่องจักรหยุดทำงานเนื่องจากการทำงานผิดปกติจากชิ้นส่วนใดๆจนกระทั่งเครื่องจักรกลับมาทำงานได้ปกติหลังการซ่อมบำรุงจะเป็นระยะเวลาระหว่างการเสียหาย (Mean Time Between Failure: MTBF) ของชิ้นส่วนนั้นๆ และจากนโยบายการเปลี่ยนชิ้นส่วนหลังเกิดความเสียหาย ดังนั้นจึงประมาณอายุการใช้งานของชิ้นส่วนได้จากระยะเวลาการใช้งานของชิ้นส่วนตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งชิ้นส่วนเกิดความเสียหายและถูกเปลี่ยนใหม่

ผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลอายุการใช้งานของชิ้นส่วนและระยะเวลาระหว่างการเสียหายจากชิ้นส่วนต่างๆในเครื่องขัดชิ้นงานและเครื่องเชื่อมสายพบว่า ระยะเวลาระหว่างการเสียหายจะค่อยๆลดลงหรือมีความถี่ในการทำงานผิดปกติมากขึ้น เมื่อชิ้นส่วนนั้นๆถูกใช้งานเป็นระยะเวลาที่นานขึ้น ซึ่งในแต่ละเดือน ชิ้นส่วนแต่ละชิ้นจะมีระยะเวลาระหว่างการเสียหายที่มีการแจกแจงในรูปแบบต่างๆ จากรูปที่ 4.4 แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์การแจกแจงของข้อมูล

ระยะเวลาระหว่างการเสียหายของเซนเซอร์ในเดือนที่ 14 ซึ่งได้จากการเก็บข้อมูลทั้งหมด 10 ค่า จากกราฟจะสามารถประมาณการแจกแจงระยะเวลาระหว่างการเสียหายของเซนเซอร์ในเดือนที่ 14 ว่าเป็นแบบปกติ โดยมีค่า P-Value เท่ากับ 0.351 สำหรับการแจงแจงของชิ้นส่วนอื่นๆแสดงดังรูปที่ ก.1 - ก.13 ในภาคผนวก ก



รูปที่ 4.4 ตัวอย่างการวิเคราะห์การแจกแจงของระยะเวลาระหว่างการเสียหายของเซนเซอร์ในเดือนที่ 14

จากการวิเคราะห์การแจกแจงข้อมูลระยะเวลาระหว่างการเสียหายของชิ้นส่วนแต่ละชิ้นในแต่ละเดือนและการประมาณอายุการใช้งานเฉลี่ยของชิ้นส่วนในเครื่องขัดชิ้นงานและเครื่องเชื่อมสาย สรุปได้ดังตารางที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ โดยงานวิจัยนี้ยอมรับค่า P-Value ที่ 0.01

ตารางที่ 4.1 อายุการใช้งานเฉลี่ยของชิ้นส่วนวิกฤตในเครื่องขัดชิ้นงานและการแจกแจง

Part	Life time (month)	Month	1	2	3	4	5	6	7
Sensor	14	Distribution (Hour)	Gamma(0,643,419)	Weibull(0,645,403)	Normal(741,350)	Normal(782,398)	Johnson(270,1440,319)	Gamma(0,603,342)	Exponential(0,822)
		P-Value	0.122	0.231	0.217	0.383	0.746	0.081	0.104
Motor	8	Distribution (Hour)	Normal(827,438)	Normal(803,321)	Gamma(0,760,468)	Normal(783,409)	Gamma(0,151,27)	Gamma(0,118,16)	Exponential(0,88)
		P-Value	0.425	0.277	0.193	0.251	0.022	0.027	0.031
Power supply	12	Distribution (Hour)	Normal(1126,319)	Johnson(691,1440,285)	Weibull(0,997,258)	Weibull(0,1006,284)	Normal(1051,281)	Weibull(0,1036,241)	Johnson(240,743,217)
		P-Value	0.069	0.836	0.149	0.182	0.234	0.234	0.396
Voice coil finger	13	Distribution (Hour)	Normal(978,287)	Normal(1079,302)	Normal(1106,333)	Weibull(0,1115,260)	Weibull(0,1014,263)	Gamma(0,901,227)	Johnson(684,1412,320)
		P-Value	0.053	0.03	0.028	0.018	0.199	0.065	0.201
Control panel	13	Distribution (Hour)	Gamma(0,988,432)	Exponential(0,729)	Gamma(0,806,443)	Exponential(0,849)	Gamma(0,929,437)	Normal(964,439)	Exponential(0,692)
		P-Value	0.043	0.057	0.092	0.068	0.079	0.04	0.04
Arm	36	Distribution (Hour)	Weibull(0,1066,337)	Weibull(0,1176,382)	Weibull(0,1214,341)	Weibull(0,1293,322)	Weibull(0,1033,399)	Weibull(0,935,361)	Weibull(0,1095,379)
		P-Value	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Pogo Pin	6	Distribution (Hour)	Exponential(0,720)	Gamma(0,756,396)	Gamma(0,336,45)	Exponential(0,364)	Gamma(0,240,55)	Exponential(0,180)	-
		P-Value	0.032	0.029	0.026	0.057	0.026	0.034	-
Scanner Alignmen	24	Distribution (Hour)	Weibull(0,1224,348)	Weibull(0,1008,372)	Weibull(0,1224,348)	Weibull(0,1152,372)	Weibull(0,1008,372)	Weibull(0,1152,372)	Weibull(0,936,348)
		P-Value	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Computer	48	Distribution (Hour)	Weibull(0,1008,379)	Weibull(0,1008,379)	Weibull(0,1008,379)	Weibull(0,1224,348)	Weibull(0,1296,304)	Weibull(0,1080,379)	Weibull(0,1224,348)
		P-Value	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

ตารางที่ 4.1 อายุการใช้งานเฉลี่ยของชิ้นส่วนวิกฤตในเครื่องขัดชิ้นงานและการแจกแจง (ต่อ)

Part	Life time (month)	Month	8	9	10	11	12	13	14
Sensor	14	Distribution (Hour)	Normal(786,412)	Normal(174,53)	Gamma(0,170,52)	Normal(109,27)	Normal(67,16)	Gamma(0,38,4)	Normal(28,3)
		P-Value	0.544	0.026	0.068	0.124	0.11	0.039	0.531
Motor	8	Distribution (Hour)	Normal(69,9)	-	-	-	-	-	-
		P-Value	0.281	-	-	-	-	-	-
Power supply	12	Distribution (Hour)	Johnson(240,745,201)	Gamma(0,197,40)	Normal(77,11)	Normal(49,3)	Normal(31,2)	-	-
		P-Value	0.3	0.022	0.02	0.01	0.24	-	-
Voice coil finger	13	Distribution (Hour)	Exponential(0,770)	Exponential(0,770)	Gamma(0,180,44)	Gamma(0,94,15)	Gamma(0,73,14)	Gamma(0,64,9)	-
		P-Value	0.049	0.037	0.022	0.037	0.173	0.08	-
Control panel	13	Distribution (Hour)	Normal(73,11)	Gamma(0,37,3)	Gamma(0,36,1)	Normal(27,2)	Gamma(0,21,1)	Gamma(0,19,1)	-
		P-Value	0.378	0.224	0.03	0.391	0.042	0.135	-
Arm	36	Distribution (Hour)	Weibull(0,1262,370)	Weibull(0,1230,363)	Weibull(0,1218,337)	Weibull(0,1180,394)	Weibull(0,1075,390)	Gamma(0,876,421)	Expnential(0,814)
		P-Value	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.168	0.076
Pogo Pin	6	Distribution (Hour)	-	-	-	-	-	-	-
		P-Value	-	-	-	-	-	-	-
Scanner Alignmer	24	Distribution (Hour)	Weibull(0,1152,372)	Weibull(0,1008,372)	Weibull(0,1224,348)	Weibull(0,1008,372)	Weibull(0,936,348)	Weibull(0,1080,379)	Expnential(0,720)
		P-Value	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.032
Computer	48	Distribution (Hour)	Weibull(0,1080,379)	Weibull(0,864,304)	Weibull(0,1152,372)	Weibull(0,936,348)	Weibull(0,1152,372)	Weibull(0,1080,379)	Weibull(0,1080,379)
		P-Value	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

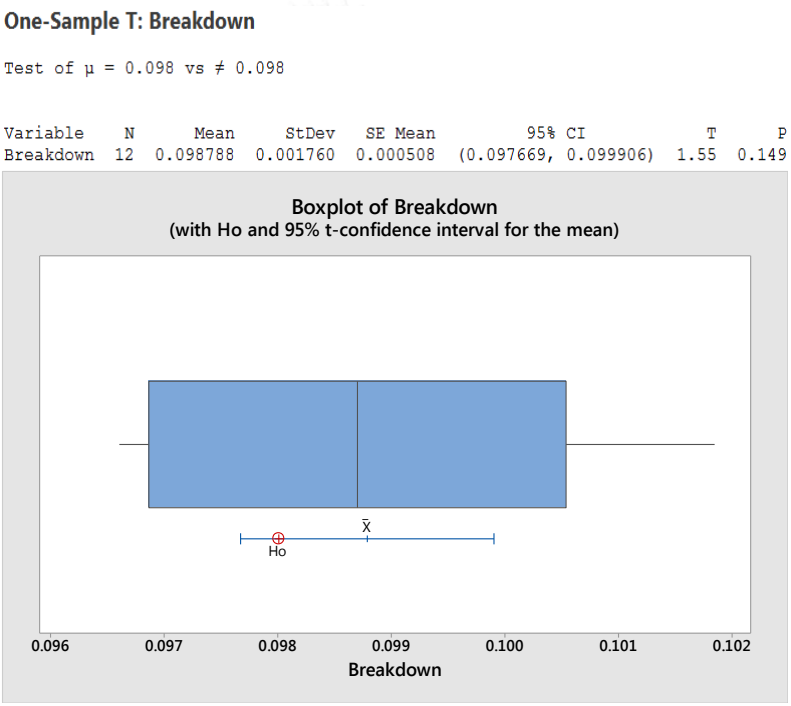
ตารางที่ 4.2 อายุการใช้งานเฉลี่ยของชิ้นส่วนวิกฤตในเครื่องเชื่อมสายและการแจกแจง

Part	Life time (month)	Month	1	2	3	4	5	6	7
Head	12	Distribution (Hour)	Gamma(0,508,223)	Gamma(0,354,129)	Johnson(318,755,199)	Gamma(0,432,198)	Gamma(0,446,221)	Johnson(310,723,150)	Gamma(0,545,227)
		P-Value	0.037	0.021	0.183	0.019	0.064	0.545	0.04
Wedge	12	Distribution (Hour)	Gamma(0,920,435)	Exponential(0,840)	Gamma(0,809,435)	Exponential(0,952)	Gamma(0,864,401)	Johnson(717,1471,352)	Gamma(0,972,442)
		P-Value	0.053	0.121	0.174	0.049	0.077	0.363	0.041
Sensor	12	Distribution (Hour)	Exponential(0,756)	Exponential(0,972)	Gamma(0,864,423)	Gamma(0,864,423)	Gamma(0,900,569)	Exponential(0,684)	Gamma(0,828,451)
		P-Value	0.053	0.034	0.025	0.025	0.028	0.036	0.042
Power supply	12	Distribution (Hour)	Weibull(0,1008,372)	Weibull(0,1008,379)	Weibull(0,1008,372)	Weibull(0,1224,348)	Weibull(0,1152,372)	Weibull(0,1224,348)	Weibull(0,1224,348)
		P-Value	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

Part	Life time (month)	Month	8	9	10	11	12	13	14
Head	12	Distribution (Hour)	Johnson(301,755,195)	Normal(71,10)	Weibull(0,47,2)	Gamma(0,39,3)	Gamma(0,32,2)	-	-
		P-Value	0.51	0.281	0.01	0.012	0.167	-	-
Wedge	12	Distribution (Hour)	Gamma(0,933,469)	Weibull(0,300,80)	Gamma(0,107,12)	Weibull(0,100,5)	Exponential(0,91)	-	-
		P-Value	0.057	0.01	0.025	0.01	0.01	-	-
Sensor	12	Distribution (Hour)	Gamma(0,187,40)	Weibull(0,176,45)	Gamma(0,151,27)	Gamma(0,157,38)	Gamma(0,89,9)	-	-
		P-Value	0.035	0.01	0.022	0.166	0.028	-	-
Power supply	12	Distribution (Hour)	Weibull(0,936,348)	Exponential(0,612)	Weibull(0,600,196)	Gamma(0,242,71)	Weibull(0,180,44)	-	-
		P-Value	0.01	0.013	0.01	0.076	0.01	-	-

4.3 การทดสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง

การทดสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง ทำโดยการทดสอบค่าของผลลัพธ์ที่สถานการณ์เริ่มต้นของแบบจำลอง โดยค่าที่นำมาทดสอบคือเวลาการทำงานผิดปกติของเครื่องจักร ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองที่สถานการณ์เริ่มต้นมีค่าเฉลี่ย 9.878% เมื่อเทียบกับเวลาการทำงานผิดปกติของเครื่องขัดชิ้นงานจากข้อมูลจริงซึ่งมีค่าเท่ากับ 9.800% ดังนั้นที่ความเชื่อมั่นที่ 95% สรุปได้ว่าผลลัพธ์ของแบบจำลองไม่มีความแตกต่างจากข้อมูลจริงด้วยค่า P-Value = 0.149 ผลการทดสอบด้วย t-test แสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 การทดสอบ t-test ของตัวแบบจำลอง

4.4 การออกแบบการทดลอง

4.4.1 ปัจจัยการทดลอง

จากการวิเคราะห์สาเหตุของการสูญเสียเวลาการผลิตในบทที่ 3 ปัญหาที่ต้องการปรับปรุงแก้ไขได้แก่ การทำงานผิดปกติของเครื่องขัดชิ้นงาน การรองานจากเครื่องเชื่อมสาย และการรอซ่อมเครื่องขัดชิ้นงาน ดังนั้นปัจจัยอื่นๆซึ่งได้แก่ การเปลี่ยนแท่นขัดชิ้นงานตามอายุการใช้งาน การ

ปรับตั้งค่าจากการเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ การซ่อมบำรุงเครื่องจักรตามแผน และการทดลองของวิศวกรจะถูกกำหนดให้มีค่าคงที่และมีสัดส่วนของเวลาที่สูญเสียเท่าเดิม

การทำงานผิดปกติของเครื่องขัดชิ้นงาน ซึ่งเกิดจากพฤติกรรมความเสียหายของชิ้นส่วนทั้ง 9 ชิ้น โดยชิ้นส่วนที่สนใจจะทำการปรับปรุงแผนการเปลี่ยนชิ้นส่วนคือชิ้นส่วนที่มีสัดส่วนเวลาการสูญเสียมากที่สุด 5 อันดับแรกได้แก่ คอนโทรลพาเนล วอยซ์คอยล์ฟิงเกอร์ เซนเซอร์ พาวเวอร์ซัพพลาย และมอเตอร์ ดังนั้นชิ้นส่วนอื่นๆซึ่งได้แก่ แขนจับ สแกนเนอร์จัดเรียง โพโกพิน และคอมพิวเตอร์ จะไม่นำมาพิจารณาแต่ยังคงให้มีพฤติกรรมความเสียหายตามลักษณะเฉพาะของชิ้นส่วนนั้นๆเช่นเดิม

การรองานจากเครื่องเชื่อมสาย สนใจที่จะปรับปรุงการทำงานที่ผิดปกติของเครื่องเชื่อมสาย ดังนั้นการรองานจากขั้นตอนการติดชิ้นงานลงบนอุปกรณ์ช่วยจับ การปรับตั้งค่าจากการเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ การเตรียมการเชื่อมสาย และการซ่อมบำรุงตามแผนจะถูกกำหนดให้มีค่าคงที่และมีสัดส่วนของเวลาที่สูญเสียเท่าเดิม

การทำงานผิดปกติของเครื่องเชื่อมสายซึ่งเกิดจากพฤติกรรมความเสียหายของชิ้นส่วนทั้ง 4 ชิ้น โดยชิ้นส่วนที่สนใจจะทำการปรับปรุงแผนการเปลี่ยนชิ้นส่วนคือชิ้นส่วนที่มีสัดส่วนเวลาการสูญเสียมากที่สุด 2 อันดับแรก ได้แก่ หัวบอนด์และลิ่ม ดังนั้นชิ้นส่วนอื่นๆซึ่งได้แก่ เซนเซอร์จัดเรียงและพาวเวอร์ซัพพลาย จะไม่นำมาพิจารณาแต่ยังคงให้มีพฤติกรรมความเสียหายตามลักษณะเฉพาะของชิ้นส่วนนั้นๆเช่นเดิม

ในส่วนของการรอซ่อมเครื่อง จะมีการเปลี่ยนแปลงตามสัดส่วนของการทำงานผิดปกติของเครื่องขัดชิ้นงานดังรายละเอียดที่จะกล่าวในบทที่ 5 ดังนั้นสามารถสรุปปัจจัย (Factor) และผลลัพธ์ (Response) ในการทดลองบนตัวแบบจำลองได้ดังนี้

- ปัจจัยได้แก่ แผนการเปลี่ยนชิ้นส่วนของชิ้นส่วนในเครื่องขัดชิ้นงานซึ่งได้แก่ คอนโทรลพาเนล วอยซ์คอยล์ฟิงเกอร์ เซนเซอร์ พาวเวอร์ซัพพลาย และมอเตอร์ และแผนการเปลี่ยนชิ้นส่วนในเครื่องเชื่อมสายซึ่งได้แก่ หัวบอนด์และลิ่ม

- ผลลัพธ์ได้แก่ เวลาการทำงานผิดปกติของเครื่องขัดชิ้นงาน และเวลาที่เครื่องขัดชิ้นงานรอชิ้นงานจากเครื่องเชื่อมสาย

4.4.2 การออกแบบการทดลอง

เนื่องจากการเปลี่ยนชิ้นส่วนก่อนหมดอายุการใช้งานที่เร็วมากขึ้นจะยิ่งทำให้ต้นทุนการเปลี่ยนชิ้นส่วนสูงขึ้น ดังนั้นจึงทำการศึกษาแผนการเปลี่ยนชิ้นส่วน 3 ระดับได้แก่ ระดับที่ 1 คือการเปลี่ยนชิ้นส่วนเมื่อชิ้นส่วนหมดอายุการใช้งาน ระดับที่ 2 คือแผนการเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ 75% ของ

อายุการใช้งาน และระดับที่ 3 คือการเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ 50% ของอายุการใช้งาน สามารถสรุปอายุการใช้งานของชิ้นส่วนในแต่ละระดับของทดลองได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 อายุการใช้งานของชิ้นส่วนในแต่ละระดับของการทดลอง

อายุการของชิ้นส่วนในแต่ละระดับ (เดือน)	รู้อะไหล่	รู้เซ็นเซอร์	รู้มอเตอร์ไฟฟ้า	รู้ลูกปืนเม็ดกลม	ตลับลูกปืนเม็ดเรียว	ตลับลูกปืน	สายพาน
T = 100% (ระดับที่ 1)	14	8	12	13	13	12	12
T = 75% (ระดับที่ 2)	11	6	9	10	10	9	9
T = 50% (ระดับที่ 3)	8	4	6	7	7	6	6

จากทฤษฎีการออกแบบส่วนประกอบกลาง (Central Composite Design) ด้วยปัจจัยการทดลองทั้งหมด 7 ตัว จะทำให้ได้แบบการทดลอง 88 แบบ ดังตารางที่ 4.4 แสดงตัวอย่างแบบการทดลองของค่าเริ่มต้น แบบการทดลองที่ 1-5 และแบบที่ 88 ซึ่งออกแบบโดยโปรแกรมมินิแทป เมื่อตัวเลข 1, 2 และ 3 หมายถึงแผนการเปลี่ยนชิ้นส่วนระดับที่ 1, 2 และ 3 ของชิ้นส่วนทั้ง 7 ชิ้น ดังนั้นแผนการเปลี่ยนชิ้นส่วนในแต่ละระดับจะเป็นตัวแปรของการทดลอง และมีผลลัพธ์เป็นค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์เวลาการทำงานผิดปกติของเครื่องขัดชิ้นงานและค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์เวลารอชิ้นงานจากเครื่องเชื่อมสาย ซึ่งได้จากการทดลอง 30 ครั้ง สำหรับแบบการทดลองทั้งหมดสามารถดูได้จากตารางที่ ข.1 ในภาคผนวก ข

ตารางที่ 4.4 ตัวอย่างตารางแบบการทดลอง

แบบการทดลอง	ยี่ห้อเทป	ยี่ห้อเอว	พาวเวอร์ซัพพลาย	วอยซ์คอยล์ ฟิลเตอร์	คอนโทรลพาเนล	หัวอ่านซ์	สี	หน่วยผลิตปกติ%	หน่วยผลิตลดลง%
ค่าเริ่มต้น	1	1	1	1	1	1	1		
1	1	1	1	1	1	1	3		
2	3	1	1	1	1	1	1		
3	1	3	1	1	1	1	1		
4	3	3	1	1	1	1	3		
5	1	1	3	1	1	1	1		
.	.	.	.	.	.	.	.		
.	.	.	.	.	.	.	.		
.	.	.	.	.	.	.	.		
88	2	2	2	2	2	2	2		

เมื่อเครื่องจักรสูญเสียเวลาการผลิตลดลงจะทำให้ความสามารถในการผลิตของเครื่องจักรเพิ่มขึ้น ซึ่งมีผลต่อจำนวนการสั่งซื้อเครื่องจักร ในขณะเดียวกันการเปลี่ยนชิ้นส่วนที่เร็วขึ้นจะทำให้ต้นทุนการเปลี่ยนชิ้นส่วนสูงขึ้น ดังนั้นจึงทำการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อเครื่องจักรที่ลดลงกับค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนชิ้นส่วนที่เพิ่มขึ้น เพื่อเป็นค่ากำไรสุทธิที่จะใช้ในการเลือกแผนการเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ดีที่สุด และค่ากำไรสุทธินี้จะมีค่าเป็น Response ของ DOE

4.4.3 การคำนวณราคาการเปลี่ยนชิ้นส่วนในแต่ละแบบการทดลอง

การเปลี่ยนชิ้นส่วนในเครื่องจักรที่เร็วขึ้นทำให้ราคาชิ้นส่วนต่อเดือนสูงขึ้น เช่น เซนเซอร์มีราคาต่อชิ้นคือ 4,658 เหรียญสหรัฐ ด้วยอายุการใช้งาน 14 เดือน ดังนั้นการเปลี่ยนชิ้นส่วนในระดับที่ 1 คือการเปลี่ยนชิ้นส่วนหลังเกิดความเสียหาย เซนเซอร์จะมีราคาชิ้นส่วนต่อเดือนเท่ากับ 4,658 เหรียญสหรัฐ หารด้วย 14 เดือน ซึ่งมีค่า 333 เหรียญสหรัฐต่อเดือน แต่เมื่อเซนเซอร์ถูกลดอายุการใช้งานตามแผนการเปลี่ยนชิ้นส่วนระดับที่ 2 คือให้มีอายุการใช้งาน 11 เดือน ดังนั้นเซนเซอร์จะมีราคาชิ้นส่วนต่อเดือนเท่ากับ 4,658 เหรียญสหรัฐ หารด้วย 11 เดือน เท่ากับ 423 เหรียญสหรัฐต่อเดือน และที่ระดับการเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ 3 เซนเซอร์ถูกลดอายุการใช้งานให้เหลือ 8 เดือน ดังนั้นเซนเซอร์จะมีราคาชิ้นส่วนต่อเดือนเท่ากับ 4,658 เหรียญสหรัฐ หารด้วย 8 เดือน

เท่ากับ 582 เหรียญสหรัฐต่อเดือน สำหรับชิ้นส่วนอื่นๆจะมีราคาชิ้นส่วนต่อเดือนในแต่ละระดับสรุปได้ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ราคาชิ้นส่วนในแต่ละระดับของแผนการเปลี่ยนชิ้นส่วน

เครื่องจักร	ชิ้นส่วน	ราคาชิ้นส่วน($)	ระดับที่ 1		ระดับที่ 2		ระดับที่ 3	
			อายุ (เดือน)	ราคา/เดือน ($)	อายุ (เดือน)	ราคา/เดือน ($)	อายุ (เดือน)	ราคา/เดือน ($)
เครื่องขัดชิ้นงาน	เซนเซอร์	4658	14	333	11	423	8	582
	มอเตอร์	25752	8	3219	6	4292	4	6438
	พาวเวอร์ ซัพพลาย	1133	12	94	9	126	6	189
	วอยซ์คอยล์ ฟิงเกอร์	2906	13	224	10	291	7	415
	คอนโทรลพาเนล	377	13	29	10	38	7	54
เครื่องเชื่อมสาย	หัวบอนด์	29836	12	2486	9	3315	6	4973
	ตัวถ่วงน้ำหนัก	1953	12	163	9	217	6	326

จากแบบการทดลองในหัวข้อที่ 4.4.2 ตัวอย่างแบบการทดลองที่ค่าเริ่มต้น แผนการเปลี่ยนชิ้นส่วนของ เซนเซอร์ มอเตอร์ พาวเวอร์ซัพพลาย วอยซ์คอยล์ฟิงเกอร์ คอนโทรลพาเนล หัวบอนด์ และลิ่ม คือการเปลี่ยนชิ้นส่วนทุกชิ้นเมื่อหมดอายุการใช้งาน ดังนั้นราคารวมของแผนการเปลี่ยนชิ้นส่วนในแบบการทดลองเริ่มต้น มีค่าเท่ากับ 333+3219+94+224+29+2486+163 = 6548 เหรียญสหรัฐต่อเดือน ตัวอย่างราคาการเปลี่ยนชิ้นส่วนรวมในแบบการทดลองเริ่มต้น แบบการทดลองที่ 1-5 และแบบการทดลองที่ 88 แสดงดังตารางที่ 4.6 สำหรับราคารวมของการเปลี่ยนชิ้นส่วนรวมของทุกแบบการทดลองแสดงดังตารางที่ ค.1 ในภาคผนวก ค

ตารางที่ 4.6 ตัวอย่างตารางราคาการเปลี่ยนชิ้นส่วนรวม

ยอดเงินในบัญชี	ยูนิตที่ใช้	ยูนิตที่ขาย	ยูนิตที่ผลิตได้	ยูนิตที่ถูกทิ้งเพราะของเสีย	เวลาที่ผลิตเสร็จ	ค่าน้ำมัน	ปี	กำไร
ค่าเริ่มต้น	333	3219	94	224	29	2486	163	6548
1	333	3219	94	224	29	2486	326	6711
2	582	3219	94	224	29	2486	163	6797
3	333	6438	94	224	29	2486	163	9767
4	582	6438	94	224	29	2486	326	10179
5	333	3219	189	224	29	2486	163	6642
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
88	423	4292	126	291	38	3315	217	8702

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
การปรับปรุงการรอซ่อมเครื่องจักรด้วยแนวคิดแบบลีน

การสูญเสียเวลาจากการรอซ่อมเครื่องจักรเกิดจากหลายสาเหตุ ได้แก่ปัญหาการสื่อสารระหว่างพนักงานฝ่ายผลิตและฝ่ายซ่อมบำรุง ปัญหาการขาดจำนวนพนักงานฝ่ายซ่อมบำรุงและปัญหาการขาดชิ้นส่วนสำหรับการซ่อมเครื่องจักร ซึ่งปัญหาเหล่านี้ถือเป็นความสูญเปล่าต่อกระบวนการผลิต ดังนั้นการรอซ่อมเครื่องจักรจึงถูกนำมาปรับปรุงโดยใช้กระบวนการตามแนวคิดแบบลีนดังนี้

5.1 การจัดตั้งคณะทำงานเพื่อปรับปรุงปัญหา

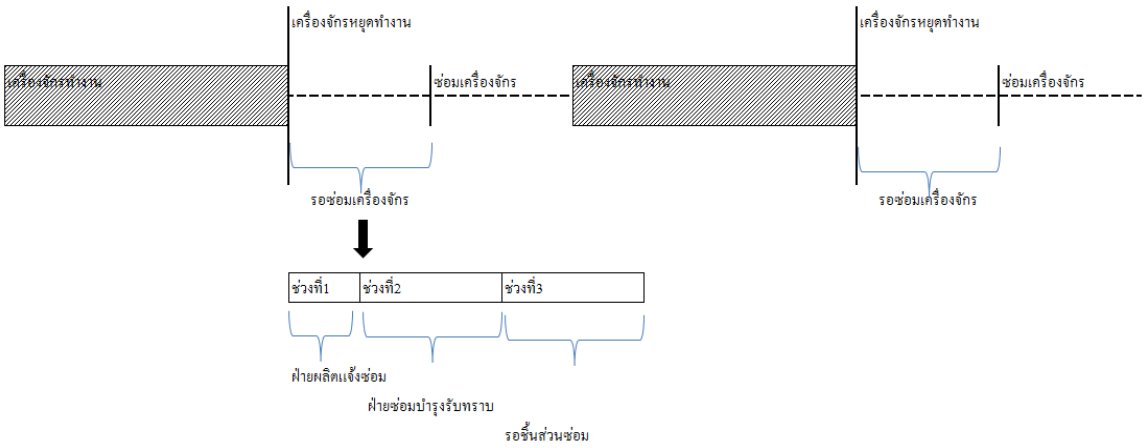
เนื่องจากปัญหาการรอคอยการซ่อมบำรุงเครื่องจักรมีผู้ที่เกี่ยวข้องหลายฝ่าย จึงดำเนินการจัดตั้งคณะทำงานที่มีส่วนเกี่ยวข้อง เพื่อร่วมกันระดมความคิดและสร้างระบบหรือวิธีการทำงานร่วมกันเพื่อนำมาใช้ในการแก้ปัญหาได้แก่

1) หัวหน้าฝ่ายผลิต (Production) ทำหน้าในส่วนของการผลิต เป็นผู้พบปัญหาการทำงานผิดปกติของเครื่องจักรและทำการแจ้งปัญหาผ่านระบบแจ้งซ่อม
2) หัวหน้าฝ่ายซ่อมบำรุงเครื่องจักร (Maintenance Engineer) ทำหน้าที่ตรวจเช็คและซ่อมเครื่องจักรที่มีปัญหา เมื่อได้รับการแจ้งซ่อมจากฝ่ายผลิต
3) หัวหน้าฝ่ายดูแลชิ้นส่วนอะไหล่ (Spare part Planning) มีหน้าที่รักษาชิ้นส่วนอะไหล่และสั่งซื้อชิ้นส่วนอะไหล่ตามความต้องการของฝ่ายซ่อมบำรุงรักษา
4) วิศวกรอุตสาหการ (Industrial Engineer) หรือผู้วิจัย มีหน้าที่ในการควบคุมความสามารถในการผลิตและการวางแผนการใช้เครื่องจักร

5.2 การศึกษาสภาพของปัญหาการรอซ่อมเครื่องจักร

จากการศึกษาข้อมูล โดยการเก็บข้อมูลในสายการผลิตพบว่าการรอซ่อมเครื่องแบ่งเป็น 3 ช่วงเวลาได้แก่ ช่วงที่ 1 คือช่วงตั้งแต่เครื่องจักรเริ่มทำงานผิดปกติและพนักงานฝ่ายผลิตทำการแจ้งซ่อม ช่วงที่ 2 หลังจากพนักงานฝ่ายผลิตทำการแจ้งซ่อมและพนักงานฝ่ายซ่อมบำรุงรับทราบและทำการเข้าตรวจสอบปัญหา และช่วงที่ 3 คือช่วงที่พนักงานฝ่ายซ่อมบำรุงทราบปัญหาและรอ

ชิ้นส่วนอะไหล่ก่อนเริ่มทำการซ่อมเครื่องจักร ซึ่งช่วงเวลาระหว่างที่เครื่องจักรเกิดความเสียหายจนกระทั่งเครื่องจักรถูกแก้ไขอย่างสมบูรณ์สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 ช่วงเวลาระหว่างเครื่องจักรเกิดความเสียหายและเครื่องจักรถูกแก้ไขอย่างสมบูรณ์

หลังจากที่เครื่องจักรทำงานผิดปกติ พนักงานฝ่ายผลิตจะแจ้งข้อมูลการทำงานผิดปกติของเครื่องจักรในระบบบันทึกข้อมูลโดยใช้เวลาประมาณ 5-10 นาทีต่อครั้ง ซึ่งเมื่อพนักงานฝ่ายซ่อมบำรุงได้เห็นการแจ้งซ่อมจะเข้าตรวจสอบและหาสาเหตุโดยใช้เวลาประมาณ 30 – 60 นาทีต่อครั้ง โดยพนักงานใช้เวลาในการหาสาเหตุโดยเฉลี่ย 30 นาที และในบางครั้งยังต้องรอชิ้นส่วนอะไหล่โดยใช้เวลาเฉลี่ย 60 -120 นาที รวมเป็นเวลารอก่อนได้รับการซ่อมเฉลี่ย 160 นาทีต่อครั้ง

5.3 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้วย 5 Why

เพื่อการแก้ปัญหาอย่างตรงจุดผู้วิจัยและทีมงานได้เลือกใช้ 5 Why ในการวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาการรอการซ่อมบำรุงเครื่องจักร ซึ่งแสดงการวิเคราะห์ได้ดังตารางที่ 5.1

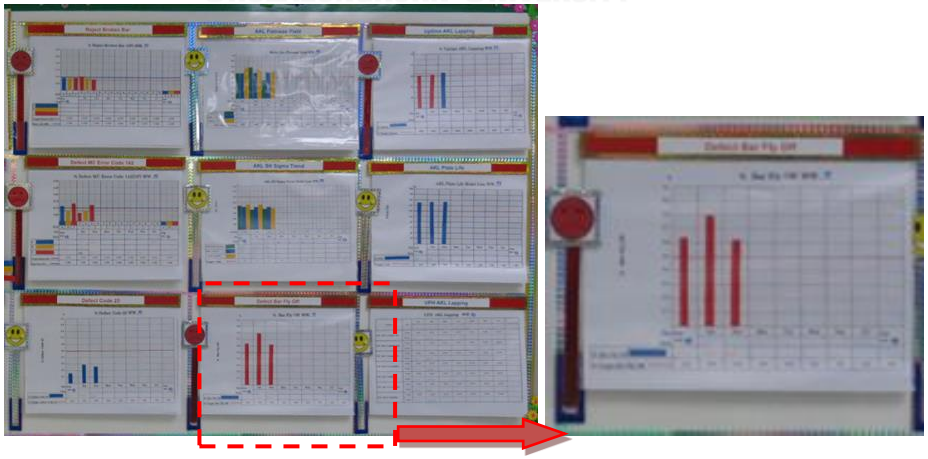
ตารางที่ 5.1 การวิเคราะห์สาเหตุการรอซ่อมเครื่องจักรด้วย 5 Why

ปัญหา	Why 1	Why 2	Why 3	Why 4	Why 5	วิธีแก้ไข	ผู้รับผิดชอบ
1. พนักงานฝ่ายผลิตแจ้งซ่อมแต่ไม่ได้รับการตอบรับจากฝ่ายซ่อมบำรุง	พนักงานซ่อมบำรุงไม่รู้ว่ามีการแจ้งซ่อม	การแจ้งซ่อมไม่มีประสิทธิภาพ	ไม่มีระบบแจ้งเตือน	-	-	จัดพนักงานคอยตรวจสอบการแจ้งซ่อม	ฝ่ายซ่อมบำรุง
2. พนักงานฝ่ายซ่อมบำรุงไม่เพียงพอ	พนักงานฝ่ายซ่อมบำรุงมีทักษะในการซ่อมเครื่องจักรน้อยเกินไป	-	-	-	-	จัดการฝึกอบรมเพื่อเพิ่มทักษะการซ่อมเครื่องได้หลากหลาย	ฝ่ายซ่อมบำรุง
3. ไม่มีชิ้นส่วนสำหรับการซ่อมเครื่องจักร	จำนวนไม่มีพอหรือชิ้นส่วนเกิดความเสียหาย	ไม่มีการตรวจสอบชิ้นส่วนอะไหล่ทั้งเรื่องของจำนวนและคุณภาพ	-	-	-	ทำแผนการตรวจคุณภาพชิ้นส่วนอะไหล่และตั้งค่าจำนวนชิ้นส่วนอะไหล่ที่ควรจะมี	ฝ่ายสนับสนุนชิ้นส่วนอะไหล่
	ชิ้นส่วนบางชิ้นไม่ถูกระบุไว้ในรายการชิ้นส่วนอะไหล่	ผู้ผลิตไม่ได้แจ้ง	-	-	-	ทำการบันทึกลงในระบบ	ฝ่ายสนับสนุนชิ้นส่วนอะไหล่

การวิเคราะห์สาเหตุการรอซ่อมเครื่องจักรด้วย 5 Why

5.3.1 ปัญหาการสื่อสารระหว่างพนักงานฝ่ายผลิตและฝ่ายซ่อมบำรุง

เมื่อเครื่องจักรเกิดการทำงานผิดปกติ พนักงานฝ่ายผลิตจะทำการแจ้งซ่อมผ่านระบบบันทึกข้อมูลการทำงานของเครื่องจักร โดยมีการระบุอาการที่เครื่องจักรทำงานผิดปกติและเวลาที่เริ่มเกิดความผิดปกติ จากนั้นฝ่ายซ่อมบำรุงจะเข้าทำการตรวจสอบและแก้ไขปัญหาจนกระทั่งแก้ไขปัญหาเสร็จสิ้น พนักงานฝ่ายซ่อมบำรุงจะลงเวลาที่ทำการซ่อมเครื่องจักรเสร็จสมบูรณ์และลงบันทึกสาเหตุของการทำงานผิดปกติของเครื่องจักร เพื่อใช้เป็นการบันทึกอาการของเครื่องจักรสำหรับการปรับปรุงต่อไป แต่อย่างไรก็ตามจากการข้อมูลพบว่า หลังจากที่พนักงานฝ่ายผลิตได้ทำการแจ้งซ่อมผ่านระบบไปแล้ว พนักงานฝ่ายซ่อมบำรุงจะไม่ได้รับการแจ้งเตือนในทันทีเนื่องจากพนักงานฝ่ายซ่อมบำรุงไม่ได้อยู่ประจำที่คอมพิวเตอร์เพื่อคอยตรวจสอบการแจ้งซ่อมตลอดเวลาและตัวระบบเองก็ไม่มีการแจ้งเตือนใดๆ ซึ่งปัญหานี้ถือได้ว่าเป็นปัญหาของการสื่อสารระหว่างพนักงานฝ่ายผลิตและช่างซ่อมเครื่อง ซึ่งแก้ไขโดยการจัดพนักงานคอยตรวจสอบระบบแจ้งซ่อมตลอดเวลาและให้มีการแจ้งอีเมล์แจ้งไปยังหัวหน้างานหรือการโทรศัพท์โดยตรงเพื่อให้การแจ้งซ่อมได้รับการแก้ปัญหาอย่างรวดเร็วมากขึ้น ซึ่งนอกจากนี้ยังมีการจัดทำบอร์ดไคเซน (KAIZEN) เพื่อลงบันทึกอาการของเครื่องจักรในระดับต้นๆ เพื่อให้ฝ่ายซ่อมบำรุงได้เห็นเป็นสัญญาณของการเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นและทำการแก้ไขเพื่อป้องกันต่อไป การแก้ปัญหานี้จะรับผิดชอบโดยฝ่ายซ่อมบำรุงและพนักงานฝ่ายผลิต ตัวอย่างบอร์ดไคเซนแสดงดังรูปที่ 5.2 แสดงจำนวนแท่งชิ้นงานที่มีการขัดผิดปกติทั้งการขัดจนเกินระยะกำหนดและการขัดที่ยังไม่ถึงระยะที่กำหนด ซึ่งปัญหานี้เกิดจากการควบคุมการขัดของคอนโทรลพาเนล



รูปที่ 5.2 บอร์ดไคเซน

5.3.2 ปัญหาพนักงานฝ่ายซ่อมบำรุงที่มีหน้าที่รับผิดชอบเครื่องขัดชิ้นงานทำงานไม่ทัน

เนื่องจากเครื่องจักรในสายการผลิตมีเป็นจำนวนมาก ดังนั้นหากเครื่องจักรเกิดความเสียหายหรือทำงานผิดปกติพร้อมกันหลายเครื่อง อาจจะทำให้ไม่มีพนักงานฝ่ายซ่อมบำรุงเข้ามาแก้ไขปัญหาหรือเข้ามาแก้ปัญหาล่าช้าเนื่องจากพนักงานที่มีอยู่ทำงานไม่ทัน ซึ่งปัญหาความสามารถในการซ่อมเครื่องและจำนวนช่างซ่อมเครื่องไม่เพียงพอ แก้ไขโดยจัดอบรมการซ่อมเครื่องจักรให้ช่างซ่อมสามารถซ่อมเรื่องจักรได้หลายประเภท เพื่อให้สามารถหมุนเวียนและทดแทนเมื่อช่างซ่อมที่รับผิดชอบเครื่องนั้นๆไม่มาทำงานหรือไม่เพียงพอ โดยการกำหนดจำนวนพนักงานที่มีทักษะในการซ่อมเครื่องจักรได้อย่างน้อย 6 ทักษะต่อพนักงานและเครื่องจักรใดๆจะต้องมีพนักงานอย่างน้อย 6 คนมีทักษะในการซ่อมเครื่องจักรนั้นๆ ดังตารางที่ 5.2 แสดงทักษะของพนักงานฝ่ายซ่อมบำรุง เมื่อ Q หมายถึงผ่านการฝึกอบรมและ P หมายถึงมีแผนการเข้ารับการฝึกอบรม

ตารางที่ 5.2 ทักษะการทำงานของพนังงานฝ่ายซ่อมบำรุง

Technician Name	ABPS	AGD	AGF	Agitator	Auto Cut G	Auto Mylay	Auto Spray	Bar Press	Bonder	Lapping	DEB	Summary
Praved S	P	Q	Q	P	P		P				P	6
Sommai T	P	P	P	Q	Q	P						6
Wongsakorn J						P	P	Q	Q	P	P	6
Kamonchanok S	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q		10
Phirot K						Q	Q	P	P	P	P	6
Wisitisak D	Q	Q	P	P	P	P						6
Prewpan S	Q						P	P	P	P	Q	6
Chaowalit K		T	T	T	T					Q	Q	6
Witsanu P	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q		10
Piyaphan H						P	Q	Q	Q	Q	Q	6
Summary	6	6	6	6	6	7	7	6	6	7	6	

5.3.3 ปัญหาการขาดชิ้นส่วนในการซ่อมเครื่องจักร

ปัญหาการขาดชิ้นส่วนในการซ่อมเครื่องจักรเครื่องจักรเกิดจาก 3 สาเหตุได้แก่ ชิ้นส่วนบางชิ้นผู้ผลิตเครื่องจักรไม่ได้แจ้งให้ทราบว่าต้องเตรียมอะไหล่สำรอง ซึ่งแก้ปัญหาด้วยการเพิ่มรายการของชิ้นส่วนอะไหล่นั้นๆเข้าไปในระบบข้อมูลชิ้นส่วนอะไหล่ และการทบทวนรายการชิ้นส่วนอะไหล่กับผู้ผลิตทุกครั้งก่อนการรับมอบเครื่องจักรใหม่

ปัญหาการขาดชิ้นส่วนอะไหล่ที่เกิดจากการมีชิ้นส่วนอะไหล่สำรองน้อยกว่าปริมาณการใช้งาน เนื่องจากจำนวนชิ้นส่วนอะไหล่ในระดับปลอดภัย (Safety Stock: SS) ถูกกำหนดจากสถิติการใช้งานซึ่งขาดการทบทวนเมื่ออัตราการใช้งานเปลี่ยนไป จึงแก้ปัญหาโดยการทบทวนจำนวนชิ้นส่วนสำรองโดยใช้ข้อมูลสถิติในการหาค่าเฉลี่ยการใช้งานในปีปัจจุบันและกำหนดให้มีการตรวจสอบสถิติการใช้งานประจำปี

ปัญหาชิ้นส่วนอะไหล่เกิดความเสียหายก่อนการนำไปใช้งาน แก้ปัญหาโดยการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นส่วนอะไหล่ประจำเดือน สรุปจำนวนชิ้นส่วนอะไหล่ในระดับปลอดภัยของเครื่องเชื่อมสายและเครื่องขัดชิ้นงานดังตารางที่ 5.3 และ 5.4 ตามลำดับ ปัญหานี้รับผิดชอบโดยฝ่ายซ่อมบำรุงและฝ่ายเก็บรักษาชิ้นส่วน

ตารางที่ 5.3 จำนวนชิ้นส่วนอะไหล่ในระดับปลอดภัยของเครื่องขัดชิ้นงาน

Part name	Average (Pieces)	SD (Pieces)	SS (Pieces)
Sensor	9.8	1.7	10
Motor	6.6	1.7	7
Power Supply	2.6	0.8	3
Voice coil Finger	15.2	1.5	16
Control Panel	14.4	1.2	15
Scanner Alignment	5.0	1.7	5
Arm	4.4	0.5	5
Pogo pin	2.8	1.2	3
Computer	3.6	0.8	4

ตารางที่ 5.4 จำนวนชิ้นส่วนอะไหล่ในระดับปลอดภัยของเครื่องเชื่อมสาย

Part name	Average (Pieces)	SD (Pieces)	SS (Pieces)
Bond head	5.6	1.0	6
Wedge	6.8	1.0	7
Sensor Alignment	3.8	0.7	4
Power Supply	3.4	1.4	4

เนื่องจากชิ้นส่วนอะไหล่บางชิ้นมีปริมาณเกินกว่าความต้องการ และโรงงานกรณีศึกษาต้องควบคุมค่าใช้จ่ายในการเก็บชิ้นส่วนอะไหล่ ดังนั้นจึงวางแผนที่จะทบทวนจำนวนชิ้นส่วนอะไหล่ใหม่ทั้งหมด เพื่อให้ชิ้นส่วนวิกฤตของเครื่องขัดชิ้นงานและเครื่องเชื่อมสายที่ต้องสำรองเพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงไม่มีการพิจารณาค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาชิ้นส่วนอะไหล่เข้าไปด้วย

5.4 ผลการแก้ไขปัญหาการรอซ่อมบำรุงเครื่องจักร

หลังจากการปรับปรุงการรอซ่อมเครื่องจักรจาก 3 สาเหตุโดยใช้แนวคิดของลีนพบว่า การสื่อสารระหว่างพนักงานฝ่ายผลิตและพนักงานฝ่ายซ่อมบำรุงดีขึ้น การเข้าซ่อมเครื่องจักรเร็วขึ้นและการควบคุมจำนวนชิ้นส่วนอะไหล่มีมาตรฐานมากขึ้น ซึ่งเป็นผลให้การสูญเสียเวลาการผลิตจากการรอซ่อมเครื่องจักรลดลง 100 นาทีต่อครั้ง ดังตารางาสรุปผลการปรับปรุงที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 ผลการปรับปรุงการลดเวลารอซ่อมเครื่องจักร

ช่วงเวลารอซ่อมเครื่องจักร	ก่อนการปรับปรุง (นาที)	หลังการปรับปรุง (นาที)	ผลต่าง (นาที)
ช่วงที่ 1 พนักงานฝ่ายผลิตแจ้งซ่อม	10	10	0
ช่วงที่ 2 พนักงานฝ่ายซ่อมบำรุงรับทราบ	52.5	30	32.5
ช่วงที่ 3 รอชิ้นส่วนอะไหล่	97.5	20	77.5
รวม	160	60	100

สรุปผลการปรับปรุง:

ก่อนการลดเวลาการรอซ่อมเครื่อง เครื่องขัดชิ้นงานสูญเสียเวลาการผลิตจากการรอซ่อมเครื่องจักรเป็นเวลา 4.7% จากเวลาการทำงานผิดปกติทั้งหมด 9.8% ซึ่งหลังจากการปรับปรุงด้วยแนวคิดของลีนทำให้เวลารอซ่อมเครื่องจักรลดลงจาก 160 นาที เหลือ 60 นาที หรือคิดเป็นเปอร์เซ็นที่ลดลง 38% ดังนั้นที่เวลาการทำงานผิดปกติ 9.8% หลังจากการปรับปรุงจะเสียเวลารอซ่อมเครื่องจักรเท่ากับ 4.7% x 38% = 1.8%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 6
ผลการทดลองและระยะการเปลี่ยนชิ้นส่วนที่เหมาะสมที่สุด

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการดำเนินการทดลองและการวิเคราะห์ผลเพื่อหาแผนการเปลี่ยนชิ้นส่วนที่เหมาะสมที่สุด โดยที่แผนการเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ให้กำไรสูงสุดจะเป็นแผนที่ดีที่สุดสำหรับการทดลอง สรุปได้ดังนี้

6.1 ผลการทดลอง

จากแบบการทดลองที่ถูกออกแบบในบทที่ 4 เมื่อแผนการเปลี่ยนชิ้นส่วนในแต่ละระดับของชิ้นส่วนแต่ละชิ้นเป็นตัวแปรการทดลอง โดยมีเวลาการทำงานผิดปกติของเครื่องขัดชิ้นงานและเวลาการรอชิ้นงานจากเครื่องเชื่อมสายเป็นผลลัพธ์ของการทดลอง ผลของการทดสอบพบว่า การเปลี่ยนชิ้นส่วนเร็วขึ้นทำให้เวลาการทำงานผิดปกติของเครื่องขัดชิ้นงานและเวลาการรอชิ้นงานจากเครื่องเชื่อมสายลดลง

เนื่องจากผลการทดลองจากตัวแบบจำลองเป็นผลการทดลองที่ถูกควบคุมเวลาการสูญเสียจากสาเหตุอื่นๆไว้ซึ่งได้แก่ การเปลี่ยนแท่นขัดตามอายุ 4.4% การปรับค่าติดตั้งจากการเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ 0.9% การซ่อมบำรุงเครื่องจักรตามแผนและการทดลองของวิศวกร 0.3% และการรองานจากเครื่องเชื่อมสายที่ไม่ได้เกิดจากการทำงานผิดปกติ 3.8% ดังนั้นเวลาการสูญเสียเหล่านี้รวมทั้งสิ้น 9.3% จะมีค่าคงที่ ในขณะที่เวลาการรอซ่อมเครื่องได้ถูกปรับปรุงด้วยหลักการของลีนที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 5 โดยเวลาการทำงานผิดปกติของเครื่องจักรที่ค่าเริ่มต้น 9.8% ถูกลดเวลาการรอซ่อมเครื่องจาก 4.7% เหลือ 1.8% ดังนั้นในตัวอย่างของแบบการทดลองที่ 1 เวลาการทำงานผิดปกติ 8.4% จะเสียเวลารอซ่อมเครื่องเท่ากับ 1.8% ÷ 9.8% x 8.4% เท่ากับ 1.5% ซึ่งเมื่อนำเปอร์เซ็นต์เวลาที่เครื่องขัดชิ้นงานทำงานผิดปกติมารวมกับเปอร์เซ็นต์เวลาที่เครื่องขัดชิ้นงานรองานจากเครื่องเชื่อมสายและเปอร์เซ็นต์เวลาสูญเสียอื่นๆที่ไม่ได้ทำการทดลอง จะกลายเป็นเปอร์เซ็นต์เวลาที่สูญเสียทั้งหมดค่าใหม่ที่มีผลทำให้ความสามารถในการผลิตของเครื่องขัดชิ้นงานเปลี่ยนไปจากเดิม

ความสามารถในการผลิตของเครื่องจักรมาจากผลคูณของจำนวนชิ้นงานที่ผลิตได้ต่อวัน กับเวลาพร้อมใช้งานและอัตราการเกิดของดี โดยผลผลิตต่อวันของเครื่องขัดชิ้นงานมีค่าเท่ากับ 29,760 ชิ้นและมีอัตราการเกิดของดีเท่ากับ 95% ตัวอย่างแผนการเปลี่ยนชิ้นส่วน ณ ปัจจุบันคือ

การเปลี่ยนชิ้นส่วนทั้ง 7 ชนิดหลังเกิดความเสียหายและเป็นค่าตั้งต้นของการทดลอง แผนการเปลี่ยนชิ้นส่วนแผนนี้ทำให้เครื่องขัดชิ้นงานมีเวลาพร้อมใช้งานเท่ากับ 73.1% ดังนั้นความสามารถในการผลิตต่อวันจึงคำนวณได้จาก 29,760 x 73.1% x 95% ซึ่งมีค่าเท่ากับ 20,655 ชิ้นต่อวัน เช่นเดียวกับแบบการทดลองที่ 1 ซึ่งให้ผลการทดลองว่าเครื่องขัดชิ้นงานมีเวลาพร้อมใช้งาน 76.4% ดังนั้นแบบการทดลองที่ 1 จะทำให้เครื่องจักรมีความสามารถในการผลิตเท่ากับ 29,760 x 76.4% x 95% เท่ากับ 21,589 ชิ้นต่อวัน ตัวอย่างการสรุปเวลาการสูญเสียทั้งหมดของเครื่องขัดชิ้นงานและความสามารถในการผลิตของแบบการทดลองที่ค่าเริ่มต้น แบบการทดลองที่ 1-5 และแบบการทดลองที่ 88 แสดงดังตารางที่ 6.1 สำหรับเวลาการสูญเสียทั้งหมดและความสามารถในการผลิตของทุกแบบการทดลองแสดงดังตารางที่ ง.1 ในภาคผนวก ง

ตารางที่ 6.1 ตัวอย่างตารางสรุปเวลาการสูญเสียทั้งหมดและความสามารถในการผลิต

แบบการทดลอง	%เวลาทำงานผิดปกติ	%เวลาเปลี่ยนชิ้นงาน	%เวลาเปลี่ยนชิ้นส่วนอื่นๆ	%เวลาสูญเสียไม่ได้	%เวลาสูญเสียทั้งหมด	%เวลาที่เครื่องทำงานจริง	ความสามารถในการผลิต (1,000ชิ้น)
ค่าเริ่มต้น	9.8%	3.1%	4.7%	9.3%	26.9%	73.1%	20.7
1	9.7%	2.8%	1.8%	9.3%	23.6%	76.4%	21.6
2	8.3%	3.1%	1.5%	9.3%	22.3%	77.7%	22.0
3	9.0%	3.2%	1.6%	9.3%	23.1%	76.9%	21.7
4	7.4%	2.7%	1.4%	9.3%	20.8%	79.2%	22.4
5	8.7%	3.1%	1.6%	9.3%	22.7%	77.3%	21.9
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
88	3.3%	1.7%	0.6%	9.3%	15.0%	85.0%	24.0

จากตารางที่ 6.2 แสดงปริมาณความต้องการในการผลิตต่อวันของชิ้นส่วนหัวอ่านและหัวเขียนในปี 2558 ซึ่งสามารถนำมาคำนวณหาจำนวนเครื่องขัดชิ้นงานที่ต้องใช้ในการผลิต ได้จากการนำปริมาณความต้องการหารด้วยความสามารถในการผลิต ตัวอย่างการคำนวณจำนวนเครื่อง

ขัดชิ้นงานในเดือนธันวาคมซึ่งมีปริมาณความต้องการ 1,494,750 ชิ้นต่อวัน ดังนั้นจำนวนเครื่องขัดชิ้นงานที่ต้องการจากแผนการเปลี่ยนชิ้นส่วนในปัจจุบันจึงมีค่าเท่ากับ 1,494,750 ÷ 20,655 เท่ากับ 73 เครื่อง ในขณะที่จำนวนเครื่องขัดชิ้นงานที่ต้องการจากแบบการทดลองที่ 1 เท่ากับ 1,494,750 ÷ 21,589 ซึ่งเท่ากับ 70 เครื่อง ดังตารางที่ 6.3 แสดงตัวอย่างจำนวนเครื่องขัดชิ้นงานที่ต้องการในแต่ละเดือนของแบบการทดลองตั้งต้น แบบการทดลองที่ 1-5 และแบบการทดลองที่ 88 สำหรับจำนวนเครื่องจักรที่ต้องการของทุกแบบการทดลองแสดงดังตารางที่ ง.2 ในภาคผนวก ง

ตารางที่ 6.2 ปริมาณความต้องการในการผลิตต่อวันในปี 2558

เดือน	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ษ.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
ปริมาณความต้องการ (1000 ชิ้น)	1125	1100	1134	1246	1263	1260	1348	1352	1376	1438	1433	1495

ตารางที่ 6.3 ตัวอย่างตารางความสามารถในการผลิตและจำนวนเครื่องขัดชิ้นงานที่ต้องการ

แบบการทดลอง	ความสามารถในการผลิต (1000 ชิ้น)	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ษ.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
ค่าเริ่มต้น	20.7	55	55	55	61	62	62	66	66	67	70	70	73
1	21.6	53	53	53	58	59	59	63	63	64	67	67	70
2	22.0	53	53	53	57	58	58	62	62	63	66	66	69
3	21.7	53	53	53	58	59	59	62	63	64	67	67	69
4	22.4	53	53	53	56	57	57	61	61	62	65	65	67
5	21.9	53	53	53	58	58	58	62	62	63	66	66	69
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
88	24.0	53	53	53	53	53	53	57	57	58	60	60	63

เนื่องจากการเปลี่ยนชิ้นส่วนในเครื่องจักรให้เร็วขึ้น ทำให้ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนชิ้นส่วนเพิ่มขึ้น จากราคาการเปลี่ยนชิ้นส่วนรวมของแต่ละแบบการทดลองในตารางที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนชิ้นส่วนที่แผนการเปลี่ยนชิ้นส่วนในปัจจุบันคือ 6,548 เหรียญสหรัฐต่อ

เครื่องต่อเดือน แต่ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนชิ้นส่วนของแบบการทดลองที่ 1 คือ 6,711 เหรียญสหรัฐต่อเครื่องต่อเดือน ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนชิ้นส่วนเพิ่มขึ้น 163 เหรียญสหรัฐต่อเครื่องต่อเดือน

จากการคำนวณจำนวนเครื่องจักรที่ต้องการในแต่ละเดือนในตารางที่ 6.4 ดังนั้นค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นในแต่ละเดือนจึงเท่ากับส่วนต่างของค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นคูณกับจำนวนเครื่องจักรที่ใช้ในแต่ละเดือน ตัวอย่างการคำนวณค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนชิ้นส่วนที่เพิ่มขึ้นของแบบการทดลองที่ 1-5 และแบบการทดลองที่ 88 แสดงดังตารางที่ 6.4 สำหรับค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนชิ้นส่วนที่เพิ่มขึ้นของทุกแบบการทดลองแสดงดังตารางที่ ง.3 ในภาคผนวก ง

ตารางที่ 6.4 ตัวอย่างตารางค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนชิ้นส่วนที่เพิ่มขึ้นในปี 2558

แบบการทดลอง	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ษ.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รวมทั้งสิ้น
1	8,626	8,626	8,626	9,440	9,602	9,602	10,253	10,253	10,416	10,904	10,904	11,393	118,645
2	13,225	13,225	13,225	14,224	14,473	14,473	15,471	15,471	15,721	16,469	16,469	17,218	179,666
3	170,607	170,607	170,607	186,702	189,921	189,921	199,578	202,797	206,016	215,673	215,673	222,111	2,340,213
4	192,458	192,458	192,458	203,352	206,983	206,983	221,508	221,508	225,140	236,034	236,034	243,296	2,578,213
5	5,004	5,004	5,004	5,476	5,476	5,476	5,854	5,854	5,948	6,232	6,232	6,515	68,074
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
88	114,163	114,163	114,163	114,163	114,163	114,163	122,779	122,779	124,933	129,241	129,241	135,703	1,449,653

จากจำนวนความต้องการเครื่องขัดชิ้นงานที่จำนวนลดลง เมื่อมีการเปลี่ยนชิ้นส่วนเร็วขึ้น โดยในเดือนธันวาคมซึ่งเป็นเดือนที่มีปริมาณความต้องการสูงสุด จำนวนเครื่องขัดชิ้นงานที่ต้องการที่แผนการเปลี่ยนชิ้นส่วน ณ ปัจจุบันอยู่ที่ 73 เครื่อง ในขณะที่จำนวนเครื่องขัดชิ้นงานที่ต้องการจากแบบการทดลองที่ 1 อยู่ที่ 70 เครื่อง นั่นคือสามารถลดจำนวนการสั่งซื้อเครื่องจักรได้ถึง 3 เครื่อง ซึ่งเครื่องขัดชิ้นงานหนึ่งเครื่องมีราคา 480,000 เหรียญสหรัฐ นั่นคือแบบการทดลองที่ 1 สามารถลดค่าใช้จ่ายในการซื้อเครื่องจักรได้ 1,440,000 เหรียญสหรัฐ

แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากบริษัทมีการกำหนดอายุการใช้งานของเครื่องจักรไว้เป็นเวลา 4 ปี ดังนั้นค่าใช้จ่ายที่ลดลงต่อปีเท่ากับ 1,440,000 ÷ 4 เท่ากับ 360,000 ต่อปี ดังนั้นสามารถคำนวณหากำไรสุทธิ โดยใช้ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อเครื่องจักรที่ลดลงในเดือนธันวาคม เทียบกับ

ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนชิ้นส่วนที่เพิ่มขึ้นรวมทั้งปี จะได้เป็นกำไรสุทธิของแต่ละแบบการทดลอง ดังตารางที่ 6.5 แสดงตัวอย่างการคำนวณกำไรสุทธิของแบบการทดลองที่ 1-5 และแบบการทดลองที่ 88 สำหรับกำไรสุทธิของแบบการทดลองทั้งหมด แสดงดังตารางที่ ง.4 ในภาคผนวก ง

ตารางที่ 6.5 ตัวอย่างตารางกำไรสุทธิ

แบบการทดลอง	จำนวนเครื่องจักรที่ลดลง	ค่าใช้จ่ายที่การซื้อเครื่องจักรที่ลดลง	ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนชิ้นส่วนที่เพิ่มขึ้น	ผลต่าง
1	3	360,000	118,645	241,355
2	4	480,000	179,666	300,334
3	4	480,000	2,340,213	-1,860,213
4	6	720,000	2,578,213	-1,858,213
5	4	480,000	68,074	411,926
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
88	10	1,200,000	1,449,653	-249,653

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6.2 การหาระยะการเปลี่ยนชิ้นส่วนที่เหมาะสมที่สุด

จากผลการทดลองการเปลี่ยนชิ้นส่วนในเครื่องขัดชิ้นงานและเครื่องเชื่อมสายพบว่า ที่ระดับการเปลี่ยนชิ้นส่วนสูงๆ จะทำให้เวลาการทำงานผิดปกติของเครื่องจักรลดลง แต่อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนชิ้นส่วนที่เร็วก็อาจจะไม่ได้ทำให้ได้กำไรสูงสุดเสมอไป เนื่องจากการเปลี่ยนชิ้นส่วนที่เร็วกว่ากำหนดมากขึ้นจะทำให้ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนชิ้นส่วนสูงขึ้น

เมื่อนำกำไรสุทธิที่ได้ไปทำการตรวจสอบผลการทดลองด้วยโปรแกรมมินิแทปด้วยฟังก์ชัน Response Optimizer ดังรูปที่ 6.1 พบว่าแผนการเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ดีที่สุดคือ

- การเปลี่ยนเซนเซอร์ในระดับที่ 2 ซึ่งเป็นการเปลี่ยนในช่วงเดือนที่ 11 เมื่ออายุการใช้งานของเซนเซอร์คือ 14 เดือน
- การเปลี่ยนมอเตอร์ในระดับที่ 1 ซึ่งเป็นการเปลี่ยนเมื่อหมดอายุการใช้งาน เมื่ออายุการใช้งานของมอเตอร์คือ 8 เดือน
- การเปลี่ยนพาวเวอร์ซัพพลายในระดับที่ 2 ซึ่งเป็นการเปลี่ยนในช่วงเดือนที่ 9 เมื่ออายุการใช้งานของพาวเวอร์ซัพพลายคือ 12 เดือน
- การเปลี่ยนวอยซ์คอยล์ฟิงเกอร์ในระดับที่ 2 ซึ่งเป็นการเปลี่ยนในช่วงเดือนที่ 10 เมื่ออายุการใช้งานของวอยซ์คอยล์ฟิงเกอร์คือ 13 เดือน
- การเปลี่ยนคอนโทรลพาเนลในระดับที่ 3 ซึ่งเป็นการเปลี่ยนในช่วงเดือนที่ 7 เมื่ออายุการใช้งานของคอนโทรลพาเนลคือ 13 เดือน
- การเปลี่ยนหัวบอนด์ในระดับที่ 1 ซึ่งเป็นการเปลี่ยนเมื่อหมดอายุการใช้งาน เมื่ออายุการใช้งานของหัวบอนด์คือ 12 เดือน
- การเปลี่ยนลิ่มในระดับที่ 2 ซึ่งเป็นการเปลี่ยนในช่วงเดือนที่ 9 เมื่ออายุการใช้งานของลิ่มคือ 12 เดือน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Response Surface Regression: Net Saving versus Sensor, Motor, Power, Voice coil, Control, ...

Analysis of Variance

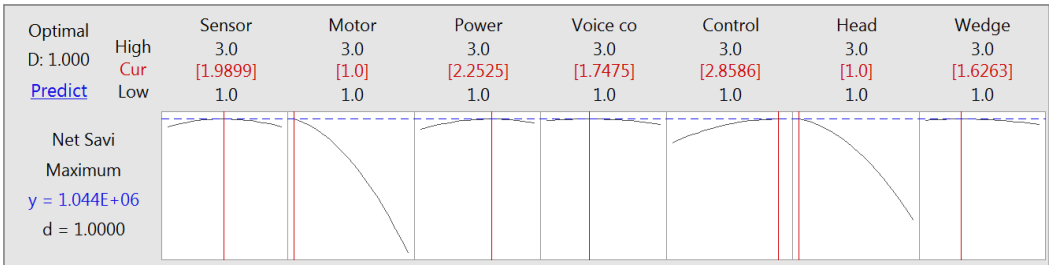
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	35	1.40599E+14	4.01713E+12	3063.63	0.000
Linear	7	1.21022E+14	1.72889E+13	13185.21	0.000
Sensor	1	15350148329	15350148329	11.71	0.001
Motor	1	7.51617E+13	7.51617E+13	57321.45	0.000
Power	1	1.67717E+11	1.67717E+11	127.91	0.000
Voice coil	1	40890021391	40890021391	31.18	0.000
Control	1	2.97849E+12	2.97849E+12	2271.52	0.000
Head	1	4.25860E+13	4.25860E+13	32477.84	0.000
Wedge	1	71945898235	71945898235	54.87	0.000
Square	7	1.95174E+13	2.78820E+12	2126.40	0.000
Sensor*Sensor	1	34960343451	34960343451	26.66	0.000
Motor*Motor	1	3.56702E+11	3.56702E+11	272.04	0.000
Power*Power	1	26854179459	26854179459	20.48	0.000
Voice coil*Voice coil	1	6282043485	6282043485	4.79	0.033
Control*Control	1	27679481930	27679481930	21.11	0.000
Head*Head	1	2.26523E+11	2.26523E+11	172.76	0.000
Wedge*Wedge	1	5302340788	5302340788	4.04	0.050
2-Way Interaction	21	60037644482	2858935452	2.18	0.012
Sensor*Motor	1	8256485555	8256485555	6.30	0.015
Sensor*Power	1	442136301	442136301	0.34	0.564
Sensor*Voice coil	1	5910730307	5910730307	4.51	0.039
Sensor*Control	1	510047456	510047456	0.39	0.536
Sensor*Head	1	5804137926	5804137926	4.43	0.040
Sensor*Wedge	1	2772751385	2772751385	2.11	0.152
Motor*Power	1	62277406	62277406	0.05	0.828
Motor*Voice coil	1	328901199	328901199	0.25	0.619
Motor*Control	1	12489565887	12489565887	9.53	0.003
Motor*Head	1	7988860142	7988860142	6.09	0.017
Motor*Wedge	1	4256918128	4256918128	3.25	0.077
Power*Voice coil	1	287275130	287275130	0.22	0.642
Power*Control	1	55803813	55803813	0.04	0.837
Power*Head	1	82233686	82233686	0.06	0.803
Power*Wedge	1	263981076	263981076	0.20	0.656
Voice coil*Control	1	37566703	37566703	0.03	0.866
Voice coil*Head	1	115133088	115133088	0.09	0.768
Voice coil*Wedge	1	2575111910	2575111910	1.96	0.167
Control*Head	1	5523540064	5523540064	4.21	0.045
Control*Wedge	1	2274164947	2274164947	1.73	0.194
Head*Wedge	1	22373	22373	0.00	0.997
Error	52	68184024999	1311231250		
Lack-of-Fit	43	68184024999	1585675000	*	*
Pure Error	9	0	0		
Total	87	1.40668E+14			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
36210.9	99.95%	99.92%	99.84%

Regression Equation in Uncoded Units

```
Net Saving = -1242740 + 459049 Sensor + 403501 Motor + 481688 Power + 213453 Voice coil
             + 584376 Control + 384628 Head + 133284 Wedge - 122602 Sensor*Sensor
             - 391618 Motor*Motor - 107452 Power*Power - 51971 Voice coil*Voice coil
             - 109091 Control*Control - 312080 Head*Head - 47747 Wedge*Wedge
             + 11358 Sensor*Motor + 2628 Sensor*Power - 9610 Sensor*Voice coil
             + 2823 Sensor*Control + 9523 Sensor*Head + 6582 Sensor*Wedge + 986 Motor*Power
             + 2267 Motor*Voice coil + 13970 Motor*Control + 11173 Motor*Head
             + 8156 Motor*Wedge - 2119 Power*Voice coil + 934 Power*Control - 1134 Power*Head
             - 2031 Power*Wedge - 766 Voice coil*Control + 1341 Voice coil*Head
             - 6343 Voice coil*Wedge + 9290 Control*Head + 5961 Control*Wedge + 19 Head*Wedge
```



รูปที่ 6.1 ระดับการเปลี่ยนชิ้นส่วนที่เหมาะสมจากฟังก์ชัน Response Optimizer

เมื่อนำแผนการเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ดีที่สุดที่ได้จากการ Response Optimizer ไปทำการรันด้วยตัวแบบจำลองอีกครั้งพบว่า แผนการเปลี่ยนชิ้นส่วนนี้ทำให้เวลาที่เครื่องขัดชิ้นงานทำงานผิดปกติลดลงจาก 9.8% เหลือ 3.4% เวลารอชิ้นงานจากเครื่องเชื่อมสาย ลดลงจาก 6.9% เหลือ 6.6% และการรอซ่อมเครื่องจักรซึ่งถูกปรับปรุงโดยการใช้แนวคิดของลีนลงลงจาก 4.7% เป็น 0.6% ซึ่งสรุปได้ว่าเวลาที่สูญเสียของเครื่องขัดชิ้นงานถูกลดลงจาก 26.9% เหลือ 16.2% หรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การปรับปรุง 10.7% โดยผลการปรับปรุงเกิดจากการทำแบบจำลอง 6.6% ได้แก่การปรับปรุงเวลาการทำงานผิดปกติของเครื่องขัดชิ้นงานและการรอชิ้นงานจากเครื่องเชื่อมสาย และการปรับปรุงเกิดจากการทำลีน 4.1% ได้แก่การลดเวลารอซ่อมเครื่องจักร การเปรียบเทียบเวลาการสูญเสียของเครื่องขัดชิ้นงานก่อนและหลังการปรับปรุงสรุปได้ดังตารางที่ 6.6

ผลการปรับปรุงทำให้เครื่องขัดชิ้นงานมีเวลาพร้อมใช้งานเพิ่มขึ้นจาก 73.1% เป็น 83.8% หรือมีความสามารถในการผลิตเพิ่มขึ้นจาก 20,655 ชิ้นต่อวันต่อเครื่องเป็น 23,703 ต่อวันต่อเครื่อง แต่ทำให้ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนชิ้นส่วนเพิ่มขึ้นจาก 6,548 เหรียญสหรัฐเป็น 6,816 เหรียญสหรัฐ หรือเพิ่มขึ้น 268 เหรียญสหรัฐต่อเครื่องต่อเดือน คิดเป็นค่าใช้จ่ายทั้งสิ้น 182,499 เหรียญสหรัฐสำหรับความต้องการของลูกค้าในปี 2558 อย่างไรก็ตามจากแผนการปรับปรุงนี้ทำให้สามารถลดจำนวนความต้องการในการสั่งซื้อเครื่องจักรได้จำนวน 9 เครื่อง คิดเป็นจำนวนเงิน 4,320,000 เหรียญสหรัฐ หรือ 1,080,000 เหรียญสหรัฐต่อปี คิดเป็นกำไรสุทธิ 897,501 เหรียญสหรัฐต่อปี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 6.6 เปรียบเทียบเวลาการสูญเสียของเครื่องขัดชิ้นงานก่อนและหลังการปรับปรุง

สาเหตุของการสูญเสียเวลาของเครื่องขัดชิ้นงาน		เวลาที่สูญเสีย (%)		
สาเหตุหลัก	สาเหตุย่อย	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	ผลต่าง
1. เครื่องขัดชิ้นงานทำงานผิดปกติ		9.8	3.4	6.4
2. การรองงานจากเครื่องเชื่อมสาย	2.1 การรองงานจากขั้นตอนการติดชิ้นงานลงบนอุปกรณ์ช่วยจับ	1.3	1.3	0.0
	2.2 การเปลี่ยนระบบสั่งงานตามผลิตภัณฑ์	0.4	0.4	0.0
	2.3 การเตรียมการเชื่อมสาย	1.9	1.9	0.0
	2.4 การซ่อมบำรุงตามแผน	0.3	0.3	0.0
	2.5 เครื่องเชื่อมสายทำงานผิดปกติ	3.1	2.8	0.3
3. การรอซ่อมเครื่องขัดชิ้นงาน		4.7	0.6	4.1
4. การเปลี่ยนแท่นขัดชิ้นงานตามอายุ		4.4	4.4	0.0
5. การเปลี่ยนแท่นขัดชิ้นงานจากการเปลี่ยนผลิตภัณฑ์		0.9	0.9	0.0
6. การซ่อมบำรุงเครื่องจักรตามแผน		0.3	0.3	0.0
7. การทำการทดลองของวิศวกร		0.0	0.0	0.0
<u>รวมทั้งหมด</u>		26.9	16.2	10.7

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 7
ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ

จากความต้องการของเครื่องจักรที่เพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ราคาของเครื่องจักรที่ค่อนข้างสูงและเทคโนโลยีการผลิตที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ดังนั้นการลงทุนซื้อเครื่องจักรใหม่จึงควรได้รับการพิจารณาอย่างถี่ถ้วน งานวิจัยนี้จึงจัดทำขึ้นเพื่อศึกษาการทำงานของเครื่องขัดชิ้นงานซึ่งเป็นเครื่องจักรคอขวดของโรงงานกรณีศึกษา และทำการปรับปรุงเพื่อเพิ่มเวลาพร้อมใช้งานให้กับเครื่องจักรที่มีอยู่ในให้สามารถใช้งานได้เต็มประสิทธิภาพสูงสุด โดยจากข้อมูลพบว่าเครื่องขัดชิ้นงานในปัจจุบันมีเวลาการทำงานเพียง 73.1% ซึ่งเวลาส่วนใหญ่ที่สูญเสียเกิดจากการทำงานที่ผิดปกติของเครื่องจักรเนื่องจากนโยบายการเปลี่ยนชิ้นส่วนหลังเกิดความเสียหาย งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาแผนการเปลี่ยนชิ้นส่วนที่เหมาะสมโดยการสร้างแบบจำลองเพื่อช่วยในการวิเคราะห์และการใช้แนวคิดของลีนในการลดการสูญเสียเวลาจากการรอคอยสรุปเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

7.1 การวิเคราะห์ปัญหา

จากการศึกษาข้อมูลพบว่าเครื่องขัดชิ้นงานมีการสูญเสียเวลาการทำงาน 26.9% โดยส่วนใหญ่มาจากเครื่องขัดชิ้นงานทำงานผิดปกติ 9.8% การรองานจากเครื่องเชื่อมสายซึ่งเป็นเครื่องจักรก่อนหน้า 6.9% และการรอซ่อมเครื่องขัดชิ้นงาน 4.7% โดยเครื่องเชื่อมสายเสียเวลา 3.1% จากการที่เครื่องทำงานผิดปกติเช่นกัน

ชิ้นส่วนที่มีสัดส่วนเวลาที่ทำให้เครื่องขัดชิ้นงานทำงานผิดปกติสูงสุด 5 อันดับแรกคิดเป็นเปอร์เซ็นต์รวม 83.0% ได้แก่ คอนโทรลพาเนล, วอยซ์คอยล์ ฟิงเกอร์, เซนเซอร์, พาวเวอร์ซัพพลายและมอเตอร์ และชิ้นส่วนที่มีสัดส่วนเวลาที่ทำให้เครื่องเชื่อมสายทำงานผิดปกติสูงสุด 2 อันดับแรกคิดเป็นเปอร์เซ็นต์รวม 82.7% ได้แก่ หัวบอนด์และลิ่ม

สำหรับปัญหาการรอซ่อมเครื่องจักรซึ่งเป็นปัญหาการสื่อสารระหว่างพนักงานฝ่ายผลิตและช่างซ่อมบำรุงและปัญหาการจัดการช่างซ่อมบำรุงและชิ้นส่วนไหล่ ซึ่งสามารถแก้ไขโดยการใช้แนวคิดแบบลีน

7.2 การกำหนดแนวทางการแก้ไขปัญหา

เนื่องจากการใช้งานของชิ้นส่วนในเครื่องจักรจนหมดอายุการใช้งานทำให้เครื่องจักรมีระยะเวลาระหว่างการเสียหายลดลง ดังนั้นหากสามารถลดอายุการใช้งานของชิ้นส่วนลงได้ การทำงานที่ผิดปกติของเครื่องจักรก็จะลดลงด้วย แต่อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนชิ้นส่วนเร็วมากขึ้นก็ทำให้ต้องสูญเสียค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนชิ้นส่วนสูงขึ้นเช่นกัน ดังนั้นก่อนการปรับแผนการเปลี่ยนชิ้นส่วนจึงควรมีการพิจารณาถึงผลได้และผลเสียอย่างถี่ถ้วน ซึ่งในการทดลองจริงเพื่อศึกษาแผนการเปลี่ยนชิ้นส่วนที่เหมาะสม ต้องใช้ระยะเวลาค่อนข้างนานและเสียค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเทคนิคการสร้างแบบจำลองมาใช้ในการจำลองผลที่อาจจะเกิดขึ้นจากการปรับแผนการเปลี่ยนชิ้นส่วนแต่ละแผน ซึ่งขั้นตอนในการทดลองมีดังนี้

1) การกำหนดปัจจัยการทดลอง

ชิ้นส่วนที่มีความสำคัญต่อการทำงานของเครื่องขัดชิ้นงาน 5 ชิ้นส่วนได้แก่ คอนโทรลพาเนล วอยซ์คอยล์ฟิงเกอร์ เซนเซอร์ พาวเวเอร์ซัพพลายและมอเตอร์ และชิ้นส่วนที่ทำให้เครื่องเชื่อมสายทำงานผิดปกติ 2 ชิ้นส่วน ได้แก่ หัวบอนด์และตัวถ่วงน้ำหนัก ชิ้นส่วนทั้ง 7 ชิ้นจึงเป็นปัจจัยในการทดลอง โดยเวลาในทำงานผิดปกติของเครื่องขัดชิ้นงานและการรองานจากเรื่องเชื่อมสายจะเป็นผลลัพธ์จากการทดลอง

2) การศึกษาพฤติกรรมความเสียหายของชิ้นส่วน

เนื่องจากการสร้างแบบจำลองเพื่อศึกษาชิ้นส่วนของเครื่องจักรที่มีผลต่อการทำงานของเครื่อง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมการเสียหายของแต่ละชิ้นส่วนและอายุการใช้งานของชิ้นส่วนนั้นๆ โดยจากการศึกษาพบว่าชิ้นส่วนเมื่อถูกใช้งานนานขึ้น ระยะห่างระหว่างการเสียหายของชิ้นส่วนจะมีค่าลดลง

3) การออกแบบการทดลองและการวัดผล

การออกแบบแผนการเปลี่ยนชิ้นส่วนเพื่อทำการทดลองจะแบ่งเป็น 3 ระดับ โดยระดับที่ 1 คือการเปลี่ยนชิ้นส่วนเมื่อหมดอายุการใช้งาน ระดับที่ 2 คือการเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ 75% ของอายุการใช้งาน และระดับที่ 3 คือการเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ 50% ของอายุการใช้งาน ซึ่งจากทฤษฎีการออกแบบการทดลองแบบส่วนประกอบกลางบนปัจจัยการทดลอง 7 อย่าง ทำให้มีแบบการทดลองเกิดขึ้นทั้งสิ้น 88 แบบ ซึ่งเมื่อได้ผลลัพธ์จากการทดลองทั้ง 88 แบบแล้วจะนำไปคำนวณเพื่อหากำไรสุทธิ ซึ่งได้แก่การเปรียบเทียบระหว่างค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อเครื่องจักรที่ลดลงเปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนชิ้นส่วนในเครื่องจักรที่เพิ่มขึ้น

4) การแก้ปัญหาการรอซ่อมเครื่องจักร

จากการวิเคราะห์ด้วยหลักการ 5 Why พบว่าปัญหาการรอซ่อมเครื่องจักรเกิดจากการได้รับการตอบสนองช้าหลังได้รับการแจ้งซ่อม พนักงานซ่อมบำรุงเครื่องขัดชิ้นงานทำงานไม่ทันและปัญหาการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่สำรอง ดังนั้นจึงนำแนวคิดของลีนเข้ามาแก้ไขโดย

- การกำหนดข้อปฏิบัติให้แก่พนักงานซ่อมบำรุงให้มีการตรวจสอบการแจ้งซ่อมตลอดเวลา และการสร้างบอร์ดไคเซนเพื่อการบันทึกข้อมูลการซ่อมสำหรับใช้ในการวิเคราะห์การเสียหายของเครื่องจักร เพื่อดำเนินการแก้ไขเชิงป้องกันต่อไป
- พนักงานซ่อมบำรุงเครื่องขัดชิ้นงานทำงานไม่ทัน แก้ไขโดยการสร้างแผนการฝึกอบรมพนักงานซ่อมบำรุงให้มีทักษะในการซ่อมเครื่องจักร 6 ชนิดขึ้นไปต่อคน และเครื่องจักร 1 ชนิดต้องมีพนักงานซ่อมที่มีความสามารถในการซ่อมเครื่องจักรนั้นๆอย่างน้อย 6 คนต่อ 1 ชนิดเครื่องจักร
- การจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ แก้ไขโดยการระบุชิ้นส่วนที่มีความสำคัญหรือเป็นชิ้นส่วนวิกฤต และให้มีการกำหนดจำนวนชิ้นส่วนอะไหล่ขั้นต่ำและการตรวจสอบสมรรถนะของชิ้นส่วนอยู่เสมอ

7.3 การทดลองและการวิเคราะห์ผล

จากผลการทดลองพบว่า แผนการเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดคือการเปลี่ยนมอเตอร์และหัวบอนด์เมื่อหมดอายุการใช้งาน การเปลี่ยนเซนเซอร์ พาวเวอร์ซัพพลาย วอยซ์คอยล์ ฟิงเกอร์ และลิ่มที่ 75% ของอายุการใช้งาน และการเปลี่ยนคอนโทรลพาเนลที่ 50% ของอายุการใช้งาน ซึ่งแผนการเปลี่ยนชิ้นส่วนแผนนี้รวมกับการแก้ปัญหาการรอซ่อมเครื่องจักรด้วยแนวคิดของลีน ทำให้เวลาพร้อมใช้งานของเครื่องขัดชิ้นงานเพิ่มขึ้นจาก 73.1% เป็น 83.8% และมีความต้องการในการสั่งซื้อเครื่องจักรลดลงดังตารางที่ 7.1 แสดงจำนวนความต้องการเครื่องขัดชิ้นงานก่อนและหลังปรับปรุงสำหรับแผนการผลิตในปี 2558 โดยเครื่องจักรที่ลดลงจำนวน 9 เครื่องทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในการซื้อเครื่องจักรได้จำนวน 4,320,000 เหรียญสหรัฐ หรือคิดเป็น 1,080,000 เหรียญสหรัฐต่อปี แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากมีค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนชิ้นส่วนเพิ่มขึ้นจำนวน 182,499 เหรียญสหรัฐต่อปี ดังนั้นบริษัทได้กำไรสุทธิ 897,501 เหรียญสหรัฐต่อปี

ตารางที่ 7.1 ความต้องการเครื่องขัดชิ้นงานก่อนและหลังการปรับปรุงในปี 2558

ความต้องการเครื่องขัดชิ้นงาน (เครื่อง)	ม.ค. 2558	ก.พ. 2558	มี.ค. 2558	เม.ษ. 2558	พ.ค. 2558	มิ.ย. 2558	ก.ค. 2558	ส.ค. 2558	ก.ย. 2558	ต.ค. 2558	พ.ย. 2558	ธ.ค. 2558
ก่อนการปรับปรุง	55	55	55	61	62	62	66	66	67	70	70	73
หลังการปรับปรุง	53	53	53	53	54	54	57	58	59	61	61	64
เครื่องจักรที่ลดลง	2	2	2	8	8	8	9	8	8	9	9	9

7.4 ข้อจำกัดในงานวิจัย

1) เนื่องจากข้อมูลการทำงานผิดปกติของเครื่องจักรมีค่อนข้างน้อย ทำให้การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของการเสียหายของชิ้นส่วนในเครื่องจักรทำได้ลำบาก
2) งานวิจัยนี้ไม่ได้ศึกษาเกี่ยวกับของเสียที่อาจจะลดลง เนื่องจากการแผนการเปลี่ยนชิ้นส่วนที่เร็วขึ้นจะทำให้เครื่องจักรมีคุณภาพการผลิตที่สูงขึ้น ดังนั้นจึงมีโอกาสที่ของเสียในกระบวนการจะลดลงได้

7.5 ข้อเสนอแนะ

1) เสนอให้บริษัทมีการเก็บข้อมูลการทำงานของเครื่องจักรในระยะเวลาที่นานมากขึ้น
2) สามารถนำวิธีการนี้ไปประยุกต์ใช้กับเครื่องจักรอื่นๆได้ แต่เนื่องจากชิ้นส่วนในเครื่องจักรแต่ละเครื่องมีความแตกต่างกัน ดังนั้นจึงต้องศึกษาลักษณะการเสียหายของชิ้นส่วนนั้นๆเพิ่มเติม
3) สามารถทำการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับของเสียในกระบวนจากแต่ละแผนการเปลี่ยนชิ้นส่วน จะทำให้การศึกษาครอบคลุมมากยิ่งขึ้น
4) งานวิจัยนี้เป็นการสร้างแผนการเปลี่ยนชิ้นส่วนที่เหมาะสมโดยการแสดงให้เห็นถึงข้อดีและข้อเสียของการเปลี่ยนชิ้นส่วนที่เร็วขึ้น อย่างไรก็ตามการตัดสินใจเลือกแผนการเปลี่ยนชิ้นส่วนใดๆ จำเป็นจะต้องนำเสนอถึงผู้บริหารระดับสูงต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

Al-Kahtan, M., M. Safitra, A. Ahmad, and A. Al-Ahmari. "Cost-Benefit Analysis of Flexible Manufacturing Systems." *In proceedings of international conference on industrial Engineering and Operations Management* (2014).

Benmansour, R., H. Allaoui, A. Artiba, S. Iassinovski, and R. Pellerin. "Simulation-Based Approach to Joint Production and Preventive Maintenance Scheduling on a Failure-Prone Machine." *Journal of quality in maintenance engineering* 17 (2011): 254-67.

Chiu, Y.P., H.D. Lin, and H.H. Chang. "Mathematical Modeling for Solving Manufacturing Run Time Problem with Defective Rate and Random Machine Breakdown." *Computers & industrial engineering* 60, no. 576–584 (2011).

Folwer, J.W. , G.L. Hogg, and S.J. Mason. "Workload Control in the Semiconductor Industry." *Production Planning & Control* 13 (2002): 568–78.

Harrath, Y., J. Kaabi, and M.B. Ali. "Multiobjective Genetic Algorithm-Based Method for Job Shop Scheduling Problem." *4th Conference on data mining and optimization (DMO)* (2012).

Hsu, C.J., C. Low, and C.T. Su. "Single-Machine Scheduling Problem with an Availability Constraint under Simple Linear Deterioration." *Journal of the chinese institute of industrial engineers* 27 (2010): 189–98.

———. "A Single-Machine Scheduling Problem with Maintenance Activities to Minimize Makespan." *Applied mathematics and computation* 215 (2010): 3929–35.

Huangy, S.H. , J.P. Dismukes, J. Shiy, Q. Suz, M.A. Razzak, R. Bodhale, and D.E. Robinsonk. "Manufacturing Productivity Improvement Using Effectiveness Metrics and Simulation Analysis." *Taylor & Francis Online International Journal of Production Research* (2003): 513-27.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Kacem, I., C. Chu, and A. Souissi. "Single-Machine Scheduling with an Availability Constraint to Minimize the Weighted Sum of the Completion Times." *Computers & operations Research* 35 (2008): 827 – 44.

Khanh Nguyen, T.P., T.G. Yeung, and B. Castanier. "Optimal Maintenance and Replacement Decisions under Technological Change with Consideration of Spare Parts Inventories." *International journal production economics* 143 (2013): 472–77.

Leachman, R.C., J. Kang, and V. Lin. "Slim: Short Cycle Time and Low Inventory in Manufacturing at Samsung Electronics." *Interfaces* 32 (2002): 61–77.

Li, J., Z. Mourelatos, and A. Singh. "Optimal Preventive Maintenance Schedule Based on Lifecycle Cost and Time-Dependent Reliability." *SAE International journal mater manufacturing* (2012): 87-95.

Low, C., M. Ji, C.J. Hsu, and C.T. Su. "Minimizing the Makespan in a Single Machine Scheduling Problems with Flexible and Periodic Maintenance." *Applied mathematical modelling* 34 (2010): 334–42.

Matsuo, H., K. Miyashita, and T. Okazaki. "Simulation-Based Advance Wip Management and Control in Semiconductor Manufacturing." *In proceedings of the winter simulation conference* (2004): 1943–50.

Pan, E., W. Liao, and L. Xi. "A Single Machine-Based Scheduling Optimisation Model Integrated with Preventive Maintenance Policy for Maximising the Availability." *International journal industrial and systems engineering* 10 (2012).

Ramırez-Hernandez, J.A., J. Crabtree, X. Yao, E. Fernandez, M.C. Fu, M. Janakiram, S.I. Marcus, M. O'Connor, and N. Patel. "Optimal Preventive Maintenance Scheduling in Semiconductor Manufacturing Systems: Software Tool and Simulation Case Ttudies." *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing* 23 (2010).

Roux, O., D. Duvivier, G. Quesnel, and E. Ramat. "Optimization of Preventive Maintenance through a Combined Maintenance-Production Simulation Model." *International journal production economics* 143 (2013): 3–12.

Tasi, Y.T., K.S. Wang, and H.Y. Teng. "Optimizing Preventive Maintenance for Mechanical Components Using Genetic Algorithms." *Reliability engineering and system safety* 74 (2001): 89-97.

Widyadana, G.A. , and H.M. Wee. "Optimal Deteriorating Items Production Inventory Models with Random Machine Breakdown and Stochastic Repair Time." *Applied mathematical modelling* 35 (2011): 3495–508.

Yu, X., Y. Zhang, and G. Steiner. "Single-Machine Scheduling with Periodic Maintenance to Minimize Makespan Revisited." *Journal schedule* 17 (2014): 263–70.

ชุติมา, ปารเมศ. "การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม." กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2545).

ในพระบรมราชูปถัมภ์, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย. "การบำรุงรักษา." [ออนไลน์]แหล่งที่มา: *http://www.eit.or.th/dmdocuments/plan/plan2.pdf* (2543).

ประจวบ กล่อมจิต, and กัญจนา ทองสนิท. "การจำลองสถานการณ์เบื้องต้น." กรุงเทพฯ : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (2554).

พรศิริรุ่ง, ชาญชัญ. "Practical Oee: Overall Equipment Effectiveness." กรุงเทพฯ : สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ (2549): 30-34.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

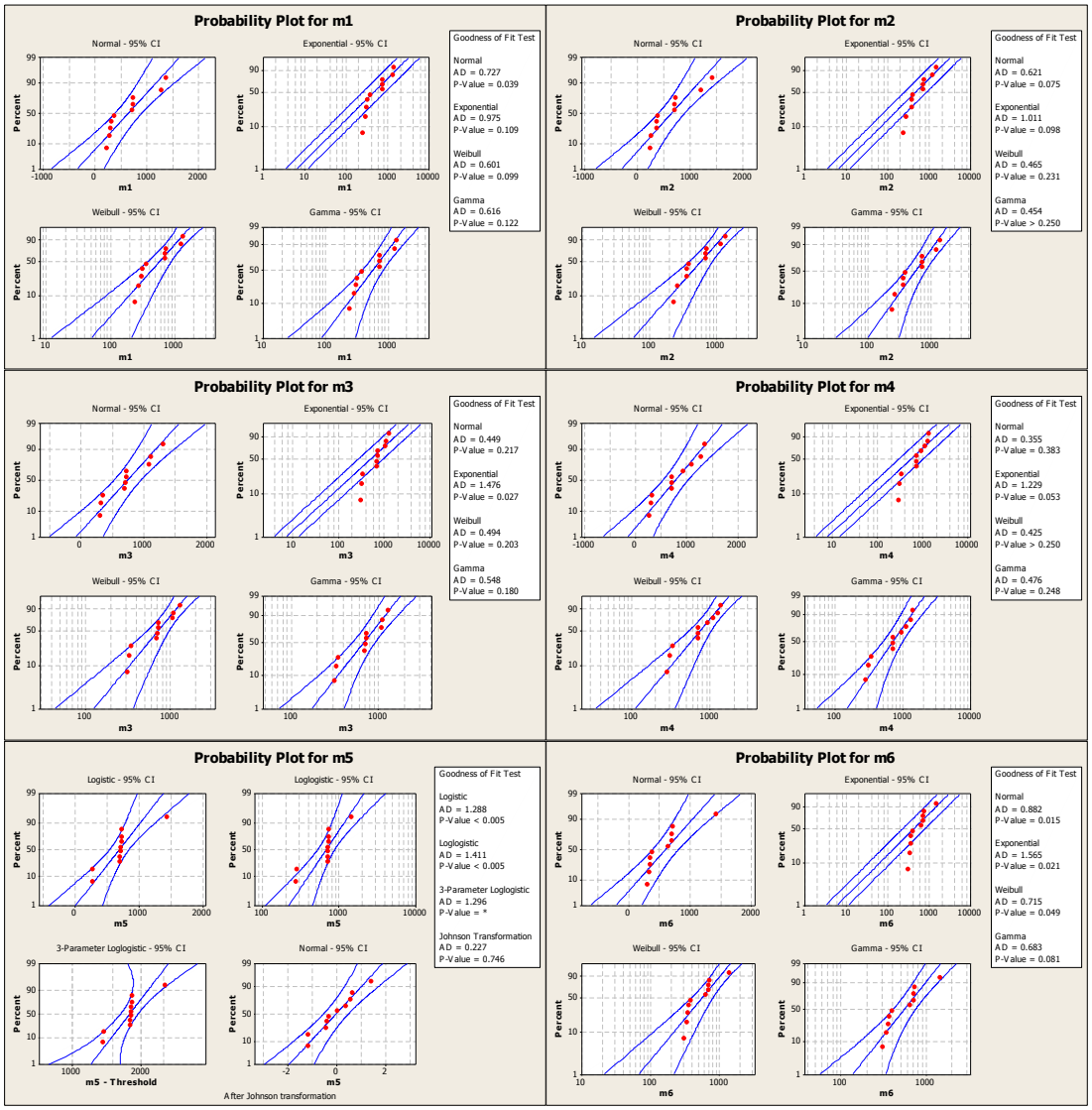
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก
การแจงแจงของข้อมูลระยะเวลาระหว่างการเสียหายของชิ้นส่วน

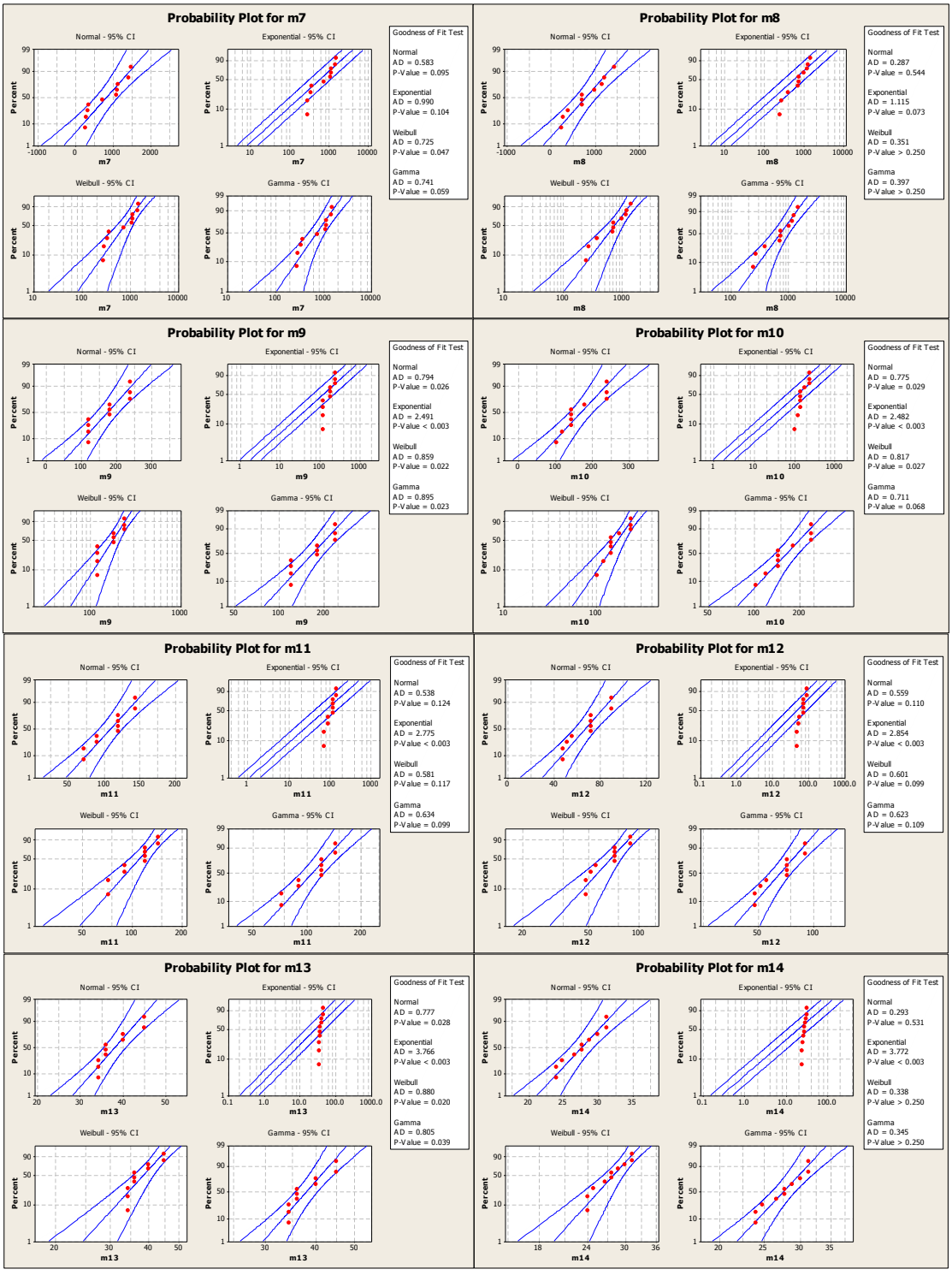
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การแจกแจงระยะเวลาระหว่างการเสียหายของชิ้นส่วน

1. เซนเซอร์

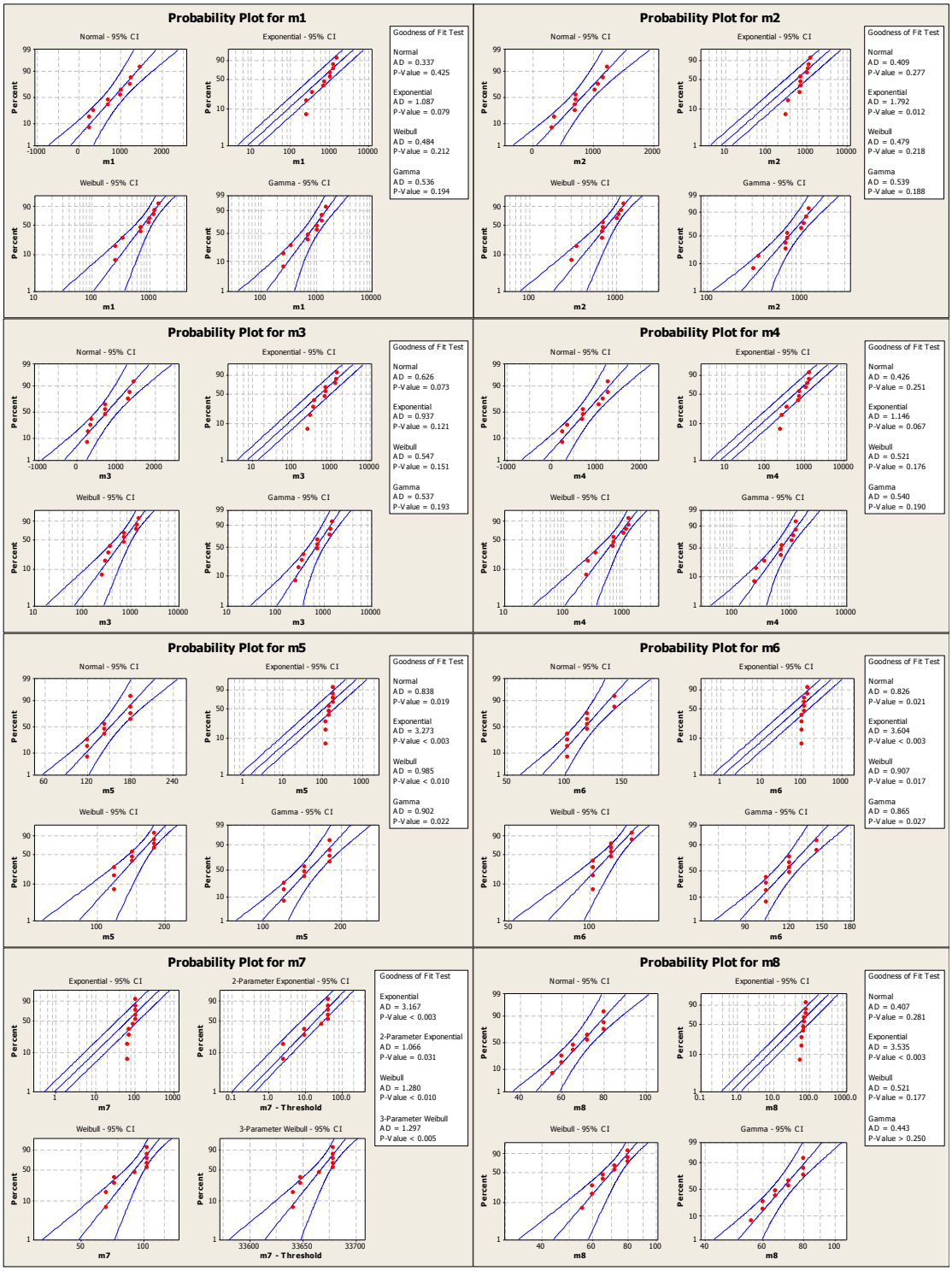


รูปที่ ก.1 การแจกแจงของระยะเวลาระหว่างการเสียหายของเซนเซอร์ในแต่ละเดือน



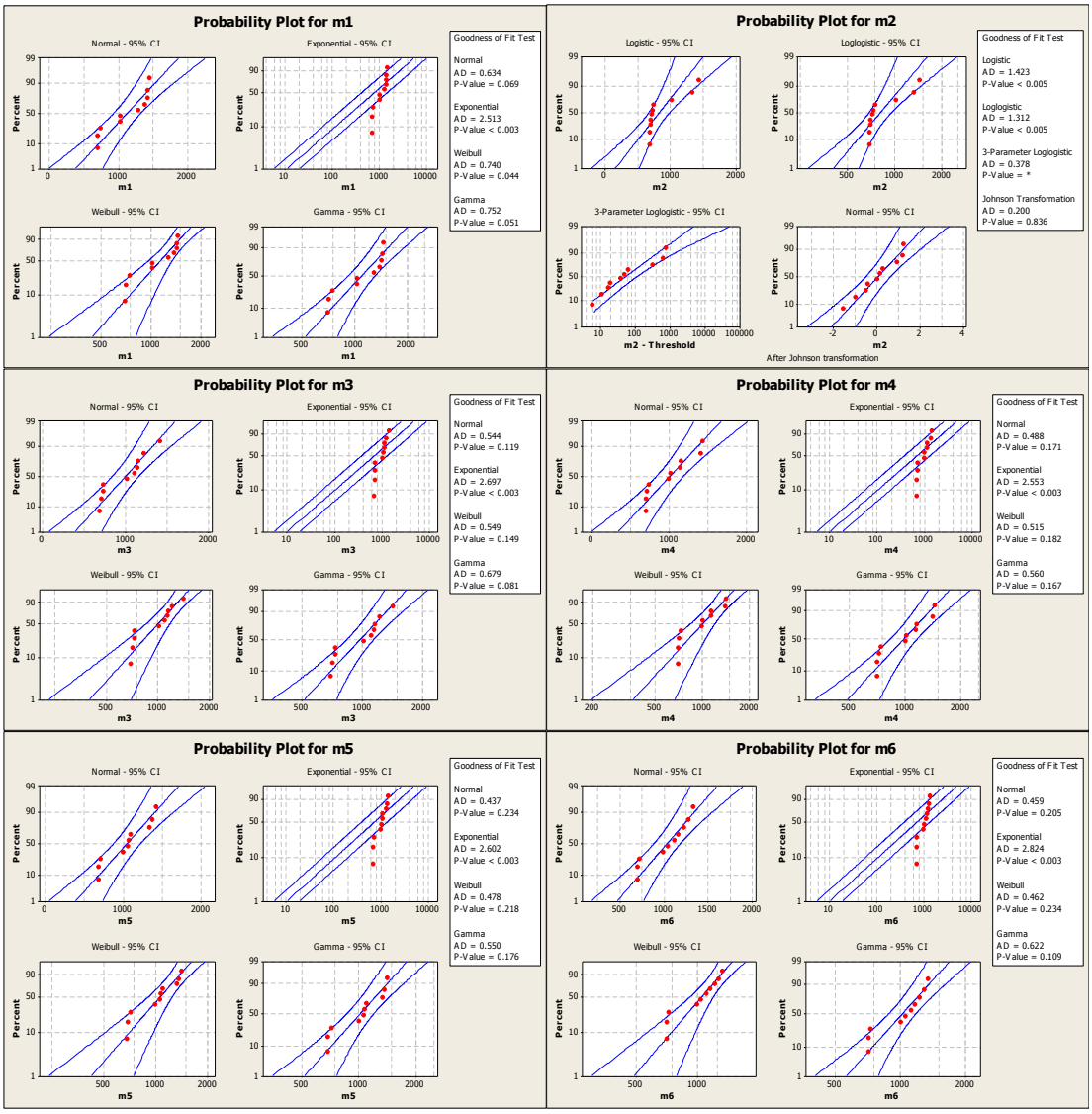
รูปที่ ก.1 การแจกแจงของระยะเวลาระหว่างการเสียหายของเซนเซอร์ในแต่ละเดือน (ต่อ)

2. มอเตอร์

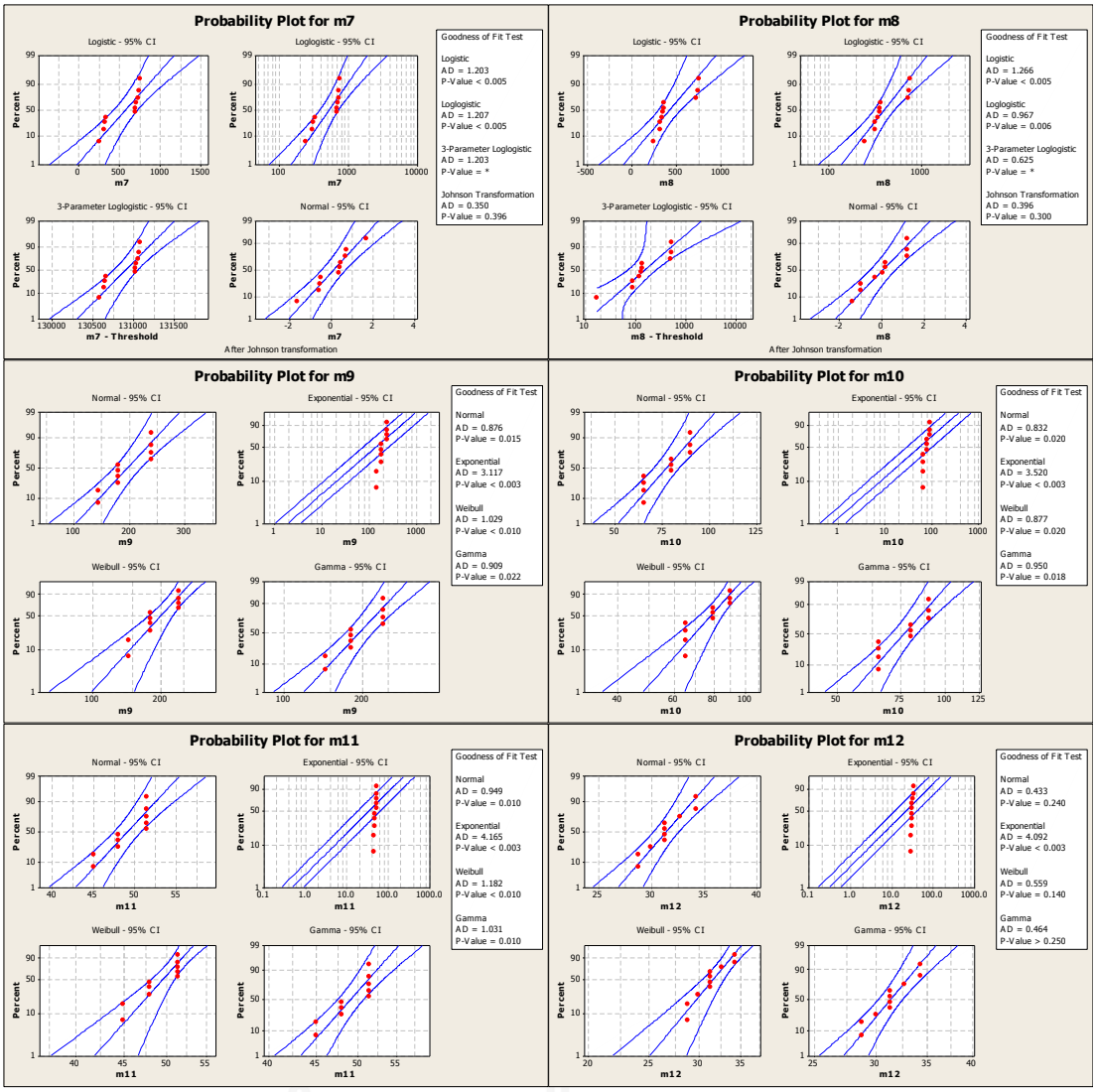


รูปที่ ก.2 การแจกแจงของระยะเวลาระหว่างการเสียหายของมอเตอร์ในแต่ละเดือน

3. พาวเวอร์ซัพพลาย



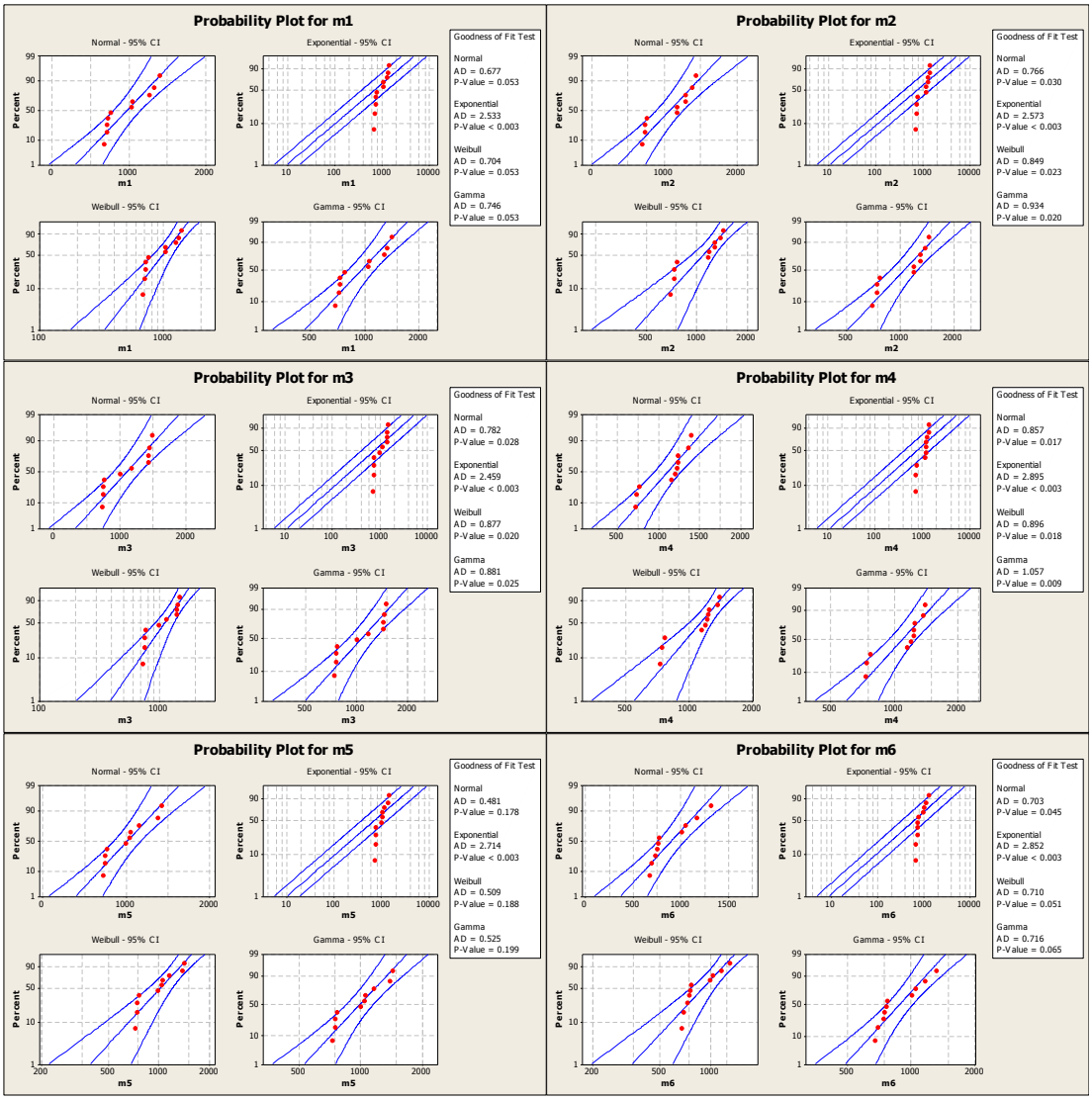
รูปที่ ก.3 การแจกแจงของระยะเวลาระหว่างการเสียหายของพาวเวอร์ซัพพลายในแต่ละเดือน



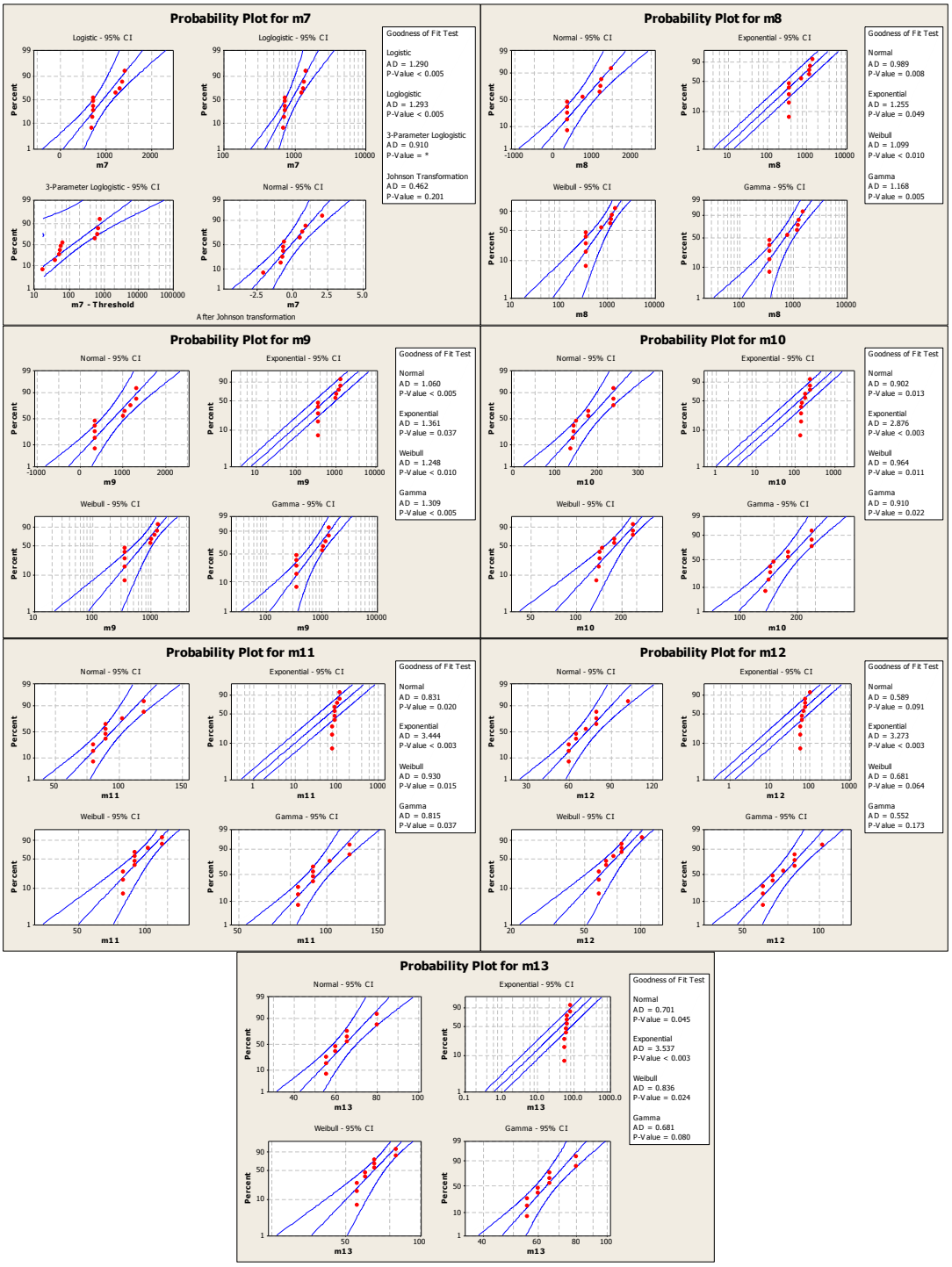
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ ก.3 การแจกแจงของระยะเวลาระหว่างการเสียหายของพาวเวอร์ซัพพลายในแต่ละเดือน (ต่อ)

4. วอยซ์คอยล์ฟิงเกอร์

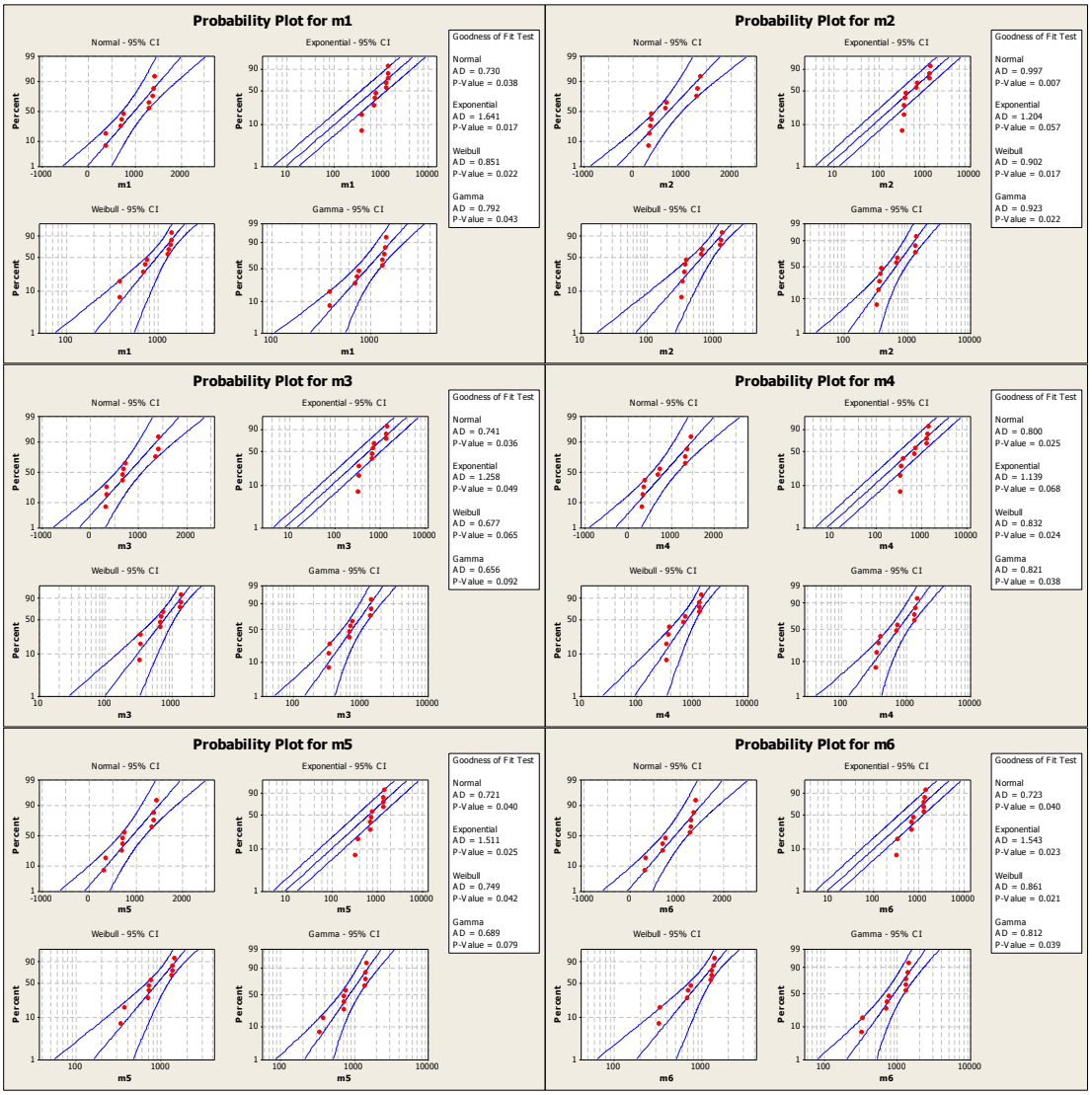


รูปที่ ก.4 การแจกแจงของระยะเวลาระหว่างการเสียหายของวอยซ์คอยล์ฟิงเกอร์ในแต่ละเดือน

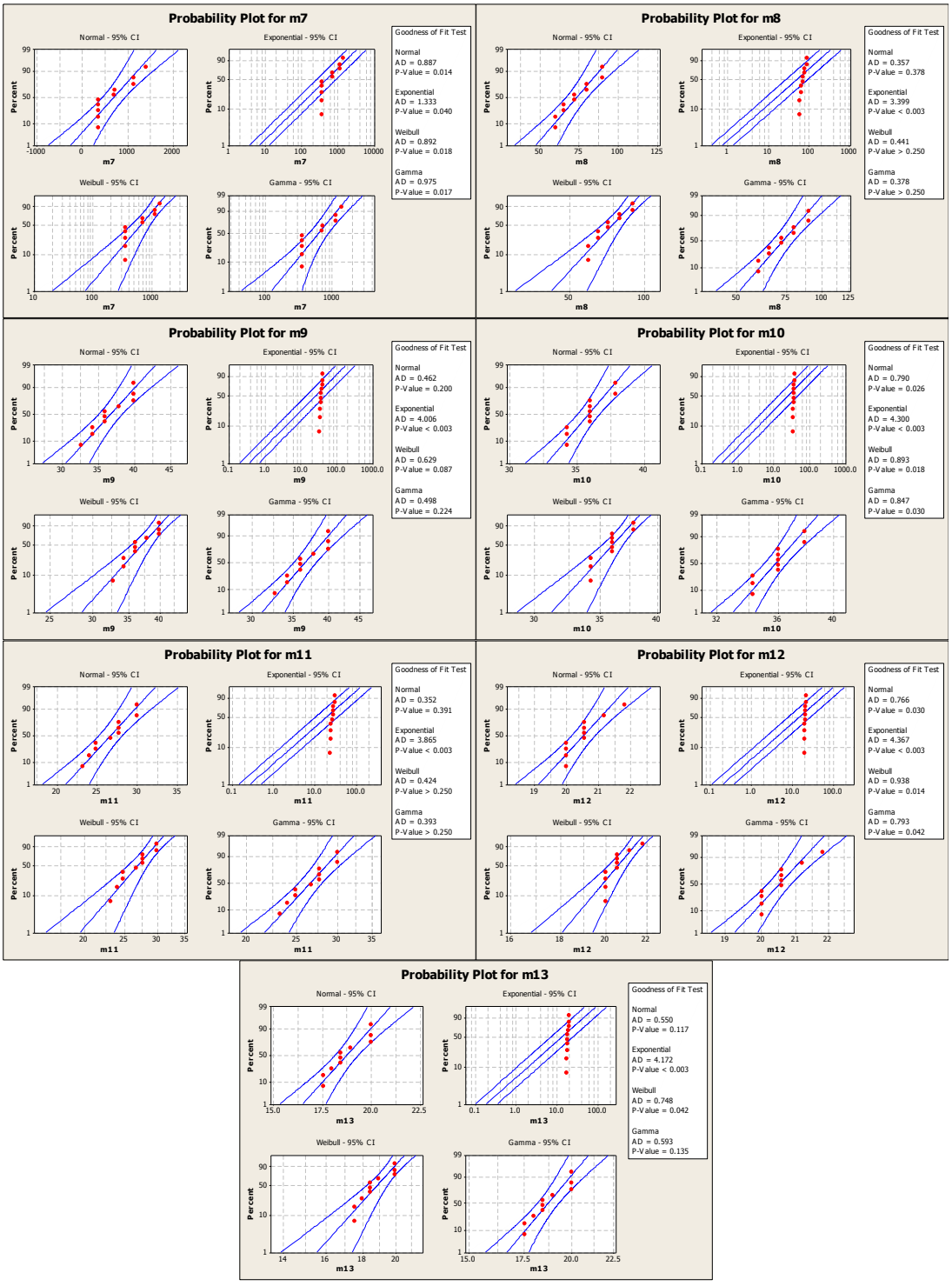


รูปที่ ก.4 การแจกแจงของระยะเวลาระหว่างการเสียหายของวอยซ์คอยล์ฟิงเกอร์ในแต่ละเดือน (ต่อ)

5. คอนโทรลพาเนล

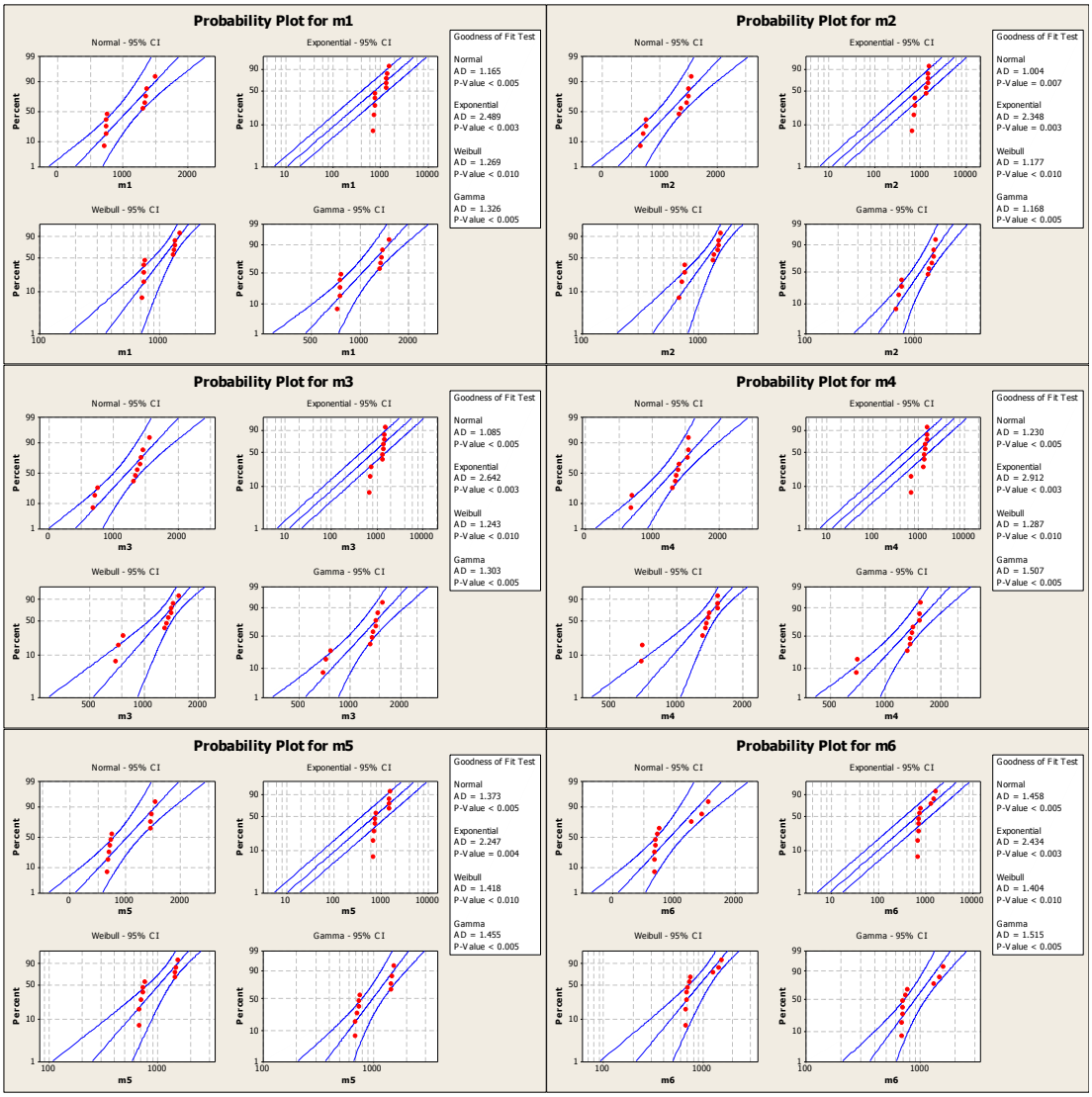


รูปที่ ก.5 การแจกแจงของระยะเวลาระหว่างการเสียหายของคอนโทรลพาเนลในแต่ละเดือน

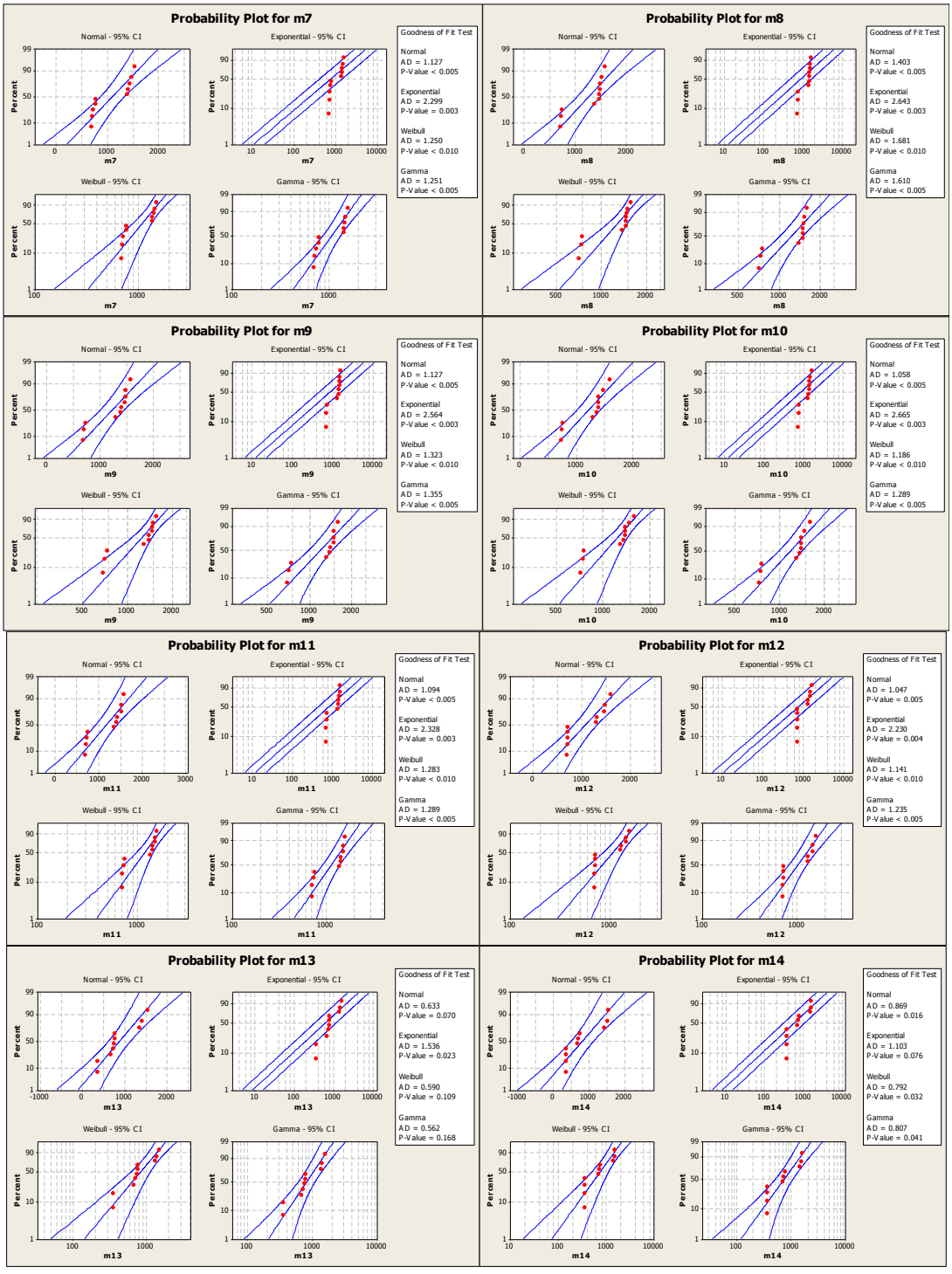


รูปที่ ก.5 การแจกแจงของระยะเวลาระหว่างการเสียหายของคอนโทรลพาเนลในแต่ละเดือน (ต่อ)

6. แขนจับ

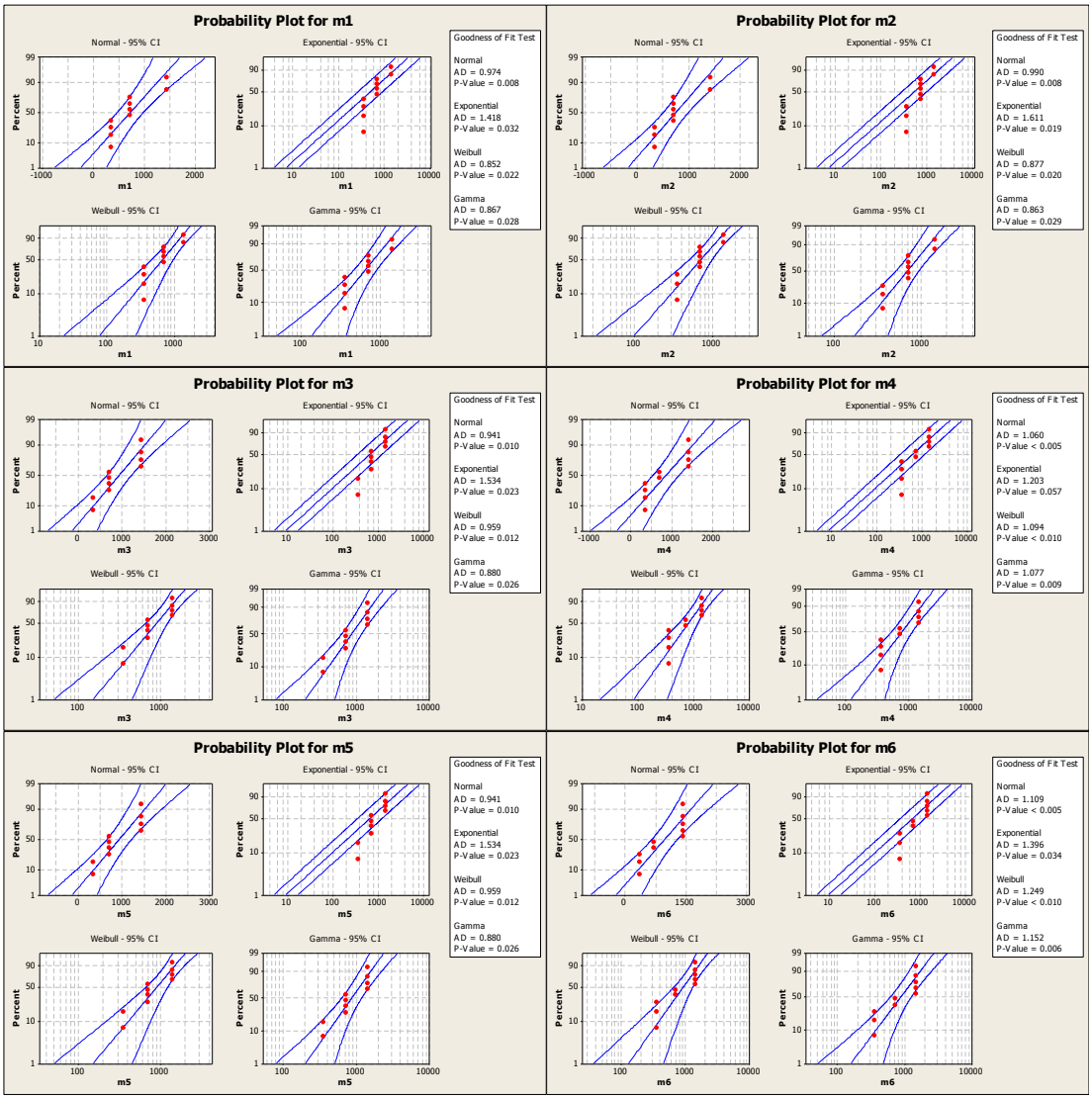


รูปที่ ก.6 การแจกแจงของระยะเวลาระหว่างการเสียหายของแขนจับในแต่ละเดือน



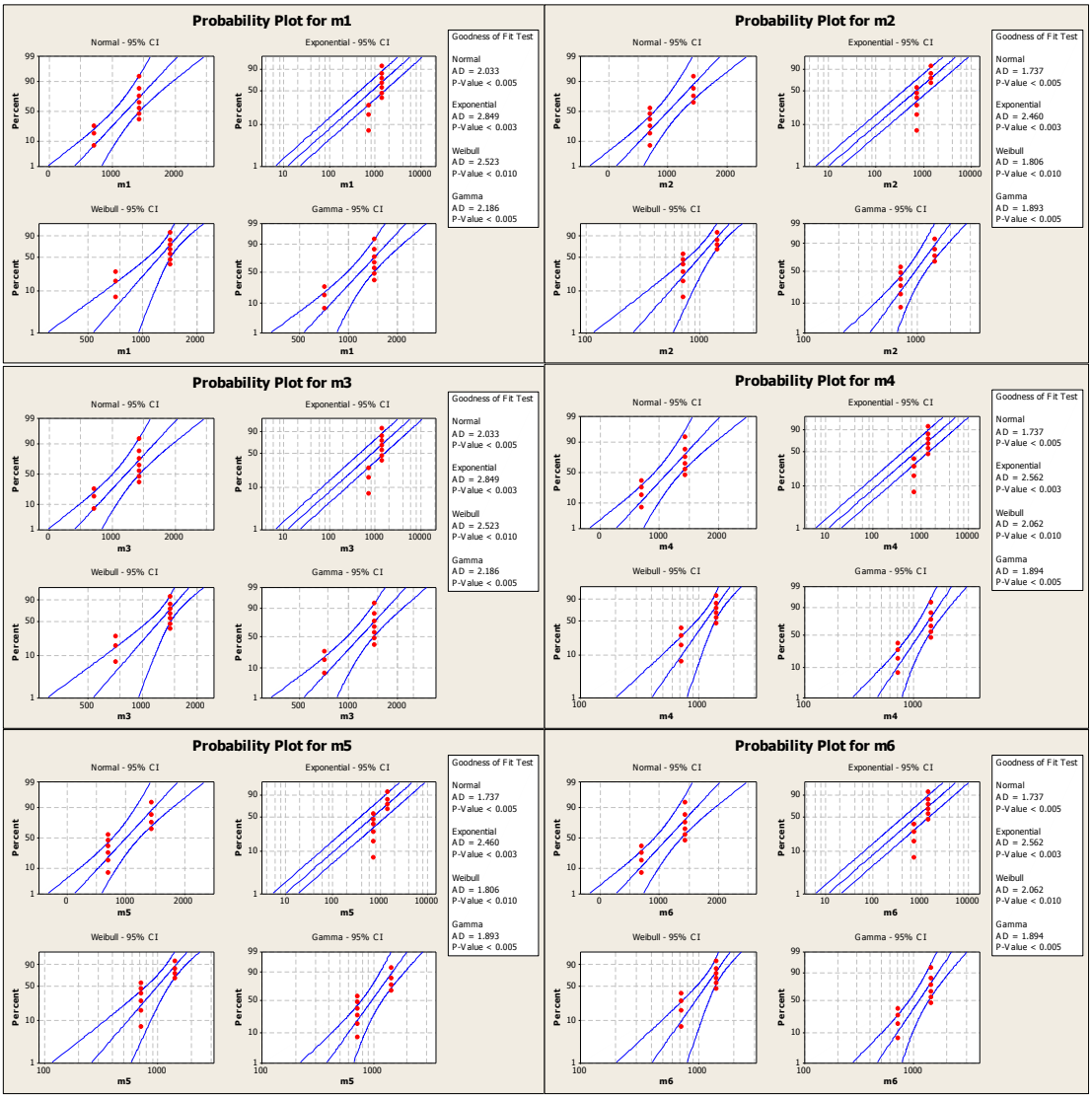
รูปที่ ก.6 การแจกแจงของระยะเวลาระหว่างการเสียหายของแขนจับในแต่ละเดือน (ต่อ)

7. โพโกพิน

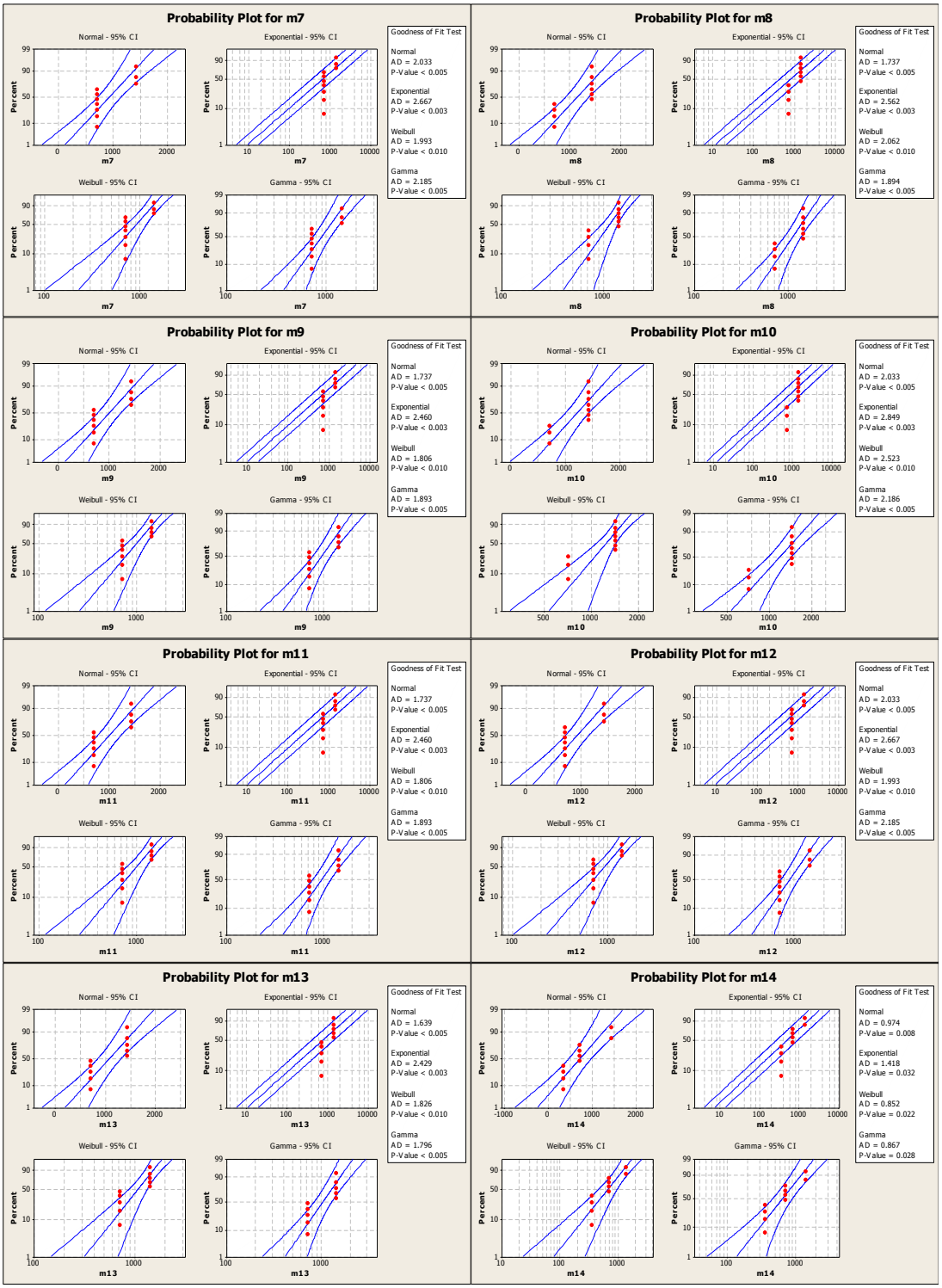


รูปที่ ก.7 การแจกแจงของระยะเวลาระหว่างการเสียหายของโพโกพินในแต่ละเดือน

8. สแกนเนอร์จัดเรียง

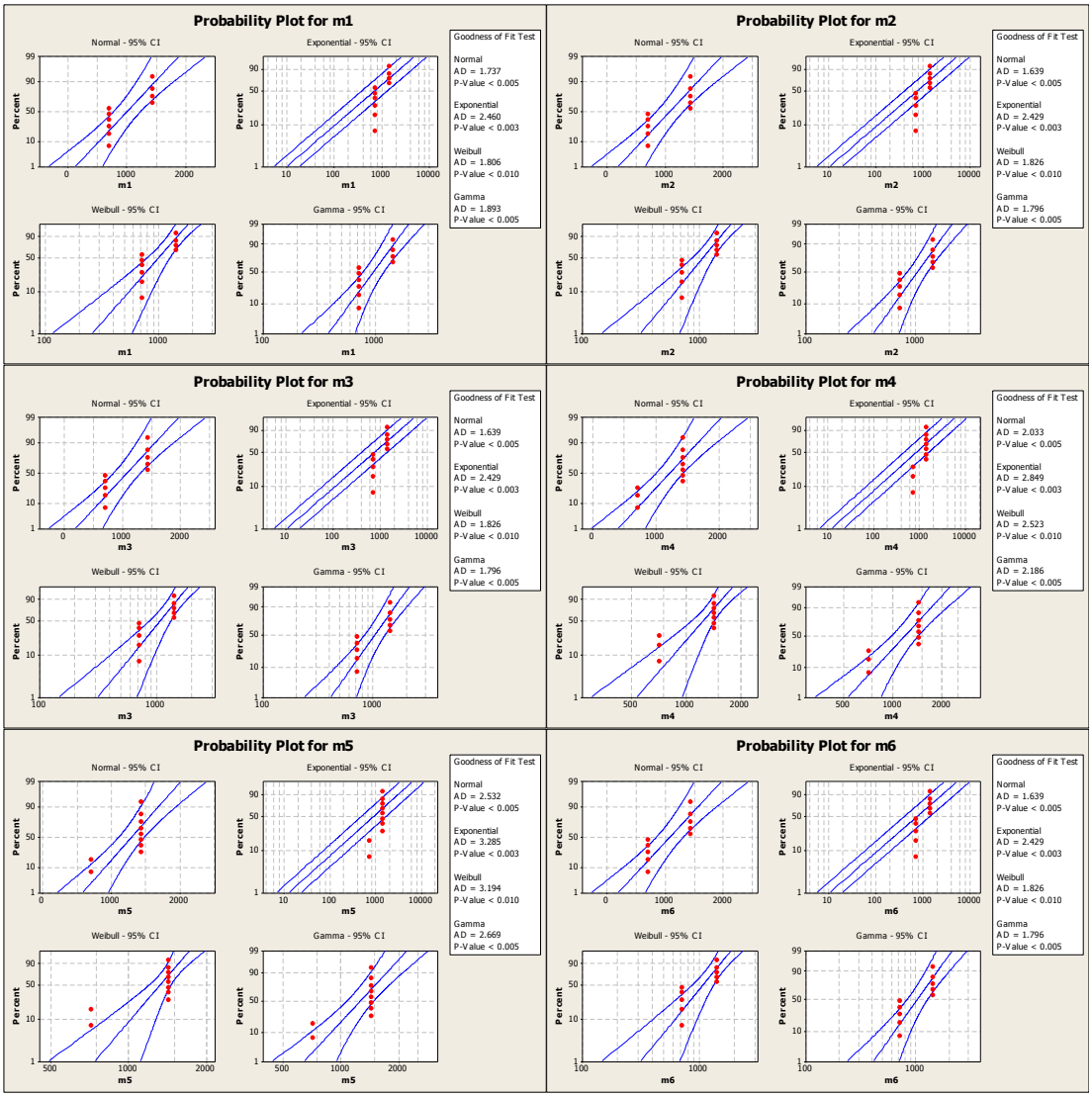


รูปที่ ก.8 การแจกแจงของระยะเวลาระหว่างการเสียหายของสแกนเนอร์จัดเรียงในแต่ละเดือน

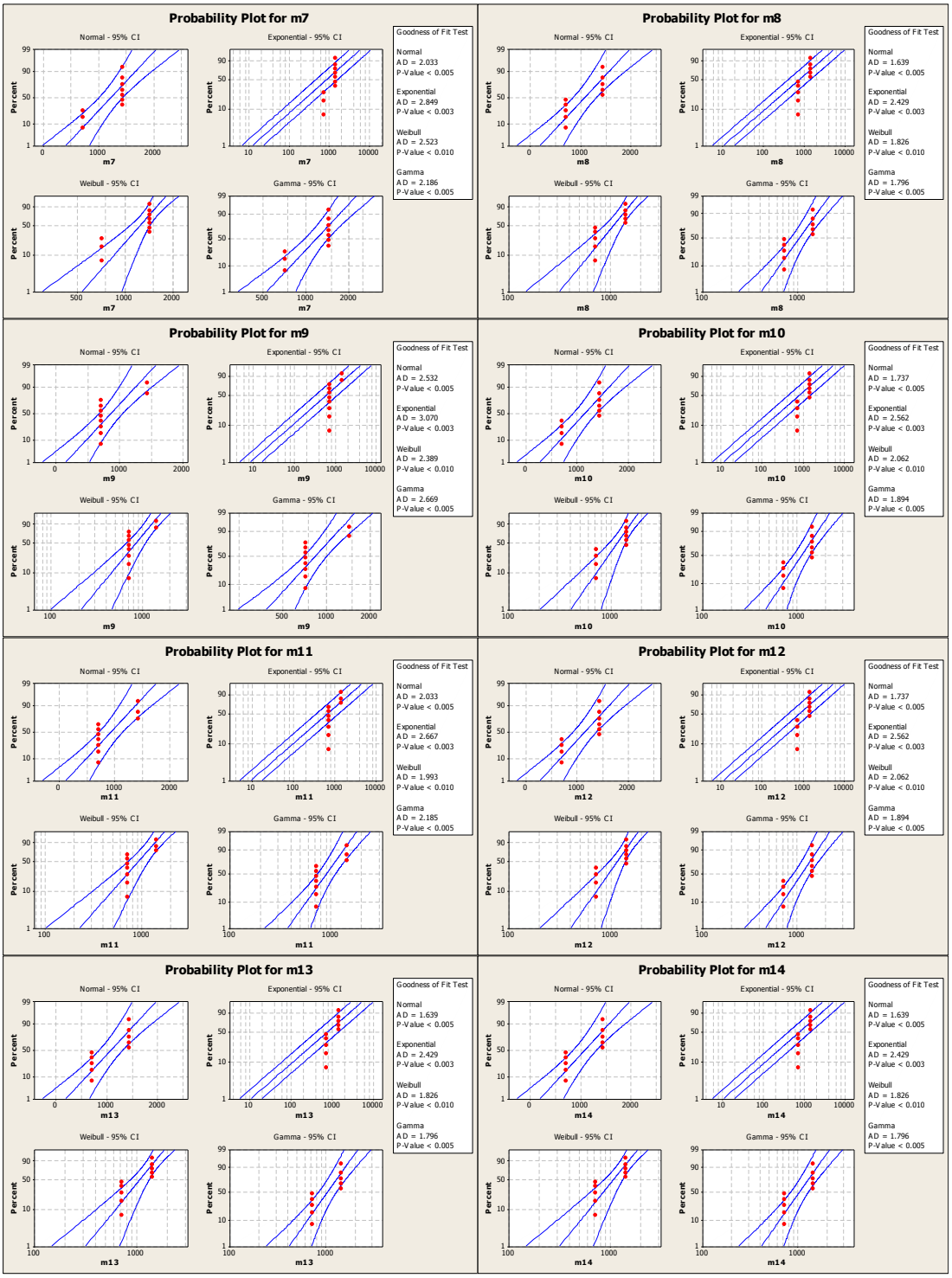


รูปที่ ก.8 การแจกแจงของระยะเวลาระหว่างการเสียหายของสแกนเนอร์จัดเรียงในแต่ละเดือน (ต่อ)

9. คอมพิวเตอร์

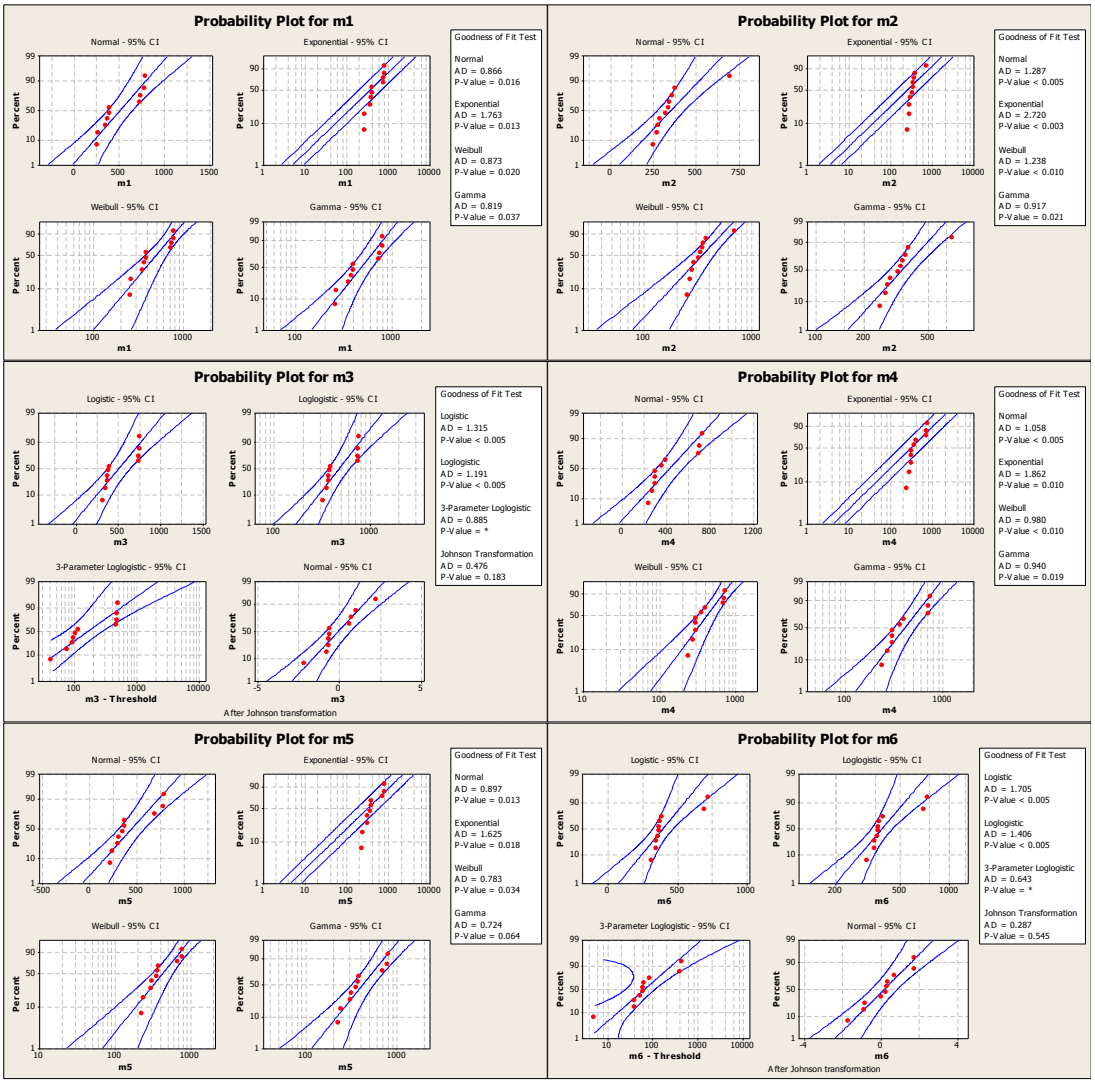


รูปที่ ก.9 การแจกแจงของระยะเวลาระหว่างการเสียหายของคอมพิวเตอร์ในแต่ละเดือน

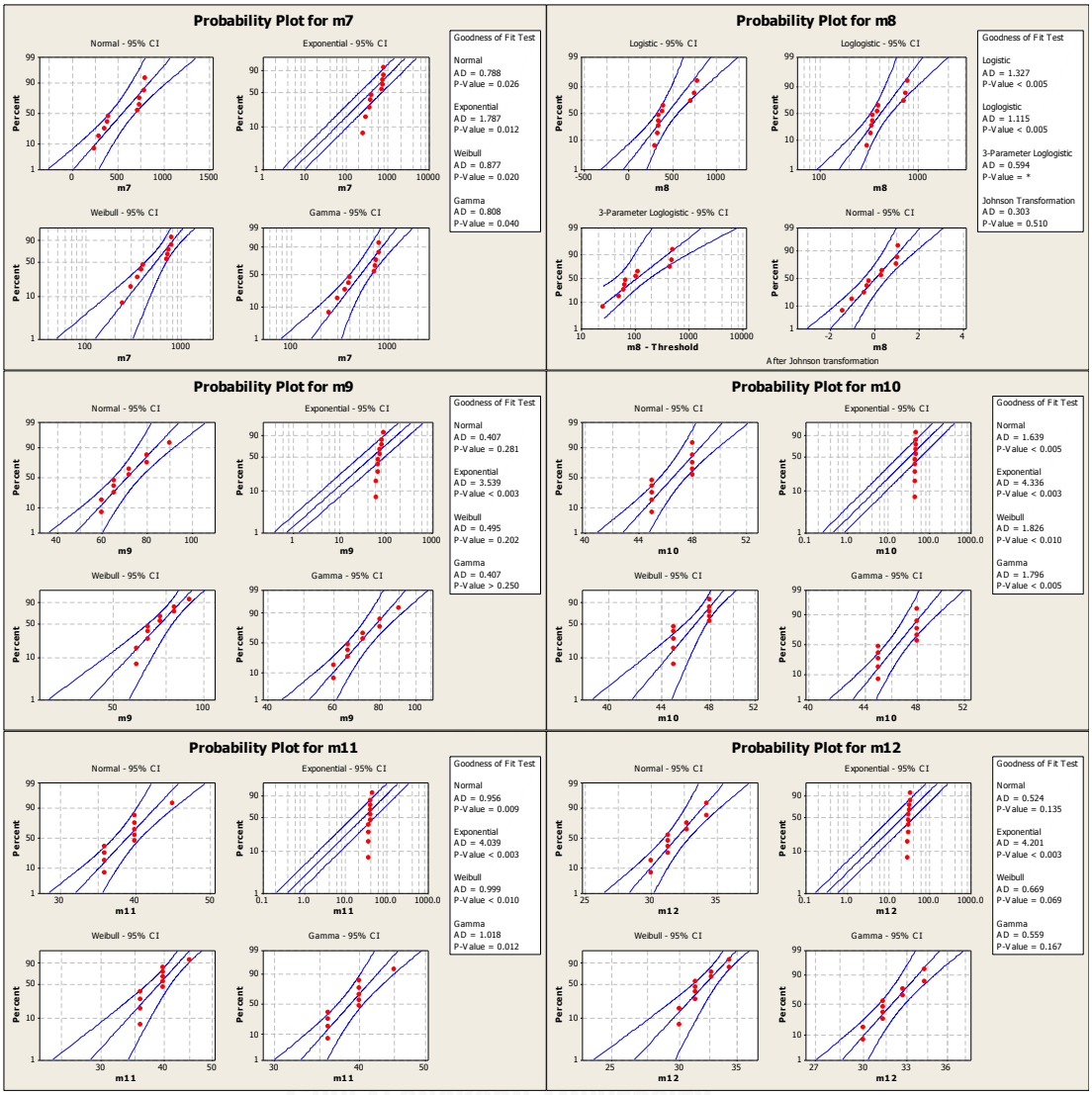


รูปที่ ก.9 การแจกแจงของระยะเวลาระหว่างการเสียหายของคอมพิวเตอร์ในแต่ละเดือน (ต่อ)

10. หัวบอนด์

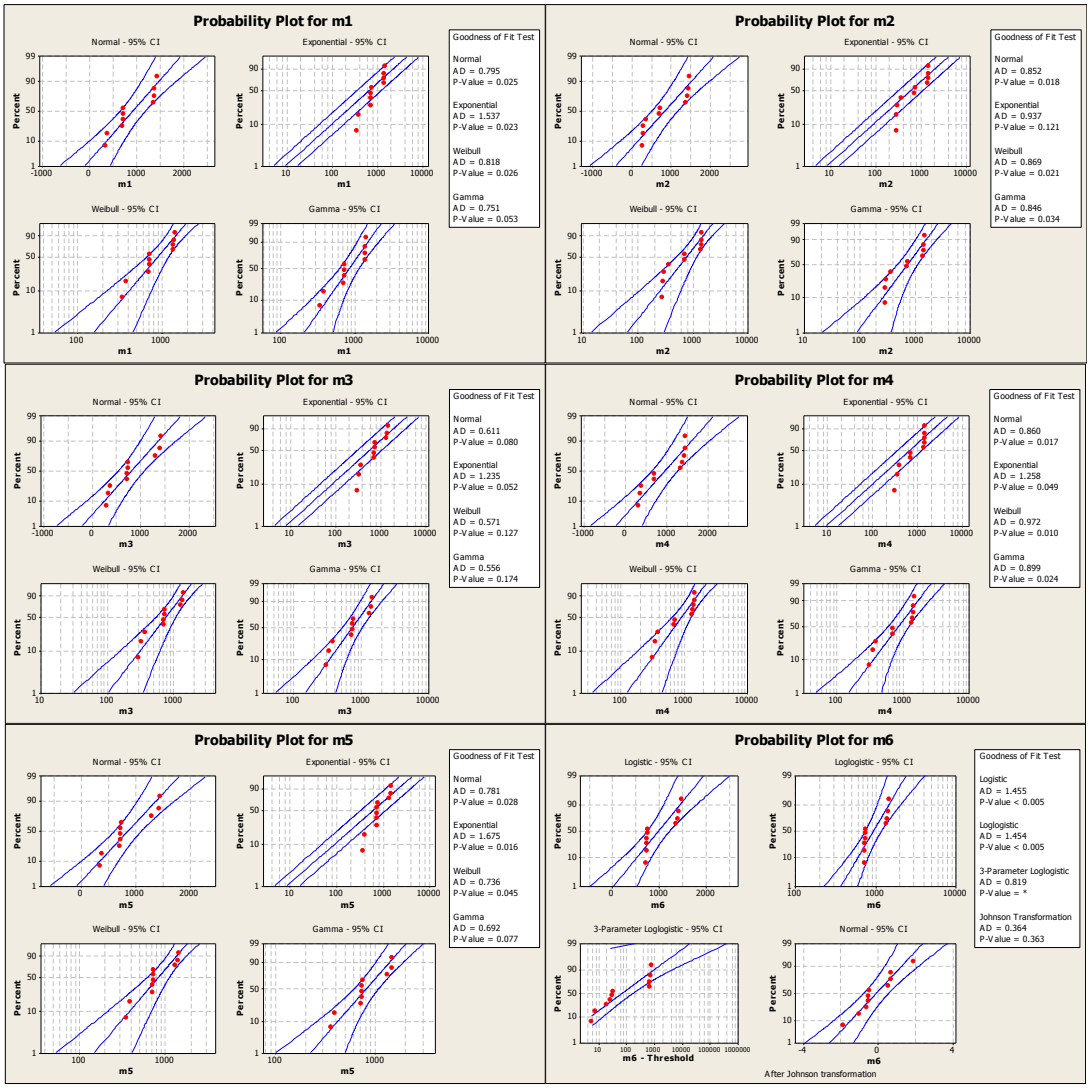


รูปที่ ก.10 การแจกแจงของระยะเวลาระหว่างการเสียหายของหัวบอนด์ในแต่ละเดือน

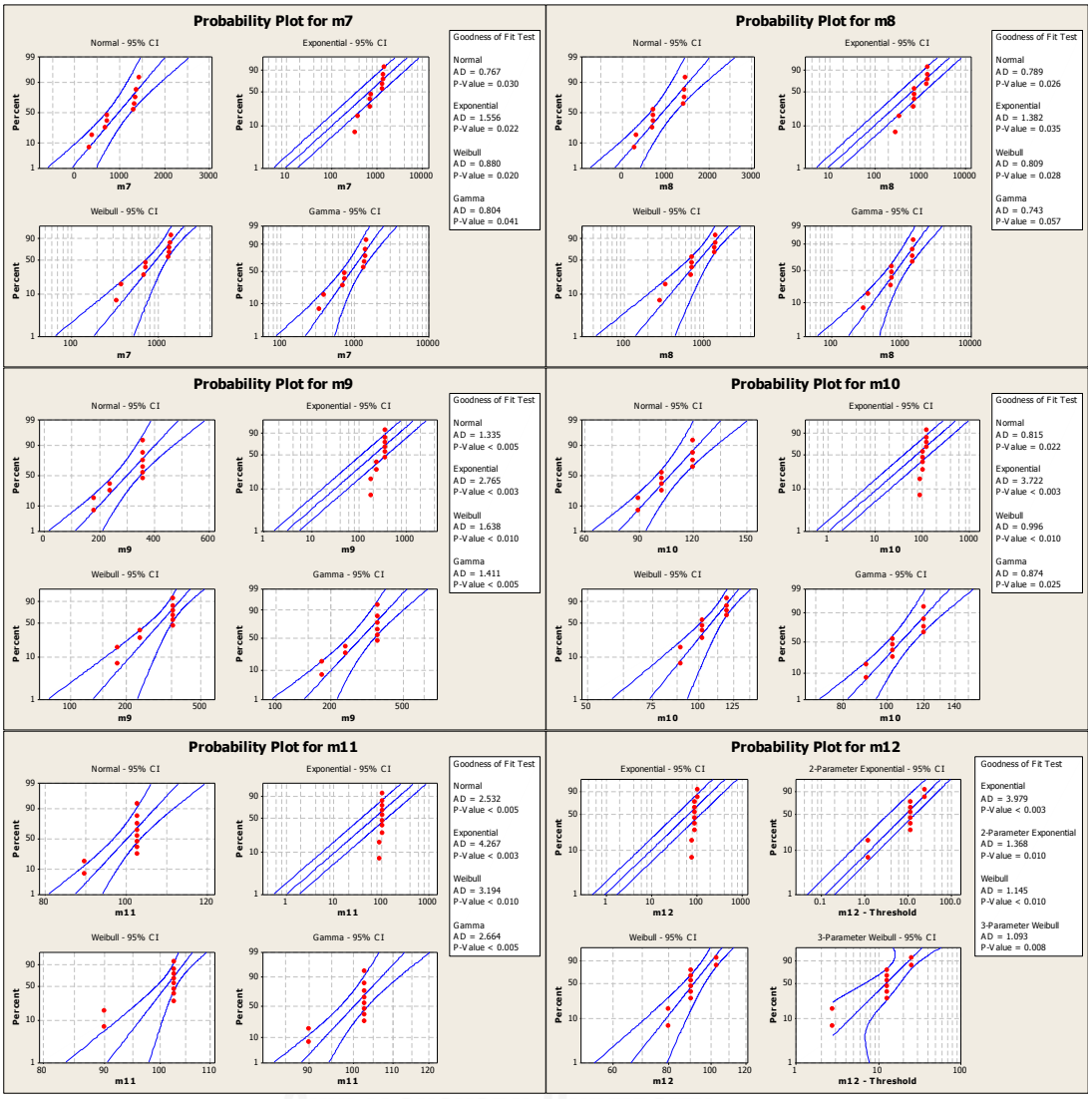


รูปที่ ก.10 การแจกแจงของระยะเวลาระหว่างการเสียหายของหัวบอนด์ในแต่ละเดือน (ต่อ)

11. ลิ่ม



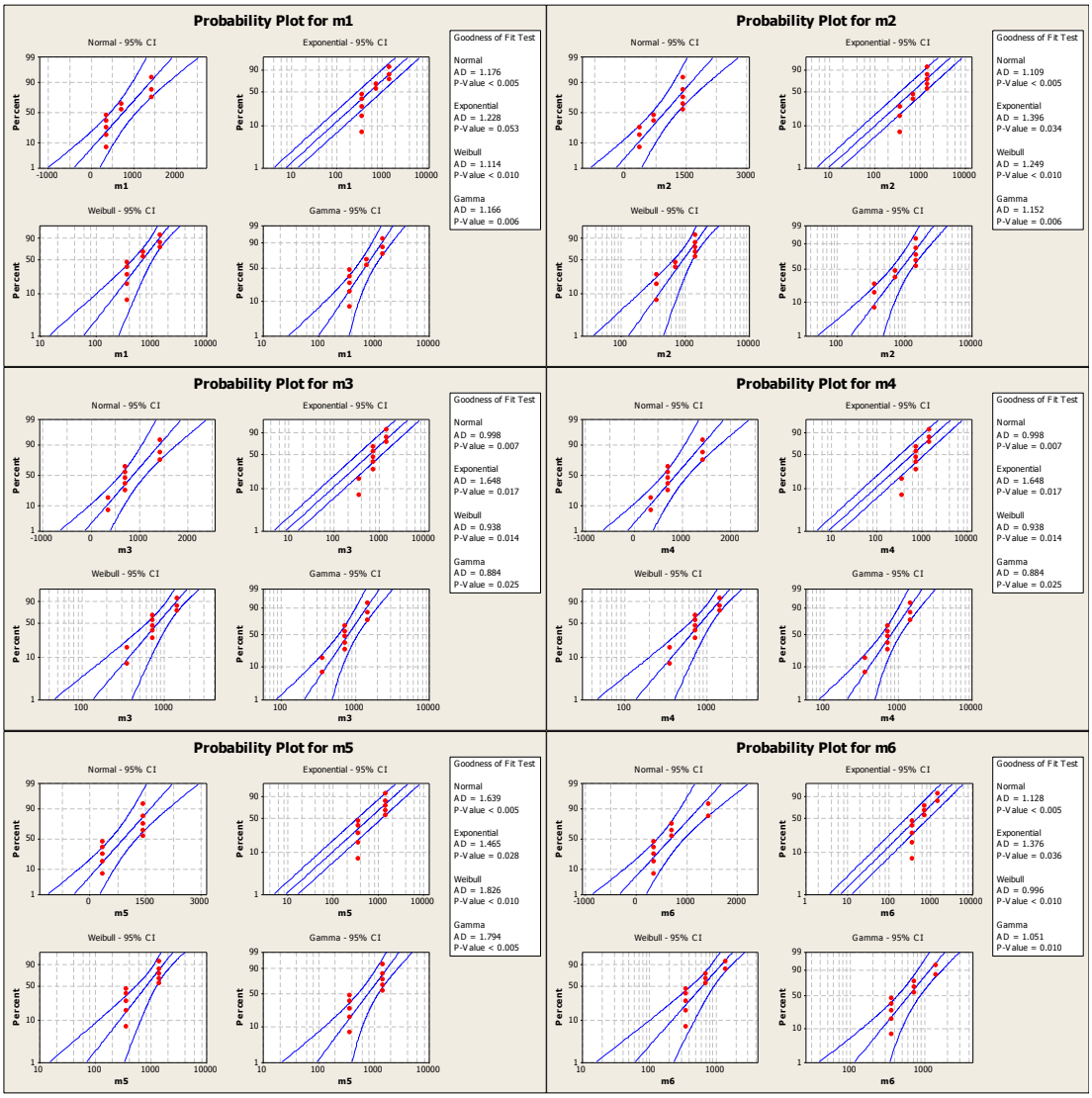
รูปที่ ก.11 การแจกแจงของระยะเวลาระหว่างการเสียหายของลิ่มในแต่ละเดือน



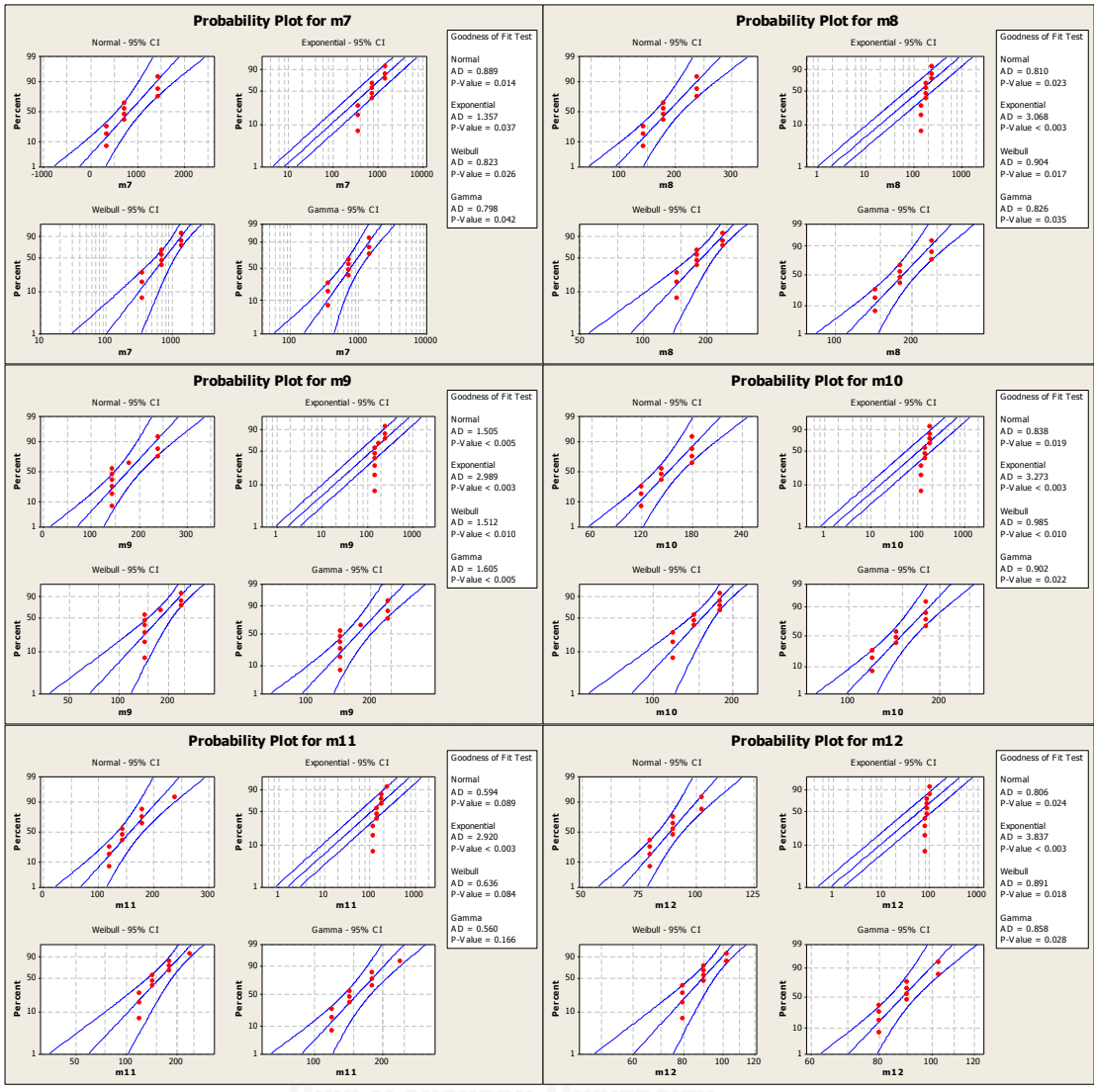
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ ก.11 การแจกแจงของระยะเวลาระหว่างการเสียหายของลิ่มในแต่ละเดือน (ต่อ)

12. เซนเซอร์จัดเรียง



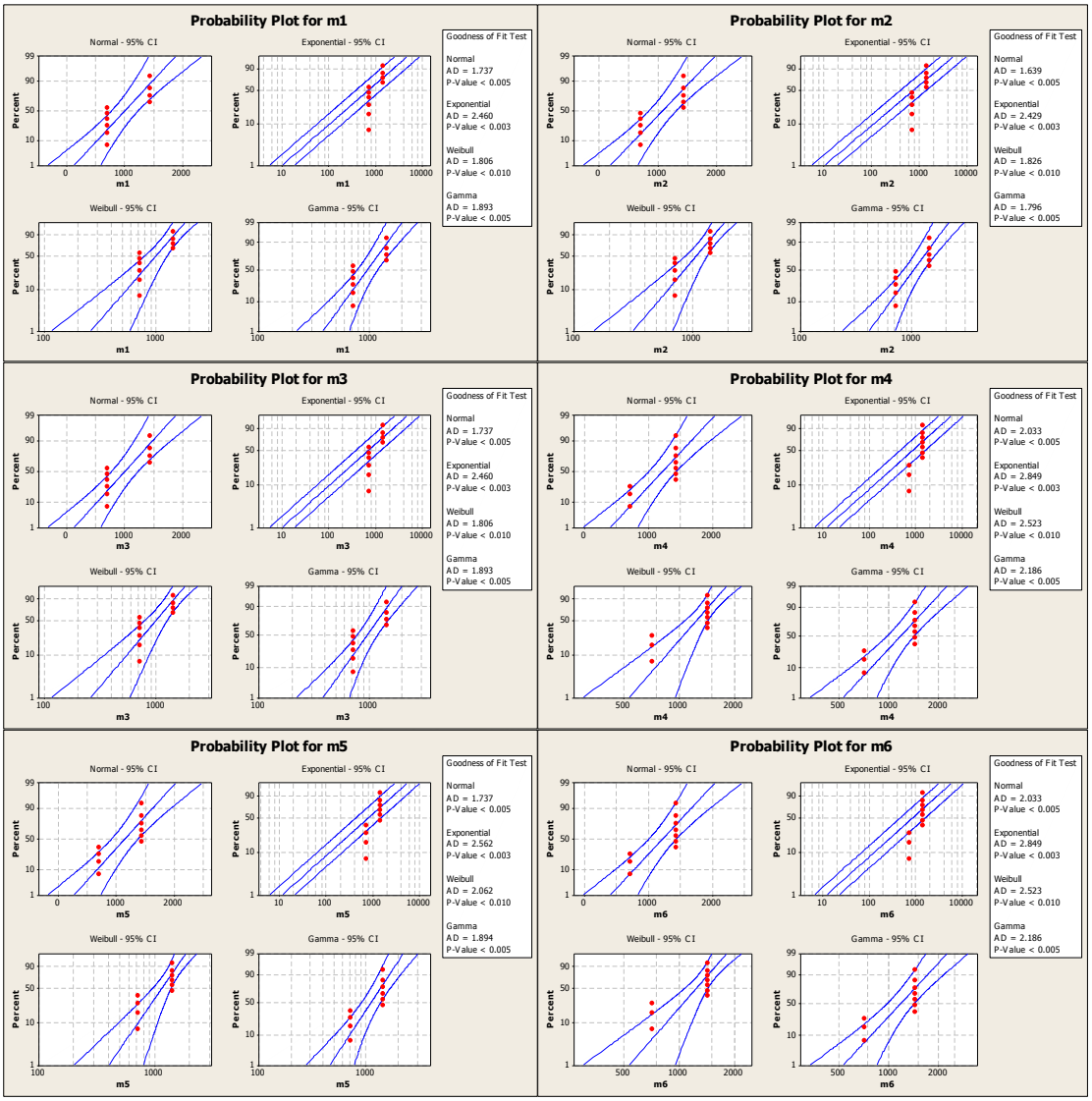
รูปที่ ก.12 การแจกแจงของระยะเวลาระหว่างการเสียหายของเซนเซอร์จัดเรียงในแต่ละเดือน



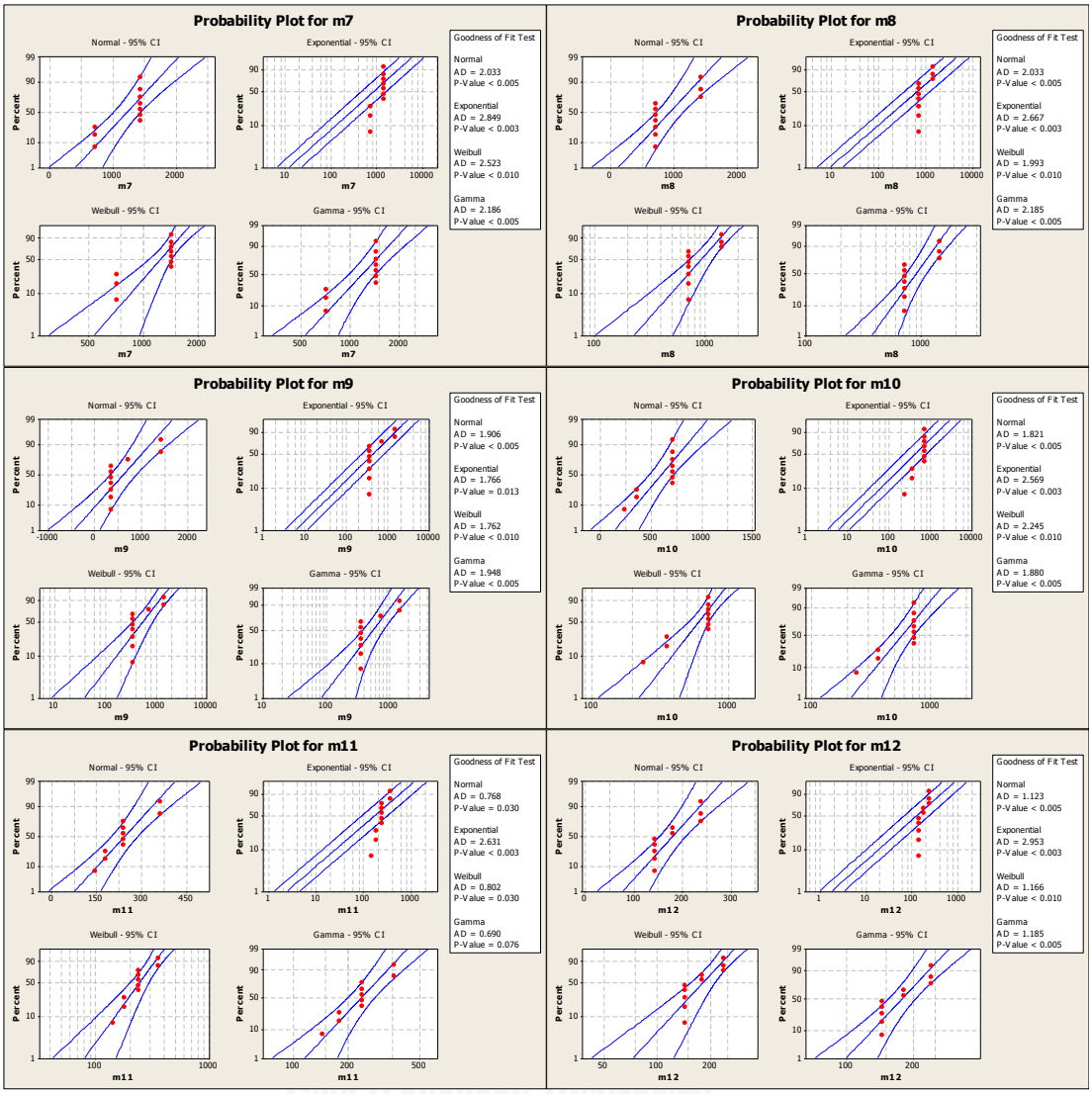
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ ก.12 การแจกแจงของระยะเวลาระหว่างการเสียหายของเซนเซอร์จัดเรียงในแต่ละเดือน (ต่อ)

13. พาวเวอร์ซัพพลาย



รูปที่ ก.13 การแจกแจงของระยะเวลาระหว่างการเสียหายของพาวเวอร์ซัพพลายในแต่ละเดือน



CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ ก.13 การแจกแจงของระยะเวลาระหว่างการเสียหายของพาวเวอร์ซัพพลายในแต่ละเดือน (ต่อ)

ภาคผนวก ข
ตารางแบบการทดลอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข.1 แบบการทดลอง

ลองผสมแบบเต็ม	ยี่ห้อเหมือน	ยี่ห้อต่าง	ยี่ห้อเหมือน ยี่ห้อเหมือน	ยี่ห้อเหมือน ยี่ห้อต่าง	ยี่ห้อต่าง ยี่ห้อเหมือน	ยี่ห้อต่าง ยี่ห้อต่าง	ปริมาณ	ปริมาณน้ำมันเบนซิน%	ปริมาณน้ำมันเบนซิน%
ค่าเริ่มต้น	1	1	1	1	1	1	1		
1	1	1	1	1	1	1	3		
2	3	1	1	1	1	1	1		
3	1	3	1	1	1	1	1		
4	3	3	1	1	1	1	3		
5	1	1	3	1	1	1	1		
6	3	1	3	1	1	1	3		
7	1	3	3	1	1	1	3		
8	3	3	3	1	1	1	1		
9	1	1	1	3	1	1	1		
10	3	1	1	3	1	1	3		
11	1	3	1	3	1	1	3		
12	3	3	1	3	1	1	1		
13	1	1	3	3	1	1	3		
14	3	1	3	3	1	1	1		
15	1	3	3	3	1	1	1		
16	3	3	3	3	1	1	3		
17	1	1	1	1	3	1	1		
18	3	1	1	1	3	1	3		
19	1	3	1	1	3	1	3		
20	3	3	1	1	3	1	1		

ตารางที่ ข.1 แบบการทดลอง (ต่อ)

ลองตัวอย่าง	ยี่ห้อรถ	ยี่ห้อน้ำ	ยี่ห้อรถยนต์	ยี่ห้อเครื่องดื่มชูกำลัง	ยี่ห้อขนมปัง	ยี่ห้อน้ำมันเครื่อง	ยี่ห้อ	ค่าเฉลี่ยของ%	ค่าเฉลี่ยของ%
21	1	1	3	1	3	1	3		
22	3	1	3	1	3	1	1		
23	1	3	3	1	3	1	1		
24	3	3	3	1	3	1	3		
25	1	1	1	3	3	1	3		
26	3	1	1	3	3	1	1		
27	1	3	1	3	3	1	1		
28	3	3	1	3	3	1	3		
29	1	1	3	3	3	1	1		
30	3	1	3	3	3	1	3		
31	1	3	3	3	3	1	3		
32	3	3	3	3	3	1	1		
33	1	1	1	1	1	3	1		
34	3	1	1	1	1	3	3		
35	1	3	1	1	1	3	3		
36	3	3	1	1	1	3	1		
37	1	1	3	1	1	3	3		
38	3	1	3	1	1	3	1		
39	1	3	3	1	1	3	1		
40	3	3	3	1	1	3	3		

ตารางที่ ข.1 แบบการทดลอง (ต่อ)

ลำดับการทดลอง	ชนิดของวัสดุ	ขนาดของวัสดุ	ปริมาณของวัสดุ	ชนิดของสารเคมี	ความเข้มข้นของสารเคมี	ระยะเวลาในการแช่	ปริมาณของสารเคมี	ความเร็วรอบของการปั่นเหวี่ยง	ระยะเวลาในการปั่นเหวี่ยง
41	1	1	1	3	1	3	3		
42	3	1	1	3	1	3	1		
43	1	3	1	3	1	3	1		
44	3	3	1	3	1	3	3		
45	1	1	3	3	1	3	1		
46	3	1	3	3	1	3	3		
47	1	3	3	3	1	3	3		
48	3	3	3	3	1	3	1		
49	1	1	1	1	3	3	3		
50	3	1	1	1	3	3	1		
51	1	3	1	1	3	3	1		
52	3	3	1	1	3	3	3		
53	1	1	3	1	3	3	1		
54	3	1	3	1	3	3	3		
55	1	3	3	1	3	3	3		
56	3	3	3	1	3	3	1		
57	1	1	1	3	3	3	1		
58	3	1	1	3	3	3	3		
59	1	3	1	3	3	3	3		
60	3	3	1	3	3	3	1		

ตารางที่ ข.1 แบบการทดลอง (ต่อ)

ลองตามแบบ	รูปร่างใหญ่	รูปร่างเล็ก	ขนาดพื้นที่ผิวเล็ก	ขนาดพื้นที่ผิวใหญ่	ความหยาบผิวน้อย	ความหยาบผิวมาก	ผสม	ผิดปกติ	ขนาดเม็ดยาเล็กกว่า 1%	ขนาดเม็ดยาใหญ่กว่า 1%
61	1	1	3	3	3	3	3			
62	3	1	3	3	3	3	1			
63	1	3	3	3	3	3	1			
64	3	3	3	3	3	3	3			
65	1	2	2	2	2	2	2			
66	3	2	2	2	2	2	2			
67	2	1	2	2	2	2	2			
68	2	3	2	2	2	2	2			
69	2	2	1	2	2	2	2			
70	2	2	3	2	2	2	2			
71	2	2	2	1	2	2	2			
72	2	2	2	3	2	2	2			
73	2	2	2	2	1	2	2			
74	2	2	2	2	3	2	2			
75	2	2	2	2	2	1	2			
76	2	2	2	2	2	3	2			
77	2	2	2	2	2	2	1			
78	2	2	2	2	2	2	3			
79	2	2	2	2	2	2	2			
80	2	2	2	2	2	2	2			

ตารางที่ ข.1 แบบการทดลอง (ต่อ)

ลองตัวอย่างที่	ปริมาณน้ำ	ปริมาณปูนขาว	ปริมาณน้ำยาปรับสภาพดิน	ปริมาณน้ำยาเร่งปฏิกิริยา	ปริมาณน้ำยาเร่งการแข็งตัว	ปริมาณน้ำยาเร่งการแข็งตัว	ปริมาณน้ำยาเร่งการแข็งตัว	ปริมาณน้ำยาเร่งการแข็งตัว
81	2	2	2	2	2	2	2	
82	2	2	2	2	2	2	2	
83	2	2	2	2	2	2	2	
84	2	2	2	2	2	2	2	
85	2	2	2	2	2	2	2	
86	2	2	2	2	2	2	2	
87	2	2	2	2	2	2	2	
88	2	2	2	2	2	2	2	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ค
ราคาการเปลี่ยนชิ้นส่วนรวมต่อเดือน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตางรางที่ ค.1 ราคาการเปลี่ยนชิ้นส่วนรวมต่อเดือนในแต่ละแบบการทดลอง (เหรียญสหรัฐ)

ลองผลแบบการ	ยูนิตทดลอง	ยูนิตเอกซ์	โมเมนต์ยูนิตแบบ	ยูนิตเอกซ์ยูนิตยูนิต	ยูนิตแบบยูนิตยูนิต	ยูนิตเอกซ์	ยูนิต	ยูนิต
ค่าเริ่มต้น	333	3219	94	224	29	2486	163	6548
1	333	3219	94	224	29	2486	326	6711
2	582	3219	94	224	29	2486	163	6797
3	333	6438	94	224	29	2486	163	9767
4	582	6438	94	224	29	2486	326	10179
5	333	3219	189	224	29	2486	163	6642
6	582	3219	189	224	29	2486	326	7054
7	333	6438	189	224	29	2486	326	10024
8	582	6438	189	224	29	2486	163	10111
9	333	3219	94	415	29	2486	163	6739
10	582	3219	94	415	29	2486	326	7152
11	333	6438	94	415	29	2486	326	10121
12	582	6438	94	415	29	2486	163	10208
13	333	3219	189	415	29	2486	326	6997
14	582	3219	189	415	29	2486	163	7083
15	333	6438	189	415	29	2486	163	10053
16	582	6438	189	415	29	2486	326	10465
17	333	3219	94	224	54	2486	163	6573
18	582	3219	94	224	54	2486	326	6985
19	333	6438	94	224	54	2486	326	9954
20	582	6438	94	224	54	2486	163	10041

ตารางที่ ค.1 ราคาการเปลี่ยนชิ้นส่วนรวมต่อเดือนในแต่ละแบบการทดลอง (เหรียญสหรัฐ) (ต่อ)

ลองตลอดเวลา	ยูเอสทีไอ	ยูเอซีเอ็ม	โมเมนตัมยูเอสไอ	ยูเอสทีไอ วูโอดีไอยู	เทคนิคอลทูเอช	ดีทอกไน	ไอยู่	ไอย
21	333	3219	189	224	54	2486	326	6830
22	582	3219	189	224	54	2486	163	6917
23	333	6438	189	224	54	2486	163	9886
24	582	6438	189	224	54	2486	326	10298
25	333	3219	94	415	54	2486	326	6927
26	582	3219	94	415	54	2486	163	7014
27	333	6438	94	415	54	2486	163	9983
28	582	6438	94	415	54	2486	326	10396
29	333	3219	189	415	54	2486	163	6859
30	582	3219	189	415	54	2486	326	7271
31	333	6438	189	415	54	2486	326	10240
32	582	6438	189	415	54	2486	163	10327
33	333	3219	94	224	29	4973	163	9034
34	582	3219	94	224	29	4973	326	9446
35	333	6438	94	224	29	4973	326	12416
36	582	6438	94	224	29	4973	163	12503
37	333	3219	189	224	29	4973	326	9291
38	582	3219	189	224	29	4973	163	9378
39	333	6438	189	224	29	4973	163	12348
40	582	6438	189	224	29	4973	326	12760

ตารางที่ ค.1 ราคาการเปลี่ยนชิ้นส่วนรวมต่อเดือนในแต่ละแบบการทดลอง (เหรียญสหรัฐ) (ต่อ)

งดงดนบกเกเ	ย้อยหมา	ย้อยต่อง	เมเพพพพ้ ย้อยเบเพ	ย้อยเกใช้ ย้อยต้อยย้อยอ	พาเพยยหุหอย	ต้หอเบ้ห้	ใช้ญ่	ใช้ยุ
41	333	3219	94	415	29	4973	326	9389
42	582	3219	94	415	29	4973	163	9475
43	333	6438	94	415	29	4973	163	12445
44	582	6438	94	415	29	4973	326	12857
45	333	3219	189	415	29	4973	163	9320
46	582	3219	189	415	29	4973	326	9732
47	333	6438	189	415	29	4973	326	12702
48	582	6438	189	415	29	4973	163	12789
49	333	3219	94	224	54	4973	326	9222
50	582	3219	94	224	54	4973	163	9309
51	333	6438	94	224	54	4973	163	12278
52	582	6438	94	224	54	4973	326	12690
53	333	3219	189	224	54	4973	163	9153
54	582	3219	189	224	54	4973	326	9566
55	333	6438	189	224	54	4973	326	12535
56	582	6438	189	224	54	4973	163	12622
57	333	3219	94	415	54	4973	163	9251
58	582	3219	94	415	54	4973	326	9663
59	333	6438	94	415	54	4973	326	12632
60	582	6438	94	415	54	4973	163	12719

ตารางที่ ค.1 ราคาการเปลี่ยนชิ้นส่วนรวมต่อเดือนในแต่ละแบบการทดลอง (เหรียญสหรัฐ) (ต่อ)

ลองตนเบเกา	ยิดาหมิ	ยิดาเยะ	เมเบมมิ ยิดเบเม	ยิดเบเมิ ยิดเยิดมิยิดเ	เบาเมเยยเมาหเย	ดำหดาเน้	ไยิ่	ไยยะ
61	333	3219	189	415	54	4973	326	9508
62	582	3219	189	415	54	4973	163	9595
63	333	6438	189	415	54	4973	163	12564
64	582	6438	189	415	54	4973	326	12976
65	333	4292	126	291	38	3315	217	8611
66	582	4292	126	291	38	3315	217	8861
67	423	3219	126	291	38	3315	217	7629
68	423	6438	126	291	38	3315	217	10848
69	423	4292	94	291	38	3315	217	8670
70	423	4292	189	291	38	3315	217	8765
71	423	4292	126	224	38	3315	217	8635
72	423	4292	126	415	38	3315	217	8826
73	423	4292	126	291	29	3315	217	8693
74	423	4292	126	291	54	3315	217	8718
75	423	4292	126	291	38	2486	217	7873
76	423	4292	126	291	38	4973	217	10359
77	423	4292	126	291	38	3315	163	8648
78	423	4292	126	291	38	3315	326	8810
79	423	4292	126	291	38	3315	217	8702
80	423	4292	126	291	38	3315	217	8702

ตารางที่ ค.1 ราคาการเปลี่ยนชิ้นส่วนรวมต่อเดือนในแต่ละแบบการทดลอง (เหรียญสหรัฐ) (ต่อ)

[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
81	423	4292	126	291	38	3315	217	8702
82	423	4292	126	291	38	3315	217	8702
83	423	4292	126	291	38	3315	217	8702
84	423	4292	126	291	38	3315	217	8702
85	423	4292	126	291	38	3315	217	8702
86	423	4292	126	291	38	3315	217	8702
87	423	4292	126	291	38	3315	217	8702
88	423	4292	126	291	38	3315	217	8702

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ง
ผลการทดลอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ง.1 สรุปเวลาการสูญเสียของแต่ละแบบการทดลอง
และความสามารถในการผลิต (1000 ชิ้นต่อเครื่อง)

แบบการทดลอง	เวลาที่ใช้ในการผลิต	เวลาที่สูญเสียไปในการ	เวลาที่สูญเสียไปในการ	เวลาที่สูญเสียไปในการ	เวลาที่สูญเสียไปในการ	เวลาที่ใช้ในการผลิต	ความสามารถในการผลิต
ค่าเริ่มต้น	9.8%	3.1%	4.7%	9.3%	26.9%	73.1%	20.7
1	9.7%	2.8%	1.8%	9.3%	23.6%	76.4%	21.6
2	8.3%	3.1%	1.5%	9.3%	22.3%	77.7%	22.0
3	9.0%	3.2%	1.6%	9.3%	23.1%	76.9%	21.7
4	7.4%	2.7%	1.4%	9.3%	20.8%	79.2%	22.4
5	8.7%	3.1%	1.6%	9.3%	22.7%	77.3%	21.9
6	7.2%	2.7%	1.3%	9.3%	20.5%	79.5%	22.5
7	7.9%	2.8%	1.4%	9.3%	21.4%	78.6%	22.2
8	6.5%	3.2%	1.2%	9.3%	20.1%	79.9%	22.6
9	9.1%	3.1%	1.7%	9.3%	23.2%	76.8%	21.7
10	7.7%	2.9%	1.4%	9.3%	21.4%	78.6%	22.2
11	8.5%	2.7%	1.6%	9.3%	22.0%	78.0%	22.0
12	6.9%	3.2%	1.3%	9.3%	20.7%	79.3%	22.4
13	8.0%	2.8%	1.5%	9.3%	21.6%	78.4%	22.2
14	6.5%	3.2%	1.2%	9.3%	20.3%	79.7%	22.5
15	7.2%	3.1%	1.3%	9.3%	21.0%	79.0%	22.3
16	5.7%	2.8%	1.1%	9.3%	18.9%	81.1%	22.9
17	6.7%	3.1%	1.2%	9.3%	20.4%	79.6%	22.5
18	5.1%	2.8%	0.9%	9.3%	18.2%	81.8%	23.1
19	5.9%	2.7%	1.1%	9.3%	19.0%	81.0%	22.9
20	4.4%	3.2%	0.8%	9.3%	17.7%	82.3%	23.3

ตารางที่ ง.1 สรุปเวลาการสูญเสียของแต่ละแบบการทดลอง
และความสามารถในการผลิต (1000 ชิ้นต่อเครื่อง) (ต่อ)

ลองทดสอบการ	เสียเวลาเนื่องจาก	หยุดเครื่องจักรเสีย	ปรับตั้งเครื่องจักร	ไฟดับ	ประสิทธิภาพการทำงาน	ประสิทธิภาพโดยรวม	เฉลี่ยเวลาที่ใช้
21	5.5%	2.8%	1.0%	9.3%	18.6%	81.4%	23.0
22	3.9%	3.3%	0.7%	9.3%	17.2%	82.8%	23.4
23	4.6%	3.1%	0.8%	9.3%	17.9%	82.1%	23.2
24	3.1%	2.8%	0.6%	9.3%	15.8%	84.2%	23.8
25	6.1%	2.8%	1.1%	9.3%	19.3%	80.7%	22.8
26	4.5%	3.1%	0.8%	9.3%	17.7%	82.3%	23.3
27	5.2%	3.2%	1.0%	9.3%	18.7%	81.3%	23.0
28	3.7%	2.7%	0.7%	9.3%	16.4%	83.6%	23.6
29	4.8%	3.2%	0.9%	9.3%	18.3%	81.7%	23.1
30	3.2%	2.7%	0.6%	9.3%	15.8%	84.2%	23.8
31	4.0%	2.8%	0.7%	9.3%	16.8%	83.2%	23.5
32	2.4%	3.1%	0.4%	9.3%	15.2%	84.8%	24.0
33	9.7%	2.1%	1.8%	9.3%	22.9%	77.1%	21.8
34	8.3%	1.6%	1.5%	9.3%	20.7%	79.3%	22.4
35	9.0%	1.7%	1.7%	9.3%	21.7%	78.3%	22.1
36	7.6%	2.1%	1.4%	9.3%	20.3%	79.7%	22.5
37	8.6%	1.7%	1.6%	9.3%	21.2%	78.8%	22.3
38	7.2%	2.1%	1.3%	9.3%	19.9%	80.1%	22.6
39	7.9%	2.0%	1.4%	9.3%	20.6%	79.4%	22.4
40	6.3%	1.8%	1.2%	9.3%	18.6%	81.4%	23.0

ตารางที่ ง.1 สรุปเวลาการสูญเสียของแต่ละแบบการทดลอง
และความสามารถในการผลิต (1000 ชิ้นต่อเครื่อง) (ต่อ)

ลองผลิตแบบที่	เครื่องไม่ทำงาน%	ไม่มีงานเข้า%	หยุดเครื่องเพื่อปรับตั้ง%	ไม่มีคนใช้เครื่อง%	เครื่องทำงานได้จริง%	ใช้งานไม่ได้%	เวลาเฉลี่ยต่อชิ้น
41	9.2%	1.8%	1.7%	9.3%	21.9%	78.1%	22.1
42	7.7%	2.1%	1.4%	9.3%	20.5%	79.5%	22.5
43	8.4%	2.1%	1.5%	9.3%	21.4%	78.6%	22.2
44	6.9%	1.6%	1.3%	9.3%	19.1%	80.9%	22.9
45	8.0%	2.1%	1.5%	9.3%	20.9%	79.1%	22.4
46	6.6%	1.8%	1.2%	9.3%	18.9%	81.1%	22.9
47	7.4%	1.7%	1.4%	9.3%	19.8%	80.2%	22.7
48	5.8%	2.1%	1.1%	9.3%	18.2%	81.8%	23.1
49	6.7%	1.7%	1.2%	9.3%	19.0%	81.0%	22.9
50	5.1%	2.1%	0.9%	9.3%	17.5%	82.5%	23.3
51	5.8%	2.0%	1.1%	9.3%	18.2%	81.8%	23.1
52	4.3%	1.7%	0.8%	9.3%	16.1%	83.9%	23.7
53	5.5%	2.1%	1.0%	9.3%	17.9%	82.1%	23.2
54	3.9%	1.6%	0.7%	9.3%	15.5%	84.5%	23.9
55	4.7%	1.7%	0.9%	9.3%	16.6%	83.4%	23.6
56	3.1%	2.1%	0.6%	9.3%	15.1%	84.9%	24.0
57	6.0%	2.0%	1.1%	9.3%	18.4%	81.6%	23.1
58	4.5%	1.7%	0.8%	9.3%	16.3%	83.7%	23.7
59	5.2%	1.6%	1.0%	9.3%	17.1%	82.9%	23.4
60	3.7%	2.1%	0.7%	9.3%	15.7%	84.3%	23.8

ตารางที่ ง.1 สรุปเวลาการสูญเสียของแต่ละแบบการทดลอง
และความสามารถในการผลิต (1000 ชิ้นต่อเครื่อง) (ต่อ)

ลองแบบการทดลองที่	ความน่าเชื่อถือ	ความพร้อมใช้งาน	เวลาสูญเสียจากการหยุดเครื่อง	ไม่ได้ใช้งานเครื่อง	เวลาสูญเสียจากการใช้งานเครื่องน้อยกว่าที่ควรจะเป็น	เวลาที่ใช้งานเครื่องได้จริง	เวลาที่ใช้งานเครื่องได้ตามมาตรฐาน
61	4.8%	1.7%	0.9%	9.3%	16.8%	83.2%	23.5
62	3.2%	2.0%	0.6%	9.3%	15.1%	84.9%	24.0
63	4.0%	2.1%	0.7%	9.3%	16.1%	83.9%	23.7
64	2.4%	1.8%	0.4%	9.3%	13.9%	86.1%	24.4
65	4.8%	1.7%	0.9%	9.3%	16.6%	83.4%	23.6
66	3.2%	1.7%	0.6%	9.3%	14.8%	85.2%	24.1
67	4.0%	1.7%	0.7%	9.3%	15.7%	84.3%	23.8
68	3.2%	1.7%	0.6%	9.3%	14.8%	85.2%	24.1
69	4.5%	1.7%	0.8%	9.3%	16.4%	83.6%	23.6
70	3.3%	1.7%	0.6%	9.3%	14.8%	85.2%	24.1
71	4.0%	1.7%	0.7%	9.3%	15.7%	84.3%	23.8
72	3.3%	1.8%	0.6%	9.3%	15.0%	85.0%	24.0
73	6.1%	1.8%	1.1%	9.3%	18.3%	81.7%	23.1
74	2.8%	1.7%	0.5%	9.3%	14.3%	85.7%	24.2
75	3.3%	2.7%	0.6%	9.3%	15.9%	84.1%	23.8
76	3.4%	1.7%	0.6%	9.3%	15.0%	85.0%	24.0
77	3.2%	1.7%	0.6%	9.3%	14.9%	85.1%	24.1
78	3.4%	1.7%	0.6%	9.3%	15.0%	85.0%	24.0
79	3.3%	1.7%	0.6%	9.3%	15.0%	85.0%	24.0
80	3.3%	1.7%	0.6%	9.3%	15.0%	85.0%	24.0

ตารางที่ ง.1 สรุปเวลาการสูญเสียของแต่ละแบบการทดลอง
และความสามารถในการผลิต (1000 ชิ้นต่อเครื่อง) (ต่อ)

ลองตัวอย่าง	เสียเวลาเพราะ	เสียเวลาเพราะ	เสียเวลาเพราะ	เสียเวลาเพราะ	เสียเวลาเพราะ	เสียเวลาเพราะ	เสียเวลาเพราะ
81	3.3%	1.7%	0.6%	9.3%	15.0%	85.0%	24.0
82	3.3%	1.7%	0.6%	9.3%	15.0%	85.0%	24.0
83	3.3%	1.7%	0.6%	9.3%	15.0%	85.0%	24.0
84	3.3%	1.7%	0.6%	9.3%	15.0%	85.0%	24.0
85	3.3%	1.7%	0.6%	9.3%	15.0%	85.0%	24.0
86	3.3%	1.7%	0.6%	9.3%	15.0%	85.0%	24.0
87	3.3%	1.7%	0.6%	9.3%	15.0%	85.0%	24.0
88	3.3%	1.7%	0.6%	9.3%	15.0%	85.0%	24.0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ง.2 จำนวนเครื่องขัดชิ้นงานที่ต้องในการในแต่ละเดือนสำหรับแผนการผลิตปี 2558

แบบการทดลอง	ความสามารถในการผลิต (1000 ชิ้นต่อเครื่อง)	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ษ.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
ค่าเริ่มต้น	20.7	55	55	55	61	62	62	66	66	67	70	70	73
1	21.6	53	53	53	58	59	59	63	63	64	67	67	70
2	22.0	53	53	53	57	58	58	62	62	63	66	66	69
3	21.7	53	53	53	58	59	59	62	63	64	67	67	69
4	22.4	53	53	53	56	57	57	61	61	62	65	65	67
5	21.9	53	53	53	58	58	58	62	62	63	66	66	69
6	22.5	53	53	53	56	57	57	60	61	62	64	64	67
7	22.2	53	53	53	57	57	57	61	61	62	65	65	68
8	22.6	53	53	53	56	56	56	60	60	61	64	64	67
9	21.7	53	53	53	58	59	59	63	63	64	67	67	69
10	22.2	53	53	53	57	57	57	61	61	62	65	65	68
11	22.0	53	53	53	57	58	58	62	62	63	66	66	68
12	22.4	53	53	53	56	57	57	61	61	62	65	65	67
13	22.2	53	53	53	57	57	57	61	61	63	65	65	68
14	22.5	53	53	53	56	57	57	60	60	62	64	64	67
15	22.3	53	53	53	56	57	57	61	61	62	65	65	67
16	22.9	53	53	53	55	56	56	59	59	61	63	63	66
17	22.5	53	53	53	56	57	57	60	61	62	64	64	67
18	23.1	53	53	53	54	55	55	59	59	60	63	63	65
19	22.9	53	53	53	55	56	56	59	60	61	63	63	66
20	23.3	53	53	53	54	55	55	58	59	60	62	62	65
21	23.0	53	53	53	55	55	55	59	59	60	63	63	65
22	23.4	53	53	53	54	54	54	58	58	59	62	62	64
23	23.2	53	53	53	54	55	55	59	59	60	62	62	65
24	23.8	53	53	53	53	54	54	57	57	58	61	61	63
25	22.8	53	53	53	55	56	56	60	60	61	64	64	66

ตารางที่ ง.2 จำนวนเครื่องขัดชิ้นงานที่ต้องในการในแต่ละเดือนสำหรับแผนการผลิตปี 2558 (ต่อ)

แบบการทดลอง	ความสามารถในการผลิต (1000 ชิ้นต่อเครื่อง)	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ษ.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
26	23.3	53	53	53	54	55	55	58	59	60	62	62	65
27	23.0	53	53	53	55	55	55	59	59	60	63	63	66
28	23.6	53	53	53	53	54	54	58	58	59	61	61	64
29	23.1	53	53	53	54	55	55	59	59	60	63	63	65
30	23.8	53	53	53	53	54	54	57	57	58	61	61	63
31	23.5	53	53	53	54	54	54	58	58	59	62	62	64
32	24.0	53	53	53	53	53	53	57	57	58	60	60	63
33	21.8	53	53	53	58	58	58	62	63	64	67	67	69
34	22.4	53	53	53	56	57	57	61	61	62	65	65	67
35	22.1	53	53	53	57	58	58	61	62	63	65	65	68
36	22.5	53	53	53	56	57	57	60	61	62	64	64	67
37	22.3	53	53	53	56	57	57	61	61	62	65	65	68
38	22.6	53	53	53	56	56	56	60	60	61	64	64	66
39	22.4	53	53	53	56	57	57	61	61	62	65	65	67
40	23.0	53	53	53	55	55	55	59	59	60	63	63	65
41	22.1	53	53	53	57	58	58	62	62	63	66	66	68
42	22.5	53	53	53	56	57	57	60	61	62	64	64	67
43	22.2	53	53	53	57	57	57	61	61	62	65	65	68
44	22.9	53	53	53	55	56	56	59	60	61	63	63	66
45	22.4	53	53	53	56	57	57	61	61	62	65	65	67
46	22.9	53	53	53	55	56	56	59	59	61	63	63	66
47	22.7	53	53	53	55	56	56	60	60	61	64	64	66
48	23.1	53	53	53	54	55	55	59	59	60	63	63	65
49	22.9	53	53	53	55	56	56	59	60	61	63	63	66
50	23.3	53	53	53	54	55	55	58	58	60	62	62	65

ตารางที่ ง.2 จำนวนเครื่องขัดชิ้นงานที่ต้องในการในแต่ละเดือนสำหรับแผนการผลิตปี 2558 (ต่อ)

แบบการทดลอง	ความสามารถในการผลิต (1000 ชิ้นต่อเครื่อง)	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ษ.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
51	23.1	53	53	53	54	55	55	59	59	60	63	63	65
52	23.7	53	53	53	53	54	54	57	57	58	61	61	63
53	23.2	53	53	53	54	55	55	59	59	60	62	62	65
54	23.9	53	53	53	53	53	53	57	57	58	61	61	63
55	23.6	53	53	53	53	54	54	58	58	59	62	62	64
56	24.0	53	53	53	53	53	53	57	57	58	60	60	63
57	23.1	53	53	53	55	55	55	59	59	60	63	63	65
58	23.7	53	53	53	53	54	54	57	58	59	61	61	64
59	23.4	53	53	53	54	54	54	58	58	59	62	62	64
60	23.8	53	53	53	53	54	54	57	57	58	61	61	63
61	23.5	53	53	53	53	54	54	58	58	59	62	62	64
62	24.0	53	53	53	53	53	53	57	57	58	60	60	63
63	23.7	53	53	53	53	54	54	57	58	59	61	61	64
64	24.4	53	53	53	53	53	53	56	56	57	60	60	62
65	23.6	53	53	53	53	54	54	58	58	59	62	62	64
66	24.1	53	53	53	53	53	53	56	57	58	60	60	63
67	23.8	53	53	53	53	54	54	57	57	58	61	61	63
68	24.1	53	53	53	53	53	53	56	57	58	60	60	63
69	23.6	53	53	53	53	54	54	57	58	59	61	61	64
70	24.1	53	53	53	53	53	53	56	57	58	60	60	63
71	23.8	53	53	53	53	53	53	57	57	58	61	61	63
72	24.0	53	53	53	53	53	53	57	57	58	60	60	63
73	23.1	53	53	53	54	55	55	59	59	60	63	63	65
74	24.2	53	53	53	53	53	53	56	56	57	60	60	62
75	23.8	53	53	53	53	54	54	57	57	58	61	61	63

ตารางที่ ง.2 จำนวนเครื่องขัดชิ้นงานที่ต้องในการในแต่ละเดือนสำหรับแผนการผลิตปี 2558 (ต่อ)

แบบการทดลอง	ความสามารถในการผลิต (1000 ชิ้นต่อเครื่อง)	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ษ.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
76	24.0	53	53	53	53	53	53	57	57	58	60	60	63
77	24.1	53	53	53	53	53	53	56	57	58	60	60	63
78	24.0	53	53	53	53	53	53	57	57	58	60	60	63
79	24.0	53	53	53	53	53	53	57	57	58	60	60	63
80	24.0	53	53	53	53	53	53	57	57	58	60	60	63
81	24.0	53	53	53	53	53	53	57	57	58	60	60	63
82	24.0	53	53	53	53	53	53	57	57	58	60	60	63
83	24.0	53	53	53	53	53	53	57	57	58	60	60	63
84	24.0	53	53	53	53	53	53	57	57	58	60	60	63
85	24.0	53	53	53	53	53	53	57	57	58	60	60	63
86	24.0	53	53	53	53	53	53	57	57	58	60	60	63
87	24.0	53	53	53	53	53	53	57	57	58	60	60	63
88	24.0	53	53	53	53	53	53	57	57	58	60	60	63

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ง.3 ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนชิ้นส่วนที่เพิ่มขึ้นในแต่ละเดือน (เหรียญสหรัฐ)

แบบการทดลอง	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ษ.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รวมทั้งสิ้น
1	8,626	8,626	8,626	9,440	9,602	9,602	10,253	10,253	10,416	10,904	10,904	11,393	118,645
2	13,225	13,225	13,225	14,224	14,473	14,473	15,471	15,471	15,721	16,469	16,469	17,218	179,666
3	170,607	170,607	170,607	186,702	189,921	189,921	199,578	202,797	206,016	215,673	215,673	222,111	2,340,213
4	192,458	192,458	192,458	203,352	206,983	206,983	221,508	221,508	225,140	236,034	236,034	243,296	2,578,213
5	5,004	5,004	5,004	5,476	5,476	5,476	5,854	5,854	5,948	6,232	6,232	6,515	68,074
6	26,855	26,855	26,855	28,375	28,882	28,882	30,402	30,909	31,416	32,429	32,429	33,949	358,239
7	184,237	184,237	184,237	198,142	198,142	198,142	212,046	212,046	215,522	225,951	225,951	236,379	2,475,031
8	188,836	188,836	188,836	199,525	199,525	199,525	213,777	213,777	217,340	228,029	228,029	238,718	2,504,756
9	10,155	10,155	10,155	11,113	11,305	11,305	12,071	12,071	12,263	12,837	12,837	13,221	139,488
10	32,006	32,006	32,006	34,422	34,422	34,422	36,837	36,837	37,441	39,253	39,253	41,065	429,970
11	189,388	189,388	189,388	203,681	207,255	207,255	221,548	221,548	225,121	235,841	235,841	242,988	2,569,242
12	193,987	193,987	193,987	204,968	208,628	208,628	223,269	223,269	226,929	237,909	237,909	245,229	2,598,699
13	23,785	23,785	23,785	25,580	25,580	25,580	27,375	27,375	28,273	29,170	29,170	30,516	319,974
14	28,385	28,385	28,385	29,991	30,527	30,527	32,133	32,133	33,205	34,276	34,276	35,882	378,103
15	185,766	185,766	185,766	196,281	199,786	199,786	213,806	213,806	217,311	227,826	227,826	234,836	2,488,565
16	207,617	207,617	207,617	215,452	219,369	219,369	231,121	231,121	238,956	246,790	246,790	258,542	2,730,363
17	1,317	1,317	1,317	1,392	1,417	1,417	1,491	1,516	1,541	1,591	1,591	1,665	17,574
18	23,169	23,169	23,169	23,606	24,043	24,043	25,791	25,791	26,229	27,540	27,540	28,414	302,503
19	180,550	180,550	180,550	187,363	190,770	190,770	200,990	204,396	207,803	214,616	214,616	224,836	2,377,812
20	185,150	185,150	185,150	188,643	192,137	192,137	202,617	206,110	209,604	216,590	216,590	227,071	2,406,948
21	14,947	14,947	14,947	15,511	15,511	15,511	16,639	16,639	16,921	17,768	17,768	18,332	195,443
22	19,547	19,547	19,547	19,916	19,916	19,916	21,391	21,391	21,760	22,866	22,866	23,604	252,266
23	176,929	176,929	176,929	180,267	183,605	183,605	196,958	196,958	200,296	206,973	206,973	216,988	2,303,409
24	198,780	198,780	198,780	198,780	202,530	202,530	213,782	213,782	217,532	228,784	228,784	236,285	2,539,129
25	20,098	20,098	20,098	20,857	21,236	21,236	22,753	22,753	23,132	24,270	24,270	25,028	265,827
26	24,698	24,698	24,698	25,164	25,630	25,630	27,028	27,494	27,960	28,892	28,892	30,290	321,072
27	182,079	182,079	182,079	188,950	188,950	188,950	202,692	202,692	206,128	216,434	216,434	226,740	2,384,210
28	203,931	203,931	203,931	203,931	207,778	207,778	223,169	223,169	227,017	234,713	234,713	246,256	2,620,316
29	16,477	16,477	16,477	16,787	17,098	17,098	18,342	18,342	18,653	19,585	19,585	20,207	215,128
30	38,328	38,328	38,328	38,328	39,051	39,051	41,220	41,220	41,944	44,113	44,113	45,559	489,582
31	195,709	195,709	195,709	199,402	199,402	199,402	214,172	214,172	217,865	228,943	228,943	236,328	2,525,758
32	200,309	200,309	200,309	200,309	200,309	200,309	215,427	215,427	219,206	226,765	226,765	238,103	2,543,546
33	131,778	131,778	131,778	144,210	144,210	144,210	154,155	156,642	159,128	166,587	166,587	171,560	1,802,622
34	153,629	153,629	153,629	162,325	165,224	165,224	176,818	176,818	179,717	188,413	188,413	194,210	2,058,049
35	311,011	311,011	311,011	334,483	340,351	340,351	357,956	363,824	369,692	381,428	381,428	399,033	4,201,578

ตารางที่ ง.3 ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนชิ้นส่วนที่เพิ่มขึ้นในแต่ละเดือน (เหรียญสหรัฐ) (ต่อ)

แบบการทดลอง	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ษ.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รวมทั้งสิ้น
36	315,610	315,610	315,610	333,475	339,430	339,430	357,295	363,250	369,204	381,114	381,114	398,979	4,210,122
37	145,408	145,408	145,408	153,638	156,382	156,382	167,356	167,356	170,100	178,330	178,330	186,561	1,950,658
38	150,007	150,007	150,007	158,498	158,498	158,498	169,820	169,820	172,650	181,141	181,141	186,802	1,986,890
39	307,389	307,389	307,389	324,788	330,588	330,588	353,787	353,787	359,587	376,986	376,986	388,586	4,117,852
40	329,240	329,240	329,240	341,664	341,664	341,664	366,513	366,513	372,725	391,361	391,361	403,785	4,304,970
41	150,559	150,559	150,559	161,922	164,762	164,762	176,125	176,125	178,966	187,488	187,488	193,170	2,042,484
42	155,158	155,158	155,158	163,941	166,868	166,868	175,651	178,578	181,506	187,361	187,361	196,144	2,069,753
43	312,540	312,540	312,540	336,128	336,128	336,128	359,716	359,716	365,613	383,304	383,304	400,995	4,198,649
44	334,391	334,391	334,391	347,010	353,319	353,319	372,247	378,556	384,865	397,484	397,484	416,411	4,403,867
45	146,937	146,937	146,937	155,254	158,027	158,027	169,116	169,116	171,889	180,206	180,206	185,751	1,968,401
46	168,788	168,788	168,788	175,157	178,342	178,342	187,896	187,896	194,266	200,635	200,635	210,189	2,219,723
47	326,170	326,170	326,170	338,478	344,632	344,632	369,249	369,249	375,403	393,865	393,865	406,174	4,314,056
48	330,769	330,769	330,769	337,010	343,251	343,251	368,215	368,215	374,456	393,179	393,179	405,661	4,318,725
49	141,721	141,721	141,721	147,069	149,743	149,743	157,765	160,439	163,113	168,461	168,461	176,483	1,866,440
50	146,321	146,321	146,321	149,081	151,842	151,842	160,125	160,125	165,646	171,168	171,168	179,450	1,899,408
51	303,702	303,702	303,702	309,433	315,163	315,163	338,084	338,084	343,814	361,005	361,005	372,465	3,965,321
52	325,553	325,553	325,553	325,553	331,696	331,696	350,124	350,124	356,266	374,694	374,694	386,979	4,158,485
53	138,099	138,099	138,099	140,705	143,311	143,311	153,733	153,733	156,339	161,550	161,550	169,367	1,797,898
54	159,951	159,951	159,951	159,951	159,951	159,951	172,022	172,022	175,040	184,094	184,094	190,130	2,037,106
55	317,332	317,332	317,332	317,332	323,320	323,320	347,269	347,269	353,257	371,219	371,219	383,194	4,089,393
56	321,932	321,932	321,932	321,932	321,932	321,932	346,229	346,229	352,303	364,451	364,451	382,674	4,087,926
57	143,250	143,250	143,250	148,656	148,656	148,656	159,467	159,467	162,170	170,279	170,279	175,684	1,873,066
58	165,101	165,101	165,101	165,101	168,217	168,217	177,562	180,677	183,792	190,022	190,022	199,368	2,118,283
59	322,483	322,483	322,483	328,568	328,568	328,568	352,906	352,906	358,991	377,244	377,244	389,414	4,161,857
60	327,083	327,083	327,083	327,083	333,254	333,254	351,768	351,768	357,940	376,454	376,454	388,796	4,178,019
61	156,880	156,880	156,880	156,880	159,840	159,840	171,680	171,680	174,640	183,520	183,520	189,440	2,021,682
62	161,480	161,480	161,480	161,480	161,480	161,480	173,667	173,667	176,714	182,807	182,807	191,948	2,050,489
63	318,861	318,861	318,861	318,861	324,878	324,878	342,926	348,943	354,959	366,991	366,991	385,040	4,091,052
64	340,713	340,713	340,713	340,713	340,713	340,713	359,998	359,998	366,427	385,712	385,712	398,569	4,300,693
65	109,354	109,354	109,354	109,354	111,417	111,417	119,670	119,670	121,733	127,923	127,923	132,050	1,409,217
66	122,579	122,579	122,579	122,579	122,579	122,579	129,517	131,830	134,143	138,769	138,769	145,707	1,554,209
67	57,294	57,294	57,294	57,294	58,375	58,375	61,618	61,618	62,699	65,942	65,942	68,104	731,848
68	227,901	227,901	227,901	227,901	227,901	227,901	240,801	245,101	249,401	258,001	258,001	270,901	2,889,611
69	112,495	112,495	112,495	112,495	114,617	114,617	120,985	123,108	125,230	129,475	129,475	135,843	1,443,330
70	117,499	117,499	117,499	117,499	117,499	117,499	124,150	126,367	128,584	133,018	133,018	139,668	1,489,797

ตารางที่ ง.3 ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนชิ้นส่วนที่เพิ่มขึ้นในแต่ละเดือน (เหรียญสหรัฐ) (ต่อ)

แบบการทดลอง	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ษ.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รวมทั้งสิ้น
71	110,609	110,609	110,609	110,609	110,609	110,609	118,956	118,956	121,043	127,304	127,304	131,478	1,408,694
72	120,764	120,764	120,764	120,764	120,764	120,764	129,878	129,878	132,156	136,714	136,714	143,549	1,533,470
73	113,702	113,702	113,702	115,847	117,992	117,992	126,574	126,574	128,719	135,155	135,155	139,446	1,484,558
74	115,019	115,019	115,019	115,019	115,019	115,019	121,530	121,530	123,700	130,210	130,210	134,551	1,451,846
75	70,237	70,237	70,237	70,237	71,562	71,562	75,538	75,538	76,863	80,839	80,839	83,489	897,177
76	202,015	202,015	202,015	202,015	202,015	202,015	217,261	217,261	221,073	228,696	228,696	240,131	2,565,206
77	111,288	111,288	111,288	111,288	111,288	111,288	117,587	119,687	121,786	125,986	125,986	132,285	1,411,043
78	119,913	119,913	119,913	119,913	119,913	119,913	128,963	128,963	131,226	135,751	135,751	142,538	1,522,673
79	114,163	114,163	114,163	114,163	114,163	114,163	122,779	122,779	124,933	129,241	129,241	135,703	1,449,653
80	114,163	114,163	114,163	114,163	114,163	114,163	122,779	122,779	124,933	129,241	129,241	135,703	1,449,653
81	114,163	114,163	114,163	114,163	114,163	114,163	122,779	122,779	124,933	129,241	129,241	135,703	1,449,653
82	114,163	114,163	114,163	114,163	114,163	114,163	122,779	122,779	124,933	129,241	129,241	135,703	1,449,653
83	114,163	114,163	114,163	114,163	114,163	114,163	122,779	122,779	124,933	129,241	129,241	135,703	1,449,653
84	114,163	114,163	114,163	114,163	114,163	114,163	122,779	122,779	124,933	129,241	129,241	135,703	1,449,653
85	114,163	114,163	114,163	114,163	114,163	114,163	122,779	122,779	124,933	129,241	129,241	135,703	1,449,653
86	114,163	114,163	114,163	114,163	114,163	114,163	122,779	122,779	124,933	129,241	129,241	135,703	1,449,653
87	114,163	114,163	114,163	114,163	114,163	114,163	122,779	122,779	124,933	129,241	129,241	135,703	1,449,653
88	114,163	114,163	114,163	114,163	114,163	114,163	122,779	122,779	124,933	129,241	129,241	135,703	1,449,653

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ง.4 สรุปกำไรสุทธิ

แบบการทดลอง	จำนวนเครื่องจักรที่ลดลง (เครื่อง)	ค่าใช้จ่ายที่การซื้อเครื่องจักรที่ลดลง ($)	ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนชิ้นส่วนที่เพิ่มขึ้น ($)	ผลต่าง ($)
1	3	360,000	118,645	241,355
2	4	480,000	179,666	300,334
3	4	480,000	2,340,213	-1,860,213
4	6	720,000	2,578,213	-1,858,213
5	4	480,000	68,074	411,926
6	6	720,000	358,239	361,761
7	5	600,000	2,475,031	-1,875,031
8	6	720,000	2,504,756	-1,784,756
9	4	480,000	139,488	340,512
10	5	600,000	429,970	170,030
11	5	600,000	2,569,242	-1,969,242
12	6	720,000	2,598,699	-1,878,699
13	5	600,000	319,974	280,026
14	6	720,000	378,103	341,897
15	6	720,000	2,488,565	-1,768,565
16	7	840,000	2,730,363	-1,890,363
17	6	720,000	17,574	702,426
18	8	960,000	302,503	657,497
19	7	840,000	2,377,812	-1,537,812
20	8	960,000	2,406,948	-1,446,948
21	8	960,000	195,443	764,558
22	9	1,080,000	252,266	827,734
23	8	960,000	2,303,409	-1,343,409
24	10	1,200,000	2,539,129	-1,339,129
25	7	840,000	265,827	574,173

ตารางที่ ง.4 สรุปกำไรสุทธิ (ต่อ)

แบบการทดลอง	จำนวนเครื่องจักรที่ลดลง (เครื่อง)	ค่าใช้จ่ายที่การซื้อเครื่องจักรที่ลดลง ($)	ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนชิ้นส่วนที่เพิ่มขึ้น ($)	ผลต่าง ($)
26	8	960,000	321,072	638,928
27	7	840,000	2,384,210	-1,544,210
28	9	1,080,000	2,620,316	-1,540,316
29	8	960,000	215,128	744,872
30	10	1,200,000	489,582	710,418
31	9	1,080,000	2,525,758	-1,445,758
32	10	1,200,000	2,543,546	-1,343,546
33	4	480,000	1,802,622	-1,322,622
34	6	720,000	2,058,049	-1,338,049
35	5	600,000	4,201,578	-3,601,578
36	6	720,000	4,210,122	-3,490,122
37	5	600,000	1,950,658	-1,350,658
38	7	840,000	1,986,890	-1,146,890
39	6	720,000	4,117,852	-3,397,852
40	8	960,000	4,304,970	-3,344,970
41	5	600,000	2,042,484	-1,442,484
42	6	720,000	2,069,753	-1,349,753
43	5	600,000	4,198,649	-3,598,649
44	7	840,000	4,403,867	-3,563,867
45	6	720,000	1,968,401	-1,248,401
46	7	840,000	2,219,723	-1,379,723
47	7	840,000	4,314,056	-3,474,056
48	8	960,000	4,318,725	-3,358,725
49	7	840,000	1,866,440	-1,026,440
50	8	960,000	1,899,408	-939,408

ตารางที่ ง.4 สรุปกำไรสุทธิ (ต่อ)

แบบการทดลอง	จำนวนเครื่องจักรที่ลดลง (เครื่อง)	ค่าใช้จ่ายที่การซื้อเครื่องจักรที่ลดลง ($)	ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนชิ้นส่วนที่เพิ่มขึ้น ($)	ผลต่าง ($)
51	8	960,000	3,965,321	-3,005,321
52	10	1,200,000	4,158,485	-2,958,485
53	8	960,000	1,797,898	-837,898
54	10	1,200,000	2,037,106	-837,106
55	9	1,080,000	4,089,393	-3,009,393
56	10	1,200,000	4,087,926	-2,887,926
57	8	960,000	1,873,066	-913,066
58	9	1,080,000	2,118,283	-1,038,283
59	9	1,080,000	4,161,857	-3,081,857
60	10	1,200,000	4,178,019	-2,978,019
61	9	1,080,000	2,021,682	-941,682
62	10	1,200,000	2,050,489	-850,489
63	9	1,080,000	4,091,052	-3,011,052
64	11	1,320,000	4,300,693	-2,980,693
65	9	1,080,000	1,409,217	-329,217
66	10	1,200,000	1,554,209	-354,209
67	10	1,200,000	731,848	468,152
68	10	1,200,000	2,889,611	-1,689,611
69	9	1,080,000	1,443,330	-363,330
70	10	1,200,000	1,489,797	-289,797
71	10	1,200,000	1,408,694	-208,694
72	10	1,200,000	1,533,470	-333,470
73	8	960,000	1,484,558	-524,558
74	11	1,320,000	1,451,846	-131,846
75	10	1,200,000	897,177	302,823

ตารางที่ ง.4 สรุปกำไรสุทธิ (ต่อ)

แบบการทดลอง	จำนวนเครื่องจักรที่ลดลง (เครื่อง)	ค่าใช้จ่ายที่การซื้อเครื่องจักรที่ลดลง ($)	ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนชิ้นส่วนที่เพิ่มขึ้น ($)	ผลต่าง ($)
76	10	1,200,000	2,565,206	-1,365,206
77	10	1,200,000	1,411,043	-211,043
78	10	1,200,000	1,522,673	-322,673
79	10	1,200,000	1,449,653	-249,653
80	10	1,200,000	1,449,653	-249,653
81	10	1,200,000	1,449,653	-249,653
82	10	1,200,000	1,449,653	-249,653
83	10	1,200,000	1,449,653	-249,653
84	10	1,200,000	1,449,653	-249,653
85	10	1,200,000	1,449,653	-249,653
86	10	1,200,000	1,449,653	-249,653
87	10	1,200,000	1,449,653	-249,653
88	10	1,200,000	1,449,653	-249,653

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวเพียงนภา มาประจง เกิดเมื่อวันที่ 20 พฤศจิกายน พ.ศ. 2528 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีจากมหาวิทยาขอนแก่น คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ในปีการศึกษา 2550 ภายหลังจบการศึกษาได้เข้าทำงานที่บริษัทฟุจิสึ ประเทศไทย จำกัด ในตำแหน่งวิศวกรอุตสาหการ ปัจจุบันรับผิดชอบเกี่ยวกับด้านการเงินและการสั่งซื้อเครื่องจักร ตลอดจนการวางแผนและการควบคุมความสามารถในการผลิตของโรงงาน ในส่วนการผลิตชิ้นส่วนหัวอ่านและหัวเขียนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ หลังจากนั้นจึงได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2555

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University