การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบบำรุงรักษาเครื่องเชื่อมแผงวงจรรวม โดยใช้การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์

นายนฤทธิ์ เร้ารุ่งอรุณ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFICIENCY IMPROVEMENT OF WIRE-BONDING-MACHINE MAINTENANCE SYSTEM USING PREDICTIVE MAINTENANCE

Mr. Narit Raorung-a-roon

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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 2008

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบบำรุงรักษาเครื่องเชื่อมแผงวงจรรวมโดยใช้การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์
โดย	นายนฤทธิ์ เร้ารุ่งอรุณ
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดาริชา สุธีวงศ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มานพ เรี่ยวเดชะ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดาริชา สุธีวงศ์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สีรง ปรีชานนท์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(อาจารย์ ดร.วุฒิชัย วงษ์ทัศนีย์กร)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นฤทธิ์ เร้ารุ่งอรุณ : การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบบำรุงรักษาเครื่องเชื่อมแผงวงจรรวม โดยใช้การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์. (EFFICIENCY IMPROVEMENT OF WIRE-BONDING-MACHINE MAINTENANCE SYSTEM USING PREDICTIVE MAINTENANCE) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดาริชา สุธีวงศ์, 118 หน้า.

กระบวนการเชื่อมวงจรไฟฟ้าในอุตสาหกรรมการผลิตแผงวงจรรวม เป็นกระบวนการที่ใช้เครื่องจักรอัตโนมัติในกระบวนการผลิตและพบปัญหามากที่สุด จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องหาวิธีการจัดการระบบการบำรุงรักษาที่เหมาะสมที่สุดกับเครื่องจักร เพื่อให้สามารถใช้งานเครื่องจักรได้เต็มประสิทธิภาพมากที่สุด งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบการซ่อมบำรุงรักษาเครื่องเชื่อมแผงวงจร โดยการนำเสนอระบบการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ (Predictive Maintenance: PdM) มาใช้แทนการบำรุงรักษาแบบหลังเกิดเหตุขัดข้อง (Breakdown Maintenance) เพื่อให้เครื่องจักรมีประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือสูง และมีต้นทุนการดำเนินงานรวมต่ำที่สุด โดยงานวิจัยนี้ได้ใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดสอบแรงเฉือนลูกบอล (Standard Deviation of Ball Shear Strength: SDBSS) มาใช้ในการพยากรณ์ค่าความพร้อมในการใช้งานของเครื่องเชื่อมวงจรไฟฟ้า งานวิจัยนี้ได้นำเอาระบบการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ที่ได้นำเสนอไปทดลองใช้งานในเครื่องจักรทดลอง พบว่าหลังจากการนำหลักทฤษฎีการซ่อมบำรุงเชิงพยากรณ์และสถิติมาประยุกต์ใช้กับระบบการซ่อมบำรุงรักษาแบบเดิม สามารถเพิ่มประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (Overall Equipment Effectiveness: OEE) จากร้อยละ 89.16 เป็นร้อยละ 93.28 และค่าความพร้อมในการใช้งานเครื่องจักร (Availability) เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 91.92 เป็นร้อยละ 96.06 อีกทั้งยังสามารถลดค่าใช้จ่ายและความสูญเสียในการซ่อมบำรุงรักษาลงได้ 747,150 บาทต่อปี นอกจากนี้ผู้วิจัยได้เสนอกรอบแนวความคิด แนวทางการประยุกต์ใช้การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์เพื่อนำไปใช้ในภาคอุตสาหกรรมทั่วไปได้

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต นฤทธิ์ เร้ารุ่งอรุณ

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ดาริชา สุธีวงศ์

ปีการศึกษา 2551

5071426821 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS : MAINTENANCE SYSTEM / BREAKDOWN MAINTENANCE / PREDICTIVE MAINTENANCE

NARIT RAORUNG-A-ROON : EFFICIENCY IMPROVEMENT OF WIRE-BONDING-MACHINE MAINTENANCE SYSTEM USING PREDICTIVE MAINTENANCE. ADVISOR : ASSISTANT PROFESSOR DARICHA SUTIVONG, Ph.D., 118 pp.

The wire bonding process employs automated machinery which makes it the most problematic process in integrated circuit industry. A proper strategy for a maintenance system will help to maximize effectiveness and efficiency of the machinery. This research aims to optimize the performance and reliability as well as total operating cost of the wire bonding machine by proposing a predictive maintenance system in place of the current breakdown maintenance. The standard deviation of ball shear strength (SDBSS) was used to predict the availability of wire bonding machine. After applying the proposed predictive maintenance system, the results show that the overall equipment effectiveness (OEE) increases from 89.16% to 93.28% and machine availability increases from 91.92% to 96.06%. The improvement leads to estimated savings of 747,150 baht per year. This research also proposes a framework for applying predictive maintenance to problems in other industries.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department : Industrial Engineering Student's Signature Narit Raorung-a-roon

Field of Study : Industrial Engineering Advisor's Signature Daricha Sutivong

Academic Year : 2008

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดีต้องขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดาริชา สุธีวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูง ที่ท่านได้ให้ความรู้ให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ตลอดจนวางแผนและติดตามการทำงานวิจัยนี้อย่างใกล้ชิด ทำให้ผู้วิจัยได้เกิดแนวความคิดและมุมมองใหม่ๆ ในการทำงานเพื่อปรับปรุงแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นตลอดระยะเวลาของการทำวิทยานิพนธ์ หากไม่มีท่านคอยช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ แล้ววิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่สำเร็จลงได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มานพ เรี่ยวเดชะ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สีรง ปรีชานนท์ และ อาจารย์ ดร.วุฒิชัย วงษ์ทัศนีย์กรกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ตลอดจน รองศาสตราจารย์ ดร.จิตรา รู้กิจการพานิช และรองศาสตราจารย์ สมชาย พวงเพิกศึก ที่ได้ให้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมเพื่อให้วิทยานิพนธ์มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ทางวิชาการ คำแนะนำและการอบรมข้าพเจ้าด้วยดีตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษาอยู่ในสถาบันการศึกษาแห่งนี้

ท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ ป้า มารดา ครอบครัว ญาติพี่น้อง ภรรยาและลูกสาว ที่ให้การสนับสนุนทางด้านการศึกษาด้วยดีตลอดมา ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจทุกท่าน และเป็นพื้นฐานแนวทางในการศึกษาต่อไปในอนาคต

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ญ

สารบัญภาพ..... ฏ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 2

1.3 ขอบเขตงานวิจัย..... 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 3

1.5 ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย..... 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 4

2.1 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 4

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 16

บทที่ 3 สภาพปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษา..... 19

3.1 ภาพรวมของโรงงานกรณีศึกษา..... 19

3.2 กระบวนการผลิตแผงวงจรรวม..... 19

3.3 กรณีศึกษาในอุตสาหกรรมผลิตแผงวงจรรวม..... 22

3.4 รายละเอียดของกระบวนการเชื่อมวงจรไฟฟ้า..... 23

3.5 สภาวะและความเป็นมาของปัญหาเครื่องเชื่อมวงจรไฟฟ้า..... 25

3.6 แผนการบำรุงรักษาเครื่องเชื่อมวงจรไฟฟ้าในปัจจุบัน..... 27

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

บทที่ 4 การวิเคราะห์ปัญหาและแนวคิดในการปรับปรุง..... 30
4.1 สภาพปัญหาในปัจจุบันของโรงานกรณีศึกษา..... 30
4.2 แนวคิดและเทคนิคที่นำเสนอในการดำเนินงานปรับปรุง..... 33
4.3 การวิเคราะห์ข้อมูลและความสัมพันธ์..... 34
4.4 แบบจำลองความสัมพันธ์ของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดสอบแรงเฉือนลูกบอล (SDBSS) และค่าความพร้อมในการใช้งาน (Availability)..... 36
4.5 แบบจำลองของต้นทุนและการหาอายุการใช้งานที่เหมาะสมที่สุดเพื่อการทดแทน..... 39
4.6 การทดลองในโรงงานกรณีศึกษา..... 41

บทที่ 5 การนำแบบจำลองไปประยุกต์ใช้..... 51
5.1 ข้อมูลสภาวะของเครื่องจักรก่อนการเปลี่ยนทรานสดิวเซอร์..... 52
5.2 ข้อมูลสภาวะของเครื่องจักรหลังการเปลี่ยนทรานสดิวเซอร์..... 54
5.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพเครื่องจักรก่อนและหลังการปรับปรุง..... 55
5.4 เปรียบเทียบต้นทุนรวมของการใช้งานเครื่องจักรก่อนและหลังการปรับปรุง.... 62

บทที่ 6 กรอบความคิดในการประยุกต์ใช้การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์..... 69
6.1 กระบวนการประยุกต์ใช้การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ในกรณีทั่วไป..... 69
6.2 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ในโรงงานกรณีศึกษา..... 75

บทที่ 7 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ..... 80
7.1 สรุปผลการวิจัย..... 80
7.2 อภิปรายผลการวิจัย..... 81
7.3 ข้อจำกัดในงานวิจัย..... 83
7.4 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต..... 84

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

รายการอ้างอิง..... 85
ภาคผนวก..... 88
ภาคผนวก ก..... 89
ภาคผนวก ข..... 93
ภาคผนวก ค..... 101
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 118

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	แผนกิจกรรมบำรุงรักษาใหญ่ประจำปี (Overhaul) เครื่อง Wire Bond……	28
3.2	แผนกิจกรรมบำรุงรักษาเครื่อง Wire Bond……..	29
4.1	ค่า OEE ของเครื่องเชื่อมวงจรไฟฟ้าในช่วงเดือน ก.ค. 2550 ถึงเดือน มิ.ย. 2551…….....	31
4.2	ค่า MTBF ของเครื่องจักรในช่วงเดือน ก.ค. 2550 ถึงเดือน มิ.ย. 2551.....	33
4.3	ข้อมูลเปรียบเทียบของทรานสดิวเซอร์เก่าและใหม่.....	35
4.4	ผลลัพธ์จากการทดสอบความแตกต่างทางสถิติ T-test…….....	35
4.5	ผลลัพธ์จากการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร.....	36
4.6	องค์ประกอบของต้นทุนการบำรุงรักษาเครื่องจักร.....	42
4.7	ค่าพารามิเตอร์ของโรงงานกรณีศึกษา.....	43
4.8	ผลลัพธ์จากการหา Economic Service Life……	44
4.9	ค่าพารามิเตอร์ของต้นทุนที่เปลี่ยนแปลงจาก -30 ถึง +30 เปอร์เซ็นต์.....	47
4.10	ค่าผลลัพธ์ต้นทุนรวมของการใช้งานเครื่องจักรที่ต่ำสุด.....	48
4.11	ค่าผลลัพธ์ SDBSS เมื่อต้นทุนรวมของการใช้งานเครื่องจักรมีค่าต่ำสุด……..	48
5.1	ค่า SDBSS ของเครื่องจักรทดลองก่อนการปรับปรุง.....	51
5.2	ค่า OEE และ MTBF ของเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 1 ก่อนการปรับปรุง.....	52
5.3	ค่า OEE และ MTBF ของเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 2 ก่อนการปรับปรุง.....	53
5.4	ค่า OEE และ MTBF ของเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 1 หลังการปรับปรุง.....	54
5.5	ค่า OEE และ MTBF ของเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 2 หลังการปรับปรุง.....	54
5.6	ค่าเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงของเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 1……..	56
5.7	ค่าเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงของเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 2……..	57
5.8	ค่าเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงเฉลี่ยของเครื่องจักรทั้ง 2 เครื่อง.....	59
5.9	ค่าเปรียบเทียบต้นทุนการใช้งานเครื่องจักรของเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 1……	63
5.10	ค่าเปรียบเทียบต้นทุนการใช้งานเครื่องจักรของเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 2……	65
5.11	ค่าเปรียบเทียบต้นทุนการใช้งานเครื่องจักรเฉลี่ยของเครื่องจักรทั้ง 2 เครื่อง……	67
7.1	ข้อมูลสรุปเปรียบเทียบของทรานสดิวเซอร์เก่าและใหม่……	80

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
7.2	ค่าเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงเฉลี่ยของเครื่องจักรทดลอง ทั้ง 2 เครื่อง.....	81
7.3	ค่าเปรียบเทียบต้นทุนการใช้งานเครื่องจักรเฉลี่ยของเครื่องจักรทดลอง ทั้ง 2 เครื่อง.....	81

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	องค์ประกอบค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (OEE).....	9
2.2	องค์ประกอบของความสูญเสียในการหาค่า OEE (Overall Equipment Effectiveness).....	13
2.3	กราฟ Economic Service Life.....	15
3.1	Flow Process Chart ของการผลิตแผงวงจรรวม.....	20
3.2	ขั้นตอนการสร้างลูกบอล (Free Air Ball).....	23
3.3	ขั้นตอนการเชื่อมจุดต่อวงจรไฟฟ้าที่ตัวได (Die).....	24
3.4	ขั้นตอนการสร้างรูปทรงลวดตัวนำจากตัวได (Die).....	24
3.5	ขั้นตอนการเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้าที่ลีดเฟรม.....	24
3.6	ขั้นตอนการสร้างปลายลวด (Tail Length).....	25
4.1	องค์ประกอบของค่า OEE ของเครื่องเชื่อมวงจรไฟฟ้า.....	31
4.2	กราฟพาเรโตแสดงองค์ประกอบปัญหาของค่า Availability.....	32
4.3	สัดส่วนเปอร์เซ็นต์องค์ประกอบปัญหาของค่า Availability.....	32
4.4	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า SDBSS และค่า Availability.....	37
4.5	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า SDBSS และอายุการใช้งานของทรานสดิวเซอร์..	38
4.6	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Total AW กับค่า SDBSS.....	45
4.7	กราฟแสดงการวิเคราะห์ความไวของต้นทุนรวมของการใช้งานเครื่องจักรที่ต่ำสุด.....	49
4.8	กราฟแสดงการวิเคราะห์ความไวของต้นทุนกับค่า SDBSS.....	50
5.1	ค่า OEE ก่อนและหลังการปรับปรุงของเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 1.....	56
5.2	ค่า OEE ก่อนและหลังการปรับปรุงของเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 2.....	58
5.3	ค่า OEE เฉลี่ยก่อนและหลังการปรับปรุงของเครื่องจักรทดลองทั้ง 2 เครื่อง.....	60
5.4	ค่า MTBF เฉลี่ยก่อนและหลังการปรับปรุงของเครื่องจักรทดลองทั้ง 2 เครื่อง.....	60
5.5	ค่า SDBSS เฉลี่ยก่อนและหลังการปรับปรุงของเครื่องจักรทดลองทั้ง 2 เครื่อง....	61
5.6	กราฟเปรียบเทียบต้นทุนการใช้งานเครื่องจักรของเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 1...	64
5.7	กราฟเปรียบเทียบต้นทุนการใช้งานเครื่องจักรของเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 2...	65

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
5.8	กราฟเปรียบเทียบค่า SDBSS เฉลี่ยเครื่องจักรทั้ง 2 เครื่อง.....	67
5.9	กราฟเปรียบเทียบต้นทุนการใช้งานเครื่องจักรเฉลี่ยของเครื่องจักรทั้ง 2 เครื่อง…	68
6.1	ผังกระบวนการประยุกต์ใช้งานแบบจำลองในกรณีทั่วไป……..	70

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตแผงวงจรรวม (Integrated Circuit: IC) ซึ่งรับชิ้นส่วนประกอบของตัวไอซีที่เป็นชิป (Chip) ในรูปของแผ่นเวเฟอร์ (Wafer) มาจากลูกค้า และส่งเข้าสู่กระบวนการผลิตจนเป็นตัวไอซี กระบวนการเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้า (Wire Bonding) เป็นกระบวนการที่สำคัญกระบวนการหนึ่งในการผลิตไอซีและพบปัญหามากที่สุด เนื่องจากเป็นกระบวนการที่เชื่อมวงจรไฟฟ้าด้วยลวดตัวนำขนาดเล็กต้องการความถูกต้องแม่นยำสูง โดยใช้เครื่องจักรอัตโนมัติที่ควบคุมการทำงานด้วยระบบคอมพิวเตอร์ซึ่งมีราคาเครื่องจักรสูง และอัตราการผลิตต่อเครื่องไม่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการอื่นๆในสายการผลิต ดังนั้นจึงต้องใช้จำนวนเครื่องจักรมากที่สุดเช่นกัน

ในโรงงานกรณีศึกษานี้จึงเลือกพิจารณาปรับปรุงระบบการบำรุงรักษาเครื่องเชื่อมวงจรไฟฟ้าที่ใช้ในสายการผลิต ผลิตภัณฑ์ A จำนวนทั้งหมด 90 เครื่อง ซึ่งพบปัญหาการเกิดเครื่องจักรเสีย (Downtime) ระหว่างกระบวนการผลิตสูง ทำให้ไม่สามารถใช้งานเครื่องจักรได้อย่างเต็มประสิทธิภาพและเกิดการไม่ต่อเนื่องในกระบวนการผลิต อีกทั้งเมื่อพบว่าเครื่องจักรเสียจะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้คุณภาพด้วย ซึ่งเมื่อวิเคราะห์ข้อมูลย้อนหลัง 1 ปีพบว่า ช่วงระยะเวลาเฉลี่ยระหว่างการเกิดเหตุขัดข้อง (Mean Time Between Failure: MTBF) มีค่าอยู่ที่ 291 นาที และค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (Overall Equipment Effectiveness: OEE) อยู่ที่ 90.62 เปอร์เซ็นต์

ปัจจุบันการบำรุงรักษาในโรงงานกรณีศึกษาจะใช้การบำรุงรักษาโดยใช้เวลาเป็นเกณฑ์และการบำรุงรักษาแบบหลังเกิดเหตุขัดข้อง โดยยังไม่มีการนำข้อมูลที่พบเครื่องจักรเสียมาวิเคราะห์และปรับปรุงแผนการซ่อมบำรุงให้เหมาะสมอย่างเป็นระบบ ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นตามมาคือพบปัญหาเครื่องจักรเสียอย่างกระทันหัน (Breakdown) บ่อยครั้ง เนื่องจากการกำหนดแผนการบำรุงรักษาที่ไม่เพียงพอ (Under Maintenance) ต้องหยุดเครื่องจักรเพื่อทำการซ่อมแซม ทำให้ค่าความพร้อมในการใช้งานเครื่องจักร (Availability) มีค่าต่ำ ในบางครั้งการบำรุงรักษาถูกกำหนดให้ทำมากกว่าช่วงเวลาที่เหมาะสม ทำให้เกิดต้นทุนการซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักรที่สูงเกินความจำเป็น (Over Maintenance) (Eti, Ogaji และ Probert, 2006)

ดังนั้นเพื่อเป็นการสร้างระบบการบำรุงรักษาเครื่องจักรที่เหมาะสม งานวิจัยนี้จึงนำทฤษฎีแนวความคิดการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ (Predictive Maintenance: PdM) ซึ่งเป็นวิธีการที่สามารถช่วยลดต้นทุนการบำรุงรักษาให้ต่ำลงได้ โดยจะไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนชิ้นส่วนหรือการทำการบำรุงรักษาที่มากเกินความจำเป็น งานวิจัยนี้จึงได้นำแนวความคิดการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์และวิธีการทางสถิติมาประยุกต์ใช้งานแทนระบบการบำรุงรักษาโดยใช้เวลาเป็นเกณฑ์ และแบบหลังเกิดเหตุขัดข้อง โดยมีจุดประสงค์เพื่อสร้างระบบการซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักรที่สามารถลดต้นทุนการบำรุงรักษาให้ต่ำลง และทำให้ต้นทุนรวมของการใช้งานเครื่องจักรมีค่าต่ำที่สุด การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์นี้จำเป็นต้องใช้ข้อมูลจากกระบวนการ (Process Data) ที่เครื่องจักรใช้งานอยู่ (Carnero Moya, 2004) นำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบและพยากรณ์สภาพของเครื่องจักรที่เปลี่ยนแปลงไปและอาจจะสร้างปัญหาได้ในอนาคต เพื่อหาแนวทางในการตัดสินใจป้องกันและปรับปรุงระบบบำรุงรักษา

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์และนำเสนอแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการบำรุงรักษาเครื่องเชื่อมวงจรไฟฟ้า โดยการนำเสนอระบบการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ (Predictive Maintenance: PdM) ที่มีต้นทุนการดำเนินงานต่ำที่สุด

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้มีการกำหนดขอบเขตของงานวิจัยไว้ดังนี้

1. ทำการศึกษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการบำรุงรักษาเฉพาะเครื่องเชื่อมวงจรไฟฟ้า ที่ใช้กระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ A ในโรงงานตัวอย่างเท่านั้น
2. ทำการวิจัยโดยเน้นแนวทางด้านการประยุกต์ใช้แผนการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ เพื่อใช้ร่วมกับแผนการบำรุงรักษาแบบเดิม ซึ่งใช้การบำรุงรักษาแบบหลังเกิดเหตุขัดข้องและการบำรุงรักษาโดยใช้เวลาเป็นเกณฑ์ของชิ้นส่วนอื่น
3. วัดผลการวิจัยโดยใช้ค่าต้นทุนการใช้งานเครื่องจักรต่ำที่สุดเป็นเกณฑ์ พิจารณาร่วมกับค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (OEE) และช่วงระยะเวลาเฉลี่ยระหว่างการเกิดเหตุขัดข้อง (MTBF)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย มีดังนี้

1. ได้แนวทางในการปรับปรุงระบบการบำรุงรักษาโรงงานให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น
2. ได้แนวทางในการลดต้นทุนการบำรุงรักษาให้ต่ำลง เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการแบบการบำรุงรักษาหลังเกิดเหตุขัดข้อง
3. ได้แนวทางที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมอื่นๆ ที่มีประเภทอุตสาหกรรมคล้ายคลึงกัน

1.5 ลำดับขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานสรุปได้ดังนี้

1. สำรวจงานวิจัย บทความ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับระบบการบำรุงรักษา
2. ศึกษากระบวนการผลิตแผงวงจรรวมและขั้นตอนการเชื่อมวงจรไฟฟ้าของโรงงานกรณีศึกษา เพื่อหาปัญหาเครื่องจักรที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตปัจจุบัน
3. ศึกษารวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล และหาสาเหตุของปัญหาของเครื่องจักรที่เกิดในกระบวนการผลิต
4. วิเคราะห์ข้อมูลด้วยทฤษฎีทางสถิติ และประยุกต์ใช้วิธีการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์
5. วัดผลและเปรียบเทียบผลก่อนและหลังเสนอการปรับปรุงในเครื่องจักรทดลอง โดยใช้ค่าต้นทุนการใช้งานเครื่องจักรต่ำที่สุดเป็นตัววัดผล โดยพิจารณาค่า OEE และ MTBF ประกอบด้วย
6. นำเสนอกรอบความคิดและขั้นตอนการประยุกต์ใช้วิธีการบำรุงเชิงพยากรณ์ เพื่อทำให้เกิดต้นทุนรวมของการใช้งานเครื่องจักรต่ำที่สุด
7. สรุปผลและเสนอแนะแนวทางการปรับปรุง
8. จัดทำรูปเล่มเรียบเรียงวิทยานิพนธ์

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 วิวัฒนาการระบบการบำรุงรักษา

การบำรุงรักษาเครื่องจักร เป็นกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานในการรักษาชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่างๆ ของเครื่องจักรให้สามารถทำงานตามหน้าที่ได้อย่างถูกต้องเต็มประสิทธิภาพอย่างมีความน่าเชื่อถือ แต่เดิมนั้นการบำรุงรักษาเครื่องจักรจะเป็นแบบการบำรุงรักษาหลังเกิดเหตุขัดข้อง (Breakdown Maintenance) คือ จะมีการทำต่อเมื่อเครื่องจักรเกิดเหตุขัดข้องแล้ว ซึ่งวิธีการบำรุงรักษาแบบนี้จะทำให้สายการผลิตต้องเกิดการหยุดชะงัก ก่อให้เกิดการสูญเสียของต้นทุนและเวลาเป็นอย่างมาก

ในปี พ.ศ. 2494 ได้มีการนำเอาวิธีการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) มาใช้เพื่อสร้างความน่าเชื่อถือในการปฏิบัติงานของเครื่องจักร และเพื่อป้องกันการเกิดเหตุขัดข้องฉุกเฉินที่ทำให้เครื่องจักรต้องหยุดการผลิตหรือทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ด้อยคุณภาพ ซึ่งการบำรุงรักษาวิธีการนี้สามารถลดการสูญเสียของต้นทุนและเวลาในการผลิตให้ต่ำลงได้ในระดับหนึ่ง การบำรุงรักษาเชิงป้องกันนี้ สามารถกระทำได้โดยการตรวจสอบสภาพเครื่องจักรและปรับแต่งเครื่องจักรให้สามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง รวมทั้งการเปลี่ยนชิ้นส่วนอะไหล่ตามระยะเวลาที่กำหนด

ต่อมาในปี พ.ศ. 2497 จากแนวความคิดแบบญี่ปุ่น ที่มีทัศนคติว่างานบำรุงรักษานั้นไม่สามารถแบ่งแยกออกจากงานการผลิตได้ ซึ่งงานทั้งสองประเภทดังกล่าวจะต้องร่วมกันกระทำอย่างสอดคล้องและเกื้อหนุนซึ่งกันและกัน ทำให้เกิดระบบการบำรุงรักษาแบบทวีผล (Productive Maintenance) ซึ่งเป็นการบำรุงรักษาที่อาศัยวิธีการหลายวิธีการประกอบเข้าด้วยกัน เพื่อให้เกิดการทวีผลและมีประสิทธิภาพสูงสุด

ประมาณปี พ.ศ. 2500 การบำรุงรักษาแบบทวีผล ได้ปรับเปลี่ยนไปเป็นการบำรุงรักษาเชิงแก้ไขปรับปรุง (Corrective Maintenance) ซึ่งเป็นการดำเนินการเพื่อการดัดแปลง ปรับปรุงแก้ไขเครื่องจักรหรือส่วนประกอบของเครื่องจักร เพื่อขจัดเหตุขัดข้องเรื้อรังของเครื่องจักรให้หมดไป และเพื่อปรับปรุงสมรรถภาพของเครื่องจักรให้สามารถผลิตงานได้ด้วยคุณภาพหรือปริมาณที่สูงขึ้น

และต่อมาในปี พ.ศ. 2506 ได้เริ่มมีวิธีการที่จะหลีกเลี่ยงกิจกรรมการบำรุงรักษา คือการดำเนินการใด ๆ ก็ตามที่จะให้ได้มาซึ่งเครื่องจักรที่ไม่ต้องมีการบำรุงรักษา หรือต้องการทำกิจกรรมการบำรุงรักษาน้อยที่สุด จึงทำให้เกิดเป็นการป้องกันการบำรุงรักษา (Maintenance Prevention) โดยพิจารณาตั้งแต่ขั้นตอนในการออกแบบเครื่องจักรให้มีความแข็งแรงทนทาน บำรุงรักษาง่าย และมีความน่าเชื่อถือสูง

จากการป้องกันการบำรุงรักษา ทำให้เกิดมีแนวคิดใหม่ในงานบำรุงรักษาโดยการนำเรื่องของวิศวกรรมความน่าเชื่อถือ (Reliability Engineering) มาประยุกต์ใช้ในการบำรุงรักษาเครื่องจักรซึ่งต่อมาได้วิวัฒนาการมาเป็นการบำรุงรักษาแบบทวีผลที่ทุกคนมีส่วนร่วม (Total Productive Maintenance: TPM) ซึ่งผลจากการบำรุงรักษาแบบนี้ ถือได้ว่าเป็นระบบการบำรุงรักษาที่มีประสิทธิภาพสามารถลดต้นทุนการผลิตได้เป็นอย่างมาก และยังเสริมสร้างความสัมพันธ์ของพนักงานในองค์กรได้เป็นอย่างดี

ต่อมาในปี พ.ศ. 2518 ได้มีแนวความคิดของวิธีการบำรุงรักษา ที่ทำการเฝ้าระวังและคาดคะเนอัตราการเสื่อมสภาพของเครื่องจักรในอนาคตเพื่อทำการพยากรณ์อาการชำรุดที่จะเกิดขึ้น ทำให้สามารถที่จะจัดวางแผนการบำรุงรักษาได้อย่างเหมาะสมก่อนที่เครื่องจักรจะเสีย ซึ่งเรียกวิธีการบำรุงรักษานี้ว่า การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ (Predictive Maintenance)

ในปี พ.ศ. 2525 ได้เกิดวิธีการบำรุงรักษาที่พัฒนาขึ้นต่อมาอีกคือ การบำรุงรักษาอย่างมีระบบ (Systematic Maintenance: SM) ซึ่งเป็นการรวมวิธีการบำรุงรักษาในรูปแบบต่างๆ ผสมผสานกันประกอบขึ้นเป็นระบบเพื่อใช้ในการบำรุงรักษาเครื่องจักร

2.1.2 ประเภทของการบำรุงรักษา

ประเภทของระบบการบำรุงรักษา สามารถแบ่งออกเป็นประเภทได้ดังนี้

2.1.2.1 การบำรุงรักษาหลังเกิดเหตุขัดข้อง (Breakdown Maintenance)

เป็นการบำรุงรักษาโดยการซ่อมหรือเปลี่ยนชิ้นส่วน หลังจากที่การทำงานของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์มีประสิทธิภาพต่ำลงหรือหยุดการทำงานเนื่องจากเกิดการเสียหาย (พูลพร แสงบางปลา, 2545) การบำรุงรักษาเครื่องจักรบางชนิดจะวางแผนที่จะเลือกใช้การบำรุงรักษาวิธีนี้เนื่องจากมีความประหยัดค่าใช้จ่ายในระยะสั้นกว่าวิธีการอื่นๆแต่มักส่งผลเสียมากในระยะยาว ใน

อดีตที่ผ่านมาการบำรุงรักษาหลังเกิดเหตุจะเป็นการบำรุงรักษาที่ไม่ได้มีการวางแผนไว้ และไม่ได้คำนึงถึงความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ภาพรวมแต่อย่างใด

2.1.2.2 **การบำรุงรักษาโดยใช้เวลาเป็นเกณฑ์** (Time-based Maintenance)

การบำรุงรักษาโดยใช้เวลาเป็นเกณฑ์เป็นแนวคิดที่ต้องการจะป้องกันการหยุดของเครื่องจักรเนื่องจากเครื่องจักรเสีย โดยที่ไม่สามารถคาดการณ์ล่วงหน้าได้ การที่ต้องหยุดเครื่องจักรไม่ว่ากรณีใดๆ เป็นการสร้างความเสียหายให้กระบวนการผลิตอย่างมาก ดังนั้นจึงมีระบบการบำรุงรักษาโดยใช้เวลาเป็นเกณฑ์ขึ้น เพื่อตรวจสอบสภาพเครื่องจักรที่ส่วนประกอบต่างๆ ตามระยะเวลาที่กำหนดและบันทึกผลเพื่อเก็บเป็นข้อมูล และนำข้อมูลมาวิเคราะห์จุดที่เป็นปัญหาเพื่อปรับปรุงแผนการบำรุงรักษาให้สอดคล้องกับสภาพเครื่องจักรที่เปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลา โดยอาจจะกำหนดแผนการบำรุงรักษาจากประสบการณ์หรือคู่มือการใช้งานเครื่องจักรนั้นๆ โดยจะต้องพิจารณาให้เกิดความเหมาะสมแม่นยำเชื่อถือได้ ข้อดีของการบำรุงรักษาระบบนี้คือใช้ทรัพยากรแรงงานในการตรวจสอบน้อย การเสียหายของเครื่องจักรก็มีน้อยเช่นกัน และข้อเสียคือค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษาสูง (นาคาชิมะ แปลโดย สมชัย อัครทิวา, 2545)

การปฏิบัติงานบำรุงรักษาโดยใช้เวลาเป็นเกณฑ์ประกอบด้วยกิจกรรมต่างๆ เช่น การทำความสะอาดเครื่องจักรและบริเวณโรงงาน (Cleaning) การหล่อลื่น (Lubrication) การตรวจสภาพ (Inspection) การปรับแต่งและการเปลี่ยนชิ้นส่วน (Adjustment and Replacement)

2.1.2.3 **การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์** (Predictive Maintenance)

การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ เป็นกิจกรรมที่ใช้ข้อมูลจากกระบวนการมาวิเคราะห์และดำเนินการวางแผนการบำรุงรักษา โดยทำการพยากรณ์โอกาสที่จะเกิดการเสียของเครื่องจักรและกำหนดแผนการบำรุงรักษา ซึ่งมีจุดประสงค์เพื่อไม่ให้เกิดการเสียของเครื่องจักรโดยไม่ได้มีการวางแผน การทำการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ คือการคาดคะเนอัตราการเสื่อมสภาพของเครื่องจักรหรือชิ้นส่วนจากผลการตรวจวัดโดยใช้เครื่องมือตรวจสอบ ซึ่งสามารถทำให้ได้ข้อมูลที่นำมาคาดคะเนและพยากรณ์อาการชำรุดของเครื่องจักรในปัจจุบัน เพื่อวางแผนการบำรุงรักษาเครื่องจักรในอนาคต ซึ่งแตกต่างจากบำรุงรักษาโดยใช้เวลาเป็นเกณฑ์ที่ทำการบำรุงรักษาตามระยะเวลาที่กำหนดขึ้น

การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ เป็นการใช้ข้อมูลจากกระบวนการที่เครื่องจักรถูกใช้งาน (Process Data) มาเพื่อการพยากรณ์ (Carnero, 2006) ดังนั้นต้องมีการวัดค่าตัวเลขและมี

การเปรียบเทียบข้อมูลตัวเลข เพื่อประมาณกำหนดการที่ชิ้นส่วนอาจเกิดการชำรุดเกิดขึ้น ทั้งนี้เพื่อให้เราสามารถจัดเตรียมแผนการล่วงหน้าสำหรับ แรงงาน ชิ้นส่วนอะไหล่ แผนการผลิตที่อาจได้รับผลกระทบได้อย่างแม่นยำ ข้อดีของการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์คือสามารถลดต้นทุนจากการทำการบำรุงรักษาที่มากเกินความจำเป็น (Tan และ Raghavan, 2008) และข้อเสียคืออาจต้องใช้เครื่องมือตรวจวัดที่มีราคาสูงต้องใช้พนักงานที่มีทักษะมากกว่า การตรวจวัดเพื่อการพยากรณ์สามารถทำด้วยวิธีการต่างๆเช่น การเฝ้าระวังระดับสัญญาณความสั่นสะเทือน (Vibration Analysis) การเฝ้าระวังโดยการวิเคราะห์สารหล่อลื่น (Oil Wear Particle Analysis) การเฝ้าระวังโดยการถ่ายภาพคลื่นความร้อน (Thermograph) การเฝ้าระวังการสึกหรอหรือรอยแตกร้าว (Thickness Tester, Ultrasonic, X-ray)

2.1.2.4 **การบำรุงรักษาเชิงแก้ไข** (Corrective Maintenance)

เป็นวิธีการบำรุงรักษาโดยการติดตามสมรรถนะเครื่องจักร เมื่อพบว่าสมรรถนะของเครื่องจักรลดลงต้องทำการหาวิธีในการบำรุงรักษาหรือการปรับตั้งเพื่อทำให้เครื่องจักรมีสภาพกลับไปใกล้เคียงกับสภาพเดิมมากที่สุด หรืออาจจะต้องมีการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงชิ้นส่วนเครื่องจักรให้มีความคงทนและมีประสิทธิภาพมากขึ้น จึงเป็นวิธีการบำรุงรักษาที่มุ่งแก้ปัญหาทั้งระยะสั้นและระยะยาว รวมทั้งลดค่าใช้จ่ายและเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องจักรอุปกรณ์ไปพร้อมๆกัน เพราะเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ออกแบบมาไม่สมบูรณ์ก็จริง แต่กระบวนการผลิต วัตถุดิบ นโยบายผู้บริหารและปัจจัยอื่นๆเปลี่ยนไป เครื่องจักรและอุปกรณ์ของเราจะต้องสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

นอกจากนี้ ยังมีไม่น้อยที่ผู้ใช้ต้องทำการปรับปรุงเพื่อให้ได้อัตราการผลิตที่สูงขึ้น (Upgrade) ซึ่งถ้าหากเราสามารถทำได้ ก็จะสามารถประหยัดเงินค่าใช้จ่ายในการซื้อเครื่องจักรอุปกรณ์ใหม่ได้ด้วย

จากประสบการณ์ที่ผ่านมานั้น ในโรงงานอุตสาหกรรมหลายแห่งเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่จัดหามาได้นั้นจะมีความสมบูรณ์ เพียงประมาณ 75-90 เปอร์เซ็นต์ ที่เหลืออีก 10-25 เปอร์เซ็นต์ ผู้ใช้งานต้องทำการปรับปรุงแก้ไขเพื่อให้ใช้ได้เหมาะสมกับสภาพการใช้งานจริง (ประเสริฐ บุญเทียม, 2543) ซึ่งก็มีเหมือนกันที่มีความสมบูรณ์เต็ม 100 เปอร์เซ็นต์

2.1.2.5 **การป้องกันการบำรุงรักษา** (Maintenance Prevention)

เป็นลักษณะที่แสดงถึงความก้าวหน้าของกระบวนการในการออกแบบเครื่องจักร เพื่อให้ลดการบำรุงรักษาลงให้มากที่สุด และเพิ่มประสิทธิภาพการเดินเครื่องใช้งานมีค่าสูงสุดด้วย ผลที่ได้จะสามารถลดค่าใช้จ่ายการบำรุงรักษา แรงงานและเวลาไปพร้อมกันด้วย โดยทำให้เข้าสู่ Maintenanceless Design Machine ด้วยเหตุนี้ปัญหาต่างๆจะสามารถลดลงได้อย่างมาก จะพบว่ามีการใช้งานอย่างมากมายในเครื่องจักรและอุปกรณ์สมัยใหม่ที่มีการใช้เทคโนโลยีสูงๆ ดังเช่นเครื่องคอมพิวเตอร์พกพาขนาดเล็กสมัยใหม่ เครื่องจักร เครื่องยนต์และอุปกรณ์กำเนิดไฟฟ้า เป็นต้น

การมุ่งสู่ Maintenanceless Machine นั้นหมายถึง การบำรุงรักษาสามารถทำได้โดยง่าย ต้องการงานบำรุงรักษาน้อยที่สุดจนเกือบไม่ต้องทำการบำรุงรักษาเลย

2.1.3 **ดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพเครื่องจักร**

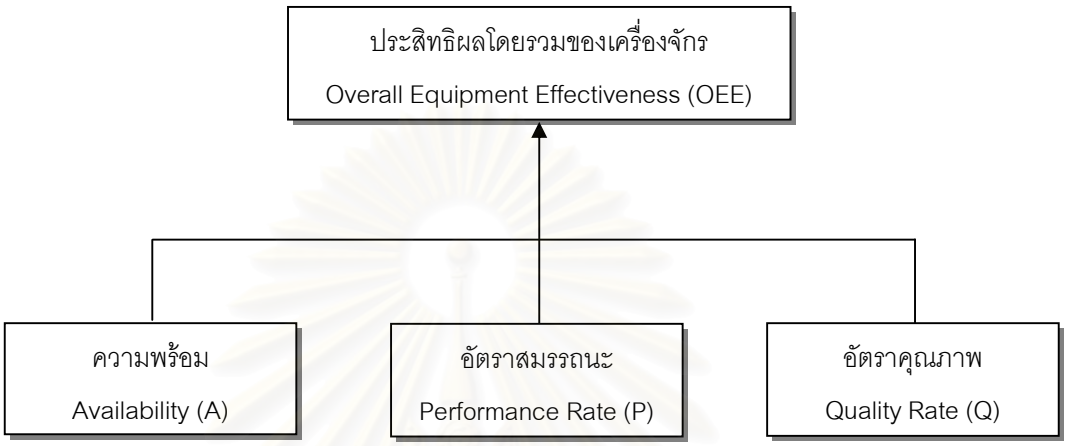
ดัชนีชี้วัดที่ใช้บอกถึงประสิทธิภาพของเครื่องจักรและระบบการบำรุงรักษาเครื่องจักรที่ใช้อยู่ในภาคอุตสาหกรรมที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ มีดังต่อไปนี้

2.1.3.1 **ประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร** (Overall Equipment Effectiveness: OEE)

เป็นค่าที่ใช้แสดงประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (Muchiri และ Pintelon, 2008) ซึ่งประกอบไปด้วย 3 ส่วนคือ 1) ความพร้อม (Availability) เครื่องจักรต้องสามารถพร้อมใช้งานได้ตลอดเวลา ไม่มีการเกิดเหตุขัดข้องที่ต้องหยุดหรือทำการปรับแต่งที่ทำให้เกิดการเสียเวลาของเครื่องจักร เวลาที่เสียไปนี้คิดเป็นเวลาเสียของเครื่องจักร 2) อัตราสมรรถนะ (Performance Rate) เครื่องจักรต้องมีสมรรถนะ ตามข้อกำหนด (Specification) อัตราสมรรถนะที่ไม่ดีอาจเป็นเพราะเครื่องเดินสูญเปล่าหรือความเร็วลดลง 3) อัตราคุณภาพ (Quality Rate) เครื่องจักรต้องสามารถผลิต ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตามข้อกำหนดโดยไม่มีของเสีย องค์ประกอบของค่า OEE แสดงดังในรูปที่ 2.1

ประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (Overall Equipment Effectiveness: OEE) เป็นเครื่องมือในรูปของดัชนีที่ทำให้สามารถแยกแยะความสูญเสียเหล่านี้ออกมาอย่างเป็นระบบ เข้าใจง่าย และครอบคลุมในระดับปฏิบัติการและระดับการจัดการ (วัฒนา เชียงกูล และ เกรียงไกร

ดำรงรัตน์, 2546) ทำให้สามารถที่จะทำการแก้ไข หรือปรับปรุงได้ถูกจุดและสามารถลดต้นทุนการผลิตได้อย่างมาก ซึ่งค่า OEE จึงถูกใช้เป็นเครื่องมือตัวหนึ่งในการจัดการด้านการผลิต



รูปที่ 2.1 องค์ประกอบค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (OEE)

หลักการของ OEE จะทำการแบ่งความสูญเสียในกระบวนการผลิตเป็น 6 ประเภทหลัก (Six Big Losses) (สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน, 2548) โดยแยกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ดังนี้ ค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.1)

$$OEE = Availability \times Performance\ Rate \times Quality\ \ Rate \qquad (2.1)$$

โดยที่

Availability = ค่าความพร้อมใช้งานเครื่องจักร

Performance Rate = ค่าอัตราสมรรถนะ

Quality Rate = ค่าอัตราคุณภาพ

จากสมการที่ (2.1) แสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบที่จะทำให้ OEE มีค่าเพิ่มสูงขึ้นหรือลดลง เกิดจาก 3 ตัวแปรหลัก คือ

1) ความพร้อม (Availability: A) ในการทำงานของเครื่องจักร เมื่อจัดเวลาให้ทำงาน ถ้าเครื่องจักรมีความพร้อมมากก็มีโอกาสที่จะผลิตให้ได้ผลผลิตสูงมากขึ้นด้วย องค์ประกอบที่มีผลต่อความพร้อมสามารถแบ่งเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 2 ประเภท คือ

การเสียของอุปกรณ์ (Equipment failure or Break down losses) ซึ่งเป็นสาเหตุของการสูญเสียที่ใหญ่ที่สุดในกระบวนการผลิต การเสียของอุปกรณ์นี้นอกจากจะเป็นการเสียแบบทันทีทันใด ที่ทำให้เครื่องจักรต้องหยุดแล้ว ยังรวมถึงการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์อีกด้วย

การปรับตั้งและปรับแต่ง (Set up and Adjustment) ซึ่งเกิดจากการหยุดการผลิตจากการซ่อม หรือจากการที่คุณภาพสินค้าที่ออกมาเริ่มพบปัญหา (Defect) หรือการเปลี่ยนสินค้าที่ผลิต ทำให้ต้องมีการปรับตั้งหรือปรับแต่งเครื่องจักรใหม่ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.2)

$$Availability = \frac{Loading\ \ time - Unplanned\ \ downtime}{Loading\ \ time} \qquad (2.2)$$

เมื่อ

Availability = ค่าความพร้อมของเครื่องจักร

Loading time = เวลาที่เครื่องจักรรับภาระ

Unplanned downtime = เวลาที่เครื่องจักรเสียหยุดโดยไม่ได้วางแผน

ตัวอย่างของการหยุดที่ทำให้เกิดการสูญเสียความพร้อมในการใช้งานได้แก่

- การหยุดเครื่องจักรโดยไม่ได้วางแผน
- การเสียของเครื่องจักร (Machine Failure and Defect)
- การเสียจากการติดตั้งเครื่องจักร
- การเสียเนื่องจากการใช้งานไม่ถูกต้อง เช่น รับภาระมากเกินไป
- ความผิดพลาดจากการเดินเครื่อง
- การที่ต้องมีการ Set up เครื่องจักรใหม่โดยไม่ได้วางแผน
- การเปลี่ยนอุปกรณ์การผลิต (Tools) ใหม่ โดยไม่ได้วางแผน
- การทำความสะอาดเครื่องจักรโดยไม่ได้วางแผน
- การทดลองเดินเครื่องหลังจากซ่อมเสร็จ
- การติดต่อสื่อสารระหว่างฝ่ายซ่อมบำรุงและฝ่ายผลิต

- การหยุดโดยไม่ได้วางแผนอื่น ๆ

2) อัตราสมรรถนะ (Performance rate: P) คือความสามารถที่เครื่องจักรสามารถทำได้เทียบกับความสามารถทางทฤษฎี ซึ่งปกติจะวัดจากจำนวนสินค้าที่ผลิตได้จริง เทียบกับสินค้าที่ควรจะผลิตได้ในเวลาเดียวกัน หรือรอบเวลาในการผลิตสินค้านั้นในทางทฤษฎีเทียบกับเวลาที่ใช้จริงในการผลิตสินค้านั้น สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.3)

$$Performance\quad rate = \frac{Theoretical\quad cycle\quad time \times Quantity\quad of\quad parts\quad produced}{Operating\quad time} \qquad (2.3)$$

เมื่อ

Performance rate = อัตราสมรรถนะ

Theoretical cycle time = รอบเวลาทางทฤษฎี

Quantity of parts produced = จำนวนสินค้าที่ผลิตได้

Operating time = เวลาเดินเครื่อง

อัตราสมรรถนะที่มีค่าต่ำ มีผลมาจากความเร็วของเครื่องจักรที่ลดลงโดยมีองค์ประกอบดังนี้

การลดลงของความเร็วในการผลิต (Reduced Speed) ซึ่งอาจมีหลายสาเหตุ เช่นวัตถุดิบมีปัญหา ปัญหาจากเครื่องจักร กลัวเครื่องจักรจะรับภาระมากเกินไป การลดของความเร็วนั้นเป็นการเทียบระหว่างความเร็วที่เดินจริง (Actual Speed) กับความเร็วมาตรฐาน (Standard Speed) จะมีการกำหนดตั้งแต่เริ่มต้น ซึ่งความเร็วนี้จะนำไปใช้ในการคำนวณหารอบเวลาทางทางทฤษฎี (Theoretical Cycle Time) ถ้าเครื่องจักรเดินเครื่องด้วยความเร็วที่ช้าลง จะส่งผลให้ค่าเวลาของรอบเวลาการเดินเครื่องจริงที่เกิดขึ้น ใช้เวลามากกว่ารอบเวลาทางทางทฤษฎี จึงส่งผลทำให้อัตราสมรรถนะของเครื่องจักรมีค่าต่ำลง

การเดินเครื่องเปล่าและการหยุดชะงัก (Idle and Minor Stoppage) การสูญเสียจากการเดินเครื่องเปล่า คือการที่เครื่องจักรเดินแต่ไม่มีผลผลิตออกมา ส่วนการหยุดชะงัก คือการที่เครื่องจักรต้องหยุดเป็นช่วงๆ ในระยะเวลาสั้น ๆ เช่นการมีสินค้าติดในกระบวนการผลิต บางครั้งการหยุดชะงักที่ใช้เวลานานอาจถูกจำแนกเป็นเวลาสูญเสียจากเครื่องจักรเสีย (Downtime Losses) ซึ่งเวลาสูญเสียไปนี้จะส่งผลทำให้อัตราสมรรถนะของเครื่องจักรมีค่าต่ำลงเช่นกัน

ตัวอย่างของตัวแปรที่มีผลต่ออัตราสมรรถนะ จากการเดินเครื่องเปล่า และการหยุดชะงักได้แก่

- การทดสอบเครื่องจักร การปรับแต่งจากการเปลี่ยนสินค้า
- สมรรถนะลดลงจากวัตถุดิบที่ไม่ได้มาตรฐาน
- การติดขัดของสินค้า

3) อัตราคุณภาพ (Quality rate: Q) คือ อัตราส่วนของสินค้าที่ได้คุณภาพ เทียบกับสินค้าที่ผลิตออกมาทั้งหมด สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.4)

$$Quality \quad Rate = \frac{Total \quad unit \quad produced - Defective \quad unit}{Total \quad unit \quad produced} \tag{2.4}$$

เมื่อ

Quality rate = อัตราคุณภาพ

Total unit produced = จำนวนสินค้าที่ผลิตได้

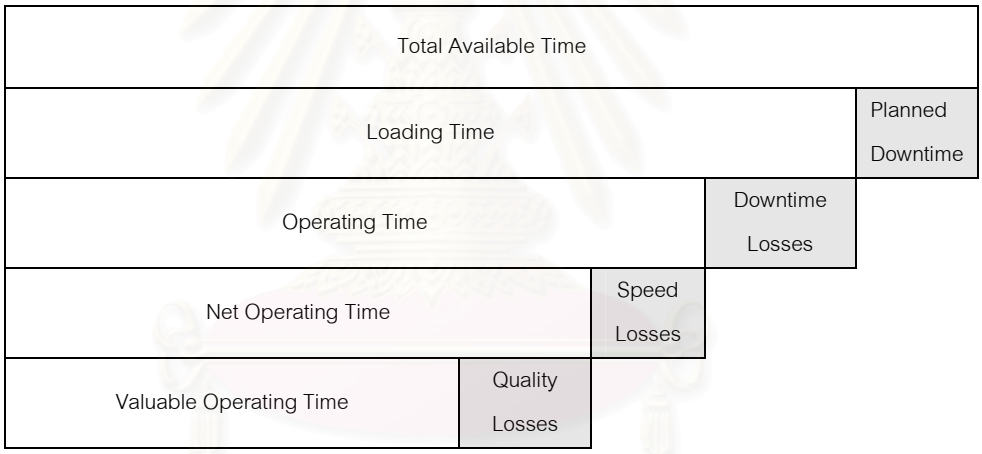
Defective unit = จำนวนสินค้าที่ผลิตแล้วไม่ได้คุณภาพ

การสูญเสียด้านคุณภาพ มีสาเหตุเกิดจาก

- Quality Defect คือ การสูญเสียที่เกิดขึ้นจากปัญหาหรือความผิดพลาดของเครื่องจักร ทำให้ต้องมีการทำงานซ้ำหรือแก้งาน (Rework) ซึ่งต้องมีการใช้ทรัพยากรเพิ่มมากขึ้น
- Start Up Losses คือ การสูญเสียขณะเริ่มเดินเครื่องจักรก่อนที่การผลิตจะเข้าที่ (Stabilization) ซึ่งจะมีการปรับแต่งจนกว่าคุณภาพของสินค้าจะได้ตามมาตรฐาน

ตัวอย่างการสูญเสียด้านคุณภาพ ได้แก่ การลดปริมาณการผลิตเนื่องจากมีการ Rework หรือ Scrap สินค้าที่ไม่ได้มาตรฐาน สูญเสียคุณภาพจากวัตถุดิบที่ไม่ได้มาตรฐาน เกิดการสูญเสียช่วงเริ่มต้นของการผลิต

ซึ่งองค์ประกอบของความสูญเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละส่วนของการหาค่า OEE แสดงในรูปที่ 2.2 โดยถ้าไม่มีความสูญเสียเกิดขึ้นเลย เครื่องจักรจะมีเวลาพร้อมใช้งานเท่ากับเวลาที่มีอยู่ทั้งหมดที่เป็นชั่วโมงการทำงาน และเมื่อถูกหักลบเวลาของการหยุดเครื่องจักรโดยมีการวางแผนไว้ล่วงหน้า (Planned Downtime) จะได้เป็นเวลาที่เครื่องจักรรับภาระ (Loading Time) เมื่อหักลบด้วยเวลาที่เครื่องจักรเสียหยุดโดยไม่ได้วางแผน (Unplanned Downtime) จะได้เป็นเวลาเดินเครื่องจักร (Operating Time) เพื่อทำการผลิต และเมื่อนำเอาความสูญเสียในส่วนที่ทำให้เครื่องจักรมีความเร็วในการผลิตลดลง (Speed Losses) จะได้เป็นเวลาเดินเครื่องจักรสุทธิ (Net Operating Time) และความสูญเสียในส่วนสุดท้ายคือ ความสูญเสียที่เกิดจากการผลิตสินค้าที่ไม่ได้ตามมาตรฐานเกิดเป็นของเสีย ซึ่งความสูญเสียในทุกส่วนนี้มีผลทำให้ค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (Overall Equipment Effectiveness: OEE) มีค่าลดลง ดังนั้นการปรับปรุงเพื่อลดความสูญเสียในแต่ละส่วนให้มีค่าน้อยลงจะส่งผลให้ค่า OEE มีค่าสูงขึ้น



รูปที่ 2.2 องค์ประกอบของความสูญเสียในการหาค่า OEE (Overall Equipment Effectiveness)

2.1.3.2 ช่วงระยะเวลาเฉลี่ยระหว่างการเกิดเหตุขัดข้อง (Mean Time Between Failure: MTBF)

เป็นดัชนีที่ใช้แสดงความน่าเชื่อถือของเครื่องจักร คือช่วงระยะเวลาเฉลี่ยที่เครื่องจักรทำงานและจะพบการเสีย 1 ครั้ง โดยตัวเลขที่มีค่าน้อยแสดงว่าเครื่องจักรเกิดการชำรุดหรือเกิดเหตุขัดข้องบ่อย ระบบขาดความน่าเชื่อถือ (Conley และ Mootz, 2007) ค่าช่วงระยะเวลาเฉลี่ยระหว่างการเกิดเหตุขัดข้อง สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.5)

$$MTBF = \frac{Operating\ \ time}{Number\ of\ \ failures} \quad (2.5)$$

โดยที่

MTBF = ช่วงระยะเวลาเฉลี่ยระหว่างการเกิดเหตุขัดข้อง

Operating time = เวลาเดินเครื่องจักร

Number of failures = จำนวนครั้งที่เครื่องจักรเกิดการชำรุด

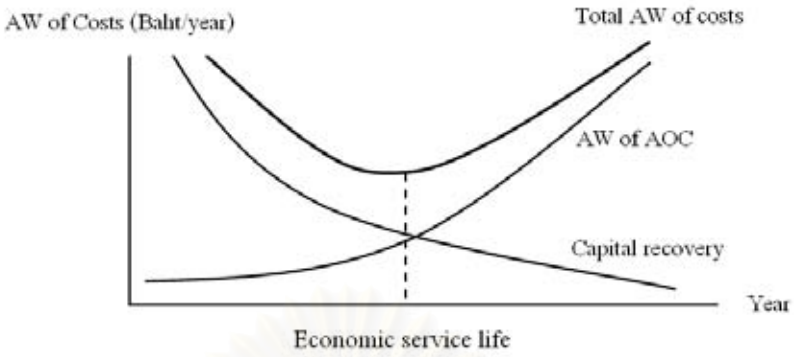
2.1.4 การหาอายุทรัพย์สินที่เหมาะสมที่สุดเพื่อการทดแทน (Economic Service Life: ESL)

การตัดสินใจเพื่อการทดแทนทรัพย์สินจะเกิดขึ้นเมื่อทรัพย์สินเริ่มเสื่อมคุณค่า ซึ่งหมายถึงการเสื่อมคุณลักษณะของทรัพย์สินเองและจากลักษณะการใช้งาน (วันชัย ริจิรวนิช, 2550) เหตุผลที่สำคัญซึ่งเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดความจำเป็นในการทดแทนทรัพย์สินมีดังนี้

1. การลดลงของประสิทธิภาพ เนื่องจากการเสื่อมสภาพทางกายภาพของทรัพย์สิน
2. การเปลี่ยนแปลงของความต้องการ เนื่องจากมีความต้องการใหม่ที่สินทรัพย์เดิมไม่สามารถสนองตอบได้ เช่น ความแม่นยำ ความเร็ว
3. การล้าสมัยของสินทรัพย์เดิมเนื่องจากสภาพการแข่งขันที่สูงในตลาดและความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว

การตัดสินใจดังกล่าวมักต้องทำการเปรียบเทียบกันระหว่างค่าใช้จ่ายและการลงทุนเพื่อการทดแทนทรัพย์สินใหม่

การคาดหมายอนาคตที่แม่นยำเป็นส่วนสำคัญในการวิเคราะห์การทดแทนทรัพย์สิน รวมถึงการกำหนดอายุการใช้งานทรัพย์สิน อัตราดอกเบี้ยและราคาสุดท้ายของทรัพย์สินเมื่อหมดอายุการใช้งาน โดยทั่วไปถ้าทรัพย์สินมีอายุการใช้งานมากขึ้น ต้นทุนทรัพย์สินต่อปีจะถูกแบ่งเบาไปเป็นการลดค่าใช้จ่ายทรัพย์สินต่อปีได้ แต่ในขณะเดียวกันค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานการใช้ทรัพย์สินย่อมสูงขึ้นเนื่องจากการซ่อมบำรุงที่มากขึ้น นอกจากนี้ค่าใช้จ่ายด้านการควบคุมคุณภาพหรือการสูญเสียเนื่องด้วยคุณภาพที่ไม่ดีก็สูงขึ้นด้วย ต้นทุนค่าใช้จ่ายทั้งสองลักษณะจึงมีลักษณะที่สวนทางกัน ถ้ารวมค่าใช้จ่ายทั้งสองลักษณะเข้าด้วยกัน จะเกิดเป็นส่วนของค่าใช้จ่ายรวมที่มีลักษณะเป็นเส้นโค้ง จุดซึ่งจะแสดงค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุด เป็นจุดที่อายุการใช้งานที่เหมาะสมที่สุดทางเศรษฐศาสตร์แสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 กราฟ Economic Service Life

การคำนวณหาอายุการใช้งานของทรัพย์สินเหมาะสมที่สุดประกอบด้วยค่าใช้จ่าย 2 ส่วน คือ ค่าของเงินคืนทุน (Capital Recovery: CR) และค่าใช้จ่ายจากการปฏิบัติการ (Annual Operating Cost: AOC) (Leland และ Anthony, 2008) โดยคำนวณหาค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปีจากปีที่ 1 ไปถึงปีที่ n ใดๆ และพิจารณาปีที่ค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดเป็นอายุทรัพย์สินที่เหมาะสมที่สุดเพื่อการทดแทน ดังสมการที่ (2.6) และ (2.7)

$$Capital \quad recovery = -P(A/P,i,k) + S_k(A/F,i,k) \tag{2.6}$$

$$TotalAW_k = CR - \left[\sum_{j=1}^{j=k} AOC_j(P/F,i,j)\right](A/P,i,k) \tag{2.7}$$

โดยที่

$Capital \quad recovery$ = ค่าของเงินคืนทุน (CR)

$TotalAW_k$ = ผลรวมค่าเงินเทียบเท่ารายปีของปีที่ k

P = เงินลงทุนในตัวทรัพย์สินครั้งแรก

S_k = ราคาซากในปีที่ k

AOC_j = ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการรายปีในปีที่ j

i = อัตราดอกเบี้ยต่อปี

ซึ่งจะนำเอาเทคนิควิธีการหาอายุทรัพย์สินที่เหมาะสมที่สุดไปประยุกต์ใช้งาน ช่วยในการตัดสินใจกำหนดแผนการบำรุงรักษาที่เหมาะสมที่สุดทางเศรษศาสตร์

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบำรุงรักษา

Swanson, L. (2001) ได้เสนอกรอบแนวความคิดในการแบ่งกลยุทธ์การบำรุงรักษาออกเป็น 3 แนวทางได้แก่

1) กลยุทธ์แบบตั้งรับ (Reactive Strategies) คือ การบำรุงรักษาหลังพบจากการเกิดเหตุขัดข้องแล้ว เช่น (Breakdown Maintenance) หรือการบำรุงรักษาแบบแก้ไข (Corrective Maintenance)

2) กลยุทธ์เชิงรุก (Proactive Strategies) คือ แนวความคิดการบำรุงรักษาโดยการป้องกันก่อนที่ปัญหาจะเกิดขึ้น เช่นการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ (Predictive Maintenance)

3) กลยุทธ์เชิงรุกราน (Aggressive Strategies) คือ แนวความคิดการบำรุงรักษาที่ไม่ต้องการให้เครื่องจักรเสียเลย เช่นการบำรุงรักษาแบบทวีผลทุกคนมีส่วนร่วม (Total Productive Maintenance: TPM) และได้พบว่ากลยุทธ์การบำรุงรักษาเชิงรุกและกลยุทธ์เชิงรุกรานสามารถเพิ่มประสิทธิภาพขององค์กรได้อย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับกลยุทธ์การบำรุงรักษาแบบตั้งรับ

การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์เป็นการบำรุงรักษาโดยการใช้สภาวะเป็นเกณฑ์ (Condition-based Maintenance) คือแผนการบำรุงรักษาจะไม่อ้างอิงกับระยะเวลาแต่จะขึ้นอยู่กับสภาพของเครื่องจักรเป็นหลัก (Muchiri และ Pintelon, 2008) (Carnero, 2006) ได้ยกตัวอย่างแนวความคิดที่ใช้ในการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ ว่าเป็นการตรวจวัดค่าต่างๆจากเครื่องจักรในขณะที่ใช้งานเครื่องจักรในกระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่องหรือเป็นช่วงเวลา ค่าต่างๆที่ได้มาจะนำมาแสดงและใช้เป็นข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์และสนับสนุนการตัดสินใจวางแผนการบำรุงรักษาเครื่องจักรนั้น และได้กล่าวถึงข้อดีของการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ที่สามารถเพิ่มผลกำไร เพิ่มค่าความพร้อมการใช้งานเครื่องจักร (Availability) ช่วยลดของเสียที่เกิดในกระบวนการผลิต และที่สำคัญคือสามารถลดต้นทุนการบำรุงรักษาเครื่องจักร

Lofsten, H. (2000) ได้ระบุว่าต้นทุนที่ใช้ในการบำรุงรักษาในอุตสาหกรรม มีสัดส่วนประมาณ 15% ถึง 40% ของต้นทุนการผลิตรวม ซึ่งแนวทางของการซ่อมบำรุงเชิงพยากรณ์สามารถลดต้นทุนในส่วนนี้ได้

Conley, C., Mootz, D.D. (2007) ได้นำเอาแนวทางของการซ่อมบำรุงเชิงพยากรณ์มาศึกษาใช้งานร่วมกับการบำรุงรักษาแบบความน่าเชื่อถือเป็นศูนย์กลาง (Reliability Centered Maintenance: RCM) ซึ่งเป็นแนวความคิดที่มุ่งเน้นให้ระบบเกิดความพร้อมและความน่าเชื่อถือสูง (Reliability) ซึ่งเกิดขึ้นในอุตสาหกรรมการบินของสหรัฐอเมริกา ผลจากการศึกษาสามารถลดต้นทุนความเป็นเจ้าของ (Cost of Ownership: COO) ภาระงานของการบำรุงรักษาและต้นทุนรวมของการบำรุงรักษาลงได้อย่างมาก

Muchiri, P., Pintelon, L. (2008) ได้กล่าวถึงการใช้ประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (Overall Equipment Effectiveness: OEE) เป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพเชิงปริมาณของภาคอุตสาหกรรมการผลิต โดยแนวความคิดของการวัดประสิทธิภาพโดยใช้ OEE ถูกพัฒนาจากแนวความคิดของ TPM และนำเสนอครั้งแรกโดย Nakajima (นาคาชิมะ แปลโดย สมชัย อัครทิวา, 2545) จนเป็นเครื่องมือที่ได้รับความนิยมและใช้กันอย่างกว้างขวาง แนวความคิดนี้ถูกนำไปประยุกต์ใช้งานในรูปแบบต่างๆเช่น วัดประสิทธิผลโดยรวมของโรงงาน (Overall Factory Effectiveness: OFE) วัดประสิทธิผลโดยรวมของโรงงานเครื่องจักร (Overall Plant Effectiveness: OPE) วัดประสิทธิผลโดยรวมของสินทรัพย์ (Overall Asset Effectiveness: OAE)

2.2.2 การศึกษาปรับปรุงระบบการบำรุงรักษาและประยุกต์ใช้งานในภาคอุตสาหกรรม

งานวิจัยที่ผ่านมา (พงศกร แสงผ่องแผ้ว, 2539), (ฐิตินันท์ ชัยพัฒนาการ, 2536), (ภัทรียา กิตติเจริญเกียรติ, 2547) ได้ทำการศึกษาและพัฒนาระบบการซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักร โดยศึกษาพัฒนาปรับปรุงจากระบบการบำรุงรักษาแบบการซ่อมหลังจากเครื่องจักรเสีย (Breakdown Maintenance) ไปสู่การบำรุงรักษาแบบเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) หรือทำการพัฒนาระบบการบำรุงรักษาแบบเชิงป้องกันเดิมที่ใช้อยู่ ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นโดยจัดระบบการจัดการบำรุงรักษาให้เป็นระบบ วิเคราะห์ปรับปรุงและกำหนดแผนการบำรุงรักษาแบบเชิงป้องกันทั้งระยะสั้นและระยะยาวให้มีความเหมาะสมมากขึ้น ตลอดจนการจัดทำระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการงานซ่อมบำรุงรักษา โดยได้นำไปประยุกต์ใช้ในโรงานอุตสาหกรรมตัวอย่างประเภทต่างๆ เช่น โรงงานอุตสาหกรรมผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก โรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนอะไหล่รถยนต์ โรงงานอุตสาหกรรมผลิตตัวเก็บประจุ โรงงานอุตสาหกรรมผลิตแผ่นบันทึกข้อมูลคอมแพ็คดิสก์ เป็นต้น ผลลัพธ์ที่ได้หลังจากการปรับปรุงพบว่าระบบการบำรุงรักษามีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยสามารถพิจารณาจากดัชนีชี้วัดประเภทต่างๆที่นำมาใช้เช่น ระยะเวลาการชำรุดเสียใช้งานไม่ได้

ของเครื่องจักรที่ลดลง อัตราการขัดข้องของเครื่องจักรที่ลดลง ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเครื่องจักรที่ลดลง และอัตราการผลิตของเครื่องจักรที่เพิ่มสูงขึ้นเป็นต้น

สมเกียรติ วิทยาปัญญานนท์ (2536) ได้ทำการศึกษาและนำเสนอการวางแผนการบำรุงรักษาที่มีประสิทธิภาพ โดยนำแนวความคิดของการบำรุงรักษาแบบทวีผล ทำการหาลำดับความสำคัญของระยะเวลาเฉลี่ยของเหตุขัดข้อง (MTBF) ชนิดและกลไกของเหตุขัดข้องได้ถูกนำมาใช้ในการกำหนดแผนงานบำรุงรักษาและนำไปประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมกรณีศึกษา หลังจากการปรับปรุงพบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพระบบการบำรุงรักษาได้ โดยที่ทำให้ค่าความพร้อมในการใช้งานของเครื่องจักรในโรงงานกรณีศึกษาเพิ่มขึ้นและสามารถลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเครื่องจักรลงได้

พรสวรรค์ ภูยาธร (2540) ได้ทำการศึกษาวิจัยและนำเสนอเทคนิควิธีการวิเคราะห์หาสาเหตุความขัดข้องของเครื่องจักรอย่างเป็นระบบ โดยนำเสนอวิธีการในการวิเคราะห์เหตุขัดข้องของเครื่องจักรด้วยเทคนิควิธีการวิเคราะห์ข้อผิดพลาดและผลกระทบ (Failure Mode and Effects Analysis: FMEA) และใช้ดำเนินการแก้ไขปรับปรุงระบบการบำรุงรักษาในโรงงานผลิตแผงวงจรรวม และดนัย (ดนัย สาหร่ายทอง, 2543) ได้ทำการศึกษาและนำเสนอการสร้างขั้นตอนในการวิเคราะห์เหตุขัดข้องของเครื่องจักรในอุตสาหกรรมการผลิตรถจักรยานยนต์ โดยนำข้อมูลความขัดข้องของเครื่องจักร มาทำเป็นข้อมูลทางสถิติของปัญหาที่เกิดขึ้นและนำมาวิเคราะห์ เพื่อนำเสนอหัวข้อการปรับปรุงระบบการซ่อมบำรุงเครื่องจักร ด้วยการใช้เทคนิคและวิธีการวิเคราะห์จากตัวอย่างทั้งสองวิธีการดังกล่าว ทำให้สามารถจัดลำดับความสำคัญและกำหนดช่วงเวลาที่เหมาะสมในแผนการซ่อมบำรุงรักษาแบบเชิงป้องกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เดชรัตน์ สัมฤทธิ์ (2539) ได้นำเสนอการวางแผนการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ (Predictive Maintenance) ในการพยากรณ์อายุการใช้งานและภาระงานที่เหมาะสมของเครื่องจักรปืนเชื่อม ซึ่งเป็นเครื่องจักรหลักที่ใช้ในสายการผลิตตัวถังรถยนต์ ผลของการพยากรณ์ได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในการวางแผนการซ่อมบำรุงและเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักร เพื่อลดปัญหาการหยุดของสายการผลิตและปัญหาคุณภาพของตัวชิ้นงาน จากการนำแนวทางที่นำเสนอไปใช้งาน สามารถลดการหยุดของสายการผลิตเนื่องจากความบกพร่องของหัวเชื่อม และลดต้นทุนการผลิตในการเปลี่ยนหัวเชื่อมลงได้

บทที่ 3
สภาพปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษา

3.1 ภาพรวมของโรงงานกรณีศึกษา

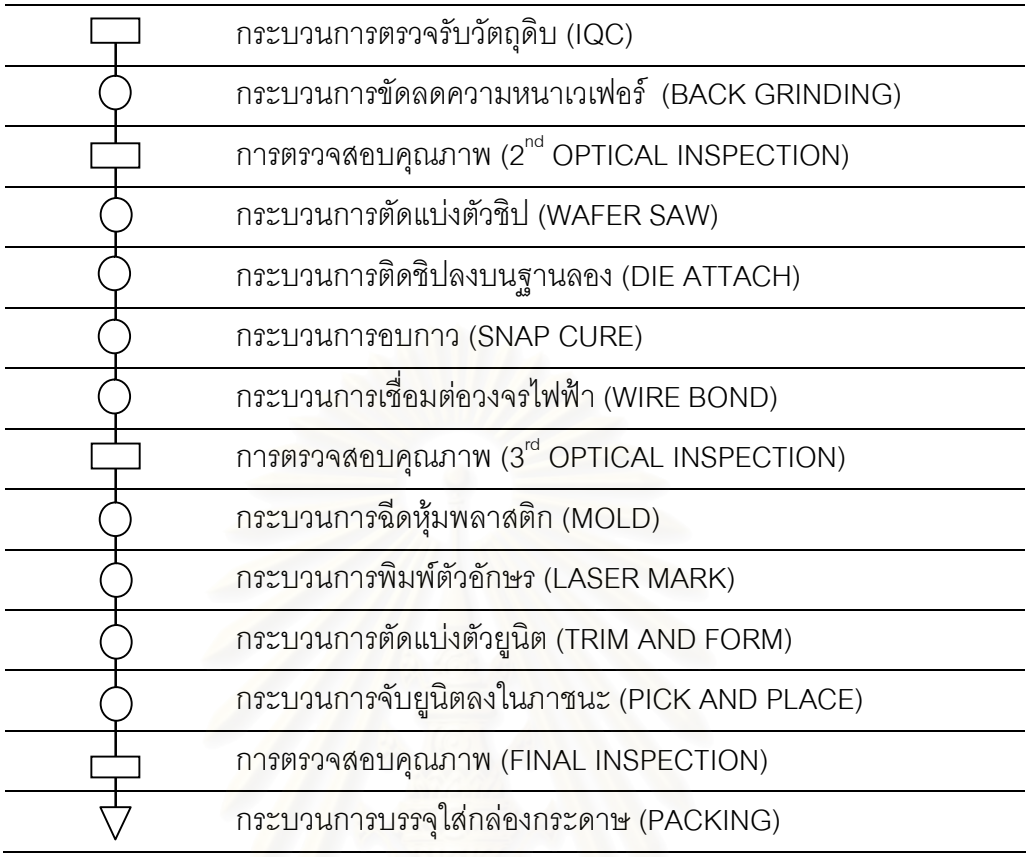
โรงงานกรณีศึกษาเป็นโรงงานผลิตและทดสอบชิ้นส่วนแผงวงจรรวม (Integrated Circuit: IC) ซึ่งจะรับชิ้นส่วนที่สำคัญในการผลิตมาคือตัวซิปไอซีมาจากลูกค้า และนำมาเข้าสู่กระบวนการผลิตด้วยขั้นตอนต่างๆ เพื่อให้ได้เป็นตัวไอซีที่มีคุณภาพถูกต้องตามมาตรฐานและตรงความต้องการของลูกค้า โดยโรงงานกรณีศึกษามีกำลังการผลิตอยู่ที่ประมาณสามพันล้านยูนิตต่อปี

เนื่องจากตัวไอซีที่ทำการผลิตเป็นอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็กและมีฟังก์ชันการใช้งานที่ซับซ้อน ถูกนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆได้อย่างหลากหลาย ดั้งนั้นในทุกขั้นตอนการผลิตจึงจำเป็นต้องใช้เครื่องจักรที่อัตโนมัติที่มีความแม่นยำสูง มีการควบคุมการทำงานด้วยระบบคอมพิวเตอร์ เครื่องจักรจึงถูกใช้เป็นทรัพยากรหลักที่สำคัญอย่างมากในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมการผลิตแผงวงจรรวม โดยเครื่องจักรที่ใช้ในอุตสาหกรรมนี้เกือบทั้งหมดต้องสั่งซื้อและนำเข้ามาจากต่างประเทศซึ่งตัวเครื่องจักรจะมีราคาสูง ตลอดจนรวมถึงชิ้นส่วนและอะไหล่ที่ใช้ในการบำรุงรักษาก็มีราคาสูงด้วยเช่นกัน

ดังนั้นการที่จะทำให้สามารถใช้งานเครื่องจักรอย่างเต็มประสิทธิภาพ ระบบการบำรุงรักษาจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งที่จะช่วยรักษาและทำให้เครื่องจักรคงประสิทธิภาพดีและพร้อมใช้งานได้ตลอดเวลา สามารถผลิตภันฑ์ที่มีคุณภาพถูกต้องตรงตามมาตรฐาน ด้วยต้นทุนการบำรุงรักษาที่ต่ำที่สุด

3.2 กระบวนการผลิตแผงวงจรรวม

โรงงานกรณีศึกษาเป็นโรงงานผลิตแผงวงจรรวม (Integrated Circuit: IC) ซึ่งมีผังลำดับขั้นตอนของกระบวนการผลิตแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 Flow Process Chart ของการผลิตแผงวงจรรวม

3.2.1 **กระบวนการตรวจรับวัตถุดิบ** (INCOMING QUALITY CONTROL)

คือกระบวนการตรวจสอบแผ่นเวเฟอร์ที่รับมาจากลูกค้า ว่ามีความถูกต้องตามรายละเอียดที่ลูกค้าแจ้งหรือไม่ หากไม่ถูกต้องตามที่ลูกค้าได้ระบุไว้ แผ่นเวเฟอร์จะไม่ถูกส่งเข้าสู่กระบวนการผลิต โดยแผ่นเวเฟอร์จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางแตกต่างกัน เช่น 4, 6, 8 นิ้ว

3.2.3 **การตรวจสอบคุณภาพตัวชิปในแผ่นเวเฟอร์** (2nd OPTICAL INSPECTION)

คือการตรวจสอบดูตัวชิปที่อยู่ในแผ่นเวเฟอร์ว่ามีความสมบูรณ์หรือไม่สมบูรณ์ โดยยูนิตที่ไม่สมบูรณ์จะถูกทำสัญลักษณ์ด้วยน้ำหมึกสีดำขนาดเล็ก เพื่อระบุว่าเป็นตัวชิปที่เป็นของเสีย

3.2.4 **กระบวนการตัดแบ่งตัวชิป** (WAFER SAW)

คือขั้นตอนตัดแบ่งตัวชิปที่อยู่ในแผ่นเวเฟอร์ออกจากกัน โดยใช้ใบมีดวงกลมหมุนด้วยความเร็วสูงวิ่งตัดตามรอยต่อระหว่างตัวชิป โดยที่ด้านหลังตัวชิปจะถูกติดอยู่บนเทปกาวเพื่อยึดไม่ให้ตัวชิปหลุดออกไปในระหว่างการตัด ตัวชิปจะถูกตัดแยกออกมาเป็นตัวยูนิตเดี่ยว

3.2.5 **กระบวนการติดชิปลงบนฐานลอง** (DIE ATTACH)

คือขั้นตอนการนำแผ่นเวเฟอร์ที่ผ่านการตัดแยกยูนิตออกจากกันแล้ว มาทำการจับตัวยูนิตออกไปวางบนลีดเฟรม (Lead frame) ที่ทำหน้าที่เป็นจุดต่อทางไฟฟ้า โดยจะใช้กาว (Epoxy) ที่มีส่วนผสมของเงินที่อยู่ในรูปของเหลว เป็นตัวยึดติดยูนิตบนลีดเฟรม

3.2.6 **กระบวนการอบกาว** (SNAP CURE)

คือการนำลีดเฟรมที่มีตัวยูนิตติดอยู่ ไปเข้าเครื่องอบให้ความร้อนที่อุณหภูมิในช่วงประมาณ 150-250 องศาเซลเซียลเพื่อให้ Epoxy แห้ง และทำหน้าที่ยึดตัวยูนิตให้ติดกับลีดเฟรม

3.2.7 **กระบวนการเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้า** (WIRE BOND)

คือกระบวนการเชื่อมต่อวงจรทางไฟฟ้าจากตัวชิปไปยังลีดเฟรม ซึ่งลีดเฟรมจะทำหน้าที่เป็นขาของตัวไอซี โดยใช้ลวดทองคำที่มีความบริสุทธิ์ 99.999% ที่มีขนาดเล็กเป็นตัวนำไฟฟ้าในการเชื่อมต่อวงจร เส้นลวดทองคำจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางต่างๆ เช่น 0.8, 1.0 และ 2.0 มิลล์

3.2.8 **การตรวจสอบคุณภาพตัวยูนิต** (3rd OPTICAL INSPECTION)

คือกระบวนการตรวจสอบคุณภาพของตัวยูนิตหลังจากกระบวนการเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้าเสร็จเรียบร้อยแล้ว โดยใช้กล้องขยายที่มีกำลังขยายขนาด 40 เท่า เพื่อที่ให้สามารถเห็นตัวยูนิตได้อย่างชัดเจน

3.2.9 **กระบวนการฉีดหุ้มพลาสติก** (MOLD)

คือกระบวนการการฉีดหุ้มตัวยูนิตและลีดเฟรม ที่เชื่อมต่อวงจรไฟฟ้าเรียบร้อยแล้วด้วยพลาสติกชนิดพิเศษ ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวถังภายนอกของตัวไอซี

3.2.10 **กระบวนการพิมพ์ตัวอักษร** (LASER MARK)

คือกระบวนการพิมพ์ตัวอักษรเพื่อระบุหมายเลขของไอซีลงบนตัวถังไอซี โดยใช้แสงเลเซอร์ยิงตัวอักษรลงบนผิวของตัวไอซี จะมีความลึกประมาณ 0.5 มิลล์

3.2.11 **กระบวนการตัดแบ่งตัวยูนิต** (TRIM AND FORM)

คือกระบวนการตัดแยกตัวยูนิตที่อยู่ในลีดเฟรมเดียวกันออกจากกันให้เป็นตัวยูนิตตัวเดียว โดยตัวยูนิตจะถูกตัดและจัดรูปร่างของขาให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด

3.2.12 **กระบวนการจับยูนิตลงในภาชนะ** (PICK AND PLACE)

คือกระบวนการจับยูนิตขึ้นมาตรวจสอบความถูกต้องของรูปร่างภายนอก ด้วยระบบกล้องถ่ายภาพตรวจสอบอัตโนมัติ ตัวยูนิตที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพจะถูกใส่ลงยังภาชนะบรรจุซึ่งเป็นหลอดพลาสติกหรือภาชนะบรรจุชนิดพิเศษ

3.2.13 **การตรวจสอบคุณภาพขั้นตอนสุดท้าย** (FINAL INSPECTION)

คือการสุ่มตรวจสอบคุณภาพครั้งสุดท้าย โดยที่ตัวยูนิตจะถูกบรรจุอยู่ในหลอดพลาสติกใสเพื่อให้สามารถตรวจสอบได้ ว่ามีคุณภาพถูกต้องตามมาตรฐานที่กำหนดหรือไม่

3.2.14 **กระบวนการบรรจุใส่กล่องกระดาษ** (PACKING)

คือกระบวนการบรรจุตัวยูนิตลงในถุงพลาสติกสูญญากาศ แล้วนำมารวมใส่ในกล่องกระดาษและทำการติดแผ่นป้ายแสดงรายละเอียดของผลิตภัณฑ์ เพื่อส่งมอบให้ลูกค้า

3.3 กรณีศึกษาในอุตสาหกรรมผลิตแผงวงจรรวม

อุตสาหกรรมการผลิตแผงวงจรรวมเกือบทั้งหมดในประเทศไทยนำเข้าชิ้นส่วนประกอบที่สำคัญคือตัวชิปมาจากต่างประเทศในรูปแบบเวเฟอร์ (Wafer) และนำเข้าสู่กระบวนการผลิตในขั้นตอนต่างๆจนเป็นตัวไอซีที่มีรูปร่างและขนาดแตกต่างกันออกไปตามมาตรฐานแพคเกจของไอซี เช่น PDIP, SOIC, TSSOP และตามความต้องการของลูกค้า ดังนั้นลักษณะแผนการผลิตของโรงงานกรณีศึกษานี้จะเป็นการผลิตตามคำสั่งผลิตของลูกค้า โดยมีกำหนดระยะเวลาการส่งมอบสิ้นค้าที่สั้นและไม่สามารถที่จะผลิตและเก็บไว้เพื่อรอส่งมอบให้ลูกค้าได้

เนื่องจากการผลิตกระบวนการผลิตทั้งหมดจะประกอบไปด้วยกระบวนการหลายกระบวนการ โดยในเกือบทุกกระบวนการจะใช้เครื่องจักรอัตโนมัติเป็นทรัพยากรหลักที่สำคัญ โดยเครื่องจักรที่ใช้จะเป็นเครื่องจักรที่ต้องการความแม่นยำสูง ตัวเครื่องจักรและอะไหล่ที่ใช้ในการบำรุงรักษาก็จะมีราคาสูง ดังนั้นการจัดการเพื่อจะให้สามารถใช้งานเครื่องจักรได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ด้วยต้นทุนการดำเนินงานที่ต่ำจึงเป็นเรื่องที่สำคัญอย่างยิ่งในโรงงานกรณีศึกษา

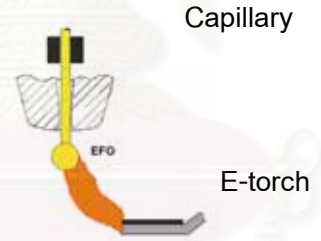
ผู้วิจัยพบว่าในกระบวนการเชื่อมแผงวงจรไฟฟ้าของโรงงานกรณีศึกษา เป็นกระบวนการซึ่งมีจำนวนเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการผลิตมากที่สุดเมื่อเปรียบกับกระบวนการอื่นๆ และเป็นกระบวนการที่พบปัญหาของเครื่องจักรเสียมากที่สุด โดยพิจารณาจากค่าประสิทธิผลโดยรวมและอัตราการเสียของเครื่องจักร

จากสภาพปัญหาดังกล่าวจึงเป็นมูลเหตุจูงใจ ที่ทำให้ผู้วิจัยมุ่งเข้าไปศึกษาเพื่อที่จะทำการปรับปรุงและพัฒนาระบบการบำรุงรักษา ของเครื่องเชื่อมวงจรไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ด้วยการดำเนินกิจกรรมการบำรุงรักษาในจุดที่เหมาะสมที่สุด เพื่อลดปัญหาเครื่องจักรเสียในระหว่างการผลิต จนเป็นเหตุให้กระบวนการผลิตต้องหยุดและเสียเวลาหยุดซ่อม และเปลี่ยนชิ้นส่วนอุปกรณ์ ทำให้เกิดการสูญเสียในกระบวนการผลิตและเกิดต้นทุนการดำเนินงานที่สูงขึ้น

3.4 รายละเอียดของกระบวนการเชื่อมวงจรไฟฟ้า

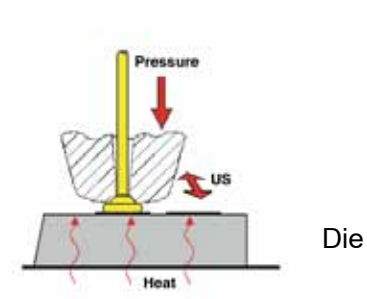
กระบวนการเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้า (Wire Bonding) เป็นกระบวนการเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้าด้วยลวดทองคำบริสุทธ์ (99.999 %) ขนาดเล็ก มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.8 ถึง 2.0 มิลล์ เชื่อมต่อวงจรไฟฟ้าจากตัวชิปไปยังลีดเฟรม (Lead Frame) ที่ทำหน้าที่เป็นขาของตัวไอซี กระบวนการเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้า ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 5 ขั้นตอนหลัก ดังนี้คือ

1) Forming Ball คือ การสร้างลูกบอลโดยใช้กระแสไฟฟ้าแรงดันสูง โดยให้พลังงานความร้อนกับปลายลวดทองคำเพื่อหลอมปลายลวดทองคำให้เป็นรูปทรงกลม แสดงดังรูปที่ 3.2



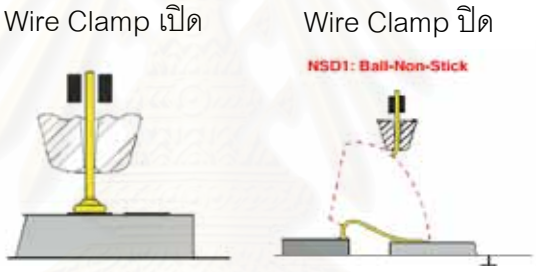
รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการสร้างลูกบอล (Free Air Ball)

2) First Bond คือ การนำลูกบอลไปเชื่อมต่อที่จุดต่อวงจรไฟฟ้า (Bonding Pad) ที่ตัวชิป หรือเรียกอีกชื่อว่าตัวได (Die) โดยใช้พารามิเตอร์ที่สำคัญ 3 ตัว คือแรงกด (Bond Force) อุณหภูมิ (Bond Temperature) และการสั่นตัวด้วยความถี่สูง (Ultrasonic Power) ของชุดทรานสดิวเซอร์ แสดงดังรูปที่ 3.3



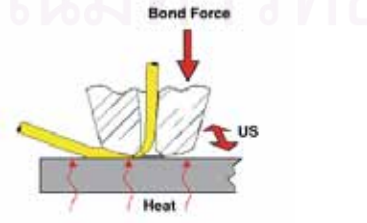
รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการเชื่อมจุดต่อวงจรไฟฟ้าที่ตัวได (Die)

3) Loop Profile คือ การสร้างรูปทรงของลวดทองคำที่เชื่อมวงจรจากตัวไดไปยังลีดเฟรม ซึ่งรูปทรงของเส้นลวดจะขึ้นอยู่กับโครงสร้างของแพคเกจไอซี โดยจะมีไวร์แคลมป์ (Wire Clamp) เป็นตัวกำหนดการจับและปล่อยลวดตัวนำเพื่อควบคุมความยาวของเส้นลวด แสดงดังรูปที่ 3.4



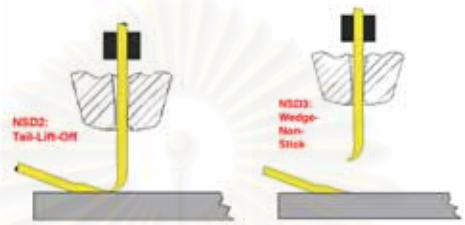
รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการสร้างรูปทรงลวดตัวนำจากตัวได (Die)

4) Second Bond คือ การเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้าที่ลีดเฟรม โดยใช้พารามิเตอร์ในการเชื่อมต่อที่มีลักษณะเช่นเดียวกับที่ First Bond แสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้าที่ลีดเฟรม

5) Tail Length คือ การสร้างปลายของลวด (Tail) เพื่อใช้ในการทำ Free Air Ball ที่จะต้องใช้ในการบอนด์ของจุดเชื่อมต่อวงจรในลำดับถัดไป โดยทำการปล่อยปลายลวดออกมาให้ได้ความยาวตามที่กำหนดแล้วจึงตัดลวดให้ขาดออกจากขาลีด เพื่อให้เกิดเป็นปลายลวดพร้อมที่จะทำ Free Air Ball ต่อไป ตามลำดับขั้นตอนเดิม แสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ขั้นตอนการสร้างปลายลวด (Tail Length)

เมื่อกระบวนการทำงานครบทั้ง 5 ขั้นตอนแล้ว การเชื่อมต่อวงจรจะเสร็จสมบูรณ์ในหนึ่งจุดเชื่อมต่อทางไฟฟ้าด้วยเส้นลวดตัวนำ และเครื่องจักรจะทำการเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้าในเส้นลวดตัวนำลำดับต่อไปตามโปรแกรมที่ได้ทำการกำหนดจากโปรแกรม ด้วยลำดับขั้นการทำงานที่เหมือนเดิม จนครบตามจำนวนจุดต่อทางไฟฟ้าของตัวไอซีที่กำหนด

3.5 สภาวะและความเป็นมาของปัญหาเครื่องเชื่อมวงจรไฟฟ้า

เนื่องจากเครื่องเชื่อมวงจรไฟฟ้าเป็นเครื่องจักรที่มีจำนวนมากที่สุดในโรงงานกรณีศึกษา มูลค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นในเครื่องจักรแต่ละเครื่อง เนื่องมาจากการที่เครื่องจักรเกิดการชำรุดเสียหายใช้งานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ เกิดค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการซ่อมบำรุงเพื่อทำให้เครื่องจักรอยู่ในสภาพที่สมบูรณ์พร้อมใช้งาน เมื่อนำมูลค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมดจากเครื่องจักรแต่ละเครื่องนี้มารวมเป็นมูลค่าความสูญเสียรวมทั้งหมดที่เกิดขึ้น ก็จะมีมูลค่าความสูญเสียรวมที่มีมูลค่าความเสียหายที่สูง

จากการสำรวจข้อมูลเบื้องต้นของเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้านั้น พบว่า ปัญหาหลักที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งและมีความรุนแรงมากที่สุดคือ ปัญหาเครื่องจักรเกิดการเสีย (Breakdown) ในระหว่างที่เดินเครื่องจักรทำการผลิต ทำให้กระบวนการผลิตต้องหยุดเกิดความไม่ต่อเนื่องในกระบวนการผลิต ในบางกรณีชิ้นงานที่ผลิตจากเครื่องจักรที่เกิดความผิดปกติเหล่านี้ ก็เกิดความเสียหายหรือมีคุณภาพไม่ตรงตามมาตรฐานที่กำหนดเกิดเป็นของเสีย ปัญหาที่ทำให้

เครื่องจักรเสียที่พบบ่อยครั้งและมีความรุนแรงมากที่สุด คือปัญหาของชุดทรานดิวเซอร์ (Transducer)

ชุดทรานดิวเซอร์ (Transducer) มีหน้าที่ทำให้ลูกบอลเกิดการสั่นตัวด้วยความถี่สูง (Ultrasonic Power) เพื่อช่วยให้เกิดการยึดเกาะตัวของลูกบอลกับจุดเชื่อมต่อทางไฟฟ้าบนตัวชิป เพื่อทำให้เกิดเป็นจุดเชื่อมต่อที่มีคุณสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดีและมีความคงทน หลักการทำงานของชุดทรานดิวเซอร์ จะทำการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล โดยมีระยะทางการเคลื่อนที่สูงสุดในขณะที่สั่นตัวอยู่ที่ประมาณ 5.0 ไมครอน (0.005 มิลลิเมตร) ด้วยความถี่ 138 กิโลเฮิร์ต จากรายละเอียดที่ได้อธิบายถึงขั้นตอนของกระบวนการเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้า (Wire Bonding) จะพบว่าชุดทรานดิวเซอร์เป็นชิ้นส่วนที่สำคัญของเครื่องเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้า โดยพลังงานที่ได้จากการสั่นตัวของชุดรานดิวเซอร์นั้นมีผลแปรผันโดยตรงกับคุณภาพการยึดติดกันของจุดเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้า มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบคุณภาพการเชื่อมต่อวงจรที่สำคัญได้แก่

1. การทดสอบแรงเฉือนลูกบอล (Ball Shear Strength) เพื่อทดสอบแรงในการยึดเกาะของลูกบอลกับจุดเชื่อมต่อวงจรบนตัวได

2. การทดสอบแรงดึงลวด (Wire Pull Strength) ใช้ทดสอบการยึดติดกันของลวดทองกับขาลีด

โดยค่า Ball Shear และค่า Wire Pull จะถูกใช้เป็นตัวชี้วัดคุณภาพของกระบวนการเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้า ดังนั้นในกระบวนการผลิตทุกครั้งที่มีการปรับตั้งเครื่องจักรหรือเริ่มผลิตจะมีการส่งตัวอย่างชิ้นงานไปทดสอบค่าดังกล่าว ซึ่งค่าที่ได้จากการทดสอบจะถูกเก็บและนำไปใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิตด้วยวิธีทางสถิติ (Statistical Process Control: SPC) เพื่อเฝ้าติดตามประสิทธิภาพกระบวนการผลิต และนำข้อมูลไปคำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงเฉือนลูกบอล (Standard Deviation of Ball Shear Strength: SDBSS) และค่าความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Index: Cpk)

ปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่า Ball Shear คือพารามิเตอร์ที่ใช้ในการบอนด์ และประสิทธิภาพของชุดทรานสดิวเซอร์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล สภาพของปัญหาที่พบคือประสิทธิภาพของทรานสดิวเซอร์ จะเปลี่ยนแปลงไปตามอายุการใช้งาน โดยยังไม่มีวิธีการหรือเครื่องมือในการตรวจสอบ จึงมักพบปัญหาทรานสดิวเซอร์เสียในระหว่างการผลิต ต้องเสียเวลาหยุดเครื่องจักรบ่อยครั้ง ความน่าเชื่อถือของกระบวนการผลิตต่ำหรือผลิตงานด้อยคุณภาพเกิดของ

เสีย โดยไม่สามารถระบุได้ว่าสมควรจะเปลี่ยนทรานสดิวเซอร์เมื่อใด บางกรณีจำเป็นต้องตัดสินใจเปลี่ยนทรานสดิวเซอร์ก่อนเวลาที่เหมาะสมทำให้เกิดค่าใช้จ่ายที่สูง จึงมีความจำเป็นที่ต้องหาวิธีการในการบำรุงรักษาแนวทางใหม่ที่สามารถป้องกันปัญหาก่อนที่ปัญหาจะเกิด โดยสามารถรักษาเครื่องจักรให้อยู่ในสภาพที่ดีพร้อมใช้งานตลอดเวลา ด้วยต้นทุนการดำเนินงานที่เหมาะสมที่สุด

3.6 แผนการบำรุงรักษาเครื่องเชื่อมวงจรไฟฟ้าในปัจจุบัน

ในปัจจุบันทางโรงงาน ได้มีการกำหนดแผนการซ่อมบำรุงรักษาเครื่องเชื่อมวงจรไฟฟ้าโดยเป็นแผนการซ่อมบำรุงรักษาแบบเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) เกือบทั้งหมด โดยจะมีการกำหนดแผนตามคาบเวลาที่แน่นอน (Time-base Maintenance) และในบางชิ้นส่วนจะใช้วิธีการบำรุงรักษาแบบหลังเกิดเหตุขัดข้อง (Breakdown Maintenance) ในการทำกิจกรรมการซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักร ส่วนประกอบของเครื่องจักรในแต่ละชิ้นส่วนจะถูกแบ่งแยกความสำคัญตามคู่มือการใช้งานของเครื่องจักรที่ได้มาจากบริษัทผู้ผลิตเครื่องจักร และใช้ประกอบกับข้อมูลจากสภาพปัญหาจริงที่เกิดขึ้นจากการใช้งานเครื่องจักร เพื่อนำมากำหนดเป็นแผนการบำรุงรักษา รายละเอียดของเครื่องเชื่อมวงจรไฟฟ้าที่ทำการศึกษาแสดงในภาคผนวกที่ ก.1 และตัวอย่างแผนการบำรุงรักษาที่แนะนำมาจากบริษัทผู้ผลิตเครื่องจักรแสดงในภาคผนวกที่ ก.2

ซึ่งแผนการบำรุงรักษาจะกำหนดเป็นคาบเวลาที่แตกต่างกันในแต่ละชิ้นส่วนของเครื่องจักร แผนการบำรุงรักษาที่ทำอยู่จะแบ่งตามคาบเวลาต่างๆ ได้แก่ แผนการบำรุงรักษาประจำสัปดาห์ แผนการบำรุงรักษาทุกเดือน แผนการบำรุงรักษาทุกสามเดือน แผนการบำรุงรักษาทุกหกเดือน และแผนการบำรุงรักษาใหญ่ประจำปี โดยกิจกรรมที่ทำจะประกอบไปด้วย การตรวจสอบ การทำความสะอาด การหล่อลื่น การสอบเทียบปรับแต่งให้ได้ค่าตามมาตรฐาน การเปลี่ยนชิ้นส่วนอุปกรณ์ตามเงื่อนไข ซึ่งกิจกรรมการบำรุงรักษาเครื่องจักรที่ใช้สำหรับเครื่องเชื่อมวงจรไฟฟ้าที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน แสดงในตารางที่ 3.1 และตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 แผนกิจกรรมบำรุงรักษาใหญ่ประจำปี (Overhaul) เครื่อง Wire Bond

ITEMS	ASSEMBLY MODULE	FREQUENCY	PM ACTIVITY					
			CHECK	CLEAN	LUBRICATE	ADJUSTMENT	REPLACEMENT	CALIBRATE
	BOND HEAD							
1	TRANSDUCER ALIGEMENT	YEARLY	x			x		x
2	CAPILLARY LEVEL	YEARLY	x			x		
3	INITAIL SPRING FORCE	YEARLY	x			x		
4	BOND HEAD POSITION	YEARLY	x			x		x
5	WIRE CLAMP	YEARLY	x	x		x	x	x
6	EFO TOCH TIP	YEARLY	x	x		x	x	
	WORK HOLDER							
7	WORK TRACK	YEARLY	x	x		x		
8	HEATER BLOCK LEVEL	YEARLY	x			x		x
9	INDEXER LEFT AND RIGHT	YEARLY	x	x	x	x		x
	X-Y TABLE							
10	X-Y TABLE SLIDE FRICTION	YEARLY	x	x	x			
11	X-Y TABLE PERPENDICULAR	YEARLY	x			x		x
12	X-T TABLE AUTO TUNE	YEARLY	x					x
13	BOND TIP OFFSET	YEARLY	x			x		
	OPTIC AND LIGHTING							
14	OBJECTIVE LENS	YEARLY	x			x		
15	COAXIAL LIGHT	YEARLY	x	x		x		
16	SIDE LIGHT	YEARLY	x	x		x		
	ELEVATOR ASSEMBLY							
17	LEADSCREW AND NUT	YEARLY	x	x	x	x		
18	X-Y SLIDER	YEARLY	x	x	x			
19	PHOTOSENSOR	YEARLY	x	x				
20	TIMING BELT	YEARLY	x			x		

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.2 แผนกิจกรรมบำรุงรักษาเครื่อง Wire Bond

ITEMS	ASSEMBLY MODULE	FREQUENCY	PM ACTIVITY					
			CHECK	CLEAN	LUBRI CATE	ADJUST MENT	REPLACE MENT	CALI BRATE
1	WIRE PATH & WIRE GUID	WEEKLY		x				
2	WORK HOLDER PLAT FORM	WEEKLY	x	x				
3	HEATE BLOCK TEMPERATURE	WEEKLY	x					x
4	WIRE CLAMP PLATE	MONTHLY	x	x		x		
5	AIR TENSIONER	MONTHLY		x		x		
6	GROUNDING WIRE CABLE	MONTHLY	x			x		
7	PHOTO SENSORS	MONTHLY		x		x		
8	BOND HEAD PRESSURE	MONTHLY	x			x		
9	PNEUMATIC SYSTEM	MONTHLY	x			x		
10	EFO TORCH TIP	QUARTERLY		x		x		
11	OBJECTIVE LENS	QUARTERLY		x				
12	INDEX CLAMP FORCE	QUARTERLY	x			x		
13	WIRE CLAM GAP	QUARTERLY	x			x		
14	PIVOT CLAMP	QUARTERLY	x					
15	EJECTOR BAR	SIX MONTHLY	x	x		x		
16	VOICE COIL INDEXER	SIX MONTHLY	x	x				
17	LEFT AND RIGHT INDEXER	SIX MONTHLY	x		x	x		
18	WIRE CLAMP FORCE	SIX MONTHLY						x

จากข้อมูลแผนการบำรุงรักษาเครื่องเชื่อมวงจรไฟฟ้าของโรงงานกรณีศึกษาพบว่า แผนการดำเนินงานจะเน้นวิธีการบำรุงรักษาโดยใช้เวลาเป็นเกณฑ์ (Time-base Maintenance) ซึ่งทำให้มีหัวข้อการทำกิจกรรมการบำรุงรักษามาก มีแผนกำหนดการเปลี่ยนชิ้นส่วนอุปกรณ์บางตัวตามระยะเวลาที่แน่นอน แต่ยังพบว่าเครื่องเชื่อมวงจรไฟฟ้ายังเกิดปัญหาการเครื่องจักรเสีย (Breakdown) ในระหว่างการผลิต ทำให้เกิดความสูญเสียและส่งผลให้ค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (Overall Equipment Effectiveness: OEE) และค่าช่วงระยะเวลาเฉลี่ยระหว่างการเกิดเหตุขัดข้อง (Mean Time between Failure: MTBF) มีค่าต่ำ

ดังนั้นการวิจัยศึกษาเพื่อที่จะหาแนวทางและวิธีการใหม่ๆ ที่จะนำมาปรับปรุงระบบการบำรุงรักษาเครื่องเชื่อมแผงวงจรไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยมีต้นทุนการบำรุงรักษาที่ต่ำ จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อโรงงานกรณีศึกษานี้

บทที่ 4
การวิเคราะห์ปัญหาและแนวคิดในการปรับปรุง

4.1 สภาพปัญหาในปัจจุบันของโรงานกรณีศึกษา

ผู้วิจัยได้เข้าไปสำรวจสภาพปัญหาในกระบวนการเชื่อมวงจรไฟฟ้าของโรงงานกรณีศึกษา และได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลของปัญหาของเครื่องจักรที่ทำให้ต้องหยุดการผลิต หรือชิ้นงานที่ผลิตออกมาได้คุณภาพไม่ตรงตามมาตรฐานคุณภาพเนื่องจากเครื่องจักรเสียหรืออยู่ในสภาวะไม่พร้อมใช้งาน โดยข้อมูลที่เก็บขึ้นมาจะพิจารณาจากค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (Overall Equipment Effectiveness: OEE) และค่าช่วงระยะเวลาเฉลี่ยระหว่างการเกิดเหตุขัดข้อง (Mean Time Between Failure: MTBF) นำเอาข้อมูลมาทำการวิเคราะห์เพื่อระบุความรุนแรงของปัญหาและจัดลำดับความสำคัญความของปัญหา พบว่าชุดทรานดิวเซอร์ (Transducer) ที่เป็นชิ้นส่วนประกอบหนึ่งของเครื่องเชื่อมวงจรไฟฟ้า เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหามากที่สุด

ข้อมูลของค่า OEE และค่า MTBF ที่เก็บรวบรวมมาจากเครื่องเชื่อมวงจรไฟฟ้าทั้งหมดจำนวน 90 เครื่องในสายการผลิตที่จะทำการปรับปรุง แสดงดังตารางที่ 4.1 จากข้อมูลค่าเฉลี่ยของประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรในช่วงเดือน ก.ค. 2550 ถึงเดือน มิ.ย. 2551 มีค่าดังนี้

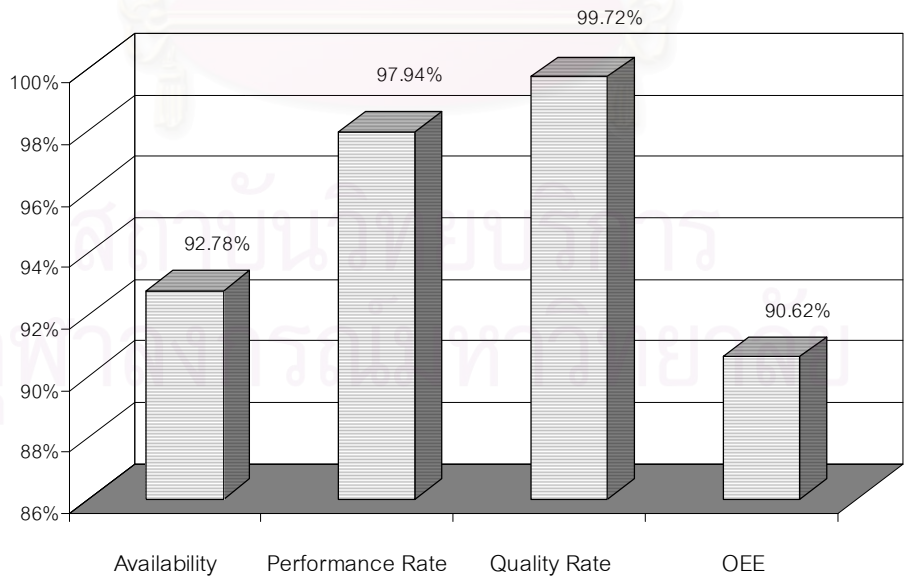
1) ค่า Availability = 92.78%
2) ค่า Performance Rate = 97.94%
3) ค่า Quality Rate = 99.72%
4) ค่า OEE = 90.62%

จากข้อมูลเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบความรุนแรงของปัญหาที่เกิดขึ้นพบว่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นในส่วนของ Availability ซึ่งมีความรุนแรงของปัญหามากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับปัญหาในส่วนอื่น แสดงในกราฟรูปที่ 4.1 ผู้วิจัยจึงเลือกพิจารณาที่จะปรับปรุงในส่วนนี้ก่อน โดยเมื่อทำการวิเคราะห์และแบ่งแยกปัญหาในส่วนของค่า Availability ด้วยกราฟพาเรโต แสดงในรูปที่ 4.2

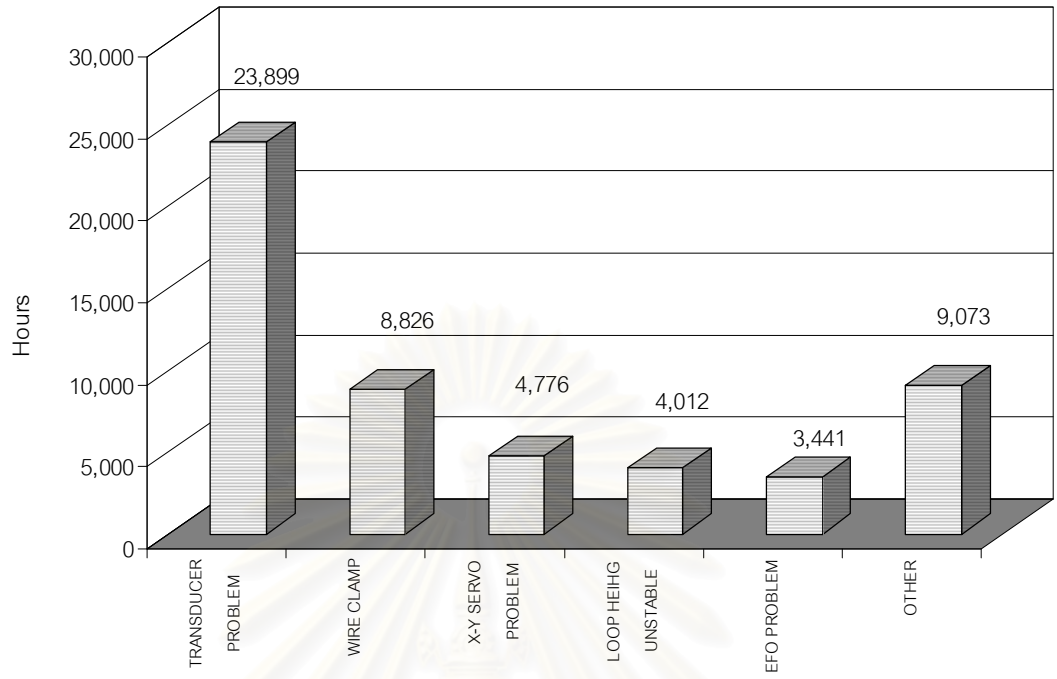
ซึ่งจากข้อมูลพบว่าปัญหาที่เกิดจากตัวทรานสดิวเซอร์มีความรุนแรงทำให้เกิดปัญหาเครื่องจักรเสียมากที่สุด เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์สัดส่วนของปัญหาเปรียบเทียบกับปัญหาทั้งหมดมีค่า 44.24 เปอร์เซ็นต์ แสดงในรูปที่ 4.3 จึงมีความจำเป็นที่ต้องวิเคราะห์ระบบการบำรุงรักษาชิ้นส่วนนี้

ตารางที่ 4.1 ค่า OEE ของเครื่องเชื่อมวงจรไฟฟ้าในช่วงเดือน ก.ค. 2550 ถึงเดือน มิ.ย. 2551

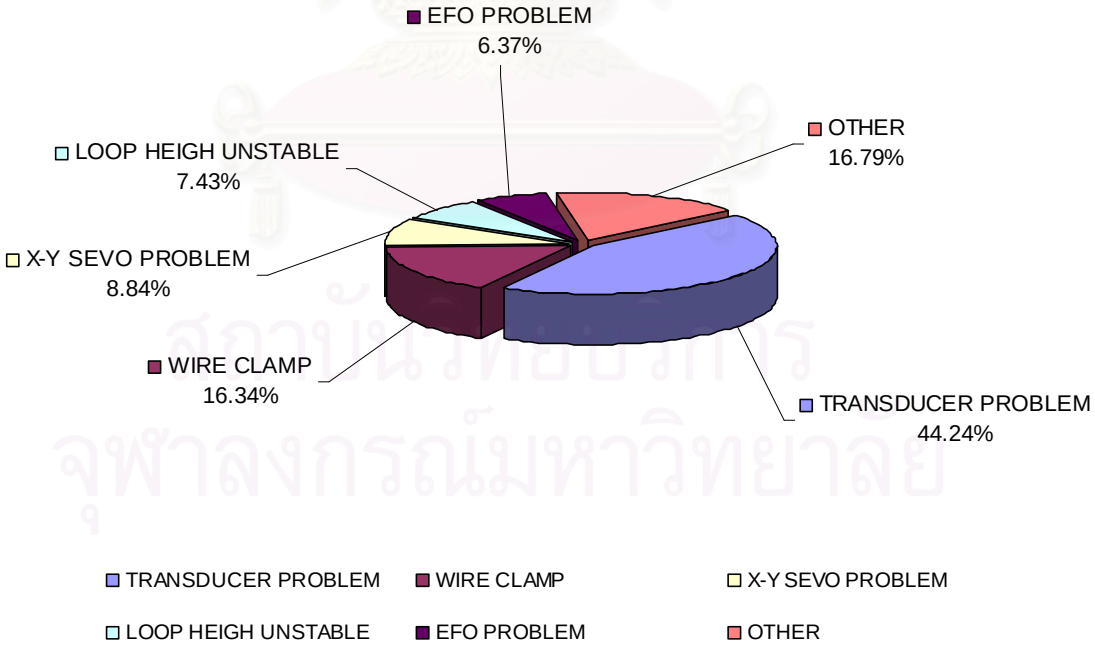
เดือน	Availability	Performance Rate	Quality Rate	OEE
ก.ค. 50	92.06%	97.89%	99.76%	89.90%
ส.ค. 50	93.12%	97.51%	99.72%	90.54%
ก.ย. 50	95.01%	98.14%	99.75%	93.01%
ต.ค. 50	94.15%	97.93%	99.74%	91.95%
พ.ย. 50	94.73%	98.71%	99.75%	93.27%
ธ.ค. 50	93.82%	98.21%	99.72%	91.89%
ม.ค. 51	92.49%	98.32%	99.74%	90.70%
ก.พ. 51	91.36%	97.67%	99.67%	88.93%
มี.ค. 51	92.16%	97.95%	99.69%	89.99%
เม.ษ. 51	91.48%	97.48%	99.73%	88.93%
พ.ค. 51	91.29%	98.23%	99.71%	89.42%
มิ.ย. 51	91.65%	97.28%	99.70%	88.89%
ค่าเฉลี่ย	92.78%	97.94%	99.72%	90.62%



รูปที่ 4.1 องค์ประกอบของค่า OEE ของเครื่องเชื่อมวงจรไฟฟ้า



รูปที่ 4.2 กราฟพาเรโตแสดงองค์ประกอบปัญหาของค่า Availability



รูปที่ 4.3 สัดส่วนเปอร์เซ็นต์องค์ประกอบปัญหาของค่า Availability

ข้อมูลค่า MTBF ของปัญหาที่เกิดเนื่องจากเครื่องจักรและชุดทรานสดิวเซอร์เสีย ต้องมีการหยุดเครื่องจักรเพื่อทำการปรับแต่งแก้ปัญหาเครื่องจักรหรือทำการเปลี่ยนชิ้นส่วนที่เกิดการเสียหาย โดยจำนวนครั้งในการเสียของเครื่องจักรทั้งหมด สามารถคำนวณจากผลรวมของจำนวนครั้งที่ต้องทำการหยุดเครื่องจักรทั้งหมด ซึ่งประกอบด้วยสองส่วนหลักคือ คือการหยุดเครื่องจักรเพื่อทำการตรวจสอบและปรับแต่ง เช่นปรับชุดทรานสดิวเซอร์ให้สามารถทำงานได้ตามปกติ และการหยุดของเครื่องจักรเพื่อเปลี่ยนชิ้นส่วนใหม่ เช่นเปลี่ยนทรานสดิวเซอร์ใหม่ มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 291 นาที แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่า MTBF ของเครื่องจักรในช่วงเดือน ก.ค. 2550 ถึง มิ.ย. 2551

เดือน	ก.ค. 50	ส.ค. 50	ก.ย. 50	ต.ค. 50	พ.ย. 50	ธ.ค. 50	ม.ค. 51	ก.พ. 51	มี.ค. 51	เม.ษ.	พ.ค. 51	มิ.ย. 51	ค่าเฉลี่ย
MTBF (นาที)	297	307	297	261	282	294	249	329	278	288	314	290	291

4.2 **แนวคิดและเทคนิคที่นำเสนอในการดำเนินงานปรับปรุง**

ในปัจจุบันการซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักรในโรงงานกรณีศึกษาเกือบทั้งหมดจะเป็นการซ่อมบำรุงหลังจากที่พบเครื่องจักรเสีย (Breakdown Maintenance) และการบำรุงรักษาโดยใช้เวลาเป็นเกณฑ์ (Time-base Maintenance) ซึ่งจุดอ่อนของระบบการซ่อมบำรุงทั้งสองแบบนี้คือเกิดการเสียของเครื่องจักรโดยไม่สามารถเตรียมการที่เหมาะสมได้ ทำให้เกิดการหยุดเกิดความไม่ต่อเนื่องของกระบวนการผลิต เกิดผลิตภัณฑ์เสียหรือด้อยคุณภาพ หากการกำหนดระยะเวลาไม่เหมาะสม อาจเกิดการสูญเสียจากกิจกรรมการซ่อมบำรุงที่มากเกินไป หรือเครื่องจักรเสียก่อนคาบเวลาที่กำหนด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำหลักการซ่อมบำรุงเชิงพยากรณ์ (Predictive Maintenance) มาประยุกต์ใช้เพื่อหาจุดที่เหมาะสมของกิจกรรมบำรุงรักษาเพื่อให้มีต้นทุนต่ำ โดยทำการวิเคราะห์สภาพปัญหาและหาความสัมพันธ์ของข้อมูลในกระบวนการผลิต เพื่อใช้ในการพยากรณ์สภาพเครื่องจักรและกำหนดแผนการบำรุงรักษา

โดยทั่วไปดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพของเครื่องจักรและระบบการบำรุงรักษาที่มักนิยมใช้กันประกอบด้วย ระยะเวลาการเสียของเครื่องจักร ความถี่ของของการเกิดเหตุขัดข้อง อัตราการเดินเครื่องของเครื่องจักร คุณภาพของผลผลิตที่ผลิตได้ อัตราการผลิตของเครื่องจักร ซึ่งส่งผลต่อค่า OEE และค่า MTBF ที่ใช้เป็นตัวชี้วัดความรุนแรงของปัญหา

ในการดำเนินงานปรับปรุงระบบการบำรุงรักษาจะนำค่า OEE มาทำการวิเคราะห์ เพื่อทำการแบ่งแยกและระบุความรุนแรงของสภาพปัญหาที่เกิดขึ้น ว่าส่วนใดมีความรุนแรงของปัญหามากที่สุด แล้วทำการหาสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้น และหาแนวทางในการแก้ปัญหาในส่วนนั้น โดยการประยุกต์นำแนวทางตามทฤษฎีการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์มาใช้ในการปรับปรุง เพื่อนำเสนอระบบการบำรุงรักษาเครื่องจักรใหม่ โดยงานวิจัยนี้มีแนวคิดในการใช้ค่าจากการทดสอบแรงเฉือนลูกบอล (Ball Shear Strength) มาเป็นตัวทำนายประสิทธิภาพของชุดทรานสดิวเซอร์ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของเครื่องเชื่อมแผงวงจรรวม

อนึ่งงานวิจัยนี้จะทำการสร้างแบบจำลองของการหาอายุทรัพย์สินที่เหมาะสมที่สุดเพื่อการทดแทน และนำมาช่วยวิเคราะห์เพื่อหาจุดที่เหมาะที่สุดในการตัดสินใจกำหนดแผนการบำรุงรักษาใหม่ในจุดที่เหมาะสมที่สุด กล่าวคือเพื่อให้มีต้นทุนการดำเนินงานบำรุงรักษาที่ต่ำที่สุดในการบำรุงรักษาชิ้นส่วนนั้น และในกรณีศึกษานี้ใช้ค่าต้นทุนการดำเนินงานบำรุงรักษา ค่า OEE และค่า MTBF เป็นตัวชี้วัดประสิทธิผลของเครื่องจักรและระบบการบำรุงรักษา

4.3 การวิเคราะห์ข้อมูลและความสัมพันธ์

จากข้อมูลของค่า OEE และค่า MTBF ของเครื่องเชื่อมวงจรทั้งหมด 90 เครื่องในสายการผลิตของผลิตภัณฑ์ A ที่ผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลย้อนหลังเป็นเวลาหนึ่งปี โดยเริ่มตั้งแต่วันที่ 1 กรกฎาคม พ.ศ. 2550 ถึงวันที่ 30 มิถุนายน พ.ศ. 2551 สามารถสรุปได้ดังนี้

1) ค่า Availability = 92.78%
2) ค่า Performance Rate = 97.94%
3) ค่า Quality Rate = 99.72%
4) ค่า OEE = 90.62%
5) ค่า MTBF = 291 นาที

จากข้อมูลพบว่าปัญหาที่มีความรุนแรงมากสุดคือ ปัญหาของตัวทรานสดิวเซอร์เสีย ซึ่งสร้างปัญหาให้กับเครื่องจักรทำให้ค่า Availability และค่า MTBF มีค่าต่ำ ผู้วิจัยจึงทำการสืบค้นข้อมูลเพิ่มเติมจากกลุ่มตัวอย่างเครื่องจักรที่พบปัญหาทรานสดิวเซอร์เสียทั้งหมด 7 เครื่อง ข้อมูลแสดงในภาคผนวกที่ ข.1 โดยเปรียบเทียบข้อมูลก่อนที่พบปัญหาและหลังจากทำการเปลี่ยนตัวทรานสดิวเซอร์ และนำข้อมูลมาเปรียบเทียบและวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นของข้อมูล ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลเปรียบเทียบของทรานสดิวเซอร์เก่าและใหม่

Transducer	Old	New	% Improved
Availability	89.13%	96.84%	+ 8.65%
Performance	97.90%	97.70%	- 0.20%
Quality	99.67%	99.70%	+ 0.04%
OEE	86.71%	94.13%	+ 8.56%
MTBF	242	501	+ 106.59%
Wire pull	22.76	23.07	+ 1.40%
SDBSS	3.59	2.90	- 19.34%

จากข้อมูลพบว่ามีความแตกต่างกันของค่า Availability ค่า OEE ค่า MTBF และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงเฉือนลูกบอล (Standard Deviation of Ball Shear Strength: SDBSS) ระหว่างก่อนและหลังจากการเปลี่ยนตัวทรานสดิวเซอร์ จึงนำข้อมูลที่ได้ไปทดสอบความสัมพันธ์ทางสถิติ ดังแสดงในภาคผนวกที่ ข.2 เพื่อดูความแตกต่างของค่าก่อนและหลังการเปลี่ยนทรานสดิวเซอร์ ว่ามีความแตกต่างมากหรือน้อยซึ่งได้ผลลัพธ์ แสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลลัพธ์จากการทดสอบความแตกต่างทางสถิติ T-test

Before-After	Mean	Paired Std.	Std Err Mean	t-value	t-prob
Availability	-7.07	2.53	0.95	-8.05	0.000
Performance	0.19	0.34	0.12	1.53	0.176
Quality	-0.03	0.05	0.01	-1.94	0.099
OEE	-7.42	1.11	0.42	-17.57	0.000
MTBF	-258.7	161.80	61.18	-4.22	0.006
Wire pull	-0.3114	1.36	0.516	-0.60	0.568
SDBSS	0.69	0.20	0.07	9.15	0.000

ผลจากการทดสอบที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 โดยดูจากค่า t-prob จะพบว่าค่า Availability, OEE, MTBF และ SDBSS ของทรานสดิวเซอร์เก่าและใหม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนค่า Performance Rate ค่า Quality Rate และค่า Wire pull ไม่มีความแตกต่างอย่างมี

นัยสำคัญ สรุปว่าเมื่อเปลี่ยนทรานดิวเซอร์ตัวใหม่ทำให้ค่า Availability ค่า OEE ค่า MTBF และค่า SDBSS ดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

เมื่อนำข้อมูลมาทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรด้วยการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation Analysis) ดังแสดงในภาคผนวกที่ ข.3 พบว่าค่า SDBSS มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญในทิศทางตรงข้ามกับค่า Availability ค่า OEE และค่า MTBF โดยมีค่านัยสำคัญที่ 0.000, 0.000 และ 0.003 ตามลำดับ แสดงในตารางที่ 4.5 ผลลัพธ์ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าสามารถนำค่า SDBSS ไปใช้พยากรณ์ค่า Availability ค่า OEE และค่า MTBF ได้

ตารางที่ 4.5 ผลลัพธ์จากการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร

Correlation Analysis		AVAILABI	PERFORMA	QUALITY	OEE	MTBF	WIREPULL	SD
SDBSS	Pearson Correlation	-.963	.326	-.617	-.891	-.731	-.100	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.255	.019	.000	.003	.733	.
	N	14	14	14	14	14	14	14

เนื่องจากระบบการซ่อมบำรุงในปัจจุบันยังไม่วิธีการและเครื่องมือในการตรวจสอบประสิทธิภาพของทรานดิวเซอร์ จึงไม่สามารถกำหนดอายุการใช้งานที่แน่นอนได้ ดังนั้นแผนการบำรุงรักษาชุดทรานสดิวเซอร์จึงยังไม่มีเกณฑ์มาตรฐาน ที่สามารถป้องกันปัญหาเครื่องจักรเสียเนื่องจากชุดทรานสดิวเซอร์ได้ การเปลี่ยนชุดทรานสดิวเซอร์จะกระทำก็ต่อเมื่อพบปัญหาเสียจนมาสามารถใช้ต่อไปได้อีก แต่เมื่อทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ด้วยวิธีการทางสถิติแล้วสามารถสรุปได้ว่าค่า SDBSS มีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพของเครื่องจักร งานวิจัยนี้จึงนำเสนอให้ใช้ค่า SDBSS เป็นตัวพยากรณ์ (Predictor) ประสิทธิภาพของเครื่องจักร ที่มีผลต่อค่า Availability ของเครื่องจักร

4.4 แบบจำลองความสัมพันธ์ของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดสอบแรงเฉือนลูกบอล (SDBSS) และค่าความพร้อมในการใช้งาน (Availability)

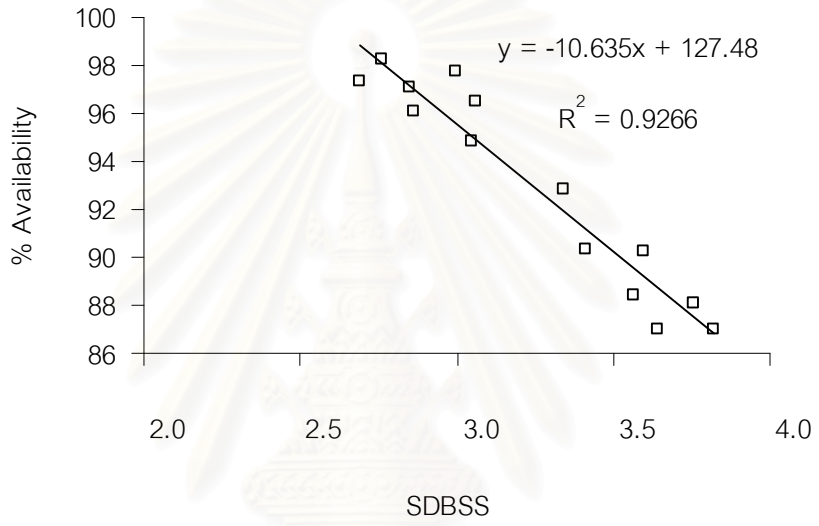
เพื่อวิเคราะห์หาค่า SDBSS ที่เหมาะสมสำหรับการเปลี่ยนทรานสดิวเซอร์ งานวิจัยนี้จึงศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า SDBSS และค่า Availability โดยกำหนดให้ค่า SDBSS เป็นตัวแปรอิสระ (Independent Variable) และค่า Availability เป็นตัวแปรตาม (Dependent Variable) และใช้การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) เพื่อหารูปแบบความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ (4.1) ข้อมูลการวิเคราะห์การถดถอยแสดงในภาคผนวก ข.4 โดยมีค่าความสัมพันธ์เท่ากับ 92.66 เปอร์เซ็นต์ (R Squared) ดังแสดงในรูปที่ 4.4

$$A_{VA} = -10.635 \times SDBSS + 127.48 \quad (4.1)$$

โดยที่

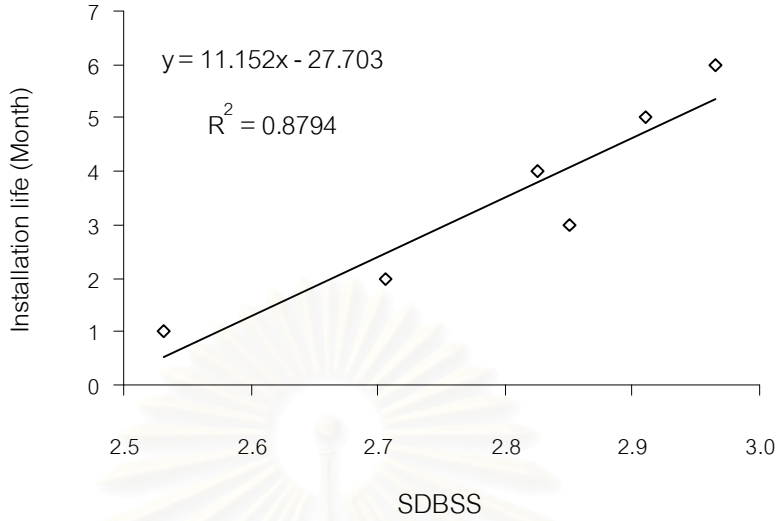
A_{VA} = ค่า Availability (%)

$SDBSS$ = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงเฉือนลูกบอล



รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า SDBSS และค่า Availability

ในทำนองเดียวกันผู้วิจัยได้ทำการสืบค้นข้อมูลของค่า SDBSS ที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาหลังจากมีการเปลี่ยนทรานสดิวเซอร์โดยแบ่งช่วงเวลาของข้อมูลออกเป็นเดือน ในช่วงเวลา 6 เดือน เพื่อหาความสัมพันธ์ไปใช้ในการพยากรณ์อายุการใช้งานของทรานสดิวเซอร์ ได้ดังสมการที่ (4.2) ข้อมูลการวิเคราะห์การถดถอยแสดงในภาคผนวก ข.5 โดยมีค่าความสัมพันธ์เท่ากับ 87.94 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า SDBSS และอายุการใช้งานของทรานสดิวเซอร์

$$T_{TR} = 11.152 \times SDBSS - 27.70 \quad (4.2)$$

โดยที่

A_{VA} = ค่า Availability (%)

T_{TR} = ระยะเวลาในการใช้งานของทรานสดิวเซอร์ (เดือน)

$SDBSS$ = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงเฉือนลูกบอล

จากสมการที่ (4.1) และ (4.2) สามารถหาความสัมพันธ์ของ อายุการใช้งานของทรานสดิวเซอร์และค่า Availability ได้ดังสมการที่ (4.3) โดยค่าสัมประสิทธิ์ความชันของสมการมีค่า -0.953 ซึ่งค่านี้สามารถนำไปใช้ประมาณอัตราการเปลี่ยนค่า Availability ต่อเดือนได้ กล่าวคือ ค่า Availability จะมีค่าเปลี่ยนแปลงลดลงเท่ากับ 0.953 เปอร์เซ็นต์ในแต่ละเดือน

$$A_{VA} = -0.953 \times T_{TR} + 101.06 \quad (4.3)$$

โดยสมการที่ (4.1) (4.2) และ (4.3) สามารถใช้ได้ในเงื่อนไขดังนี้คือ ค่า Availability ต้องไม่เกิน 100% และระยะเวลาในการใช้งานทรานสดิวเซอร์ต้องไม่เป็นค่าลบ โดยแบบจำลองความสัมพันธ์เหล่านี้จะนำไปใช้เพื่อวิเคราะห์หาจุดที่เหมาะสมในการการบำรุงรักษาในหัวข้อต่อไป

4.5 แบบจำลองของต้นทุนและการหาอายุการใช้งานที่เหมาะสมที่สุดเพื่อการทดแทน

งานวิจัยนี้เสนอแบบจำลองของการใช้ค่า SDBSS เพื่อพยากรณ์ค่า Availability และนำไปคำนวณหาต้นทุนที่เป็นความสูญเสียอันเกิดจากการลดลงของประสิทธิภาพทรานสดิวเซอร์ โดยต้นทุนที่คำนวณได้จะนำไปใช้ในการคำนวณหาอายุการใช้งานที่เหมาะสมที่สุดเพื่อการทดแทน (ESL) เพื่อช่วยในการตัดสินใจเปลี่ยนทรานสดิวเซอร์ตัวใหม่

งานวิจัยนี้จะพิจารณาต้นทุนที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงค่า Availability เท่านั้นเนื่องจากข้อมูลที่ได้จากเครื่องจักรในกลุ่มที่ทำการวิเคราะห์มีค่า Performance Rate และ Quality Rate เปลี่ยนแปลงน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับค่า Availability จากตารางที่ 4.3

ในการพิจารณาหาอายุของทรัพย์สินเพื่อการทดแทนที่เหมาะสมที่สุด (ESL) จะพิจารณาจากผลรวมค่าเงินเทียบเท่ารายเดือนที่มีค่าต่ำสุดจากสมการที่ (2.7) ดังนั้นจึงต้องมีการหาค่าเงินลงทุนในตัวทรัพย์สินครั้งแรก (P) และค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานรายเดือน (AOC)

เงินลงทุนในตัวทรัพย์สินครั้งแรก (P) ในกรณีนี้เกิดจากค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนตัวทรานสดิวเซอร์ใหม่ซึ่งจากการวิเคราะห์กรณีศึกษานี้จะเกิดจาก

C_{LB} = ค่าแรงงานช่างซ่อมบำรุงที่ใช้ในการเปลี่ยนทรานสดิวเซอร์

C_{MD} = ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักรที่สูญเสียไปเนื่องจากต้องหยุดเครื่องจักรเพื่อเปลี่ยนทรานสดิวเซอร์

C_{OP} = ค่าเสียโอกาสในการผลิตสินค้าเนื่องจากต้องหยุดเครื่องจักรเพื่อเปลี่ยนทรานสดิวเซอร์

T_{CT} = เวลาที่ต้องหยุดเครื่องจักรเพื่อเปลี่ยนชุดทรานสดิวเซอร์ตัวใหม่

C_{TR} = ต้นทุนรวมทั้งหมดของอะไหล่ชุดทรานสดิวเซอร์ตัวใหม่

ดังนั้นเงินลงทุนในตัวทรัพย์สินครั้งแรก (P) แสดงดังสมการที่ (4.4)

$$P = (C_{LB} + C_{MD} + C_{OP})T_{CT} + C_{TR} \tag{4.4}$$

โดยที่

P = ค่าเงินลงทุนในตัวทรัพย์สินครั้งแรก (บาท)

C_{LB} = ค่าแรงงานช่างซ่อมบำรุง (บาท/ชั่วโมง)

C_{MD} = ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักร (บาท/ชั่วโมง)

C_{OP} = ค่าเสียโอกาสเนื่องจากหยุดการผลิต (บาท/ชั่วโมง)

T_{CT} = เวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนชุดทรานสดิวเซอร์ (ชั่วโมง)

C_{TR} = ต้นทุนรวมของอะไหล่ชุดทรานสดิวเซอร์ (บาท)

ส่วนค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานรายเดือนในเดือนที่ j (AOC_j) ในกรณีนี้คือ ค่าใช้จ่ายรายเดือนที่เกิดขึ้นเมื่อทรานสดิวเซอร์ถูกใช้งานไปถึงเดือนที่ j งานวิจัยนี้จึงเสนอให้คำนวณจากค่าเวลาการผลิตของเครื่องจักรที่สูญเสียไปในเดือนที่ j ซึ่งเกิดจากค่า Availability ที่ลดลงในแต่ละเดือน โดยสมมุติว่าค่า Availability เริ่มที่ 100 เปอร์เซ็นต์และลดลงด้วยอัตรา m_t คือค่าสัมประสิทธิ์ความชันของสมการที่ (4.3) ซึ่งคืออัตราการลดลงของค่า Availability ต่อเดือน และ j คือจำนวนเดือนที่ใช้คำนวณอายุการใช้งานของทรานสดิวเซอร์ H_{MO} คือชั่วโมงการใช้งานของเครื่องจักรต่อเดือน C_{MD} คือค่าเสื่อมราคาเครื่องจักรที่สูญเสียไปเนื่องจากค่า Availability ที่ลดลง C_{OP} คือค่าเสียโอกาสในการผลิตสินค้าเนื่องจากค่า Availability ที่ลดลง ดังสมการที่ (4.5) และ (4.6)

$$T_j = \frac{(m_t \times j) \times H_{MO}}{100} \tag{4.5}$$

$$AOC_j = T_j \times (C_{MD} + C_{OP}) \tag{4.6}$$

โดยที่

T_j = เวลาการผลิตของเครื่องจักรที่สูญเสียไปในเดือนที่ j (ชั่วโมง/เดือน)

m_t = ค่าสัมประสิทธิ์ความชันของสมการที่ (4.3)

j = เดือนที่คำนวณค่าใช้จ่าย (เดือน)

H_{MO} = ชั่วโมงการใช้งานของเครื่องจักรต่อเดือน (ชั่วโมง/เดือน)

AOC_j = ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานรายเดือนในเดือนที่ j (บาท)

C_{MD} = ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักร (บาท/ชั่วโมง)

C_{OP} = ค่าเสียโอกาสเนื่องจากหยุดการผลิต (บาท/ชั่วโมง)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.6 การทดลองในโรงงานกรณีศึกษา

ในหัวข้อนี้จะทำการคำนวณและวิเคราะห์เพื่อหาจุดที่เหมาะสมที่สุดในการตัดสินใจเปลี่ยนทรานสดิวเซอร์สำหรับโรงงานกรณีศึกษา ที่ทำให้ต้นทุนรวมของโรงงานมีค่าต่ำที่สุด โดยใช้แบบจำลองที่นำเสนอในหัวข้อที่แล้วและใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ Ball Shear เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจ โดยจะต้องทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่อยู่ในแบบจำลองตามข้อมูลและเงื่อนไขของโรงงานกรณีศึกษา และนำค่าพารามิเตอร์เหล่านี้แทนค่าลงในแบบจำลองและคำนวณหาจุดที่เหมาะสมที่สุดในการเปลี่ยนชุดทรานสดิวเซอร์ แล้วนำผลลัพธ์ที่คำนวณได้จากแบบจำลองนี้ไปนำเสนอเพื่อปรับปรุงแผนการบำรุงรักษาเครื่องเชื่อมวงจรไฟฟ้า แทนแผนการบำรุงรักษาแบบเดิมที่มีใช้อยู่

4.6.1 การกำหนดค่าพารามิเตอร์และเงื่อนไข

ในกรณีศึกษานี้กำหนดให้พิจารณาและตัดสินใจในการเปลี่ยนทรานสดิวเซอร์โดยตัดสินใจเป็นรายเดือน จึงทำการสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลค่าใช้จ่ายต่างๆที่เกิดขึ้น โดยค่าใช้จ่ายเหล่านี้จะแบ่งออกเป็นสองประเภท ได้แก่

1) ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนชุดทรานสดิวเซอร์ ซึ่งจะประกอบไปด้วยปัจจัยดังนี้

- ค่าแรงงานช่างซ่อมบำรุง
- ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักร
- ค่าเสียโอกาสเนื่องจากหยุดการผลิต
- เวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนชุดทรานสดิวเซอร์
- ต้นทุนรวมของอะไหล่ชุดทรานสดิวเซอร์
- ราคาซากของตัวทรานสดิวเซอร์

2) ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการดำเนินงาน ซึ่งจะประกอบไปด้วยปัจจัยดังนี้

- เวลาการผลิตที่สูญเสียไป
- ชั่วโมงการทำงานของเครื่องจักรต่อวัน
- จำนวนวันทำงานต่อเดือน
- ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักร
- ค่าเสียโอกาสจากการหยุดการผลิต

ข้อมูลและเงื่อนไขที่จะนำมาคำนวณหาต้นทุนการเปลี่ยนชุดทรานสดิวเซอร์และต้นทุนค่าใช้จ่ายของการดำเนินงานของโรงงานกรณีศึกษา แสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 องค์ประกอบของต้นทุนการบำรุงรักษาเครื่องจักร

องค์ประกอบของต้นทุน	ปริมาณ	หน่วย
1.ค่าใช้จ่ายของการเปลี่ยนชุดทรานสดิวเซอร์		
ค่าแรงงานช่างซ่อมบำรุง	10,450	บาท/เดือน
ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักร	525,000	บาท/ปี
ค่าเสียโอกาสเนื่องจากหยุดการผลิต	175.22	บาท/ชั่วโมง
เวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนชุดทรานสดิวเซอร์	13.0	ชั่วโมง
ต้นทุนรวมของอะไหล่ชุดทรานสดิวเซอร์	57,750	บาท
ราคาซากของตัวทรานสดิวเซอร์	0	บาท
2.ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน		
เวลาการผลิตที่สูญเสียไป	(1-Availability)x720	ชั่วโมง/เดือน
ชั่วโมงการทำงานของเครื่องจักรต่อวัน	24	ชั่วโมง/วัน
จำนวนวันทำงานต่อเดือน	30	วัน/เดือน
ชั่วโมงการใช้งานของเครื่องจักรต่อเดือน	720	ชั่วโมง/เดือน

จากข้อมูลดังกล่าวนำมาคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ซึ่งใช้ในการคำนวณหาต้นทุนในแบบจำลองซึ่งประกอบด้วย ค่าแรงงานช่างเทคนิค (C_{LB}) ทำงาน 8 ชั่วโมงต่อวันทำงาน 22 วันต่อเดือน คิดเป็นค่าแรงที่ 59.37 บาทต่อชั่วโมง ค่าเสื่อมราคาของเครื่องจักร (C_{MD}) คำนวณจากราคาเริ่มต้นโดยคิดในอัตราคงที่เท่ากันทุกปีที่ 5 ปีใช้งานคิดเป็น 525,000 บาทต่อปี เมื่อใช้งาน 24 ชั่วโมงต่อวันคิดเป็น 59.93 บาทต่อชั่วโมง ค่าเสียโอกาสเนื่องจากหยุดการผลิต (C_{OP}) คิดที่เครื่องจักรทำการผลิตเต็มกำลังการผลิตเฉลี่ยใน 24 ชั่วโมงคิดเป็น 175.22 บาทต่อชั่วโมง โดยเวลาเฉลี่ยที่ช่างเทคนิคที่มีความชำนาญปานกลางหยุดเครื่องจักรเพื่อทำการเปลี่ยนทรานสดิวเซอร์ (T_{CT}) ใช้เวลา 13 ชั่วโมง เวลาชั่วโมงทำงานในหนึ่งเดือน (H_{MO}) โดยมีตารางการทำงานตลอด 24 ชั่วโมงและ 30 วันต่อเดือนคิดเป็น 720 ชั่วโมงต่อเดือน ค่าทรานสดิวเซอร์ตัวใหม่และรวมค่าดำเนินการสั่งซื้อและจัดเก็บ (C_{TR}) คิดเป็น 57,750 บาทต่อตัว ราคาซากของทรานสดิวเซอร์ (S_k: Salvage value) จะไม่มีมูลค่าเนื่องจากเป็นชิ้นส่วนที่เสียแล้วไม่สามารถ

นำไปใช้ได้อีก อัตราดอกเบี้ย (i) โดยจะคิดเป็นค่าเฉลี่ยต่อเดือน ดังนั้นค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณ แสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่าพารามิเตอร์ของโรงงานกรณีศึกษา

พารามิเตอร์	ปริมาณ	หน่วย
C_{LB}	59.37	บาท/ชั่วโมง
C_{MD}	59.93	บาท/ชั่วโมง
C_{OP}	175.22	บาท/ชั่วโมง
T_{CT}	13.0	ชั่วโมง
C_{TR}	57,750	บาท
m_t	0.953	%/เดือน
H_{MO}	720	ชั่วโมง/เดือน
i	1	%/เดือน
S_k	0	บาท

4.6.2 ผลการทดลองและการปรับปรุงที่นำเสนอ

จากสมการที่ (2.7) (4.3) (4.4) (4.5) และ (4.6) ประกอบกับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ สามารถนำมาคำนวณหาอายุการใช้งานที่ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมต่อเดือนมีค่าต่ำที่สุด ซึ่งนำไปใช้ในการตัดสินใจเปลี่ยนทรานสดิวเซอร์ตัวใหม่ รายระเอียดในการคำนวณประเมินผลด้วยโปรแกรมไมโครซอฟเอ็กเซล เพื่อหาอายุการใช้งานที่ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุด (Economic Service Life: ESL) แสดงในภาคผนวกที่ ข.6 และผลลัพธ์จากการคำนวณ แสดงดังตารางที่ 4.8

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.8 ผลลัพธ์ของการหาค่า Economic Service Life

j	AOC_j	CR	$AW\ of\ AOC$	$Total\ AW_k$	$SDBSS$
1	-1,614	-62,195	-1,614	-63,808	2.57
2	-3,227	-31,252	-2,416	-33,668	2.66
3	-4,841	-20,938	-3,216	-24,154	2.75
4	-6,454	-15,781	-4,014	-19,795	2.84
5	-8,068	-12,688	-4,808	-17,496	2.93
6	-9,681	-10,625	-5,600	-16,226	3.02
7	-11,295	-9,152	-6,390	-15,542	3.11
8	-12,908	-8,048	-7,176	-15,224	3.20
9	***-14,522***	***-7,189***	***-7,961***	***-15,149***	***3.29***
10	-16,135	-6,502	-8,742	-15,243	3.38
11	-17,749	-5,940	-9,521	-15,460	3.47
12	-19,362	-5,471	-10,297	-15,768	3.56
13	-20,976	-5,075	-11,070	-16,145	3.65
14	-22,589	-4,735	-11,840	-16,576	3.74
15	-24,203	-4,441	-12,608	-17,050	3.83
16	-25,816	-4,184	-13,374	-17,558	3.92
17	-27,430	-3,957	-14,136	-18,093	4.01

โดยที่

j = เดือนที่คำนวณค่าใช้จ่าย

CR = Capital recovery

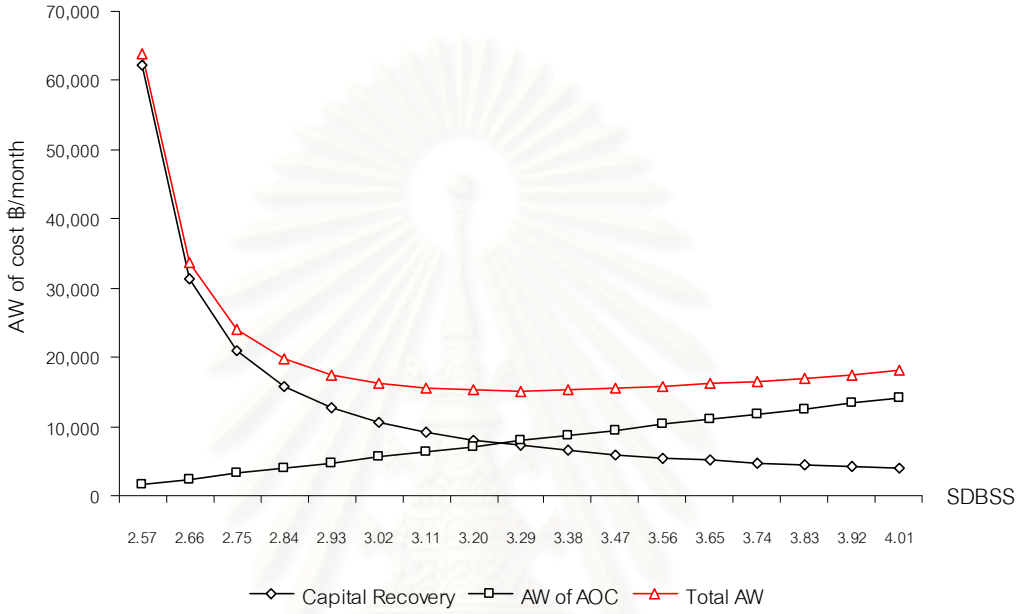
AOC_j = ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานรายเดือนในเดือนที่ j

$TotalAW_k$ = ผลรวมค่าเงินเทียบเท่ารายเดือนของเดือนที่ k

$SDBSS$ = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงเฉือนลูกบอล

ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณพบว่าจุดที่ค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุด (ESL) ที่จะนำมาพิจารณาเปลี่ยนทรานสดิวเซอร์เกิดขึ้นในเดือนที่ 9 โดยมีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยรายเดือนอยู่ที่ 15,149 บาทต่อเดือน โดยที่ค่า SDBSS มีค่าอยู่ที่ 3.29 ดังแสดงในรูปที่ 4.6 การเลือกใช้ค่า SDBSS มาเป็นตัวชี้วัดจะให้ผลลัพธ์ที่ดีและถูกต้องมากกว่าการใช้ระยะเวลา เพราะค่า SDBSS จะเป็นตัวชี้วัด

ประสิทธิภาพของทรานสดิวเซอร์ได้โดยตรง การใช้ระยะเวลาเป็นตัวชี้วัดมีข้อเสียคือ ถ้าปริมาณการใช้งานเครื่องจักรไม่สม่ำเสมอระยะเวลาที่กำหนดไว้จะไม่สามารถใช้ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ ต้องเปลี่ยนทรานสดิวเซอร์ก่อนหรือหลังจุดที่เหมาะสมทำให้เกิดการสูญเสียขึ้น



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Total AW กับค่า SDBSS

จากผลลัพธ์ที่วิเคราะห์ได้ เมื่อใช้ค่า SDBSS มาเป็นเครื่องมือชี้วัดและพยากรณ์สภาพเครื่องจักร และใช้เป็นจุดในการกำหนดแผนการซ่อมบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ โรงงานกรณีศึกษาควรตัดสินใจเปลี่ยนทรานสดิวเซอร์ใหม่เมื่อค่า SDBSS มีค่าสูงถึง 3.29 โดยวิธีการที่เสนอนี้จะทำให้ต้นทุนของการใช้งานเครื่องจักรมีค่า 15,149 บาทต่อเครื่องต่อเดือน เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลเดิมที่มีการเปลี่ยนทรานสดิวเซอร์ เมื่อค่าเฉลี่ยของค่า SDBSS อยู่ที่ประมาณ 3.59 (ตารางที่ 4.3) ซึ่งมีต้นทุนของการใช้งานประมาณ 15,893 บาทต่อเครื่องต่อเดือน (คำนวณโดยการ Interpolate จากตารางที่ 4.8) ซึ่งมีต้นทุนสูงกว่าเท่ากับ 744 บาทต่อเครื่องต่อเดือน คิดเป็นต้นทุนรวมที่ลดลงเมื่อคำนวณจากเครื่องจักรทั้งหมด 90 เครื่องในสายการผลิตเท่ากับ 804,220 บาทต่อปี

อนึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่า Availability ต่ำสุดก่อนการเปลี่ยนทรานสดิวเซอร์ใหม่นั้น (ตารางที่ 4.3) ค่าเก่าอยู่ที่ 89.13% ส่งผลให้ OEE มีค่าเท่ากับ 86.71% ในขณะที่แนวทางบำรุงรักษาใหม่ที่นำเสนอมีค่า SDBSS ก่อนเปลี่ยนทรานสดิวเซอร์เป็น 3.29 ส่งผลให้ค่า Availability มีค่าเป็น 92.49% (จากสมการที่ 4.1) และค่า OEE มีค่าเท่ากับ 90.24% คิดเป็นการปรับปรุงสูงขึ้น 4.07%

การนำแนวทางในการศึกษาวิธีการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์นี้ ไปใช้ในการกำหนดแผนการบำรุงรักษาเครื่องเชื่อมวงจรไฟฟ้าร่วมกับวิธีการบำรุงรักษาแบบเดิมของชิ้นส่วนอื่น โดยการใช้ค่า SDBSS เป็นเกณฑ์มาตรฐานในการเฝ้าติดตามประสิทธิภาพและตัดสินใจเปลี่ยนทรานสดิวเซอร์ในจุดที่เหมาะสม เมื่อพิจารณากราฟของต้นทุนรวมในการใช้งานเครื่องจักรจะพบว่าในช่วงที่ค่า SDBSS มีค่า 3.20 ถึง 3.38 ต้นทุนรวมมีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยมากอยู่ในช่วงระหว่าง 15,149 ถึง 15,243 บาทต่อเดือน ถึงแม้ค่าพารามิเตอร์ของต้นทุนเกิดการเปลี่ยนแปลงไปค่า SDBSS ในช่วงดังกล่าวยังเป็นช่วงที่ทำให้เกิดต้นทุนที่ต่ำสุด ดังนั้นในการนำผลลัพธ์ของการพยากรณ์ไปใช้งานจริง สามารถที่จะกำหนดให้ทำการเปลี่ยนชุดทรานสดิวเซอร์เมื่อพบว่าค่า SDBSS อยู่ในช่วง 3.20 ถึง 3.38 จะมีความเหมาะสมและจะทำให้ง่ายในการปฏิบัติงานจริง ตลอดจนเพิ่มความยืดหยุ่นให้กับระบบการบำรุงรักษา ผู้ที่เกี่ยวข้องจะมีสามารถวางแผนการบำรุงรักษาล่วงหน้าได้ และจะทำให้เกิดต้นทุนการดำเนินงานมีค่าต่ำเช่นกัน

ด้วยวิธีการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์นี้โรงงานกรณีศึกษา จะสามารถลดต้นทุนการดำเนินงานลงได้เท่ากับ 804,220 บาทต่อปี และข้อดีของการใช้ค่า SDBSS ในการพยากรณ์สภาพจริงของทรานสดิวเซอร์ จะมีความถูกต้องแม่นยำกว่าเนื่องจากเป็นค่าที่ได้มาจากสภาพการใช้งานจริงที่เกิดขึ้น ตลอดจนทำให้วิศวกรหรือช่างเทคนิคผู้รับผิดชอบดูแลเครื่องจักรเห็นถึงสภาพแนวโน้มที่จะเกิดขึ้นในอนาคตได้ ดังนั้นจึงสามารถที่บริหารจัดการโดยเตรียมการจัดหาอะไหล่ปรับวางแผนการผลิตล่วงหน้าเพื่อทำการหยุดเครื่องจักรเพื่อทำการบำรุงรักษาได้อย่างเหมาะสม

4.6.3 **การวิเคราะห์ความไวของต้นทุนต่อพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง** (Sensitivity Analysis of Cost parameters)

ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์หาจุดที่เหมาะสมที่สุดของการทดแทนทรัพย์สินในหัวข้อ 4.6.2 จะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปถ้าพารามิเตอร์ของต้นทุนมีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์ความไวของต้นทุนต่อพารามิเตอร์ที่นำมาใช้คำนวณในแบบจำลองต้นทุนการใช้งานเครื่องจักร เพื่อทำให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงที่มีโอกาสจะเกิดขึ้นได้ ถ้าค่าพารามิเตอร์เกิดการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อผลลัพธ์ของแผนการบำรุงรักษาที่ได้จากแบบจำลอง และทำให้ทราบถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นว่าพารามิเตอร์ต้นทุนตัวใดที่เกิดการเปลี่ยนแปลงแล้วส่งผลกระทบต่อผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองมาก และพารามิเตอร์ต้นทุนตัวใดที่เกิดการเปลี่ยนแปลงแล้วไม่ค่อยส่งผลกระทบต่อผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองมากนัก

ขั้นตอนการวิเคราะห์ความไวของต้นทุนต่อพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง จะทำการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ของต้นทุนทีละตัว (One-way Sensitivity Analysis) ให้มีค่าลดต่ำลงและสูงเพิ่มขึ้น โดยพิจารณาจากโอกาสของการเปลี่ยนแปลงจะสามารถเกิดขึ้นได้ ซึ่งในกรณีศึกษานี้จะทำการปรับพารามิเตอร์ของต้นทุนให้มีค่าลดลงและเพิ่มขึ้น โดยเริ่มจาก -30 เปอร์เซ็นต์ ปรับให้มีค่าสูงขึ้นที่ละ 10 เปอร์เซ็นต์จนมีค่าสูงขึ้นเป็น 30 เปอร์เซ็นต์ พารามิเตอร์ของต้นทุนที่นำมาทำการวิเคราะห์ความไวมีทั้งหมด 8 ตัวได้แก่ ค่าแรงงานช่างเทคนิค (C_{LB}) ค่าเสื่อมราคาของเครื่องจักร (C_{MD}) ค่าเสียโอกาสเนื่องจากหยุดการผลิต (C_{OP}) เวลาหยุดเครื่องจักรเพื่อทำการเปลี่ยนทรานสดิวเซอร์ (T_{CT}) ค่าทรานสดิวเซอร์ตัวใหม่และรวมค่าดำเนินการสั่งซื้อและจัดเก็บ (C_{TR}) อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า Availability ต่อเดือน (m_t) ชั่วโมงทำงานในหนึ่งเดือน (H_{MO}) และอัตราดอกเบี้ยต่อเดือน อัตราดอกเบี้ยต่อเดือน (i) โดยค่าพารามิเตอร์ของต้นทุนที่ได้จากการคำนวณให้มีค่าเปลี่ยนแปลงไป แสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ค่าพารามิเตอร์ของต้นทุนที่เปลี่ยนแปลงจาก -30 ถึง +30 เปอร์เซ็นต์

พารามิเตอร์	-30%	-20%	-10%	0%	+10%	+20%	+30%
ค่าแรงงานช่างเทคนิค	41.56	47.50	53.43	59.37	65.31	71.24	77.18
ค่าเสื่อมราคาของเครื่องจักร	41.95	47.94	53.94	59.93	65.92	71.92	77.91
ค่าเสียโอกาสเนื่องจากหยุดการผลิต	122.65	140.18	157.70	175.22	192.74	210.26	227.79
เวลาการเปลี่ยนทรานสดิวเซอร์	9.10	10.40	11.70	13.00	14.30	15.60	16.90
ค่าทรานสดิวเซอร์ตัวใหม่	40,425	46,200	51,975	57,750	63,525	69,300	75,075
อัตราการเปลี่ยนแปลงค่า Availability	0.667	0.762	0.858	0.953	1.048	1.144	1.239
ชั่วโมงทำงานในหนึ่งเดือน	504	576	648	720	792	864	936
อัตราดอกเบี้ยต่อเดือน	0.70%	0.80%	0.90%	1.00%	1.10%	1.20%	1.30%

จากพารามิเตอร์ของต้นทุนดังกล่าวนำไปแทนค่าในแบบจำลองการหาอายุการใช้งานทรัพย์สินที่เหมาะสมที่สุดเพื่อการทดแทน ในสมการที่ 4.4 และ 4.6 โดยจะทำการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ของต้นทุนที่สนใจทีละตัว ผลลัพธ์ของการหาต้นทุนรวมของการใช้งานเครื่องจักรที่ต่ำสุด ของแต่ละเงื่อนไขแสดงในตารางที่ 4.10 และค่าของ SDBSS ณ จุดที่ทำให้เกิดต้นทุนรวมของการใช้งานเครื่องจักรที่ต่ำสุด แสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.10 ค่าผลลัพธ์ต้นทุนรวมของการใช้งานเครื่องจักรที่ต่ำสุด

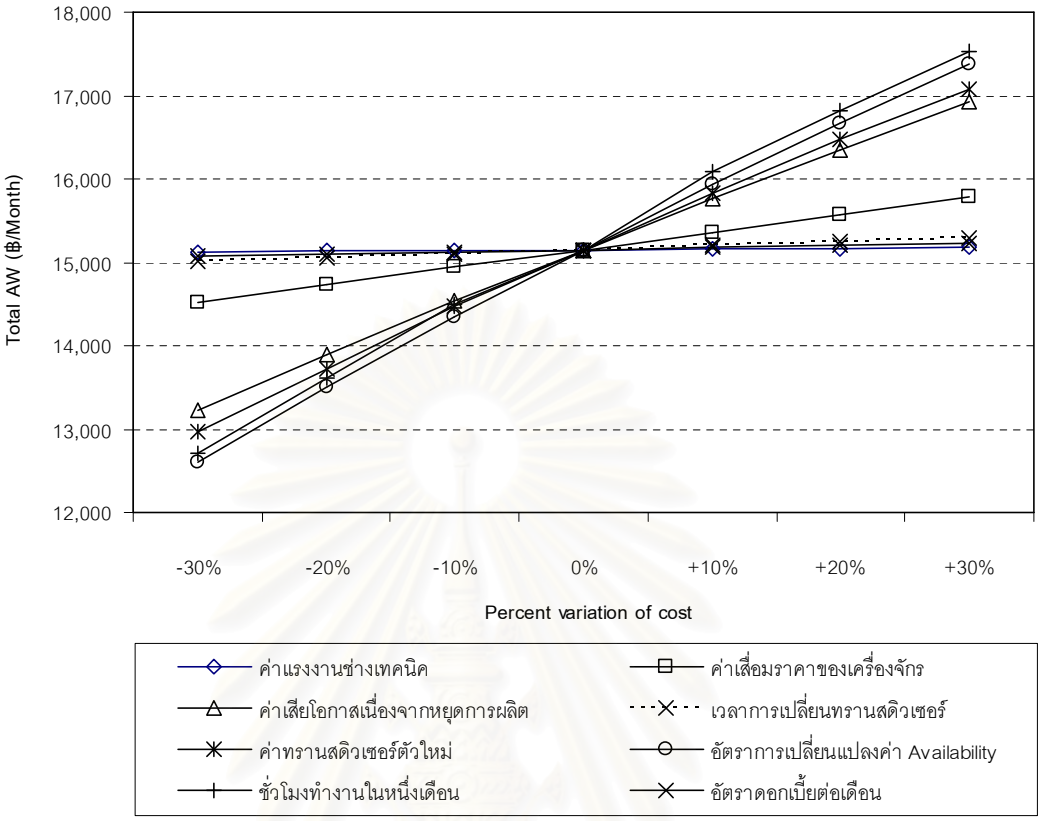
พารามิเตอร์	-30%	-20%	-10%	0%	+10%	+20%	+30%	Diff.
ค่าแรงงานช่างเทคนิค	15,122	15,131	15,140	15,149	15,158	15,167	15,176	54
ค่าเสื่อมราคาของเครื่องจักร	14,513	14,725	14,937	15,149	15,361	15,573	15,785	1,272
ค่าเสียโอกาสเนื่องจากหยุดการผลิต	***13,217***	***13,893***	***14,529***	***15,149***	***15,769***	***16,353***	***16,918***	***3,701***
เวลาการเปลี่ยนทรานสดิวเซอร์	15,015	15,060	15,105	15,149	15,194	15,239	15,283	268
ค่าทรานสดิวเซอร์ตัวใหม่	***12,960***	***13,715***	***14,470***	***15,149***	***15,823***	***16,463***	***17,073***	***4,113***
อัตราการเปลี่ยนแปลงค่า Availability	***12,604***	***13,495***	***14,353***	***15,149***	***15,942***	***16,660***	***17,377***	***4,773***
ชั่วโมงทำงานในหนึ่งเดือน	***12,715***	***13,616***	***14,487***	***15,149***	***16,079***	***16,810***	***17,527***	***4,813***
อัตราดอกเบี้ยต่อเดือน	15,076	15,100	15,125	15,149	15,174	15,198	15,223	147

ตารางที่ 4.11 ค่าผลลัพธ์ SDBSS เมื่อต้นทุนรวมของการใช้งานเครื่องจักรมีค่าต่ำสุด

พารามิเตอร์	-30%	-20%	-10%	0%	+10%	+20%	+30%	Diff.
ค่าแรงงานช่างเทคนิค	3.29	3.29	3.29	3.29	3.29	3.29	3.29	0.00
ค่าเสื่อมราคาของเครื่องจักร	3.29	3.29	3.29	3.29	3.29	3.29	3.29	0.00
ค่าเสียโอกาสเนื่องจากหยุดการผลิต	***3.38***	***3.38***	***3.29***	***3.29***	***3.29***	***3.20***	***3.20***	***0.18***
เวลาการเปลี่ยนทรานสดิวเซอร์	3.29	3.29	3.29	3.29	3.29	3.29	3.29	0.00
ค่าทรานสดิวเซอร์ตัวใหม่	***3.20***	***3.20***	***3.20***	***3.29***	***3.29***	***3.38***	***3.38***	***0.18***
อัตราการเปลี่ยนแปลงค่า Availability	***3.47***	***3.38***	***3.29***	***3.29***	***3.20***	***3.20***	***3.20***	***0.27***
ชั่วโมงทำงานในหนึ่งเดือน	***3.47***	***3.38***	***3.29***	***3.29***	***3.29***	***3.20***	***3.20***	***0.27***
อัตราดอกเบี้ยต่อเดือน	3.29	3.29	3.29	3.29	3.29	3.29	3.29	0.00

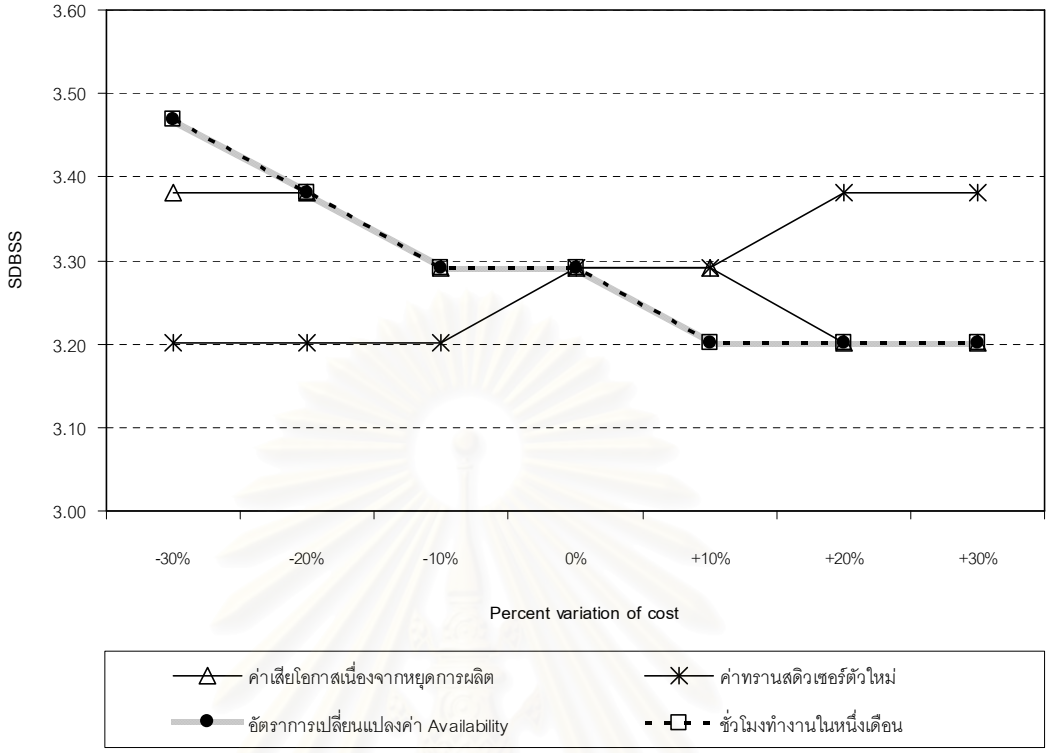
จากข้อมูลซึ่งนำมาแสดงดังรูปที่ 4.7 พบว่าเมื่อต้นทุนของ ค่าแรงงานช่างเทคนิค เวลาหยุดเครื่องจักรเพื่อทำการเปลี่ยนทรานสดิวเซอร์ ค่าเสื่อมราคาของเครื่องจักร มีการเปลี่ยนแปลงไปจะมีผลทำให้ต้นทุนรวมของการใช้งานเครื่องจักรมีการเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อย โดยพิจารณาจากความชันของกราฟที่มีความชันน้อย แสดงว่าค่าต้นทุนรวมของการใช้งานเครื่องจักรมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงน้อยต่อค่าพารามิเตอร์ของต้นทุนในส่วนนี้ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจึงส่งผลต่อผลลัพธ์ของแบบจำลองต้นทุนไม่มาก

ส่วนพารามิเตอร์ของชั่วโมงทำงานในหนึ่งเดือน อัตราการเปลี่ยนค่า Availability ค่าทรานสดิวเซอร์ตัวใหม่ซึ่งรวมค่าดำเนินการสั่งซื้อและจัดเก็บ และค่าเสียโอกาสเนื่องจากหยุดการผลิต จะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงสูงโดยดูจากความชันของเส้นกราฟที่มีความชันมาก การเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ต้นทุนในกลุ่มนี้จะส่งผลต่อผลลัพธ์ของแบบจำลองต้นทุนมาก มีผลทำให้ต้นทุนรวมของการใช้งานเครื่องจักรมีค่าเปลี่ยนแปลงไปมาก



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงการวิเคราะห์ความไวของต้นทุนรวมของการใช้งานเครื่องจักรที่ต่ำสุด

เมื่อพิจารณาค่าของ SDBSS ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ของต้นทุนในกลุ่มที่มีความไวสูง พบว่าช่วงของการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ต้นทุนระหว่าง -30 เปอร์เซ็นต์ ถึง +30 เปอร์เซ็นต์นั้น ค่าของ SDBSS ที่ใช้ในการกำหนดแผนการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ส่วนใหญ่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 3.20 ถึง 3.38 ยกเว้นเมื่อชั่วโมงการทำงานต่อเดือน หรืออัตราการเปลี่ยนแปลงค่า Availability มีค่าลดลง -30 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ค่า SDBSS ที่ดีที่สุดมีค่าเป็น 3.47 แสดงในกราฟรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงการวิเคราะห์ความไวของต้นทุนกับค่า SDBSS

จากการวิเคราะห์ค่าความไวของแบบจำลองต้นทุนต่อการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ต้นทุนที่ส่งผลต่อค่า SDBSS ซึ่งนำไปใช้เป็นตัวกำหนดแผนการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ ทำให้เกิดความมั่นใจว่าถ้าค่าของพารามิเตอร์ของต้นทุนที่กำหนดเกิดการเปลี่ยนแปลงไปในช่วงจาก -20 เปอร์เซ็นต์ถึง +30 เปอร์เซ็นต์ จะส่งผลทำให้แผนการบำรุงรักษาที่ทำการกำหนดโดยใช้ค่า SDBSS ในช่วง 3.20 ถึง 3.38 ยังสามารถใช้งานได้อย่างเหมาะสม และเป็นจุดที่สามารถทำให้เกิดต้นทุนรวมของการใช้งานเครื่องจักรมีค่าต่ำที่สุด

ดังนั้นในการนำแผนการบำรงรักษาเชิงพยากรณ์ที่ได้จากแบบจำลองนี้ไปใช้งาน โรงงานกรณีศึกษาต้องมีการเฝ้าติดตามการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ต้นทุนในกลุ่มที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงสูงเป็นพิเศษ และมีการปรับเปลี่ยนข้อมูลให้มีความสอดคล้องกับต้นทุนจริงที่เกิดขึ้นอยู่เสมอ จะทำให้แผนการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ที่ได้จากแบบจำลอง เกิดความถูกต้องแม่นยำและเหมาะสมกับสภาพการณ์จริงที่เกิดขึ้น

บทที่ 5
การนำแบบจำลองไปประยุกต์ใช้

การศึกษาในหัวข้อนี้ได้นำเอาผลลัพธ์ของการพยากรณ์ที่ได้จากการสร้างแบบจำลองต้นทุนการใช้งานเครื่องจักรที่มีค่าต่ำที่สุด ในบทที่ 4 มากำหนดเป็นแผนการดำเนินงานบำรุงรักษาเครื่องเชื่อมวงจรไฟฟ้าในส่วนของชุดทรานสดิวเซอร์ เพื่อทำให้เกิดแผนการดำเนินงานบำรุงรักษาในจุดที่มีความเหมาะสมที่สุดทางเศรษฐศาสตร์ ในการพิจารณาเปลี่ยนชุดทรานสดิวเซอร์ของเครื่องเชื่อมวงจรไฟฟ้า ทางผู้วิจัยได้นำเอาผลลัพธ์จากการพยากรณ์ไปทดลองใช้ในเครื่องจักรที่อยู่ในสายการผลิต พิจารณาเลือกเครื่องจักรมาทำการทดลองทั้งหมดเพียง 2 เครื่อง เนื่องจากมีข้อจำกัดในเรื่องราคาของทรานสดิวเซอร์ที่จะใช้เปลี่ยนมีมูลค่าสูง ในการเปลี่ยนชุดทรานสดิวเซอร์จะพิจารณาจากค่า SDBSS ว่ามีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 3.20 ถึง 3.38 ซึ่งเป็นช่วงที่ผลลัพธ์จากการพยากรณ์ระบุว่าจะทำให้เกิดต้นทุนรวมของการใช้งานเครื่องจักรมีค่าต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับช่วงอื่นๆ ตามที่ได้ทำการวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองมาแล้วในหัวข้อที่ 4.6 ซึ่งที่ค่า SDBSS ในช่วงดังกล่าวเป็นจุดที่เหมาะสมที่สุดในการเปลี่ยนทรานสดิวเซอร์

เครื่องจักรทั้งสองเครื่องที่ถูกพิจารณาเลือกใช้เป็นเครื่องจักรทดลอง ได้แก่เครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 1 และเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 2 เครื่องจักรทดลองทั้งสองนี้ เป็นเครื่องจักรที่ใช้อยู่ในสายการผลิต ซึ่งมีค่า SDBSS ก่อนที่จะทำการเปลี่ยนทรานสดิวเซอร์ แสดงในภาคผนวกที่ ค.1 และ ค.2 โดยค่า SDBSS ในแต่ละเดือนแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ค่า SDBSS ของเครื่องจักรทดลองก่อนการปรับปรุง

เครื่องจักรจักรทดลองเครื่องที่	สิงหาคม 2551	กันยายน 2551	ตุลาคม 2551	ค่าเฉลี่ย
1	3.25	3.31	3.38	3.31
2	3.27	3.35	3.42	3.35

โดยจะทำการเก็บข้อมูลประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักรและค่าเฉลี่ยระหว่างเกิดเหตุขัดข้องก่อนการเปลี่ยนทรานสดิวเซอร์เป็นเวลา 3 เดือน และหลังการเปลี่ยนทรานสดิวเซอร์เป็นเวลา 3 เดือนเช่นกัน เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการเปรียบเทียบวัดผลก่อนและหลังการปรับปรุง ข้อมูลที่ทำการเก็บเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องจักร ได้แก่

1) ค่า Availability

2) ค่า Performance rate

3) ค่า Quality rate

4) ค่า OEE

5) ค่า MTBF

6) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดสอบ Ball shear (SDBSS)

5.1 ข้อมูลสภาวะของเครื่องจักรก่อนการเปลี่ยนทรานสดิวเซอร์

ข้อมูลของเครื่องจักรทั้งสองเครื่องก่อนที่ทำการเปลี่ยนชุดทรานสดิวเซอร์ จะถูกเก็บรวบรวมเป็นเวลาสามเดือน โดยเริ่มตั้งแต่ เดือนสิงหาคม 2551 จนถึง เดือนตุลาคม 2551 ข้อมูลประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (OEE) และความถี่ของการเกิดเหตุขัดข้อง (MTBF) ของเครื่องจักรทดลองจะถูกเก็บ และนำมาคำนวณหาค่าในแต่ละเดือน โดยข้อมูลทั้งสามเดือนก่อนการปรับปรุงของเครื่องจักรทดลองเครื่องแรกและเครื่องที่สอง แสดงรายละเอียดในภาคผนวกที่ ค.3 และ ค.4 ตามลำดับ จากนั้นทำการคำนวณหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (OEE) และค่าเฉลี่ยระหว่างเกิดเหตุขัดข้อง (MTBF) และค่า SDBSS ของเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 1 และเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 2 ข้อมูลก่อนการปรับปรุงแสดงในตารางที่ 5.2 และตารางที่ 5.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 5.2 ค่า OEE และ MTBF ของเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 1 ก่อนการปรับปรุง

เครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 1	ส.ค. 2551	ก.ย. 2551	ต.ค. 2551	ค่าเฉลี่ย
(%) Availability	92.62	92.16	91.47	92.08
(%) Performance Rate	96.73	97.18	97.31	97.07
(%) Quality rate	99.73	99.74	99.73	99.73
(%) OEE	89.35	89.33	88.76	89.15
MTBF (Min)	339	313	289	314
SDBSS	3.25	3.31	3.38	3.31

ตารางที่ 5.3 ค่า OEE และ MTBF ของเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 2 ก่อนการปรับปรุง

เครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 2	ส.ค. 2551	ก.ย. 2551	ต.ค. 2551	ค่าเฉลี่ย
(%) Availability	92.43	91.72	91.11	91.76
(%) Performance Rate	96.86	97.43	98.09	97.46
(%) Quality rate	99.72	99.71	99.71	99.71
(%) OEE	89.28	89.11	89.11	89.17
MTBF (Min)	324	283	253	286
SDBSS	3.27	3.35	3.42	3.35

จากข้อมูลพบว่าเครื่องจักรทดลองทั้งสองเครื่องมีค่า SDBSS เฉลี่ยทั้งสามเดือนอยู่ที่ 3.31 สำหรับเครื่องจักรเครื่องแรก และ 3.35 สำหรับเครื่องจักรเครื่องที่สอง โดยในเดือนตุลาคม 2551 ค่าของ SDBSS มีค่าอยู่ที่ 3.38 และ 3.42 ตามลำดับ ซึ่งค่า SDBSS ที่อยู่ในช่วงประมาณ 3.20 ถึง 3.38 จะเป็นจุดที่ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ว่าเป็นจุดที่มีความเหมาะสมที่สุดทางเศรษฐศาสตร์ในการเปลี่ยนชุดทรานสดิวเซอร์ จะทำให้เกิดต้นทุนรวมของการใช้งานเครื่องจักรต่ำที่สุด ซึ่งในขณะนั้นไม่สามารถหาเครื่องจักรที่มีค่า SDBSS อยู่ในช่วงดังกล่าวได้ ผู้วิจัยได้เลือกเครื่องที่มีค่า SDBSS ใกล้เคียงที่สุดมาทำการทดลอง จากข้อมูลพบว่าค่า Availability ของเครื่องจักรทั้งสองมีแนวโน้มลดต่ำลงในแต่ละเดือนเนื่องจากพบปัญหาเครื่องจักรเสียบ่อยมากขึ้น ส่งผลให้ค่า OEE ของเครื่องจักรทั้งสองเครื่องมีค่าลดต่ำลงเช่นกัน ค่า OEE เฉลี่ยก่อนเปลี่ยนชุดทรานสดิวเซอร์ของเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 1 และเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 2 มีค่าอยู่ที่ 89.15 เปอร์เซ็นต์ และ 89.17 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

โดยปกติแล้วโรงงานจะยังไม่เปลี่ยนชุดทรานสดิวเซอร์ เนื่องจากยังสามารถใช้งานได้ต่อไป แต่ถ้าใช้ระบบการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ที่นำเสนอก็จะถึงจุดที่ต้นทุนรวมของการใช้งานเครื่องจักรเริ่มมีค่าสูงขึ้น ดังนั้นเพื่อเป็นการทดลองแนวความคิดที่นำเสนอผู้วิจัยจึงทำการเปลี่ยนชุดทรานสดิวเซอร์ของเครื่องจักรทั้งสองเครื่อง โดยเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 1 ทำการเปลี่ยนชุดทรานสดิวเซอร์ใน วันที่ 2 พฤศจิกายน 2551 และเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 2 ทำการเปลี่ยนชุดทรานสดิวเซอร์ใน วันที่ 4 พฤศจิกายน 2551 ข้อมูลการทดสอบคุณภาพของตัวทรานสดิวเซอร์จากบริษัทผู้ผลิต ที่นำมาใช้เปลี่ยนในเครื่องจักรทดลองทั้งสองเครื่องแสดงรายละเอียดในภาคผนวกที่ ค.5 และ ค.6 ตามลำดับ

5.2 ข้อมูลสภาวะของเครื่องจักรหลังการเปลี่ยนทรานสดิวเซอร์

หลังจากที่ทำการเปลี่ยนชุดทรานสดิวเซอร์ในเครื่องจักรทดลองทั้งสองเครื่อง ทางผู้วิจัยได้ทำการติดตามเก็บข้อมูลค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (OEE) และค่าเฉลี่ยระหว่างเกิดเหตุขัดข้อง (MTBF) ของเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 1 และเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 2 เป็นเวลาทั้งหมด 3 เดือน เริ่มเก็บข้อมูลค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (OEE) และค่าเฉลี่ยระหว่างเกิดเหตุขัดข้อง (MTBF) ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2551 จนถึงเดือนมกราคม 2552 โดยข้อมูล ทั้งสามเดือนหลังการปรับปรุงของเครื่องจักรทดลองเครื่องแรกและเครื่องที่สองแสดงรายละเอียดในภาคผนวกที่ ค.7 และ ค.8 ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยของข้อมมูลค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (OEE) และค่าเฉลี่ยระหว่างเกิดเหตุขัดข้อง (MTBF) และค่า SDBSS ของเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 1 และเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 2 หลังการปรับปรุงแสดงในตารางที่ 5.4 และตารางที่ 5.5 ตามลำดับ

ตารางที่ 5.4 ค่า OEE และ MTBF ของเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 1 หลังการปรับปรุง

เครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 1	พ.ย. 2551	ธ.ค. 2551	ม.ค. 2552	ค่าเฉลี่ย
(%) Availability	96.82	96.29	95.44	96.19
(%) Performance Rate	97.31	97.27	97.02	97.20
(%) Quality rate	99.75	99.76	99.74	99.75
(%) OEE	93.99	93.44	92.37	93.26
MTBF (Min)	621	596	545	587
SDBSS	2.68	2.73	2.79	2.73

ตารางที่ 5.5 ค่า OEE และ MTBF ของเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 2 หลังการปรับปรุง

เครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 2	พ.ย. 2551	ธ.ค. 2551	ม.ค. 2552	ค่าเฉลี่ย
(%) Availability	96.65	96.04	95.10	95.93
(%) Performance Rate	97.59	97.52	97.41	97.51
(%) Quality rate	99.74	99.73	99.74	99.73
(%) OEE	94.08	93.40	92.40	93.29
MTBF (Min)	606	515	503	542
SDBSS	2.70	2.75	2.82	2.76

จากข้อมูลในเบื้องต้นพบว่าหลังจาการเปลี่ยนชุดทรานสดิวเซอร์ตัวใหม่ทดแทนตัวเก่าที่ได้ถูกใช้งานมาหลายเดือนแล้ว มีผลทำให้ค่า Availability มีค่าสูงขึ้นจึงส่งผลให้ค่า OEE มีค่าสูงขึ้นเช่นกัน โดยค่า OEE เฉลี่ยของเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 1 มีค่า 93.26 เปอร์เซ็นต์ และของเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 2 มีค่า 93.29 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ข้อมูลที่ได้ทำการเก็บรวมมานี้จะนำไปใช้ในการเปรียบเทียบค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (OEE) และค่าเฉลี่ยระหว่างเกิดเหตุขัดข้อง (MTBF) ก่อนและหลังการปรับปรุง จากนั้นจะนำไปคำนวณเปรียบเทียบต้นทุนการใช้งานรวมของเครื่องจักร ระหว่างกรณีที่ทำการเปลี่ยนชุดทรานสดิวเซอร์ใหม่ตามแผนการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ (Predictive Maintenance) และในกรณีที่ยังไม่ทำการเปลี่ยนชุดทรานสดิวเซอร์ตามแผนการบำรุงรักษาแบบเดิมที่ใช้งานจนชุดทรานสดิวเซอร์เสีย (Breakdown Maintenance) ในหัวข้อถัดไป

5.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพเครื่องจักรก่อนและหลังการปรับปรุง

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลของเครื่องจักรทดลองทั้งสองเครื่อง นำเอาข้อมูลก่อนและหลังการเปลี่ยนทรานสดิวเซอร์มาทำการเปรียบเทียบ โดยการพิจารณาเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของเครื่องจักร จะใช้ค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (OEE) และค่าเฉลี่ยระหว่างเกิดเหตุขัดข้อง (MTBF) เป็นตัวชี้วัด และใช้เครื่องมือทางสถิติ (T-test) ช่วยในการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่าง

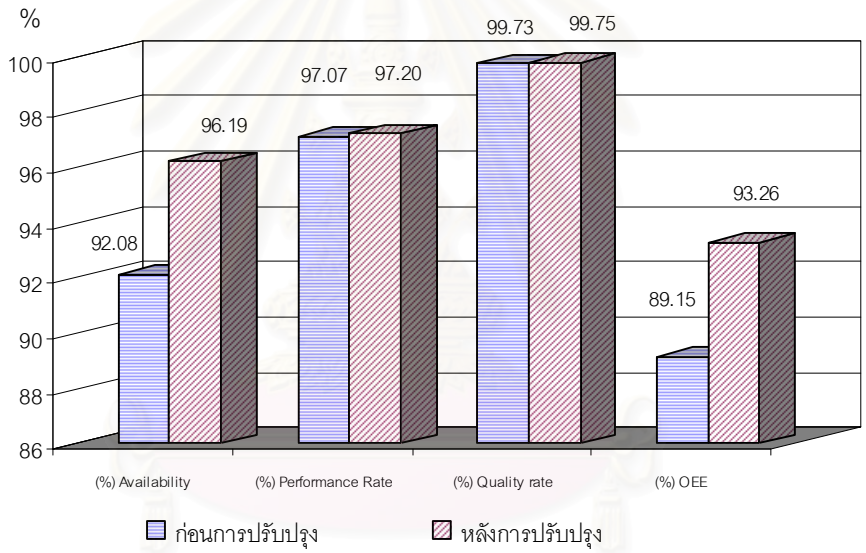
การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องจักร จะทำการคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของประสิทธิภาพเครื่องจักรก่อนและหลังการปรับปรุงเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ในการเปรียบเทียบจะทำการพิจารณาแบ่งแยกออกเป็น 3 กรณี ดังรายละเอียดต่อไปนี้

กรณีเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 1 :

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรและค่าเวลาเฉลี่ยระหว่างเกิดเหตุขัดข้อง พบว่าค่า Availability ค่า OEE และค่า MTBF มีการปรับปรุงดีขึ้นอย่างชัดเจน เนื่องจากปัญหาการหยุดเสียของเครื่องจักรเนื่องจากทรานสดิวเซอร์เกิดขึ้นน้อยลง ข้อมูลเปรียบเทียบของเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 1 แสดงในตารางที่ 5.6 และในกราฟแท่งรูปที่ 5.1

ตารางที่ 5.6 ค่าเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงของเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 1

เครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 1	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	% เปลี่ยนแปลง
(%) Availability	92.08	96.19	+4.46%
(%) Performance Rate	97.07	97.20	+0.13%
(%) Quality rate	99.73	99.75	+0.02%
(%) OEE	89.15	93.26	+4.62%
MTBF (Min)	314	587	+87.18%
SDBSS	3.31	2.73	-17.53%



รูปที่ 5.1 ค่า OEE ก่อนและหลังการปรับปรุงของเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 1

โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ค่า Availability เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจาก 92.08 เปอร์เซ็นต์เป็น 96.19 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นการปรับปรุงดีขึ้น 4.46 เปอร์เซ็นต์
2. ค่า OEE เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจาก 89.15 เปอร์เซ็นต์เป็น 93.26 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นการปรับปรุงดีขึ้น 4.62 เปอร์เซ็นต์
3. ค่า MTBF เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจาก 314 นาที เป็น 587 นาที คิดเป็นการปรับปรุงดีขึ้น 87.18 เปอร์เซ็นต์

4. ค่า SDBSS เปลี่ยนแปลงลดลงจาก 3.31 เป็น 2.73 คิดเป็นการเปลี่ยนแปลงลดลง 17.53 เปอร์เซ็นต์
5. ค่า Performance rate เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจาก 97.07 เปอร์เซ็นต์เป็น 97.20 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นการปรับปรุงดีขึ้น 0.13 เปอร์เซ็นต์
6. ค่า Quality rate เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจาก 99.73 เปอร์เซ็นต์เป็น 99.75 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นการปรับปรุงดีขึ้น 0.02 เปอร์เซ็นต์

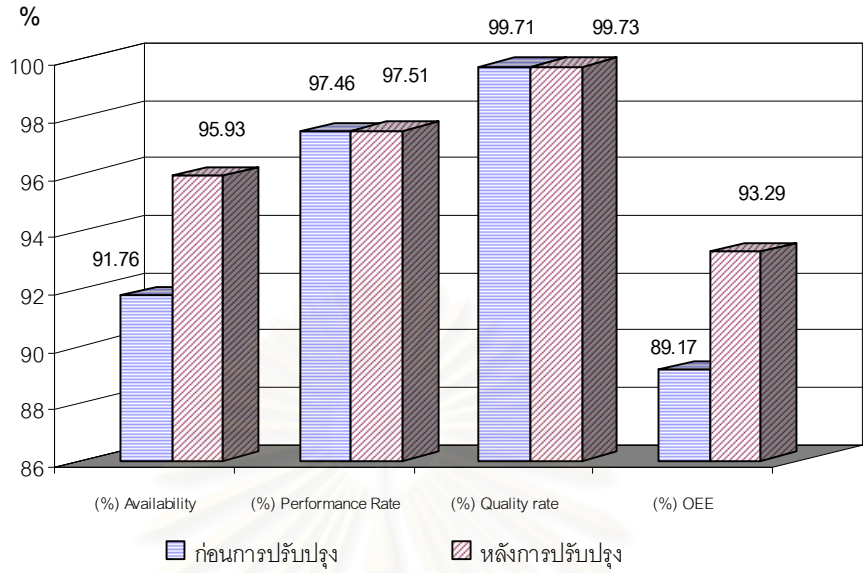
และเมื่อนำข้อมูลไปทดสอบทางสถิติโดยพิจารณาที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 พบว่าค่า Availability ค่า OEE ค่า MTBF และค่า SDBSS ก่อนและหลังการปรับปรุงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ค่านัยสำคัญ 0.000, 0.005, 0.001 และ 0.000 ตามลำดับ ส่วนค่า Quality rate มีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางมีค่าสูงขึ้น และ Performance rate การเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางมีค่าสูงขึ้นเช่นกัน แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ผลการทดสอบค่าทางสถิติอ้างอิงในภาคผนวก ค.9

กรณีเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 2 :

ในกรณีเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 2 นี้ ทำการเปรียบเทียบในลักษณะเดียวกันกับเครื่องจักรทดลองเครื่องแรก โดยข้อมูลเปรียบเทียบผลของการปรับปรุงของเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 2 แสดงในตารางที่ 5.7 และในกราฟแท่งรูปที่ 5.2

ตารางที่ 5.7 ค่าเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงของเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 2

เครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 2	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	% เปลี่ยนแปลง
(%) Availability	91.76	95.93	+4.55%
(%) Performance Rate	97.46	97.51	+0.05%
(%) Quality rate	99.71	99.73	+0.02%
(%) OEE	89.17	93.29	+4.62%
MTBF (Min)	286	542	+89.06%
SDBSS	3.35	2.76	-17.69%



รูปที่ 5.2 ค่า OEE ก่อนและหลังการปรับปรุงของเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 2

โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. โดยมีค่า Availability เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจาก 91.76 เปอร์เซ็นต์ เป็น 95.93 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นการปรับปรุงดีขึ้น 4.55 เปอร์เซ็นต์
2. ค่า OEE เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจาก 89.17 เปอร์เซ็นต์ เป็น 93.29 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นการปรับปรุงดีขึ้น 4.62 เปอร์เซ็นต์
3. ค่า MTBF เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจาก 286 นาที เป็น 542 นาที คิดเป็นการปรับปรุงดีขึ้น 89.06 เปอร์เซ็นต์
4. ค่า SDBSS เปลี่ยนแปลงลดลงจาก 3.35 เป็น 2.76 คิดเป็นการเปลี่ยนแปลงลดลง 17.69 เปอร์เซ็นต์
5. ค่า Performance rate เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจาก 97.46 เปอร์เซ็นต์ เป็น 97.51 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น 0.05 เปอร์เซ็นต์
6. ค่า Quality rate เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจาก 99.71 เปอร์เซ็นต์ เป็น 99.73 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นการปรับปรุงดีขึ้น 0.02 เปอร์เซ็นต์

เมื่อนำไปทดสอบทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 พบว่าค่า Availability ค่า OEE ค่า MTBF และค่า SDBSS ก่อนและหลังการปรับปรุงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ค่านัยสำคัญ 0.001, 0.011, 0.003 และ 0.000 ตามลำดับ และค่า Quality rate มีค่าสูงขึ้น ส่วนค่า

Performance rate แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ผลการทดสอบค่าทางสถิติอ้างอิงในภาคผนวก ค.10

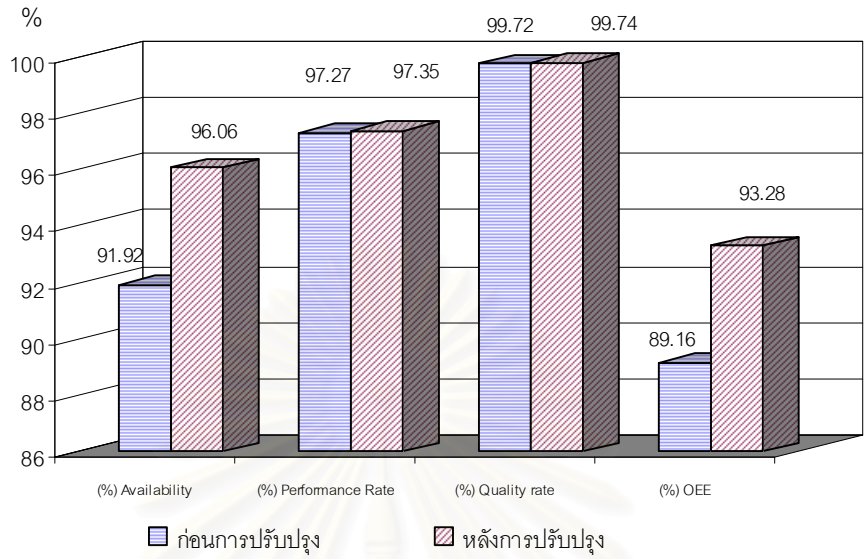
กรณีคิดค่าเฉลี่ยของเครื่องจักรทดลองทั้ง 2 เครื่อง :

จากข้อมูลที่ได้ทำการเปรียบเทียบของเครื่องจักรทดลองแต่ละเครื่อง นำข้อมูลของเครื่องจักรทดลองทั้งสองเครื่องมาคำนวณหาค่าเฉลี่ย พบว่าหลังการเปลี่ยนชุดทรานสดิวเซอร์มีผลทำให้ค่า Availability ค่า OEE และค่า MTBF ดีขึ้นอย่างชัดเจนเนื่องจากปัญหาการเสียของเครื่องจักรน้อยลง โดยค่าเฉลี่ยของค่า OEE ค่า MTBF และค่า SDBSS การปรับปรุงของเครื่องจักรทดลองทั้ง 2 เครื่องก่อนและหลังการปรับปรุง สามารถสรุปได้ดังในตารางที่ 5.8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยก่อนและหลังการปรับปรุงของค่า OEE ค่า MTBF และค่า SDBSS แสดงในกราฟรูปที่ 5.3 รูปที่ 5.4 และรูปที่ 5.5 ตามลำดับ

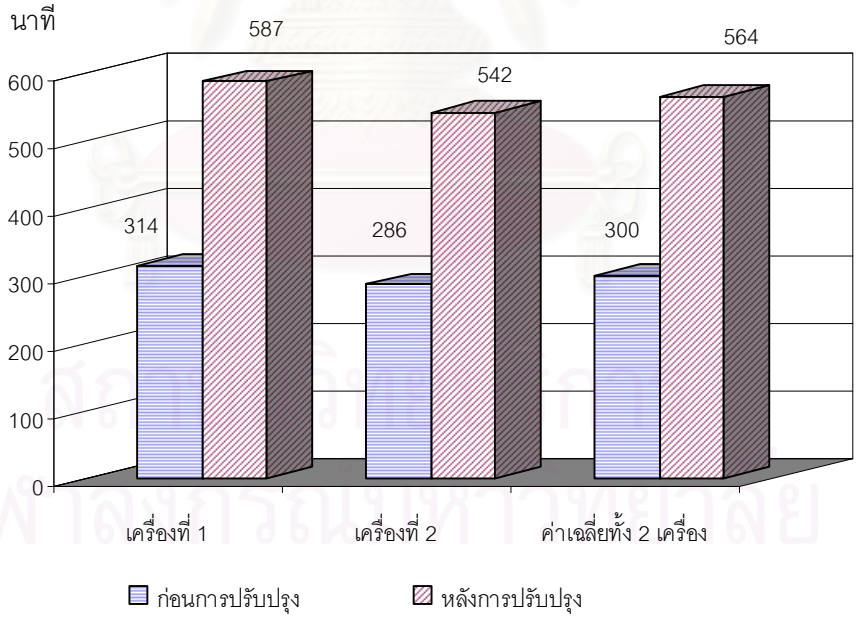
ตารางที่ 5.8 ค่าเฉลี่ยเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงของเครื่องจักรทดลองทั้ง 2 เครื่อง

ค่าเฉลี่ยเครื่องจักรทดลองทั้ง 2 เครื่อง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	% เปลี่ยนแปลง
(%) Availability	91.92	96.06	+4.50%
(%) Performance Rate	97.27	97.35	+0.09%
(%) Quality rate	99.72	99.74	+0.02%
(%) OEE	89.16	93.28	+4.62%
MTBF (Min)	300	564	+88.08%
SDBSS	3.33	2.74	-17.61%

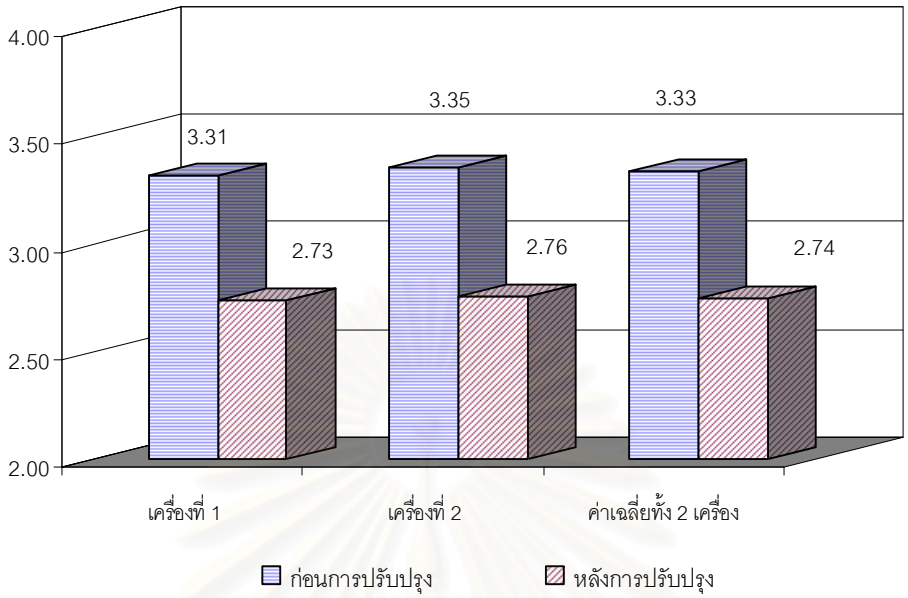
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.3 ค่า OEE เฉลี่ยก่อนและหลังการปรับปรุงของเครื่องจักรทดลองทั้ง 2 เครื่อง



รูปที่ 5.4 ค่า MTBF เฉลี่ยก่อนและหลังการปรับปรุงของเครื่องจักรทดลองทั้ง 2 เครื่อง



รูปที่ 5.5 ค่า SDBSS เฉลี่ยก่อนและหลังการปรับปรุงของเครื่องจักรทดลองทั้ง 2 เครื่อง

โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. โดยมีค่า Availability เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจาก 91.92 เปอร์เซ็นต์ เป็น 96.06 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นการปรับปรุงดีขึ้น 4.50 เปอร์เซ็นต์
2. ค่า OEE เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจาก 89.16 เปอร์เซ็นต์ เป็น 93.28 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นการปรับปรุงดีขึ้น 4.62 เปอร์เซ็นต์
3. ค่า MTBF เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจาก 300 นาที เป็น 564 นาที คิดเป็นการปรับปรุงดีขึ้น 88.08 เปอร์เซ็นต์
4. ค่า SDBSS เปลี่ยนแปลงลดลงจาก 3.33 เป็น 2.74 คิดเป็นการเปลี่ยนแปลงลดลง 17.61 เปอร์เซ็นต์
5. ค่า Performance rate เปลี่ยนเพิ่มขึ้นจาก 97.27 เปอร์เซ็นต์ เป็น 97.35 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นการปรับปรุงดีขึ้น 0.09 เปอร์เซ็นต์
6. ค่า Quality rate เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจาก 99.72 เปอร์เซ็นต์ เป็น 99.74 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นการปรับปรุงดีขึ้น 0.02 เปอร์เซ็นต์

จากข้อมูลเปรียบเทียบดังกล่าว พบว่าการเปลี่ยนชุดทรานสดิวเซอร์ตามแนวทางการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ที่ได้นำมาประยุกต์ใช้งานจริงในเครื่องจักรทดลองทั้งสองเครื่อง ทำให้ค่า OEE และค่า MTBF ปรับปรุงดีขึ้นอย่างชัดเจน ทำให้สามารถใช้งานเครื่องจักรได้อย่างเต็ม

ประสิทธิภาพมากขึ้น ในส่วนของการเปรียบเทียบต้นทุนรวมของการใช้งานเครื่องจักร จะทำการพิจารณาเปรียบเทียบในหัวข้อถัดไป

5.4 เปรียบเทียบต้นทุนรวมของการใช้งานเครื่องจักรก่อนและหลังการปรับปรุง

เปรียบเทียบต้นทุนรวมของการใช้งานเครื่องจักร โดยใช้ค่า SDBSS เป็นตัวพยากรณ์สภาพการใช้งานของชุดทรานสดิวเซอร์ ตามแบบจำลองการหาต้นทุนรวมของการใช้งานเครื่องจักรเพื่อทำให้เกิดความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ โดยจะทำการจำลองต้นทุนรวมของการใช้งานเครื่องจักรที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ถ้าหากใช้วิธีการบำรุงรักษาเครื่องจักรแบบเดิมที่โรงงานกรณีศึกษาใช้อยู่ คือจะใช้ทรานสดิวเซอร์จนกว่าจะเสียไม่สามารถใช้งานต่อได้จึงทำการเปลี่ยนตัวใหม่ และจะทำการเปรียบเทียบกับการใช้วิธีการบำรุงรักษาเครื่องจักรแบบใหม่ที่ทางผู้วิจัยได้นำเสนอโดยการใช้ SDBSS เป็นตัวพยากรณ์สภาพการใช้งานของชุดทรานสดิวเซอร์ และทำการเปลี่ยนชุดทรานสดิวเซอร์ในจุดที่เหมาะสมก่อนที่ทรานสดิวเซอร์จะเสียตามแบบจำลองที่ได้นำเสนอในบทที่ 4

ทรานสดิวเซอร์ชุดใหม่ที่เปลี่ยนเข้าไปใช้งานในเครื่องจักรทดลองนี้ จะถูกกำหนดแผนการบำรักษาโดยใช้ ค่า SDBSS เป็นตัวพยากรณ์ คือเมื่อพบว่าค่า SDBSS มีค่าสูงขึ้นอยู่ในช่วง 3.20 ถึง 3.38 จะทำการเปลี่ยนทรานสดิวเซอร์ ซึ่งเป็นจุดที่ทำให้เกิดต้นทุนการใช้งานเครื่องจักรต่ำสุดอยู่ที่ ระหว่าง 15,149 ถึง 15,243 บาทต่อเดือน และได้ทำการจำลองสถานการณ์สมมุติว่าถ้าหากไม่ดำเนินการเปลี่ยนทรานสดิวเซอร์ในเครื่องจักรทั้งสอง โดยใช้ความสัมพันธ์จากสมการที่ (4.1) และ (4.2) ในการพยากรณ์ค่า SDBSS และค่า Availability ที่จะเปลี่ยนแปลงไปในเดือนถัดไปหากยังไม่ได้มีการเปลี่ยนชุดทรานสดิวเซอร์ ค่า Availability ที่ได้จากการพยากรณ์นี้ จะถูกนำไปคำนวณหาค่าต้นทุนรวมของการใช้งานเครื่องจักร สามารถคำนวณได้โดยใช้สมการที่ (2.7) ร่วมกับสมการที่ (4.4) และ (4.6) ดั้งนั้นการคำนวณต้นทุนรวมของการใช้งานเครื่องจักรในกรณีที่ยังไม่ได้มีการเปลี่ยนชุดทรานสดิวเซอร์ จะพิจารณาใช้ค่า Availability ตามข้อมูลจริงที่เกิดขึ้น ส่วนในกรณีสถานการณ์สมมุติที่ต้องการจำลองว่าจะใช้ทรานสดิวเซอร์ตัวเก่าต่อไป จะพิจารณาใช้ค่า Availability ที่ได้มาจากสมการพยากรณ์ในการคำนวณหาค่าต้นทุนรวมของการใช้งานเครื่องจักร

ดังนั้นค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นที่ได้จากการพยากรณ์นี้ จะมีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่สูงขึ้นตามาอายุการใช้งานที่เพิ่มขึ้นของชุดทรานสดิวเซอร์เนื่องจากค่า Availability ที่ลดต่ำลง และนำผลลัพธ์ที่ได้มาเปรียบเทียบกันระหว่าง กรณีที่เปลี่ยนทรานสดิวเซอร์และกรณีที่ไม่เปลี่ยน

ทรานสดิวเซอร์ ผลการทดลองในเครื่องจักรทดลองทั้งสองเครื่อง สามารถแยกพิจารณาได้เป็น 3 กรณี ดังต่อไปนี้

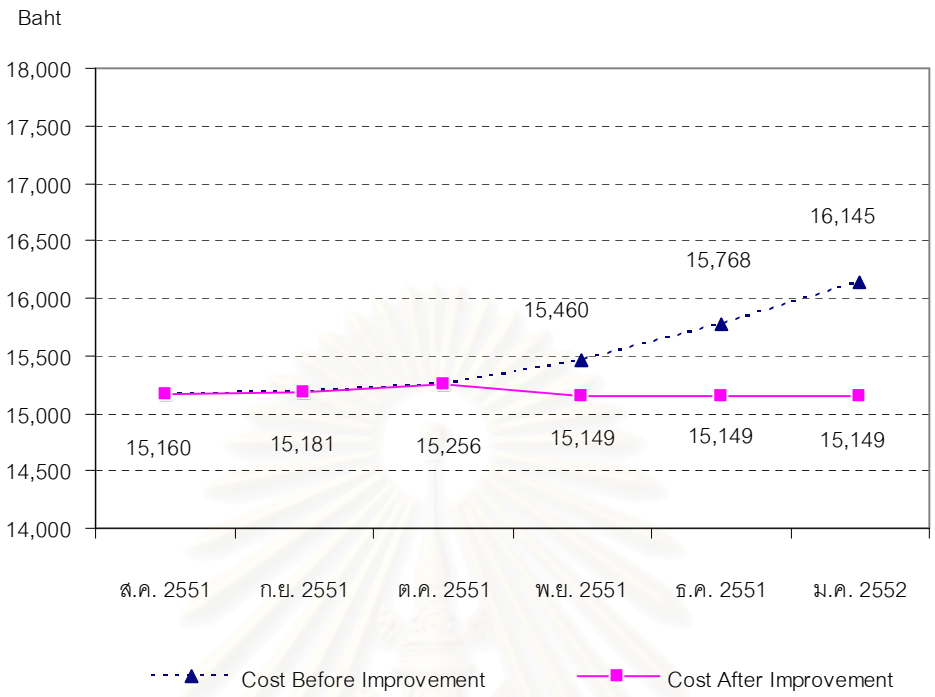
กรณีเครื่องจักรทดลองครื่องที่ 1 :

กรณีนี้เนื่องจากใช้ชุดทรานสดิวเซอร์เลยจุดที่ทำให้เกิดต้นทุนรวมมีค่าต่ำสุด ในกรณีที่ไม่ได้ทำการเปลี่ยนทรานสดิวเซอร์ ต้นทุนรวมของการใช้งานเครื่องจักรจะมีค่าสูงขึ้นเนื่องจากค่า Availability ที่ลดลง ทำให้ไม่สามารถใช้งานเครื่องจักรได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ โดยต้นทุนรวมของการใช้งานเครื่องจักรของเดือนสิงหาคม 2551 ถึงเดือนมกราคม 2552 พิจารณาคำนวณแยกเป็น 2 กรณีคือ กรณีแรกคือที่มีการเปลี่ยนทรานสดิวเซอร์ตามแนวทางที่นำเสนอในเดือนพฤศจิกายน 2551 และในกรณีที่สองคือยังคงใช้ทรานสดิวเซอร์ชุดเก่าต่อไป โดยในช่วงเดือนสิงหาคมถึงเดือนตุลาคม 2551 จะคำนวณต้นทุนรวมจากค่า Availability จริงในเดือนนั้น และในช่วงเดือนพฤศจิกายน 2551 ถึงเดือนมกราคม 2552 ในกรณีที่ไม่เปลี่ยนชุดทรานสดิวเซอร์ จะคำนวณจากค่า SDBSS ที่เกิดจากการประมาณค่า จากความสัมพันธ์ในสมการที่ (4.1) ในกรณีที่เปลี่ยนทรานสดิวเซอร์ที่จุดซึ่งอายุการใช้งานมีความเหมาะสมที่สุดเพื่อการทดแทน จะทำให้มีต้นทุนการใช้งานเครื่องจักรอยู่ที่ 15,149 บาทต่อเดือน ข้อมูลของทั้งสองกรณีแสดงในตารางที่ 5.9 และในกราฟรูปที่ 5.6

ตารางที่ 5.9 ค่าเปรียบเทียบต้นทุนการใช้งานเครื่องจักรของเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 1

เครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 1		ส.ค. 2551	ก.ย. 2551	ต.ค. 2551	พ.ย. 2551	ธ.ค. 2551	ม.ค. 2552
กรณี ไม่เปลี่ยน	ค่า SDBSS	3.25	3.31	3.38	3.47	3.56	3.65
	ต้นทุนรวม (บาท)	15,160	15,181	15,256	15,460	15,768	16,145
กรณี เปลี่ยน	ค่า SDBSS	3.25	3.31	3.38	2.68	2.73	2.79
	ต้นทุนรวม (บาท)	15,160	15,181	15,256	15,149	15,149	15,149
ต้นทุนที่ลดลง (บาท/เดือน)		0	0	0	-311	-618	-996

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.6 กราฟเปรียบเทียบต้นทุนการใช้งานเครื่องจักรของเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 1

ในกรณีที่ไม่เปลี่ยนชุดทรานสดิวเซอร์ต้นทุนรวมที่เป็นความสูญเสียมีแนวโน้มสูงเพิ่มขึ้นมากกว่าแนวทางวิธีการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ที่นำเสนอ คิดเป็นมูลค่า 311 บาทในเดือนพฤศจิกายน 2551 มูลค่า 618 บาทในเดือนธันวาคม 2551 และ 996 บาทในเดือนมกราคม 2552 จากข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในหัวข้อก่อนหน้านี้ พบว่าวิธีการบำรุงรักษาแบบเดิมจะทำการเปลี่ยนทรานสดิวเซอร์เมื่อค่า SDBSS อยู่ที่ประมาณ 3.59 (ตารางที่ 4.3) ดังนั้น เครื่องจักรทดลองเครื่องนี้อาจจะสามารถใช้งานได้จนถึงประมาณเดือนมกราคม 2552 จึงถูกเปลี่ยนทรานสดิวเซอร์ตามแผนการบำรุงรักษาแบบเดิม

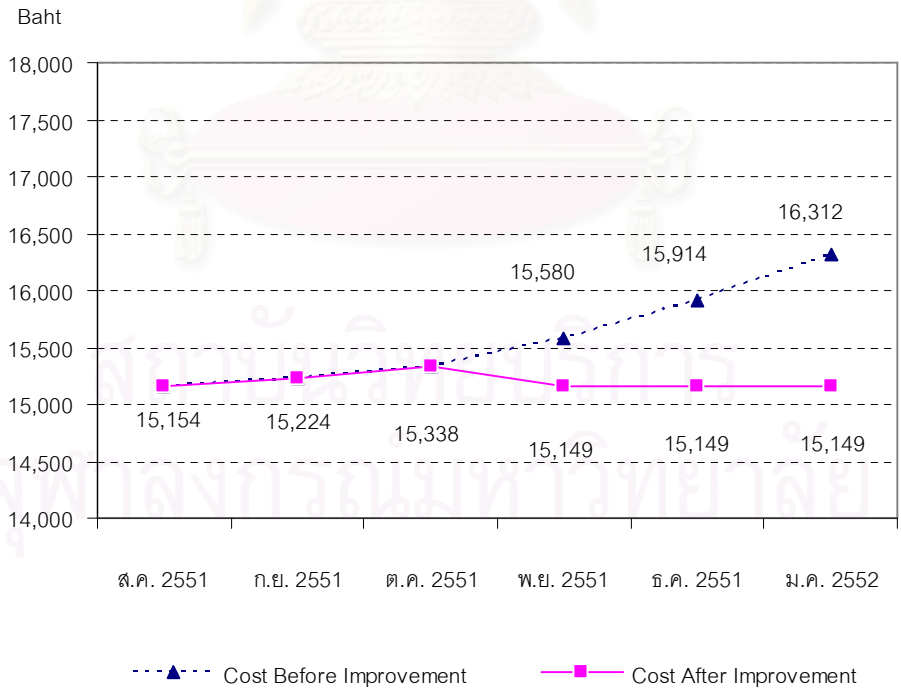
ดังนั้นถ้าหากเครื่องจักรทดลองเครื่องนี้ถูกใช้งานต่อไปด้วยแผนการบำรุงรักษาแบบเดิมจนกระทั่งถึง เดือนมกราคม 2552 จะทำให้มีต้นทุนรวมของการใช้งานเครื่องจักรในแต่ละเดือน มีค่าสูงกว่าในกรณีที่ปฏิบัติตามแผนการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ที่นำเสนอมีมูลค่า 996 บาทต่อเดือนต่อเครื่องจักร

กรณีเครื่องจักรทดลองครื่องที่ 2

กรณีเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 2 ทำการเปรียบเทียบในลักษณะเดียวกันกับเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 1 ต้นทุนรวมของการใช้งานเครื่องจักรของเดือนสิงหาคม 2551 ถึงเดือนมกราคม 2552 ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณทั้งสองกรณีแสดงในตารางที่ 5.10 และกราฟรูปที่ 5.7 ในกรณีที่ยังคงใช้ทรานสดิวเซอร์ตัวเก่าต่อไป จะทำให้เกิดต้นทุนที่เป็นความสูญเสียสูงเพิ่มขึ้นมากกว่าแนวทางวิธีการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ที่นำเสนอ คิดเป็นมูลค่า 430 บาท ในเดือนพฤศจิกายน 2551 มีมูลค่า 765 บาท ในเดือนธันวาคม 2551 และมีมูลค่า 1,163 บาท ในเดือนมกราคม 2552

ตารางที่ 5.10 ค่าเปรียบเทียบต้นทุนการใช้งานเครื่องจักรของเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 2

เครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 2		ส.ค. 2551	ก.ย. 2551	ต.ค. 2551	พ.ย. 2551	ธ.ค. 2551	ม.ค. 2552
กรณีไม่เปลี่ยน	ค่า SDBSS	3.27	3.35	3.42	3.51	3.60	3.68
	ต้นทุนรวม (บาท)	15,154	15,224	15,338	15,580	15,914	16,312
กรณีเปลี่ยน	ค่า SDBSS	3.27	3.35	3.42	2.70	2.75	2.82
	ต้นทุนรวม (บาท)	15,154	15,224	15,338	15,149	15,149	15,149
ต้นทุนที่ลดลง (บาท/เดือน)		0	0	0	-430	-765	-1,163



รูปที่ 5.7 กราฟเปรียบเทียบต้นทุนการใช้งานเครื่องจักรของเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 2

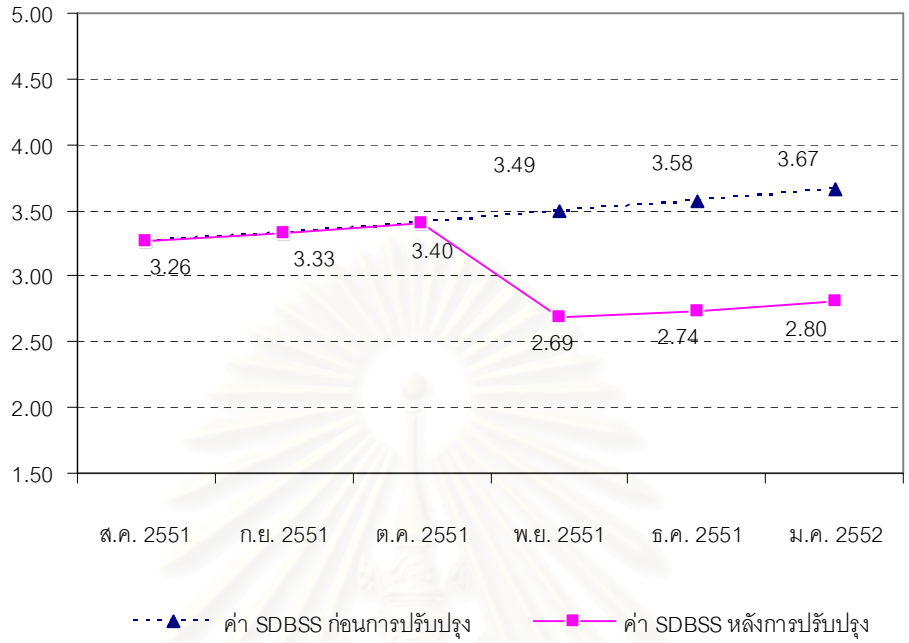
โดยถ้าใช้วิธีการบำรุงรักษาแบบเดิมที่ทรานสดิวเซอร์จะถูกเปลี่ยนเมื่อค่า SDBSS มีค่าประมาณ 3.59 ดังนั้นเครื่องจักรทดลองนี้จะถูกใช้งานจนถึงประมาณเดือน ธันวาคม 2551 จึงจะถูกเปลี่ยนทรานสดิวเซอร์ตามแผนการบำรุงรักษาแบบเดิม ซึ่งจะทำให้มีต้นทุนรวมของการใช้งานเครื่องจักรในแต่ละเดือน มีค่าสูงกว่าในกรณีที่ปฏิบัติตามแผนการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ที่นำเสนอมีมูลค่า 765 บาทต่อเดือนต่อเครื่องจักร

กรณีคิดค่าเฉลี่ยของเครื่องจักรทดลองทั้ง 2 เครื่อง :

จากผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองในเครื่องจักรทั้งสองเครื่องพบว่า ต้นทุนรวมของการใช้งานเครื่องจักรที่เกิดขึ้น จากวิธีการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ที่นำเสนอโดยการใช้ค่า SDBSS เป็นตัวพยากรณ์สภาพการใช้งานที่แท้จริงของชุดทรานสดิวเซอร์ และทำการเปลี่ยนทรานสดิวเซอร์เมื่อพบค่า SDBSS มีค่าสูงขึ้นอยู่ในช่วง 3.20 ถึง 3.38 ซึ่งจะทำให้เกิดต้นทุนรวมของการใช้งานเครื่องจักรมีค่าต่ำสุด และเมื่อเปรียบเทียบกับแผนการบำรุงรักษาแบบเดิม วิธีการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์นี้จะทำให้ต้นทุนรวมของการใช้งานเครื่องจักรมีค่าลดต่ำลง

โดยถ้าใช้วิธีการบำรุงรักษาแบบเดิมที่ทรานสดิวเซอร์ตัวเก่าจะถูกใช้งานต่อไปจนกระทั่งไม่สามารถที่ใช้งานต่อไปได้อีกจึงจะทำการเปลี่ยนจากข้อมูลที่ได้ศึกษามาในบทที่ 4 พบว่าชุดทรานสดิวเซอร์จะถูกเปลี่ยนเมื่อค่า SDBSS มีค่าประมาณ 3.59 (ตารางที่ 4.3) ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากข้อมูลค่า SDBSS เฉลี่ยของเครื่องจักรทดลองทั้งสองเครื่องนี้ คาดการว่าทรานสดิวเซอร์จะสามารถใช้งานได้จนถึงประมาณเดือนธันวาคม 2551 จึงถูกเปลี่ยน ตามแผนการบำรุงรักษาแบบเดิมที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ค่า SDBSS เฉลี่ยของเครื่องจักรทั้งสองในกรณีที่ทำการเปลี่ยนทรานสดิวเซอร์และในกรณีที่ทำการพยากรณ์ค่าต่อไปถ้าหากไม่มีการเปลี่ยนชุดทรานสดิวเซอร์แสดงดังในกราฟรูปที่ 5.8

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

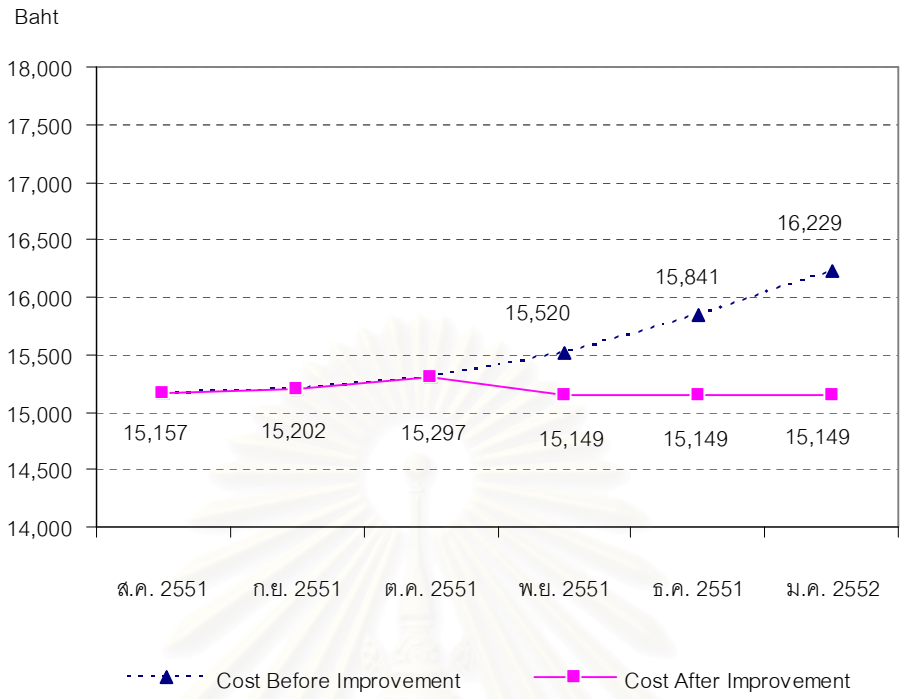


รูปที่ 5.8 กราฟเปรียบเทียบค่า SDBSS เฉลี่ยเครื่องจักรทั้ง 2 เครื่อง

ข้อมูลเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของต้นทุนรวมของการใช้งานเครื่องจักรทดลองทั้งสองเครื่องในกรณีทำการเปลี่ยนและไม่เปลี่ยนชุดทรานสดิวเซอร์ แสดงในตารางที่ 5.11 และในกราฟรูปที่ 5.9

ตารางที่ 5.11 ค่าเปรียบเทียบต้นทุนการใช้งานเครื่องจักรเฉลี่ยของเครื่องจักรทั้ง 2 เครื่อง

ค่าเฉลี่ยของเครื่องจักรทดลองทั้ง 2 เครื่อง	ส.ค. 2551	ก.ย. 2551	ต.ค. 2551	พ.ย. 2551	ธ.ค. 2551	ม.ค. 2552
Cost Before Improvement	15,157	15,202	15,297	15,520	15,841	16,229
Cost After Improvement	15,157	15,202	15,297	15,149	15,149	15,149
ต้นทุนเฉลี่ยรวมที่เปลี่ยนแปลง (บาท/เดือน)	0	0	0	-371	-692	-1,079
ค่า SDBSS ในกรณีที่ไม่เปลี่ยนทรานสดิวเซอร์	3.26	3.33	3.40	3.49	3.58	3.67



รูปที่ 5.9 กราฟเปรียบเทียบต้นทุนการใช้งานเครื่องจักรเฉลี่ยของเครื่องจักรทั้ง 2 เครื่อง

ดังนั้นถ้าหากเครื่องจักรทดลองยังคงถูกใช้งานต่อไปด้วยแผนการบำรุงรักษาแบบเดิมจนกระทั่งถึงเดือน ธันวาคม 2551 จะทำให้มีต้นทุนรวมของการใช้งานเครื่องจักรเฉลี่ยทั้งสองเครื่องมีมูลค่าสูงกว่าการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ 371 บาท ในเดือนพฤศจิกายน 2551 และ 692 บาท ในเดือนธันวาคม 2551 ถ้าหากใช้ทรานสดิวเซอร์ต่อไปตามแผนการบำรุงรักษาแบบเดิมจนถึงเดือนธันวาคม 2551 จะทำให้มีต้นทุนสูงกว่าในกรณีที่ปฏิบัติตามแผนการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ที่นำเสนอคิดเท่ากับ 692 บาทต่อเดือนต่อเครื่องจักร เมื่อคำนวณจากจำนวนเครื่องเชื่อมวงจรไฟฟ้าที่ทำการศึกษามีทั้งหมดมี 90 เครื่อง คิดเป็นต้นทุนรวมของการใช้งานเครื่องจักรลดลงประมาณ 747,150 บาทต่อปี

นอกเหนือจากต้นทุนที่เกิดขึ้นดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น วิธีการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์นี้ยังสามารถช่วยให้เกิดการจัดการระบบการบำรุงรักษาให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น ผู้รับผิดชอบดูแลเครื่องจักรสามารถจัดการและเตรียมทรัพยากรที่จะใช้ในการบำรุงรักษาล่วงหน้าได้อย่างเหมาะสม สามารถจัดตารางเวลาการหยุดเครื่องจักรได้สอดคล้องกับแผนการผลิต ซึ่งข้อดีเหล่านี้ของวิธีการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ที่นำเสนอยังไม่ได้ถูกนำมาคิดให้อยู่ในรูปของผลประโยชน์ที่ได้รับที่เทียบเท่าเป็นมูลค่าเงิน ซึ่งถ้าหากนำมูลค่าต้นทุนเหล่านั้นมาคิดรวมด้วยแล้ว ก็จะทำให้ต้นทุนรวมที่ลดลงมีค่มูลค่าสูงขึ้นอีก

บทที่ 6
กรอบความคิดในการประยุกต์ใช้การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์

แนวความคิดและวิธีการศึกษาเพื่อทำการปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการบำรุงรักษาเครื่องเชื่อมแผงวงจรไฟฟ้าในโรงงานกรณีศึกษานี้ สามารถนำมาจัดทำเป็นกรอบแนวความคิด ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการบำรุงรักษาของเครื่องจักรในกระบวนการผลิตอื่นๆในโรงงานกรณีศึกษา หรือตลอดจนนำไปประยุกต์ใช้งานในการปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการบำรุงรักษาเครื่องจักร ในกรณีทั่วไปของภาคอุตสาหกรรมการผลิตอื่นๆ ที่มีเครื่องจักรใช้อยู่ในกระบวนการผลิตได้

6.1 กระบวนการประยุกต์ใช้การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ในกรณีทั่วไป

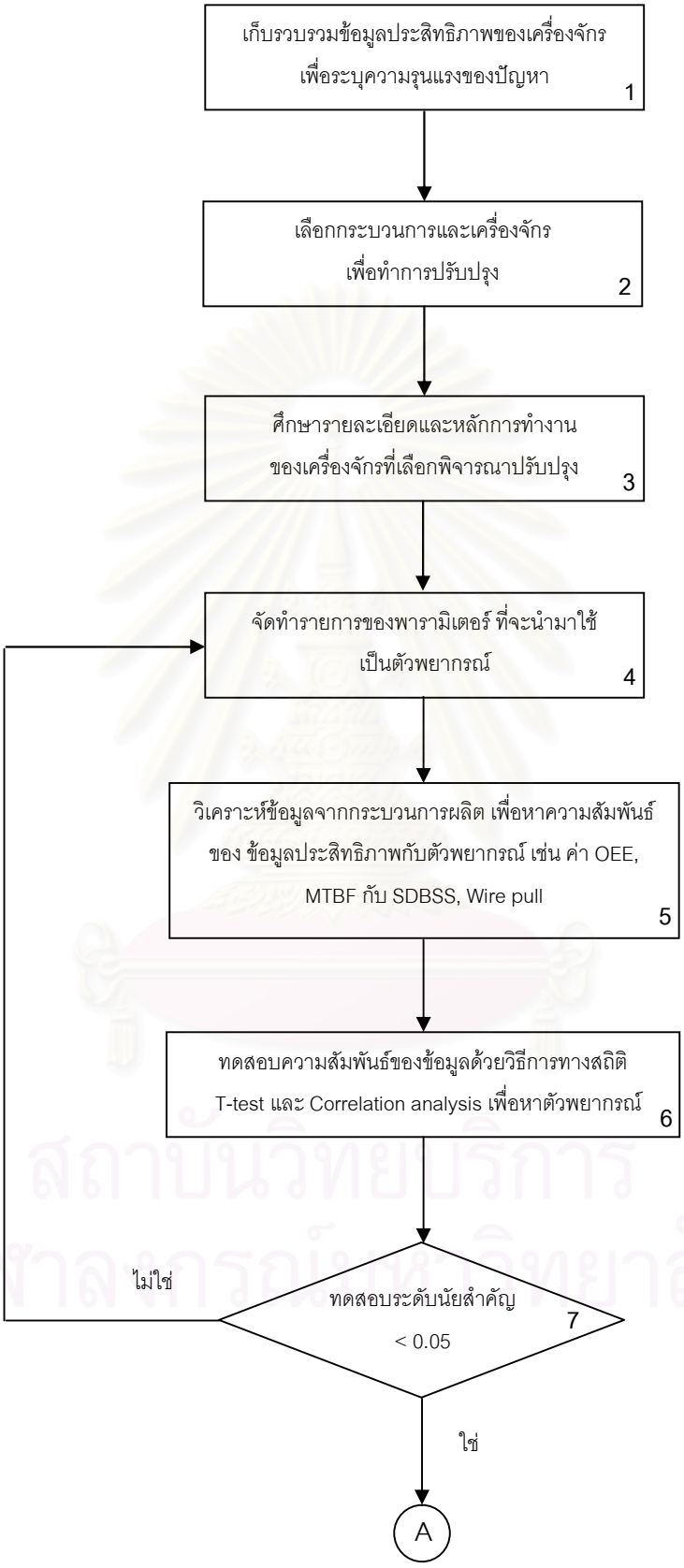
แนวทางในการศึกษาวิจัยปรับปรุงที่ได้ทำการศึกษาและนำเสนอเพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานจริงนี้ สามารถนำมาเขียนเป็นลำดับขั้นตอนของกระบวนการดำเนินงานในการประยุกต์ใช้แบบจำลองในกรณีทั่วไปได้ดัง ผังกระบวนการที่แสดงในรูปที่ 6.1 รายละเอียดของขั้นตอนในการนำไปประยุกต์ใช้งานในกรณีทั่วไปนี้ สามารถอธิบายได้เป็นขั้นตอนทั้งหมด 14 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 : **เก็บรวบรวมข้อมูลประสิทธิภาพของเครื่องจักรเพื่อระบุความรุนแรงของปัญหา**

เก็บรวบรวมข้อมูลประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรที่เลือกทำการศึกษา โดยสืบค้นข้อมูลประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรในอดีตที่ผ่านมา เช่นค่า OEE ค่า MTBF และข้อมูลอื่นๆที่เกี่ยวข้อง โดยจะนำข้อมูลที่ได้มาจะทำการวิเคราะห์หาลำดับความรุนแรงของปัญหาเพื่อกำหนดความสำคัญ จะทำการพิจารณาจากลำดับสภาพความรุนแรงของปัญหาที่เกิดขึ้นและทำการปรับปรุงในส่วนที่เกิดปัญหารุนแรงที่สุดก่อน โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ด้วยแผนภาพพาเรโต (Pareto chart) เป็นเครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์

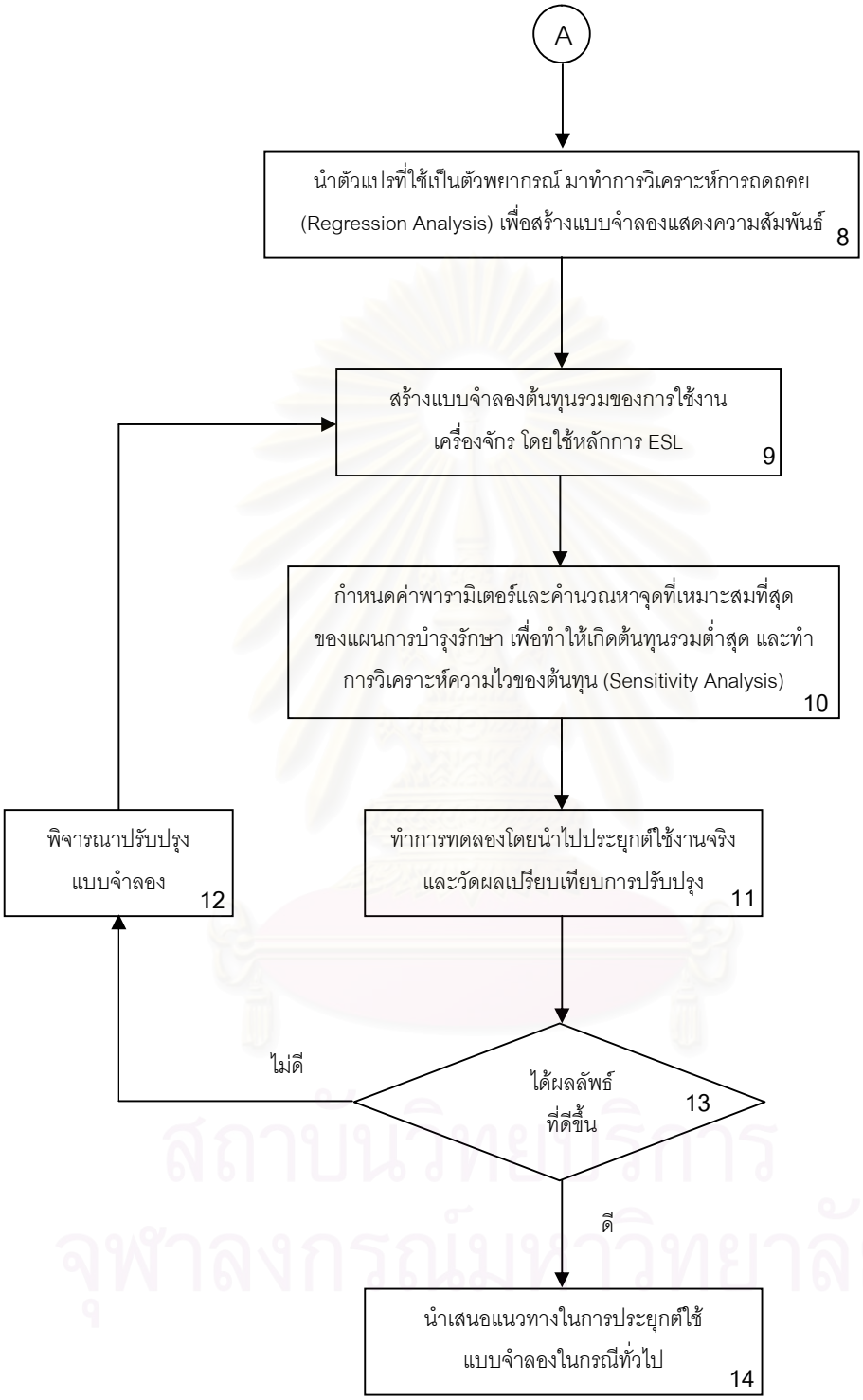
ขั้นตอนที่ 2 : **เลือกกระบวนการและเครื่องจักรเพื่อทำการปรับปรุง**

ทำการศึกษารายละเอียดของโรงงานอุตสาหกรรมที่เลือกทำการปรับปรุง ว่าผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิตคือผลิตภัณฑ์อะไร มีกระบวนการผลิตและลำดับขั้นตอนการผลิตอย่างไร ในแต่ละกระบวนต้องใช้วัตถุดิบและเครื่องจักรอะไรบ้าง ในแต่ละกระบวนการมีสภาพปัญหาในภาพรวมเป็นอย่างไร จากนั้นเลือกกระบวนการและเครื่องจักรเพื่อทำการปรับปรุง



รูปที่ 6.1 แผนผังกระบวนการประยุกต์ใช้งานแบบจำลองในกรณีทั่วไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.1(ต่อ) แผนผังกระบวนการประยุกต์ใช้งานแบบจำลองในกรณีทั่วไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขั้นตอนที่ 3 : ศึกษารายละเอียดหลักการทำงานของเครื่องจักรที่เลือกทำการปรับปรุง

ทำการศึกษาหลักการทฤษฎีและขั้นตอนการทำงาน ตลอดจนชิ้นส่วนประกอบหลักที่สำคัญของเครื่องจักรที่เลือกพิจารณาทำการปรับปรุง เพื่อให้เข้าใจถึงชิ้นส่วนประกอบหลักที่สำคัญของเครื่องจักร ลักษณะการใช้งานเครื่องจักรในกระบวนการผลิต พารามิเตอร์ในการใช้งานต่างๆที่เกี่ยวข้อง รวมถึงระบบและมาตรฐานการควบคุมคุณภาพของชิ้นงานที่ผลิตออกจากเครื่องจักร เพื่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจถึงสภาพของเครื่องจักร ว่ามีผลกระทบอย่างไรกับคุณภาพของชิ้นงานที่ทำการผลิต

ขั้นตอนที่ 4 : จัดทำรายการของพารามิเตอร์ที่จะนำมาใช้เป็นตัวพยากรณ์

หลังจากที่ได้มีการศึกษาถึงระบบการทำงานของเครื่องจักรและกระบวนการผลิตอย่างละเอียดแล้ว ทำให้สามารถทราบถึงแนวโน้มความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์ที่บอกถึงประสิทธิภาพของเครื่องจักร กับข้อมูลที่ได้มาจากกระบวนการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงานที่ผลิตออกจากเครื่องจักร ซึ่งข้อมูลของการตรวจสอบคุณภาพนี้ถือว่าเป็นเป็นข้อมูลที่ได้จากกระบวนการ (Process data) ที่เกิดขึ้น ซึ่งพารามิเตอร์ต่างๆที่จะนำมาพิจารณาเช่น ค่า OEE ค่า MTBF และค่า SPC (Statistical Process Control) เมื่อทราบถึงตัวพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรแล้ว จะทำการตั้งสมมุติฐานในเบื้องต้นถึงความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ตามหลักการทำงานของเครื่องจักรนั้นๆ และเลือกพิจารณาว่าค่าพารามิเตอร์ตัวใดบ้างที่อาจจะสามารถนำมาใช้เป็นตัวพยากรณ์ได้

ขั้นตอนที่ 5 : วิเคราะห์ข้อมูลจากกระบวนการผลิต เพื่อหาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์

ทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของข้อมูลที่แสดงถึงประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักร โดยเปรียบเทียบค่าก่อนและหลังการทำการบำรุงรักษาเครื่องจักรหรือการเปลี่ยนชิ้นส่วนอะไหล่ที่สำคัญที่อาจจะมีผลต่อสภาพและประสิทธิภาพของเครื่องจักร ตลอดจนข้อมูลที่ได้จากระบบการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากเครื่องจักรนั้นๆ เพื่อใช้ทำการวิเคราะห์หาว่าพารามิเตอร์แต่ละตัวเกิดการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางใดและมีความสัมพันธ์กันอย่างไร

ขั้นตอนที่ 6 และ 7 : ทดสอบความสัมพันธ์ของข้อมูลด้วยวิธีการทางสถิติเพื่อหาตัวพยากรณ์

นำข้อมูลที่แสดงถึงประสิทธิภาพของเครื่องจักรมาทำการทดสอบหาความสัมพันธ์ของข้อมูล เปรียบเทียบก่อนและหลังการทำการบำรุงรักษาเครื่องจักร โดยใช้เครื่องมือทางสถิติทดสอบดูค่าความแตกต่างค่าเฉลี่ยของข้อมูลด้วย T-test และการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation analysis) ทดสอบความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ในแต่ละตัว เพื่อหาพารามิเตอร์ที่จะใช้เป็นตัวพยากรณ์สภาพของเครื่องจักร โดยใช้เกณฑ์การทดสอบที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติเช่นที่ 0.05 หากข้อมูลที่ได้ทำการวิเคราะห์ยังไม่มีความสัมพันธ์กันตามระดับนัยสำคัญที่กำหนด จะต้องจัดทำรายการของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องใหม่ เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลเพิ่มเติมและทำการวิเคราะห์อีกครั้ง

ขั้นตอนที่ 8 : นำพารามิเตอร์ที่ใช้เป็นตัวพยากรณ์ไปสร้างแบบจำลองแสดงความสัมพันธ์โดยการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

นำพารามิเตอร์ที่ใช้เป็นตัวพยากรณ์กำหนดให้เป็นตัวแปรอิสระ (Independent Variable) ไปทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ทางสถิติกับตัวพารามิเตอร์ที่ใช้ตัวแปรตาม (Dependent Variable) โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) เพื่อหาความสัมพันธ์และสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ที่แสดงถึงความสัมพันธ์ทั้งสองเพื่อใช้เป็นแบบจำลองในการพยากรณ์

ขั้นตอนที่ 9 : สร้างแบบจำลองของต้นทุนรวมของการใช้งานเครื่องจักร โดยใช้หลักการของ Economic Service Life

พิจารณาองค์ประกอบของต้นทุนรวมที่เกิดขึ้นเนื่องจากการใช้งานเครื่องจักรว่าประกอบด้วยต้นทุนอะไรบ้าง โดยใช้หลักการของการหาอายุทรัพย์สินเพื่อการทดแทนที่เหมาะสมที่สุด (Economic Service Life: ESL) ซึ่งจะแบ่งต้นทุนออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนแรกคือต้นทุนที่เกิดจากการลงทุนในตัวทรัพย์สินครั้งแรก เช่น ต้นทุนรวมที่เกิดจากการเปลี่ยนชิ้นส่วนอะไหล่ของเครื่องจักรใหม่ และส่วนที่สองคือค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการดำเนินงาน เช่น ค่าความสูญเสียที่เกิดจากเครื่องจักรเสียไม่สามารถใช้ในการผลิตได้

ขั้นตอนที่ 10 : กำหนดค่าพารามิเตอร์และคำนวณหาจุดที่เหมาะสมที่สุดของแผนการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ เพื่อทำให้เกิดต้นทุนรวมต่ำสุด

รวบรวมข้อมูลต่างๆของต้นทุนและเงื่อนไขในการใช้งานเครื่องจักรในกระบวนการผลิต โดยจะกำหนดต้นทุนเหล่านั้นใช้เป็นพารามิเตอร์ในการคำนวณหาจุดที่เหมาะสมที่สุดของแผนการ

บำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ เพื่อทำให้เกิดต้นทุนรวมในการใช้งานเครื่องจักรต่ำที่สุด โดยผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองจะเปลี่ยนไปตามพารามิเตอร์และเงื่อนไขที่กำหนด ในการคำนวณนี้อาจจะพิจารณาเลือกใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อช่วยในการคำนวณประเมินผลได้ง่ายและรวดเร็ว เช่น โปรแกรมไมโครซอฟเอ็กเซล (Microsoft office Excel) และทำการวิเคราะห์ความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ของต้นทุนแต่ละตัว (Sensitivity Analysis) เพื่อให้ทราบถึงผลกระทบต่อผลลัพธ์ที่ได้ เมื่อค่าพารามิเตอร์แต่ละตัวเกิดการเปลี่ยนแปลงไป และทราบว่าพารามิเตอร์ตัวใดบ้างเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงแล้วสร้างผลกระทบต่อต้นทุนรวมของการใช้งานเครื่องจักรสูง

ขั้นตอนที่ 11 ถึง 13 : ทำการทดลองโดยการนำไปประยุกต์ใช้และวัดผลเปรียบเทียบการปรับปรุง

นำผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองที่ได้ทำการวิเคราะห์และนำเสนอแผนการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ มาทดลองประยุกต์ใช้งานจริงกับเครื่องจักรทดลองในกระบวนการผลิต โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลประสิทธิภาพของเครื่องจักรที่จะทำการทดลองทั้งก่อนและหลังการปรับปรุง และนำเอาข้อมูลมาวิเคราะห์เปรียบเทียบ เพื่อพิจารณาว่าผลลัพธ์ได้ดีขึ้นเป็นไปตามแบบจำลองหรือไม่ หากผลลัพธ์ที่ได้ไม่ดีขึ้นจะต้องทำการวิเคราะห์และพิจารณาปรับปรุงแบบจำลองตลอดจนค่าพารามิเตอร์ต่างๆให้เหมาะสมมากขึ้น

ขั้นตอนที่ 14 : นำเสนอแนวทางในการประยุกต์ใช้แบบจำลองในกรณีทั่วไป

สรุปและจัดลำดับขั้นตอนและแนวทางในการวิเคราะห์ปัญหา ตลอดจนเทคนิคและเครื่องมือทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์เพื่อสร้างแบบจำลองของแผนการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ ที่ทำให้ต้นทุนรวมของการใช้งานเครื่องจักรมีค่าต่ำที่สุด โดยกรอบแนวความคิดของการวิจัยนี้ สามารถที่จะใช้เป็นแนวทางในการนำแบบจำลองไปประยุกต์ใช้กรณีทั่วไปในภาคอุตสาหกรรมการผลิตอื่นๆได้

ขั้นตอนทั้งหมด 14 ขั้นตอนนี้ ผู้ที่สนใจสามารถใช้เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้งานประยุกต์ใช้งานในการปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการบำรุงรักษาเครื่องจักรในกรณีทั่วไปของภาคอุตสาหกรรมการผลิตอื่นๆได้

6.2 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ในโรงงานกรณีศึกษา

การศึกษาวิจัยในโรงงานกรณีศึกษาที่ได้ทำการศึกษาและนำเสนอแนวทางในการปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการบำรุงรักษาเครื่องเชื่อมวงจรไฟฟ้าด้วยวิธีการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์นี้ เริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการศึกษาปัญหาและวิเคราะห์ข้อมูลจนได้ผลลัพธ์ และนำผลลัพธ์ที่ได้จากวิเคราะห์ ไปทดลองประยุกต์ใช้งานจริง ทำการวัดผลเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุง ซึ่งวิธีการในการดำเนินการวิจัยและทำการปรับปรุงในโรงงานกรณีศึกษานี้ สามารถอธิบายได้เป็นขั้นตอนทั้งหมด 14 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 : เก็บรวบรวมข้อมูลประสิทธิภาพของเครื่องจักรเพื่อระบุความรุนแรงของปัญหา

ในกรณีศึกษานี้ได้ทำการสืบค้นและเก็บรวบรวมข้อมูลของค่า OEE และค่า MTBF ย้อนหลังเป็นเวลา 1 ปีแล้วนำมาวิเคราะห์เพื่อระบุสภาพความรุนแรงของปัญหาและกำหนดหัวข้อที่จะทำการปรับปรุงโดยใช้แผนภาพพาเรโต (Pareto chart) เป็นเครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์ พบว่าค่าเฉลี่ยของ Availability มีค่า 92.78% ซึ่งมีค่าต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับค่าอื่นๆ ส่งผลให้ค่า OEE มีค่าต่ำอยู่ที่ 90.62% สาเหตุหลักที่ทำให้ค่า Availability มีค่าต่ำเกิดเนื่องมาจากเครื่องจักรเสีย (Breakdown) ต้องหยุดการผลิตเพราะปัญหาชุดทรานสดิวเซอร์ ซึ่งเป็นปัญหาหลักของเครื่องเชื่อมวงจรไฟฟ้าดังรายละเอียดในหัวข้อ 4.1

ขั้นตอนที่ 2 : เลือกกระบวนการและเครื่องจักรเพื่อทำการปรับปรุง

เมื่อศึกษาถึงขั้นตอนกระบวนการทั้งหมดของโรงงานกรณีศึกษาแล้ว จึงทำการพิจาณาเลือกกระบวนการเชื่อมวงจรไฟฟ้าเป็นกระบวนการที่จะปรับปรุง โดยเลือกพิจารณาทำการปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบการบำรุงรักษาเครื่องเชื่อมวงจรไฟฟ้า (Wire Bonding Machine) เนื่องจากพบว่ามีปัญหาเครื่องจักรเสีย (Machine Breakdown) รุนแรงและจำนวนเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการผลิตนี้มีจำนวนมากที่สุดถึง 90 เครื่อง เมื่อคิดเป็นมูลค่าความสูญเสียรวมจะมีมูลค่าสูง ดังรายละเอียดแสดงในหัวข้อ 3.3

ขั้นตอนที่ 3 : ศึกษารายละเอียดหลักการทำงานของเครื่องจักรที่เลือกทำการปรับปรุง

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาหลักการและทฤษฎีการทำงานของเครื่องเชื่อมแผงวงจรไฟฟ้า รายละเอียดพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้าในแต่ละขั้นตอนการทำงานของ

เครื่องจักร นอกจากนั้นทำการศึกษามาตรฐานในการตรวจสอบคุณภาพของตัวไอซีที่ผ่านการเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้าแล้วว่ามีการทดสอบและตรวจวัดค่าอะไรบ้าง ในที่นี้พบว่าโรงงานกรณีศึกษามีระบบการควบคุมคุณภาพด้วยวิธีการทางสถิติ (Statistical Process Control: SPC) ในการเฝ้าติดตามคุณภาพของชิ้นงานที่ทำการผลิต และมีการเก็บข้อมูลของการทดสอบค่า Ball shear และค่า Wire pull ไว้ ดังรายละเอียดในหัวข้อ 3.4 และ 3.5

ขั้นตอนที่ 4 : จัดทำรายการของพารามิเตอร์ที่จะนำมาใช้เป็นตัวพยากรณ์

จากที่ได้มีการศึกษาถึงระบบการทำงานของเครื่องเชื่อมวงจรไฟฟ้าและกระบวนการอย่างละเอียดแล้ว ทำให้ทราบว่าพารามิเตอร์ที่บอกถึงประสิทธิภาพของเครื่องจักรประกอบไปด้วยค่า OEE และค่า MTBF ส่วนค่า Ball Shear และค่า Wire pull เป็นข้อมูลที่ได้จากกระบวนการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงานหลังจากการเชื่อมวงจรไฟฟ้า จึงนำค่า SDBSS และค่า Wire pull มาทดสอบเพื่อใช้เป็นตัวพยากรณ์ ดังรายละเอียดในหัวข้อ 4.1 และ 4.2

ขั้นตอนที่ 5 : วิเคราะห์ข้อมูลจากกระบวนการผลิต เพื่อหาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์

ในกรณีศึกษานี้พบว่า จากการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของข้อมูลที่แสดงถึงประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักร โดยเปรียบเทียบค่าก่อนและหลังการทำกิจกรรมการบำรุงรักษาพบว่าค่า Availability ค่า OEE และค่า MTBF ปรับปรุงดีขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนชุดทรานสดิวเซอร์ใหม่ ส่วนค่า SDBSS มีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางที่น้อยลงเมื่อเปลี่ยนชุดทรานสดิวเซอร์ใหม่ และค่า Wire pull มีค่าเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ดังรายละเอียดในหัวข้อ 4.3

ขั้นตอนที่ 6 และ 7 : ทดสอบความสัมพันธ์ของข้อมูลด้วยวิธีการทางสถิติเพื่อหาตัวพยากรณ์

จากการทดสอบความสัมพันธ์ของข้อมูลก่อนและหลังการเปลี่ยนชุดทรานสดิวเซอร์พบว่าค่า SDBSS มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญในทิศทางตรงข้ามกับค่า Availability ค่า OEE และค่า MTBF โดยมีระดับนัยสำคัญต่ำกว่า 0.05 คือเมื่อค่า SDBSS มีค่าลดลงค่า Availability ค่า OEE และค่า MTBF จะมีค่าสูงขึ้น ส่วนค่า Wire pull ไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นจึงเลือกพิจารณาที่จะใช้ค่า SDBSS เป็นตัวพยากรณ์ (Predictor) ประสิทธิภาพของชุดทรานสดิวเซอร์ของเครื่องเชื่อมแผงวงจร ดังรายละเอียดในหัวข้อ 4.3

ขั้นตอนที่ 8 : นำพารามิเตอร์ที่ใช้เป็นตัวพยากรณ์ไปสร้างแบบจำลองแสดงความสัมพันธ์โดยการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

ในกรณีศึกษานี้กำหนดให้ค่า SDBSS เป็นตัวแปรอิสระ (Independent Variable) ที่ใช้เป็นตัวพยากรณ์ และค่า Availability ตัวแปรตาม (Dependent Variable) ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอย พบว่าสามารถใช้ค่า SDBSS เป็นตัวพยากรณ์ค่า Availability ได้ โดยมีค่าความสัมพันธ์เท่ากับ 92.66% (R Squared) สามารถนำไปสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่า SDBSS และค่า Availability ได้ รายละเอียดแสดงในหัวข้อ 4.4

ขั้นตอนที่ 9 : สร้างแบบจำลองของต้นทุนรวมของการใช้งานเครื่องจักร โดยใช้หลักการ Economic Service Life

แบบจำลองของต้นทุนรวมของการใช้งานเครื่องจักรในโรงงานกรณีศึกษาประกอบไปด้วยต้นทุนเกิดจากการลงทุนในตัวทรัพย์สินครั้งแรก และต้นทุนที่เกิดจากการดำเนินงานในโรงงานกรณีศึกษานี้ต้นทุนส่วนแรก คือต้นทุนที่เกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนชุดทรานสดิวเซอร์ใหม่ ซึ่งจะประกอบไปด้วยต้นทุนต่างๆเช่นมูลค่าของชุดทรานดิวเซอร์ การเสียเวลาหยุดเครื่องจักรเพื่อทำการเปลี่ยนชุดทรานสดิวเซอร์ และส่วนที่สองคือต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการใช้งานเครื่องจักรเพื่อการผลิตซึ่งจะประกอบไปด้วยต้นทุนต่างๆเช่น ต้นทุนค่าความสูญเสียที่เกิดเนื่องจากการสูญเสียเวลาในการผลิตเมื่อค่า Availability ที่ลดลง รายละเอียดแสดงในหัวข้อ 4.5

ขั้นตอนที่ 10 : กำหนดค่าพารามิเตอร์และคำนวณหาจุดที่เหมาะสมที่สุดของแผนการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ เพื่อให้เกิดต้นทุนรวมต่ำสุด

จัดทำรายการรวบรวมข้อมูลของต้นทุนและเงื่อนไขในการใช้งานเครื่องจักรของโรงงานกรณีศึกษา เพื่อใช้เป็นพารามิเตอร์ในการคำนวณหาจุดที่เหมาะสมที่สุดของแผนการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ ซึ่งทำให้เกิดต้นทุนรวมในการใช้งานเครื่องจักรต่ำที่สุด ในกรณีศึกษานี้ผลลัพธ์ของแผนการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ที่ได้จากแบบจำลองโดยใช้ค่า SDBSS เป็นตัวพยากรณ์ คือจะต้องเปลี่ยนทรานสดิวเซอร์ใหม่เมื่อค่า SDBSS มีค่าสูงประมาณ 3.29 ซึ่งจะทำให้เกิดต้นทุนรวมของการใช้งานเครื่องจักรมีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 15,149 บาทต่อเดือน และทำการวิเคราะห์ความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ต้นทุนแต่ละตัว (Sensitivity Analysis) เพื่อให้ทราบถึงผลกระทบต่อผลลัพธ์ที่ได้เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์แต่ละตัว พบว่าค่าพารามิเตอร์ของอัตราการเปลี่ยนค่า Availability ชั่วโมงการทำงานในหนึ่งเดือน ค่าทรานสดิวเซอร์ตัวใหม่ และค่า

เสียโอกาสเนื่องจากหยุดการผลิต เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงแล้วจะสร้างผลกระทบต่อผลลัพธ์จากการพยากรณ์สูงมากกว่าพารามิเตอร์ตัวอื่น

โดยการกำหนดแนวทางอาจกำหนดเป็นช่วงของค่า SDBSS ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 3.20 ถึง 3.38 ซึ่งเป็นช่วงที่ต้นทุนรวมมีการเปลี่ยนแปลงน้อย และจากการวิเคราะห์ความไวพบว่าเมื่อค่าพารามิเตอร์ของต้นทุนเกิดการเปลี่ยนแปลงไปค่า SDBSS ที่เหมาะสมยังคงเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงดังกล่าว ดังนั้นการกำหนดแผนการบำรุงรักษาโดยที่ใช้ค่า SDBSS ในช่วงดังกล่าว จะทำให้ง่ายต่อการประยุกต์ใช้งาน และเกิดความยืดหยุ่นในการนำแผนการบำรุงรักษาไปใช้งาน รายละเอียดแสดงในหัวข้อ 4.6

ขั้นตอนที่ 11 ถึง 13 : ทำการทดลองโดยการนำไปประยุกต์ใช้และวัดผลเปรียบเทียบการปรับปรุง

ในกรณีศึกษาได้นำผลลัพธ์ที่ได้จากการพยากรณ์ นำไปทำการทดลองใช้งานจริงกับเครื่องจักรทดลอง 2 เครื่องที่ใช้อยู่ในกระบวนการผลิต และพบว่าด้วยวิธีการบำรุงรักษาที่นำเสนอสามารถทำให้ค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (OEE) มีค่าปรับปรุงดีขึ้นจาก 89.16% เป็น 93.28% และต้นทุนการใช้งานเครื่องจักรมีค่าต่ำลงเฉลี่ย 692 บาทต่อเดือนต่อเครื่อง เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการบำรุงรักษาแบบเดิมที่จะใช้ทรานสดิวเซอร์ต่อไปจนหมดสภาพ เมื่อคำนวณจากเครื่องจักรทั้งหมด 90 เครื่อง คิดเป็นต้นทุนที่ลดต่ำลง 747,150 บาทต่อปี รายละเอียดแสดงในหัวข้อ 5.1

ขั้นตอนที่ 14 : นำเสนอแนวทางในการประยุกต์ใช้แบบจำลองในกรณีทั่วไป

สรุปและจัดลำดับขั้นตอนขั้นตอนและแนวทางในการวิเคราะห์ปัญหาและทดลองปรับปรุงใช้งานจริงในโรงงานกรณีศึกษา ตลอดจนรายละเอียดของเทคนิคและเครื่องมือทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์และสร้างแบบจำลองของแผนการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ ที่ทำให้ต้นทุนรวมของการใช้งานเครื่องจักรมีค่าต่ำที่สุด รายละเอียดแสดงในหัวข้อ 6.2

จากลำดับขั้นตอนทั้งหมดที่ได้มีการอธิบายรายละเอียดของลำดับขั้นตอนของทั้งสองส่วนหลัก คือ 1) กระบวนการประยุกต์ใช้การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ในกรณีทั่วไป 2) ตัวอย่างการประยุกต์ใช้การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ในโรงงานกรณีศึกษา ทำให้ผู้ที่สนใจเกิดความเข้าใจในลำดับขั้นตอนการทำงาน และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในภาคอุตสาหกรรมการผลิตอื่นๆได้

โดยพิจารณาเลือกและวิเคราะห์ทำการปรับเปลี่ยนตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆ ให้เหมาะสมกับสภาพจริงและเงื่อนไขพิเศษเฉพาะของเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมนั้นๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 7

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ เพิ่มประสิทธิภาพของระบบการบำรุงรักษาเครื่องเชื่อมแผงวงจรไฟฟ้าในโรงงานกรณีศึกษา โดยมุ่งเน้นศึกษาการนำเสนอระบบการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ (Predictive Maintenance: PdM) ที่ทำให้เกิดต้นทุนการใช้งานเครื่องจักรมีค่าต่ำที่สุดมาประยุกต์ใช้งานในการกำหนดแผนการบำรุงที่เหมาะสมที่สุดให้กับชุดทรานสดิวเซอร์ของเครื่องเชื่อมวงจรไฟฟ้า ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่เป็นสาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดปัญหาเครื่องจักรเสีย จากผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลและการทดลองนำไปประยุกต์ใช้งานจริง พบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานเครื่องจักรเครื่องจักรและลดต้นทุนรวมของการใช้งานเครื่องจักรลงได้

7.1 สรุปผลการวิจัย

จากที่ผู้วิจัยได้ทำการสืบค้นข้อมูลของการเปลี่ยนชุดทรานสดิวเซอร์ที่ผ่านมาในอดีตจากเครื่องจักรทั้งหมด 7 เครื่องที่มีประวัติพบเครื่องจักรเสียเกิดปัญหา Availability ต่ำ แล้วทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่า SDBSS กับค่า Availability ที่ลดต่ำลง เพื่อใช้ค่า SDBSS เป็นตัวพยากรณ์อายุใช้งานที่เหมาะสมของชุดทรานสดิวเซอร์ เพื่อทำให้เกิดต้นทุนการใช้งานรวมของเครื่องจักรมีค่าต่ำสุด ผลลัพธ์ที่ได้จากการเปลี่ยนทรานสดิวเซอร์ ส่งผลทำให้ค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรและค่า MTBF ปรับปรุงดีขึ้นแสดงดังตารางที่ 7.1

ตารางที่ 7.1 ข้อมูลเปรียบเทียบของทรานสดิวเซอร์เก่าและใหม่

Transducer	Old	New	% Improved
Availability	89.13%	96.84%	+ 8.65%
Performance	97.90%	97.70%	- 0.20%
Quality	99.67%	99.70%	+ 0.04%
OEE	86.71%	94.13%	+ 8.56%
MTBF (Min)	242	501	+ 106.59%

ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์และสร้างแบบจำลองของต้นทุนเพื่อใช้ค่า SDBSS ในการพยากรณ์อายุการใช้งานของทรานสดิวเซอร์ โดยพบว่าต้นทุนรวมของการใช้งานเครื่องจักรจะมีค่าต่ำที่สุดอยู่ที่ 15,149 บาทต่อเดือน เมื่อค่า SDBSS มีค่าเท่ากับ 3.29 จากนั้นนำเอาผลลัพธ์ที่ได้

จากการพยากรณ์นี้ไปประยุกต์ใช้งานจริงกับเครื่องจักรทดลอง 2 เครื่อง ผลลัพธ์ของประสิธิภาพของเครื่องจักรที่ได้จากการทดลองแสดงในตารางที่ 7.2 และนำไปคำนวณค่าเปรียบเทียบต้นทุนรวมของการใช้งานเครื่องจักร ได้ผลลัพธ์แสดงในตารางที่ 7.3

ตารางที่ 7.2 ค่าเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงของเครื่องจักรทดลองทั้ง 2 เครื่อง

ค่าเฉลี่ยเครื่องจักรทดลองทั้ง 2 เครื่อง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	% การปรับปรุง
(%) Availability	91.92	96.06	+ 4.50%
(%) Performance Rate	97.27	97.35	+0.09%
(%) Quality rate	99.72	99.74	+ 0.02%
(%) OEE	89.16	93.28	+ 4.62%
MTBF (Min)	300	564	+ 88.08%

ตารางที่ 7.3 ค่าเปรียบเทียบต้นทุนการใช้งานเครื่องจักรเฉลี่ยของเครื่องจักรทดลองทั้ง 2 เครื่อง

ค่าเฉลี่ยของเครื่องจักรทดลองทั้ง 2 เครื่อง	ส.ค. 2551	ก.ย. 2551	ต.ค. 2551	พ.ย. 2551	ธ.ค. 2551	ม.ค. 2552
Cost Before Improvement (บาท/เดือน)	15,157	15,202	15,297	15,520	15,841	16,229
Cost After Improvement (บาท/เดือน)	15,157	15,202	15,297	15,149	15,149	15,149
ต้นทุนเฉลี่ยรวมที่เปลี่ยนแปลง (บาท/เดือน)	0	0	0	-371	-692	-1,079
ค่า SDBSS เฉลี่ยก่อนการปรับปรุง	3.26	3.33	3.40	3.49	3.58	3.67

7.2 อภิปรายผลการวิจัย

7.2.1 ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลของการเปลี่ยนทรานสดิวเซอร์

ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลของการเปลี่ยนทรานสดิวเซอร์เกิดการปรับปรุงดีขึ้นดังต่อไปนี้

1. ค่า Availability มีค่าเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากเวลาในการเสียของเครื่องจักรจากปัญหาทรานสดิวเซอร์ลดลง ค่าเฉลี่ยของ Availability เพิ่มขึ้นจาก 89.13 เปอร์เซ็นต์ เป็น 96.84 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นการปรับปรุงที่ดีขึ้น 8.65 เปอร์เซ็นต์
2. เพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องจักร โดยพิจารณาจากค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรเฉลี่ย (OEE) มีการปรับปรุงเพิ่มขึ้นจาก 86.71 เปอร์เซ็นต์ เป็น 94.13 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นการปรับปรุงที่ดีขึ้น 8.56 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งปัจจัยหลักที่ทำให้ค่า OEE เพิ่มขึ้นคือค่า Availability ที่สูงขึ้น

3. จำนวนครั้งการเสียของเครื่องจักรลดลง โดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยระหว่างเกิดเหตุขัดข้อง (MTBF) มีค่าสูงขึ้นจาก 242 นาทีเป็น 501 นาที คิดเป็นการปรับปรุงที่ดีขึ้น 106.59 เปอร์เซ็นต์
4. ลดต้นทุนรวมของการใช้งานเครื่องจักร โดยคำนวณจากเครื่องจักรทั้งหมดในสายการผลิตจำนวน 90 เครื่อง คิดเป็นต้นทุนที่ลดลงท่ากับ 804,220 บาทต่อปี เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการบำรุงรักษาเครื่องจักรแบบเดิม
5. เพิ่มประสิทธิภาพของการจัดการระบบบำรุงรักษา โดยสามารถที่จะจัดเตรียมวางแผนทรัพยากรณ์ที่จะใช้ในการบำรุงรักษาเครื่องจักรได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพราะสามารถพยากรณ์และวางแผนการเปลี่ยนชุดทรานสดิวเซอร์ได้ โดยในทางปฏิบัติจะใช้ค่า SDBSS อยู่ในช่วง 3.20 ถึง 3.38 ซึ่งเป็นช่วงที่ต้นทุนรวมไม่แตกต่างกันมาก แต่จะเกิดความยืดหยุ่นในแผนการบำรุงรักษาใหม่ที่กำหนด

7.2.2 ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองนำไปประยุกต์ใช้งานในเครื่องจักรทดลอง

ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองนำไปประยุกต์ใช้งานในเครื่องจักรทดลอง เกิดการปรับปรุงดีขึ้นดังต่อไปนี้

1. ค่า Availability มีค่าเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากเวลาในการเสียของเครื่องจักรจากปัญหาทรานสดิวเซอร์น้อยลง ค่าเฉลี่ยของ Availability เพิ่มขึ้นจาก 91.92 เปอร์เซ็นต์ เป็น 96.06 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นการปรับปรุงที่ดีขึ้น 4.50 เปอร์เซ็นต์
2. เพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องจักร โดยพิจารณาจากค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรเฉลี่ย (OEE) มีการปรับปรุงเพิ่มขึ้นจาก 89.16 เปอร์เซ็นต์ เป็น 93.28 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นการปรับปรุงที่ดีขึ้น 4.62 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งปัจจัยหลักที่ทำให้ค่า OEE เพิ่มขึ้น คือค่า Availability ที่สูงขึ้น
3. จำนวนครั้งการเสียของเครื่องจักรลดลง โดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยระหว่างเกิดเหตุขัดข้อง (MTBF) มีค่าสูงขึ้นจาก 300 นาทีเป็น 564 นาที คิดเป็นการปรับปรุงที่ดีขึ้น 88.08 เปอร์เซ็นต์
4. ลดต้นทุนรวมของการใช้งานรวมของเครื่องจักรได้ 692 บาทต่อเดือนต่อเครื่อง เมื่อคำนวณจากจำนวนเครื่องจักรทั้งหมดในสายการผลิต 90 เครื่อง คิดเป็นต้นทุนที่ลดลงท่ากับ 747,150 บาทต่อปี เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการบำรุงรักษาเครื่องจักรแบบเดิม
5. เพิ่มประสิทธิภาพของการจัดการระบบบำรุงรักษา โดยสามารถที่จะจัดเตรียมวางแผนทรัพยากรณ์ที่จะใช้ในการบำรุงรักษาเครื่องจักรได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพราะ

สามารถพยากรณ์และวางแผนการเปลี่ยนชุดทรานสดิวเซอร์ได้ โดยในทางปฏิบัตินั้น สามารถพิจารณาจากค่า SDBSS อยู่ระหว่าง 3.20 ถึง 3.38 ซึ่งเป็นช่วงที่มีต้นทุนไม่แตกต่างกันมาก แต่จะทำให้เกิดความยืดหยุ่นในการปฏิบัติงาน

6. ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองในเครื่องจักรทดลอง มีความแตกต่างจากผลลัพธ์ที่ได้จากการพยากรณ์เล็กน้อย เนื่องจากสภาพการใช้งานจริงที่เกิดขึ้นในแต่ละเครื่องจักรอาจแตกต่างกัน ตลอดจนประสิทธิภาพของเครื่องจักรอาจมีความต่างกันเล็กน้อย แต่ผลลัพธ์ที่ได้ยังสามารถยอมรับได้

จากผลการวิจัยดังกล่าว สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นแผนการบำรุงรักษาและเปลี่ยนทดแทนตามสภาพการใช้งานจริงของชุดทรานสดิวเซอร์ จากแผนการบำรุงรักษาแบบเดิมที่จะใช้งานจนทรานสดิวเซอร์เสียไม่สามารถใช้งานต่อไปได้ มาเป็นแผนการบำรุงรักษาแบบเปลี่ยนแปลงทดแทนตามสภาพการใช้งานโดยใช้ค่า SDBSS เป็นตัวพยากรณ์ สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้งานเครื่องจักรให้สูงขึ้น โดยที่ทำให้ต้นทุนรวมของการใช้เครื่องจักรมีค่าต่ำที่สุด

ในแบบจำลองของต้นทุนรวมของการใช้เครื่องจักร ผู้วิจัยได้มีการกำหนดค่าพารามิเตอร์และเงื่อนไขที่จะนำมาใช้คิดต้นทุนจากสภาพความจริง ในช่วงเวลาที่ทำการศึกษาวิจัย ซึ่งค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดนี้จะต้องมีการปรับเปลี่ยนให้สอดคล้องกับสภาพการณ์จริงที่เกิดขึ้น จะทำให้แผนการบำรุงรักษาที่ได้จากการพยากรณ์มีความถูกต้องแม่นยำ และสอดคล้องกับสถานการณ์จริงอยู่เสมอ

7.3 ข้อจำกัดของการวิจัย

การศึกษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องจักรของโรงงานกรณีศึกษา มีข้อจำกัดในงานวิจัยดังนี้

1. ค่าพารามิเตอร์จะต้องมีการปรับเปลี่ยนไปตามเวลาเพื่อให้สอดคล้องกับสภาพต้นทุนที่เกิดขึ้นจริง เพื่อที่จะให้ได้มาซึ่งแผนการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ที่มีความแม่นยำและสอดคล้องกับสภาพการณ์จริงในปัจจุบัน
2. เนื่องจากราคาของชุดทรานสดิวเซอร์มีมูลค่าสูงทางโรงงานมีเงื่อนไขในการควบคุมพิเศษ ทางผู้วิจัยจึงมีข้อจำกัดเรื่องการทดลองใช้งานจริงสามารถทำได้เพียง 2 เครื่องเท่านั้น ซึ่งถ้าการทดลองสามารถทำได้ในเครื่องจักรทดลองที่มีจำนวนมากขึ้น จะทำให้สามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์เปรียบเทียบได้ดียิ่งขึ้น

3. ในการเลือกเครื่องจักรเพื่อนำมาทดลอง ทางผู้วิจัยไม่สามารถเลือกเครื่องจักรที่มีค่า SDBSS อยู่ในช่วง ระหว่าง 3.20 ถึง 3.38 ได้ทั้งหมดในขณะนั้น ดังนั้นจึงเลือกเครื่องจักรที่มีค่าใกล้เคียงมากที่สุดแทน

7.4 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคตที่ศึกษาเพิ่มเติม มีดังนี้

1. ในการวิจัยในกรณีศึกษานี้ ผู้วิจัยไม่ได้คำนึงถึงผลกระทบของค่า Quality rate และ Performance rate ที่จะมีอิทธิพลต่อแบบจำลองของต้นทุนที่ได้นำเสนอ เนื่องจากผลการทดสอบทางสถิติของค่าทั้งสองพบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นสำหรับการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมในอนาคต อาจมีการศึกษาผลกระทบของปัจจัยทั้งสองตัวดังกล่าวในแบบจำลองต้นทุน
2. วิธีการวิจัยการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์นี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องเชื่อมวงจรไฟฟ้ารุ่นหรือยี่ห้ออื่นในสายการผลิตของผลิตภัณฑ์อื่นได้ ตลอดจนสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรมอื่นได้
3. กรอบแนวความคิดการในการวิจัยเรื่องการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์นี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับชิ้นส่วนอื่นของเครื่องจักรประเภทอื่นได้ โดยทำการศึกษาปรับเปลี่ยนตัวแปรและเงื่อนไขให้สอดคล้องกับสภาพการใช้งานของเครื่องจักรนั้นๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

พูลพร แสงบางปลา. เพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโดยการบำรุงรักษา TPM. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

นาคาชิมะ เซอิจิ แปลโดย สมชัย อัครทิวา. การดำเนินกิจกรรม TPM เพื่อการปฏิรูปการผลิต ฉบับอุตสาหกรรมการประกอบ. 2,000 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2547.

ประเสริฐ บุญเทียม. การปรับปรุงระบบซ่อมบำรุงเพื่อเพิ่มผลผลิตของอุตสาหกรรม ผลิตแผ่นบันทึกข้อมูลคอมแพ็คดิสก์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

วัฒนา เชียงกูล และ เกรียงไกร ดำรงรัตน์. บำรุงรักษา: งานเพิ่มกำไรบริษัท. หนังสือสำหรับการจัดการทางด้านบริหารและเทคนิคสำหรับอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2546.

สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน. การบริหารการผลิตและการดำเนินงาน. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.

วันชัย ริจิรวนิช และ ชอุ่ม พลอยมีค่า. เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม. 2,000 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 10. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

พงศกร แสงผ่องแผ้ว. การวิเคราะห์หาสาเหตุและวิธีการป้องกันการชำรุดเสียหายของเครื่องจักรในสายการผลิตโช้กอัป. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.

ฐิตินันท์ ชัยพัฒนาการ. การออกแบบระบบการวางแผนงานบำรุงรักษา: กรณีโรงงานผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.

ภัทรียา กิตติเจริญเกียรติ. การศึกษาแนวทางการบำรุงรักษาเครื่องจักรในโรงงานผลิตตัวเก็บประจุไฟฟ้า. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.

สมเกียรติ วิทยาปัญญานนท์. การวางแผนการบำรุงรักษาเครื่องฉีดพลาสติกในโรงงานของเล่นเด็ก. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.

พรสวรรค์ ภูยาธร. การศึกษาแนวทางการบำรุงรักษาเครื่องจักรในโรงงานผลิตตัวเก็บประจุไฟฟ้า. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.

ดนัย สาหร่ายทอง. การวิเคราะห์เหตุขัดข้องของเครื่องจักร เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในงานบำรุงรักษาเชิงป้องกันกรณีศึกษาโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ยนตร์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

เดชรัตน์ สัมฤทธิ์. วางแผนการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ในสายการผลิตตัวถังรถบรรทุก. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.

ภาษาอังกฤษ

Eti, M.C., Ogaji, S.O.T. and Probert, S.D. Reducing the cost of preventive maintenance (PM) through adopting a proactive reliability-focused culture. Applied Energy 83 2006 : 1235-1248.

Carnero Moya, M.C. The control of the setting up of a predictive maintenance programme using a system of indicators. Omega 32 2004 : 57-75.

Carnero, M.C. An evaluation system of the setting up of predictive maintenance programmes. Reliability Engineering and System Safety 91 2006 : 945-963.

Tan, Cher Ming. and Raghavan, Nagarajan. A framework to practical predictive maintenance modeling for multi-state system. Reliability Engineering and System Safety 93 2008 : 1138-1150.

Muchiri, P. and Pintelon, L. Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): Literature review and practical application discussion. International Journal of Production Research 46 2008 : 3517-3535.

Conley, C. and Mootz, Daniel D. Lowering cost of ownership through predictive maintenance. Advanced Semiconductor Manufacturing Conference 2007 : 313-319.

Leland Blank, P.E. and Anthony Tarquin, P.E. Engineering Economy. Sixth Edition. Singapore : McGraw-Hill Inc., 2008.

Swanson, Laura. Linking maintenance strategies to performance. Production Economics 70 2001 : 237-244.

Lofsten, Hans. Measuring maintenance performance - in search for a maintenance productivity index. Production Economics 63 2000 : 47-58.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ก.1 ข้อมูลแสดงรายละเอียดของเครื่องเชื่อมวงจรไฟฟ้าที่ทำการศึกษา

Bonding System	
Bonding Method	Thermosonic (TS)
BQM Mode	Constant Current, Voltage, Power and Normal (Programmable)
Loop Type	Normal, Low, Square & J
XY Resolution	0.2 µm
Z Resolution (capillary travelling motion)	0.4 µm
Fine Pitch Capability	35 µm pitch @ 0.6 mil wire
No. Of Bonding Wires	Up to 3000
Program Storage	1000 programs on Hard Disk
Dual Transducer Frequency System	Programmable profiles, control and vibration modes
Vision System	
Pattern Recognition Time	60 ms / point
Pattern Recognition Accuracy	0.37 µm
Lead Locator Detection	12 ms / lead (3 leads/frame)
Lead Locator Accuracy	± 2.4 µm
Post Bond Inspection	First Bond, Second Bond & Wire Tracing
Max. Die Level Different	400 – 500 µm
Material Handling System	
Indexing Speed	200 - 250 ms @ 0.5 " pitch
Indexer Resolution	1µm
Lead frame Position Accuracy	± 10 µm
Applicable Lead frame	W = 15 – 75 mm @ bonding area in Y = 65mm = 15 – 90 mm @ bonding area in Y = 57mm
	L = 300 mm [Maximum]
	T = 0.075 – 0.8 mm
Applicable Magazine	W = 100 mm (Maximum)
	L = 140 – 300 mm H = 180 mm (Maximum)
Magazine Pitch	2.4 – 10 mm (0.09" – 0.39")
Device Changeover	< 4 minutes
Package Changeover	< 5 minutes
Number of Buffer Magazine	3 (max. 435 mm)

รูปที่ ก.1 ข้อมูลรายละเอียดของเครื่องเชื่อมวงจรไฟฟ้า

ก.2 ข้อมูลแสดงแผนการบำรุงรักษาเครื่องจักรที่แนะนำจากบริษัทผู้ผลิต

3.1 Preventive Maintenance Schedule

D-Daily (20 hourly)	Q-Quarterly (1500 hourly)
W-Weekly (100 hourly)	H-Half Yearly (3000 hourly)
M-Monthly (500hourly)	Y-Yearly (6000 hourly)
	AR-As Required

3.1.1 Bond Head

#	Maintenance Routine	Duration	D	W	M	Q	H	Y	AR
1	Calibrate Wire Clamp Force*	10mins					X		
2	Check Wire Clamp Opening Gap*	10mins					X		
4	Clean Wire Tensioner	20mins		X					
5	Check E-Torch Alignment	10mins							X
6	Clean Wire Clamp Clamper Plate*	5mins		X					
7	Clean Wire Spool Assembly	10mins			X				
8	Calibrate Bond Force	20mins					X		

Note: * These schedules are only recommendations. Schedule will still depend on the customer requirement and necessity.
For finer pitch or sensitive application, more frequent PM should be expected.

3.1.2 Workholder

#	Maintenance Routine	Duration	D	W	M	Q	H	Y	AR
1	Clean Linear Scale	15mins						X	
2	Check Indexer Clamper Force	25mins				X			
3	Clean voice coil motor	15mins					X		

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1.3 XY Table

#	Maintenance Routine	Duration	D	W	M	Q	H	Y	AR
1	Clean Linear Scale	30mins						X	
2	Clean coil bracket	15mins						X	

3.1.4 Elevator

#	Maintenance Routine	Duration	D	W	M	Q	H	Y	AR
1	Clean & Lubrication X,Y,Z Axes	45mins						X	
2	Clean X,Y,Z Sensor	15mins					X		
3	Check Timing Belt	15mins						X	
4	Clean & Lubricate Platform Slider	45mins						X	
5	Check Ejector Smoothness	15mins					X		
6	Clean Ejector Sensor	30mins						X	

3.1.5 Card Cage

#	Maintenance Routine	Duration	D	W	M	Q	H	Y	AR
1	Check Grounds Resistance	15mins				X			

3.1.6 Optics

#	Maintenance Routine	Duration	D	W	M	Q	H	Y	AR
1	Clean Optics Lens	5mins							X

3.1.7 Miscellaneous

#	Maintenance Routine	Duration	D	W	M	Q	H	Y	AR
1	Clean Floppy Drive Head	10mins			X				
2	Clean Key Board & Trackball	5mins		X					
3	Change Air Filter	20mins						X	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

ข.1 ข้อมูลแสดงเปรียบเทียบค่า OEE ก่อนและหลังการเปลี่ยนทรานดิวเซอร์

ข้อมูลเปรียบเทียบค่า OEE ก่อนและหลังการเปลี่ยนทรานดิวเซอร์ ในเครื่องจักรกลุ่มที่พบปัญหาทรานดิวเซอร์และทำให้ค่า Availability มีค่าต่ำ โดยข้อมูลที่ได้มาจากเครื่องจักรทั้งหมด 7 เครื่อง

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลเปรียบเทียบค่า OEE ก่อนและหลังการเปลี่ยนทรานดิวเซอร์

	Availability		Performance		Quality Rate		OEE		MTBF		SDBSS		Wire Pull	
MC	Old	New	Old	New	Old	New	Old	New	Old	New	Old	New	Old	New
1	90.34	94.85	97.98	97.97	99.71	99.68	87.28	93.50	322.90	480.72	3.41	3.05	22.05	23.54
2	90.23	96.54	98.25	98.02	99.65	99.74	88.34	94.38	310.40	535.40	3.59	3.06	21.32	21.95
3	86.97	97.06	98.12	98.56	99.68	99.69	87.12	95.37	168.29	350.53	3.82	2.85	23.65	22.73
4	92.84	97.32	97.25	97.03	99.70	99.70	86.23	93.18	272.07	463.00	3.34	2.69	21.16	23.61
5	88.44	98.27	98.24	97.96	99.69	99.74	87.49	94.65	339.32	695.92	3.57	2.76	24.74	24.32
6	87.02	96.06	97.63	97.16	99.60	99.72	84.62	93.07	173.65	289.07	3.64	2.86	23.56	23.95
7	88.07	97.76	97.85	97.23	99.64	99.67	85.86	94.73	112.70	696.00	3.76	3.00	22.82	21.38
Ave	89.13	96.84	97.90	97.70	99.67	99.70	86.71	94.13	242.76	501.52	3.59	2.90	22.76	23.07
% Improve	8.65%		-0.20%		0.04%		8.56%		106.59%		-19.3%		1.4%	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข.2 ข้อมูลแสดงผลการทดสอบความแตกต่างของประสิทธิภาพของเครื่องจักร

ผลการทดสอบค่าความแตกต่างทางสถิติของเครื่องจักรที่พบปัญหาทรานสดิวเซอร์ โดยทำทดสอบด้วย T-test เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของต่าค่า Availability, Performance rate, Quality rate ค่า OEE ค่า MTBF ค่า Wire pull และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงเฉือนลูกบอล (Standard Deviation of Ball Shear Strength: SDBSS) ระหว่างก่อนและหลังจากการเปลี่ยนตัวทรานสดิวเซอร์ พิจาณาที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05

ตารางที่ ข.2 ผลการทดสอบค่าความแตกต่างทางสถิติของเครื่องจักรที่พบปัญหา

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	AVI_BEF	89.1300	7	2.12742	.80409
	AVAI_AFT	96.8371	7	1.14226	.43173
Pair 2	PERF_BEF	97.9029	7	.36303	.13721
	PERF_AFT	97.7043	7	.56918	.21513
Pair 3	QUA_BEF	99.6671	7	.03904	.01475
	QUA_AFT	99.7057	7	.02820	.01066
Pair 4	OEE_BEF	86.7057	7	1.23012	.46494
	OEE_AFT	94.1257	7	.88066	.33286
Pair 5	MTB_BEF	242.7614	7	89.83139	33.95308
	MTB_AFT	501.5200	7	156.31757	59.08249
Pair 6	SD_BEF	3.5900	7	.17301	.06539
	SD_AFT	2.8957	7	.14478	.05472
Pair 7	WIRE_BEF	22.7571	7	1.32248	.49985
	WIRE_AFT	23.0686	7	1.08593	.41044

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.2(ต่อ) ผลการทดสอบค่าความแตกต่างทางสถิติของเครื่องจักรที่พบปัญหา

Paired Samples Test

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference Lower	Upper			
Pair 1	AVI_BEF - AVAI_AFT	-7.7071	2.53249	.95719	-10.0493	-5.3650	-8.052	6	.000
Pair 2	PERF_BEF - PERF_AFT	.1986	.34222	.12935	-.1179	.5151	1.535	6	.176
Pair 3	QUA_BEF - QUA_AFT	-.0386	.05242	.01981	-.0870	.0099	-1.947	6	.099
Pair 4	OEE_BEF - OEE_AFT	-7.4200	1.11693	.42216	-8.4530	-6.3870	-17.576	6	.000
Pair 5	MTB_BEF - MTB_AFT	-258.7586	161.87962	61.18475	-408.4723	-109.0449	-4.229	6	.006
Pair 6	SD_BEF - SD_AFT	.6943	.20074	.07587	.5086	.8799	9.151	6	.000
Pair 7	WIRE_BEF - WIRE_AF	-.3114	1.36559	.51615	-1.5744	.9515	-.603	6	.568

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข.3 ข้อมูลแสดงผลการทดสอบวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation Analysis)

นำข้อมูลมาทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรด้วยการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation Analysis) พบว่าค่า SDBSS มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญในทิศทางตรงข้ามกับค่า Availability ค่า OEE และค่า MTBF โดยมีค่านัยสำคัญที่ 0.000, 0.000 และ 0.003 ตามลำดับ

ตารางที่ ข.3 ผลการทดสอบวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation Analysis)

Correlations

		AVAILABI	PERFORMA	QUALITY	OEE	MTBF	WIREPULL	SD
AVAILABI	Pearson Correlation	1	-.294	.632*	.928**	.807**	-.089	-.963*
	Sig. (2-tailed)	.	.307	.015	.000	.000	.762	.000
	N	14	14	14	14	14	14	14
PERFORMA	Pearson Correlation	-.294	1	-.036	-.050	-.137	.094	.326
	Sig. (2-tailed)	.307	.	.904	.864	.640	.750	.255
	N	14	14	14	14	14	14	14
QUALITY	Pearson Correlation	.632*	-.036	1	.584*	.536*	.090	-.617*
	Sig. (2-tailed)	.015	.904	.	.028	.048	.760	.019
	N	14	14	14	14	14	14	14
OEE	Pearson Correlation	.928**	-.050	.584*	1	.794**	.057	-.891*
	Sig. (2-tailed)	.000	.864	.028	.	.001	.846	.000
	N	14	14	14	14	14	14	14
MTBF	Pearson Correlation	.807**	-.137	.536*	.794**	1	-.053	-.731*
	Sig. (2-tailed)	.000	.640	.048	.001	.	.857	.003
	N	14	14	14	14	14	14	14
WIREPULL	Pearson Correlation	-.089	.094	.090	.057	-.053	1	-.100
	Sig. (2-tailed)	.762	.750	.760	.846	.857	.	.733
	N	14	14	14	14	14	14	14
SD	Pearson Correlation	-.963**	.326	-.617*	-.891**	-.731**	-.100	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.255	.019	.000	.003	.733	.
	N	14	14	14	14	14	14	14

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข.4 ข้อมูลแสดงผลการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) ระหว่าง SDBSS และ Availability

ข้อมูลแสดงผลการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) ระหว่างค่า SDBSS และค่า Availability โดยกำหนดให้ค่า SDBSS เป็นตัวพยากรณ์

ตารางที่ ข.4 ผลการทดสอบวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่าง SDBSS และ Availability

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.963[a]	.927	.921	1.21691

a. Predictors: (Constant), SD

ANOVA[b]

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	225.130	1	225.130	152.027	.000[a]
	Residual	17.770	12	1.481		
	Total	242.900	13			

a. Predictors: (Constant), SD

b. Dependent Variable: AVAILIBI

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	127.480	2.817		45.260	.000
	SD	-10.634	.862	-.963	-12.330	.000

a. Dependent Variable: AVAILIBI

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข.5 ข้อมูลแสดงผลการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) ระหว่าง SDBSS และอายุการใช้งานของทรานสดิวเซอร์

ข้อมูลแสดงผลการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) ระหว่างค่า SDBSS และอายุการใช้งานของทรานสดิวเซอร์ โดยกำหนดให้ค่า SDBSS เป็นตัวพยากรณ์ ข้อมูลจากเครื่องจักร 3 เครื่อง

ตารางที่ ข.4 ผลการทดสอบวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่าง SDBSS และอายุการใช้งานของทรานสดิวเซอร์

Month	1	2	3	4	5	6
#1	2.490	2.812	2.921	2.912	2.970	3.012
#2	2.528	2.658	2.779	2.762	2.860	2.945
#3	2.576	2.646	2.850	2.805	2.900	2.939
Ave	2.531	2.705	2.850	2.826	2.910	2.965

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.938[a]	.879	.849	.72626

a. Predictors: (Constant), SD

ANOVA[b]

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	15.390	1	15.390	29.178	.006[a]
	Residual	2.110	4	.527		
	Total	17.500	5			

a. Predictors: (Constant), SD

b. Dependent Variable: MONTH

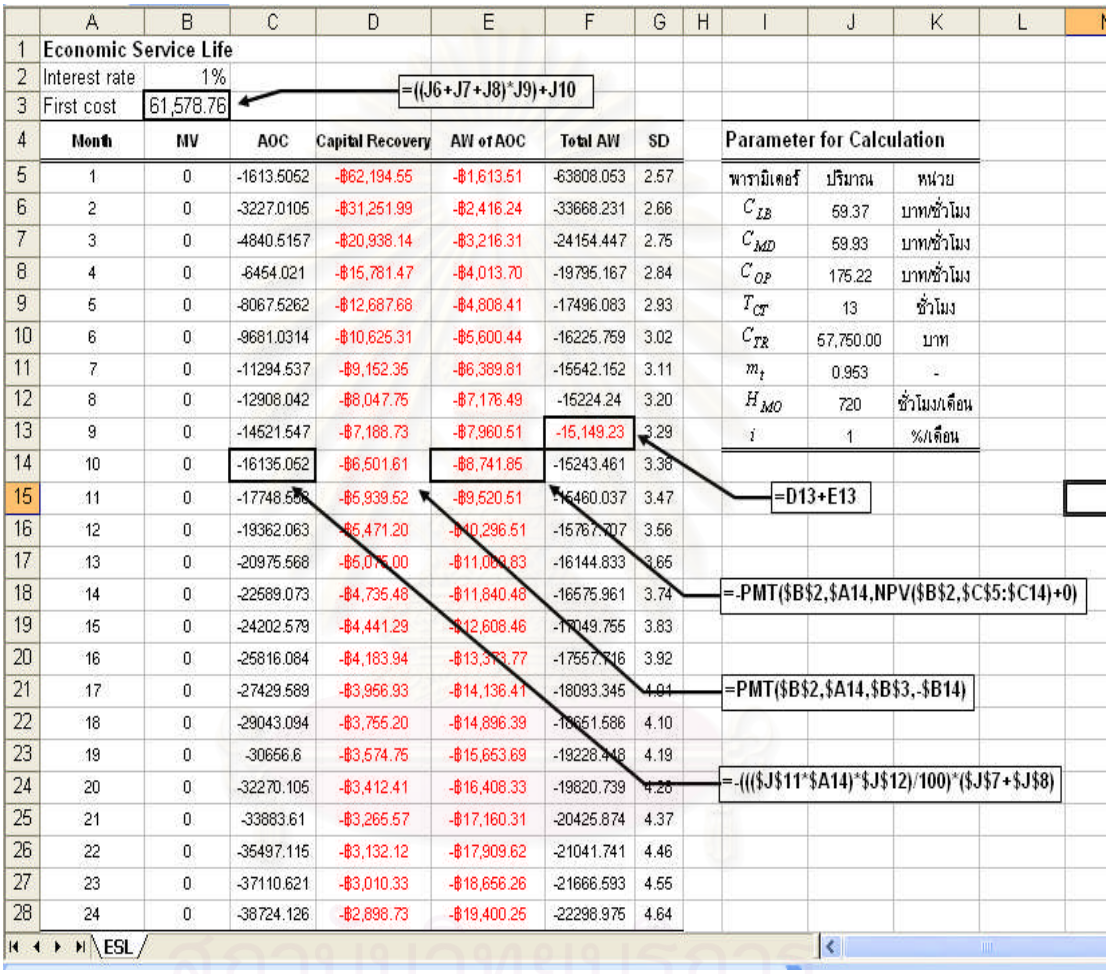
Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-27.703	5.784		-4.789	.009
	SD	11.152	2.064	.938	5.402	.006

a. Dependent Variable: MONTH

ข.6 แสดงรายละเอียดในการคำนวณประมวลผลหาค่า ESL ด้วยโปรแกรมไมโครซอฟเอ็กเซล

ในการคำนวณหาค่าต้นทุนรวมของการใช้เครื่องจักร เพื่อพยากรณ์หาอายุการใช้งานที่เหมาะสมของทรานสดิวเซอร์ (Economic Service life: ESL) ด้วยโปรแกรมไมโครซอฟเอ็กเซล



	A	B	C	D	E	F	G
1	Economic Service Life						
2	Interest rate	1%					
3	First cost	61,578.76					
4	Month	MV	AOC	Capital Recovery	AW of AOC	Total AW	SD
5	1	0	-1613.5052	-$62,194.55	-$1,613.51	-63808.053	2.57
6	2	0	-3227.0105	-$31,251.99	-$2,416.24	-33668.231	2.66
7	3	0	-4840.5157	-$20,938.14	-$3,216.31	-24154.447	2.75
8	4	0	-6454.021	-$15,781.47	-$4,013.70	-19795.167	2.84
9	5	0	-8067.5262	-$12,687.68	-$4,808.41	-17496.083	2.93
10	6	0	-9681.0314	-$10,625.31	-$5,600.44	-16225.759	3.02
11	7	0	-11294.537	-$9,152.35	-$6,389.81	-15542.152	3.11
12	8	0	-12908.042	-$8,047.75	-$7,176.49	-15224.24	3.20
13	9	0	-14521.547	-$7,188.73	-$7,960.51	-15,149.23	3.29
14	10	0	-16135.052	-$6,501.61	-$8,741.85	-15243.461	3.38
15	11	0	-17748.558	-$5,939.52	-$9,520.51	-15460.037	3.47
16	12	0	-19362.063	-$5,471.20	-$10,296.51	-15767.707	3.56
17	13	0	-20975.568	-$5,075.00	-$11,069.83	-16144.833	3.65
18	14	0	-22589.073	-$4,735.48	-$11,840.48	-16575.961	3.74
19	15	0	-24202.579	-$4,441.29	-$12,608.46	-17049.755	3.83
20	16	0	-25816.084	-$4,183.94	-$13,373.77	-17557.716	3.92
21	17	0	-27429.589	-$3,956.93	-$14,136.41	-18093.345	4.01
22	18	0	-29043.094	-$3,755.20	-$14,896.39	-18651.586	4.10
23	19	0	-30656.6	-$3,574.75	-$15,653.69	-19228.448	4.19
24	20	0	-32270.105	-$3,412.41	-$16,408.33	-19820.739	4.28
25	21	0	-33883.61	-$3,265.57	-$17,160.31	-20425.874	4.37
26	22	0	-35497.115	-$3,132.12	-$17,909.62	-21041.741	4.46
27	23	0	-37110.621	-$3,010.33	-$18,656.26	-21666.593	4.55
28	24	0	-38724.126	-$2,898.73	-$19,400.25	-22298.975	4.64

Parameter for Calculation		
พารามิเตอร์	ปริมาณ	หน่วย
C_{LB}	59.37	บาท/ชั่วโมง
C_{MD}	59.93	บาท/ชั่วโมง
C_{OP}	175.22	บาท/ชั่วโมง
T_{CT}	13	ชั่วโมง
C_{TR}	57,750.00	บาท
m_t	0.953	-
H_{MO}	720	ชั่วโมง/เดือน
i	1	%/เดือน

=((J6+J7+J8)*J9)+J10

=D13+E13

=-PMT($B$2,$A14,NPV($B$2,$C$5:$C14)+0)

=PMT($B$2,$A14,$B$3,-$B14)

=-((($J$11*$A14)*$J$12)/100)*($J$7+$J$8)

ESL

รูปที่ ข.1 รายละเอียดในการคำนวณประเมินผลหาค่า ESL ด้วยโปรแกรมไมโครซอฟเอ็กเซล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

ค.1 ข้อมูลค่า SDBSS ของเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 1

ตารางแสดงข้อมูลค่า SDBSS ระหว่างเดือน สิงหาคม พ.ศ.2551 ถึงเดือน มกราคม พ.ศ. 2552 ของเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 1

ตารางที่ ค.1 ค่า SDBSS เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2551

Sample	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	SD	ค่าเฉลี่ย
1	65.78	66.77	67.3	68.11	69.89	70.99	72.79	66.73	61.57	64.6	3.23	
2	78.01	79.43	82.4	78.64	82.47	88.86	83.61	79	79.6	81.68	3.24	
3	68.12	71.83	67.24	71.12	70.98	66.75	66.63	61.31	65.57	65.05	3.23	
4	60.2	60.54	64.79	68.94	66.43	60.61	66.82	63.49	66.98	67.85	3.27	
5	62.33	62.59	60.48	54.14	56.09	54.73	56.64	60.73	61.06	60.57	3.19	
6	69.68	68.85	62.25	64.14	62.38	63.36	66.09	70.28	68.94	62.4	3.32	
7	66.72	67.75	67.08	63.71	67.85	74.11	63.74	69.65	70.02	63.74	3.30	
8	66.63	64.56	61.5	60.43	59.37	60.43	66.73	62.97	57.37	58.81	3.25	
9	54.18	61.42	58.79	59.37	56.5	56.6	58.39	58.62	59.35	50.06	3.23	
10	67.24	76.01	71.98	66.15	67.28	66.82	70.96	65.37	68.95	67.42	3.27	
11	67.41	67.08	71.52	63.39	66.45	74.16	63.9	66.92	67.1	69.87	3.28	
12	56.96	55.9	55.88	58.73	58.08	54.72	52.88	54.29	47.19	55.47	3.25	
13	60.59	63.8	67.82	59.92	56.04	59.02	62.93	58.95	61.41	58.89	3.28	
14	63.06	60.2	56.22	61.19	61.79	61.3	61.39	67.71	61.28	66.63	3.23	
15	64.16	72.1	75.54	68.67	71.12	70.69	72.9	72.89	72.31	74.42	3.21	
16	57.96	58.86	59.65	61.89	57.64	62.13	59.83	54.69	51.29	57.05	3.27	
17	65.26	73.69	62.1	71.19	68.19	68.63	71.63	68.76	69.27	69.3	3.27	
18	67.95	68.92	67.91	60.8	60.04	65.49	65.54	64.3	60.25	64.99	3.28	
19	69.26	71.25	72.97	71.33	64.33	66	74.13	65.81	69.51	71.19	3.26	
20	56.61	64.86	67.99	65.07	62.22	65.47	66.72	65.92	61.79	65.41	3.25	3.25

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.2 ค่า SDBSS เดือนกันยายน พ.ศ. 2551

Sample	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	SD	ค่าเฉลี่ย
1	66.6	67.25	65.99	59.98	70.08	69.11	68.51	66.17	62.28	68.2	3.12	
2	66.48	62.64	64.82	66.56	68.76	63.38	68.2	60.24	61.59	58.24	3.48	
3	63.35	62.28	65.29	57.81	58.28	64.13	64.44	59.31	59.83	66.73	3.14	
4	68.38	62.2	68.86	65.31	65.16	67.37	71.88	70.02	65.52	60.91	3.42	
5	45.82	51.31	55.82	54.11	55.1	53.68	53.7	48.28	54.09	48.32	3.41	
6	75.07	80.59	78.75	79.38	77.31	83.77	80.29	80.24	72.57	75.26	3.30	
7	60.08	67.71	65.51	61.68	66.56	64.52	62.93	58.3	58.78	64.89	3.29	
8	74.03	68.38	71.2	69.34	67.77	65.77	61.67	64.28	69.42	67.45	3.49	
9	63.71	68.25	64.99	69.65	65.51	62.17	63.27	66.54	66.29	58.25	3.24	
10	54.16	55.33	53.97	50.76	46.54	53.71	49.8	46.31	51.83	53.4	3.19	
11	66.75	58.31	56.24	57.33	59.8	61.07	58.77	61.84	59.37	64.36	3.23	
12	70.37	78.27	73.51	77.96	78.77	70.21	72.5	75.03	78.14	74.42	3.28	
13	64.26	59.61	57.71	58.13	57.73	56.52	61.01	52.06	60.81	56.97	3.25	
14	69.21	63.35	63.61	71	66.33	63.85	66.53	69.31	72.79	69.57	3.31	
15	57.37	56.56	56.79	61.08	52	56.35	53	49.18	51.54	53.9	3.49	
16	67.88	69.99	65.72	66.54	62.64	69.71	61.22	61.79	63.5	62.5	3.28	
17	70.63	67.86	69.47	67.34	65.04	63.58	74.98	66.43	66.29	67.48	3.20	
18	62.14	68.36	62.47	61.6	67.57	66.41	67.81	60.52	60.05	67.36	3.35	
19	71.41	71.12	67.39	70.97	62.69	68.45	62.7	71.31	69.6	65.45	3.45	
20	56.61	64.86	67.99	65.07	62.22	65.47	66.72	65.92	61.79	65.41	3.25	3.31

ตารางที่ ค.3 ค่า SDBSS เดือนตุลาคม พ.ศ. 2551

Sample	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	SD	ค่าเฉลี่ย
1	77.11	79.84	77.21	75.04	78.91	76.66	78.24	80.64	74.27	68.39	3.51	
2	59.05	59.86	61.07	61.12	63.54	56.92	52.90	54.39	58.42	55.63	3.33	
3	78.37	74.19	68.83	74.73	71.16	69.76	67.81	67.45	69.82	69.38	3.52	
4	65.63	58.58	63.32	63.65	65.84	66.47	62.25	59.36	57.32	59.22	3.34	
5	74.48	78.74	78.25	74.92	76.76	67.51	74.51	77.38	78.85	76.82	3.36	
6	59.62	62.58	60.17	67.37	63.21	59.98	55.28	61.25	57.06	58.64	3.39	
7	64.59	62.80	62.67	72.76	69.61	69.25	65.85	69.29	70.23	68.57	3.39	
8	66.63	58.99	63.16	57.64	62.96	59.29	60.66	56.21	65.27	62.94	3.37	
9	69.88	66.19	66.26	67.72	72.28	65.31	69.57	73.14	72.13	62.29	3.52	
10	79.71	75.43	78.24	69.00	75.93	72.50	77.65	76.24	71.65	70.86	3.53	
11	56.99	54.92	54.90	63.27	61.42	59.16	64.19	61.37	59.77	60.83	3.22	
12	58.00	57.91	50.77	59.74	53.01	56.45	50.96	50.59	57.35	56.00	3.43	
13	57.22	61.04	64.04	63.79	58.17	64.43	58.89	53.89	60.57	60.34	3.35	
14	67.84	73.67	74.25	69.57	65.63	75.55	73.42	75.52	71.06	71.82	3.32	
15	67.60	69.02	59.06	61.39	60.86	63.89	64.44	61.24	64.41	59.62	3.32	
16	62.58	66.26	66.49	70.32	70.75	68.95	67.43	60.43	64.89	67.17	3.25	
17	64.99	62.65	62.23	63.44	62.85	63.05	63.85	55.70	57.02	56.66	3.40	
18	65.09	62.38	67.63	70.58	70.79	72.23	67.77	69.09	71.95	64.98	3.30	
19	69.71	67.13	65.16	62.75	65.38	59.2	71.42	66.97	66.1	65.26	3.395	
20	65.14	69.62	58.14	67.52	68.35	62.02	66.09	65.33	67.23	65.85	3.32	3.38

ตารางที่ ค.4 ค่า SDBSS เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2551

Sample	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	SD	ค่าเฉลี่ย
1	79.05	81.69	81.73	72.97	79.74	78.46	82.16	80.39	77.28	77.60	2.76	
2	52.23	56.27	53.63	50.19	48.35	48.95	48.48	48.87	50.01	49.52	2.60	
3	72.50	71.08	72.96	76.41	73.69	76.05	74.28	79.12	70.95	71.37	2.67	
4	69.51	69.94	68.62	68.96	69.78	72.00	72.44	74.85	70.38	76.77	2.69	
5	63.06	67.65	64.20	62.06	67.92	69.17	66.21	61.38	64.43	65.15	2.60	
6	72.82	79.61	80.22	82.35	76.09	75.79	78.03	78.51	78.56	78.70	2.64	
7	74.72	75.77	69.56	71.67	71.48	69.13	73.81	72.98	73.16	66.78	2.77	
8	75.40	73.79	77.25	80.48	78.43	77.30	81.73	80.62	81.57	78.07	2.65	
9	67.01	70.96	71.12	71.73	64.10	71.12	70.60	68.15	70.96	65.94	2.68	
10	58.78	51.05	57.82	52.54	59.01	53.27	57.97	56.43	56.52	55.73	2.76	
11	71.88	73.62	71.26	76.78	72.95	67.58	70.41	74.99	70.98	75.20	2.71	
12	68.08	60.28	64.57	65.11	60.71	60.81	65.10	62.81	59.77	64.22	2.71	
13	65.13	64.11	67.75	64.80	68.22	69.46	71.27	65.47	71.62	66.93	2.68	
14	67.40	70.19	60.21	65.85	67.02	65.74	66.80	65.00	66.88	63.68	2.62	
15	63.31	60.09	58.46	63.26	61.80	63.24	57.41	60.80	55.18	59.66	2.74	
16	60.13	61.09	64.09	61.73	63.62	59.12	64.68	61.36	56.02	63.88	2.68	
17	53.02	55.34	60.20	58.31	56.26	58.77	59.39	54.41	52.93	58.98	2.72	
18	78.77	80.30	82.87	84.85	84.94	81.16	78.72	82.06	76.74	80.60	2.66	
19	62.69	63.18	66.63	66.17	66.43	64.26	62.83	63.23	65.57	57.62	2.69	
20	70.67	73.27	74.69	65.91	69.08	70.74	73.96	68.78	70.74	71.90	2.65	2.68

ตารางที่ ค.5 ค่า SDBSS เดือนธันวาคม พ.ศ. 2551

Sample	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	SD	ค่าเฉลี่ย
1	66.34	57.1	57.41	60.09	62.42	59.29	61.64	62.26	60.29	59.36	2.71	
2	65.68	63.97	69.76	68.45	62.51	65.91	64.98	69.77	68.53	63.54	2.65	
3	67.68	69.56	72.66	68.68	70.32	74.08	65.59	73.67	72	69.28	2.74	
4	65.7	62.22	71.25	70.58	69.71	69.75	68	66.43	68.14	70.16	2.76	
5	80.03	76.51	81.35	74.12	74.78	78.59	81.19	75.26	75.6	79.26	2.73	
6	59.22	62.84	60.74	54.81	57.64	55.64	60.27	62.52	56.73	58.12	2.75	
7	66.64	71.13	66.32	68.61	72.25	63.77	70.5	71.61	71.69	69.77	2.82	
8	68.98	65.92	67.7	66.04	66.39	60.83	71.64	68.27	67.15	68.87	2.81	
9	66.52	64.83	66.94	68.6	68.39	74.6	70.19	68.33	67.88	66.44	2.67	
10	66.09	68.68	70.59	75.98	70.21	68.27	73.75	70.11	70.23	69.1	2.79	
11	58.52	60.56	59.77	60.76	60.85	63.5	62.76	56.5	63.32	65.83	2.70	
12	61.51	53.64	56.44	55.43	59.3	61.74	59.75	57.41	55.06	57.1	2.75	
13	59.46	65.05	58.96	56.9	57.37	57.58	58.63	58.03	57.42	54.87	2.65	
14	64.94	63.99	67.39	71.08	66.03	61.01	67.32	67.07	66.15	63.86	2.69	
15	65.34	61.41	68.28	65.88	69.03	63.82	67.31	63.77	61.57	67.87	2.73	
16	54.26	57.45	51.59	52.74	55.78	57.74	56.2	61.1	57.92	57.38	2.78	
17	64.32	65.97	67.07	71.4	70.36	72.65	66.62	67.29	69.7	69.51	2.64	
18	74.44	71.24	74.68	78.03	77.79	72	77.19	78.91	75.08	78.97	2.78	
19	61.69	54.27	55.17	61.34	58.56	58.09	62.15	59.32	60.46	60.09	2.67	
20	69	60.08	63.2	60.56	59.91	64.35	64.05	64.23	63.45	61.6	2.72	2.73

ตารางที่ ค.6 ค่า SDBSS เดือนมกราคม พ.ศ. 2552

Sample	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	SD	ค่าเฉลี่ย
1	61.94	64.27	68.39	68.03	67.4	60.47	65.58	66.49	67.05	62	2.84	
2	62.37	62.49	65.25	60.93	64.24	60.71	64.81	61.37	64.49	55.47	2.90	
3	72.46	73.57	67.57	73.06	69.47	71.62	69.51	70.07	66.12	74.36	2.69	
4	60.23	57.87	55.96	62.66	61.31	58.97	58.01	56.46	63.02	63.01	2.68	
5	64.54	65.62	71.02	64.9	62.63	62.18	60.9	65.11	65.8	63.2	2.78	
6	56.04	57.29	58.53	60.66	65.19	57.65	61.61	61.73	58.45	60.25	2.70	
7	68.71	65.86	63.46	69.2	63.5	70.04	69.77	64.81	63.59	66.78	2.70	
8	69.65	71.57	71.4	74.85	72.86	67.02	74.91	66.46	71.24	72.3	2.86	
9	58.43	63.36	61.73	60.62	61.8	58.29	64.57	57.85	56.89	64.53	2.84	
10	58.6	61.67	59.31	56.02	58.83	62.15	62.77	54.44	61.01	62.09	2.79	
11	53.74	56.51	56.29	59.11	53.75	54.24	51.66	59.45	51.52	54.2	2.75	
12	54.52	52.71	54.43	48.51	49.57	51.77	48.45	51.52	56.97	54.39	2.86	
13	58.73	62.62	59.46	59.6	56.92	61.31	57.81	63.46	66.04	62.88	2.87	
14	65.98	63.84	58.15	63.33	64.5	59.52	65.67	66.28	65.13	65.82	2.81	
15	57.81	58.49	58	62.71	58.91	56.99	55.22	58.54	56.51	51.53	2.86	
16	58.64	60.39	60.8	56.49	57.68	54.67	54.17	56.21	52.98	59.54	2.70	
17	65.97	58.52	56.69	60.13	58.9	56.76	58.58	62.1	56.76	58.07	2.90	
18	73.16	75.17	69.04	73.42	75.25	73.16	77.43	69.66	76.22	75.21	2.70	
19	62.74	68.26	64.32	64.64	66.99	70.56	70.15	64.41	63.76	67.82	2.77	
20	67.53	62.63	63.09	63.78	60.63	66.3	62.86	65.46	68.95	68.16	2.75	2.79

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค.2 ข้อมูลค่า SDBSS ของเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 2

ตารางแสดงข้อมูลค่า SDBSS ระหว่างเดือน สิงหาคม พ.ศ.2551 ถึง เดือนมกราคม พ.ศ.2552 ของเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 2

ตารางที่ ค.7 ค่า SDBSS เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2551

Sample	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	SD	ค่าเฉลี่ย
1	69.07	74.11	72.23	70.5	75.41	68.85	71.29	73.59	64.56	66.86	3.39	
2	63.56	63.5	68.35	69.36	74.53	67.47	68.13	65.33	70.16	66	3.32	
3	58.89	63.97	60.53	64.47	63.54	66.7	58.78	67.81	63.78	58.58	3.34	
4	63.04	63.59	63.76	61.08	71.32	66.76	71.02	65.4	64.46	66.16	3.32	
5	73.75	62.96	69.01	71.14	64.19	68.15	71.15	68.88	71.01	69.22	3.26	
6	58.87	62.08	60.37	58.75	61.74	64.29	66.69	62.43	59.01	54.49	3.39	
7	74.97	72.23	68.18	66.8	70.09	71.82	70.22	65.79	63.67	69.09	3.34	
8	71.95	67.11	73.3	67.7	66.9	68.88	69.33	61.37	70.21	65.74	3.36	
9	60.02	60.53	62.65	67.21	68.49	64.91	62.58	60.26	62.59	61.62	2.91	
10	68.13	65.98	71.34	67.48	68.02	72.73	75.58	73.22	68.82	67.39	3.14	
11	69.56	68.27	72.01	75.11	71.1	68.29	69.78	69.65	72.04	77.33	2.95	
12	66.63	64.56	61.5	60.43	59.37	60.43	66.73	62.97	57.37	58.81	3.25	
13	76.46	72.63	82.06	82.8	76.71	81.2	80.8	80.9	78.06	75.27	3.36	
14	74.22	71.72	69.11	79.98	79.26	76.89	77.86	75.09	76.93	74.89	3.35	
15	66.5	64.87	57.63	57.62	59.79	60.38	63.97	63.55	58.93	58.73	3.24	
16	63.97	66.93	64.84	66.86	61.64	67.82	67.52	73.33	70.86	64.97	3.37	
17	71.3	67.2	68.7	70	73.56	62.28	67.65	65.04	70.39	66.77	3.25	
18	60.34	65.26	64.23	69.56	69.26	67.25	67.26	68.56	60.21	64.61	3.38	
19	72.06	69.82	72.02	71.01	73.42	72.09	68.54	68.56	63.71	64.33	3.32	
20	59.27	61.09	59.51	61.19	58.68	62.16	57.6	61.06	69.24	58.96	3.26	3.27

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.8 ค่า SDBSS เดือนกันยายน พ.ศ. 2551

Sample	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	SD	ค่าเฉลี่ย
1	60.27	60.05	62.84	59.74	58.63	57.2	53.4	58.75	65.33	63.32	3.37	
2	72.51	62.24	64.85	66.44	66.86	63.31	65.13	65.93	60.33	62.71	3.34	
3	64.35	68.23	70.43	69.03	75.23	69.5	69.63	64.29	64.88	69.88	3.36	
4	76.19	71.26	67.26	68.68	68.02	70.51	65.85	71.64	64.9	70.68	3.29	
5	72.89	70.69	74.64	68.47	65.58	69.24	68.3	64.97	64.16	70.47	3.40	
6	58.89	63.97	60.53	64.47	63.54	66.7	58.78	67.81	63.78	58.58	3.34	
7	76.53	78.22	77.92	69.83	75.55	71.77	79.83	72.77	76.69	71.37	3.38	
8	76.5	77.79	79.95	81.7	71.58	83.34	77.93	77.97	81.22	79.39	3.27	
9	73.2	73.03	67.03	72.98	66.51	69.61	66.03	71.76	64.46	66.05	3.43	
10	64.43	64.24	73.49	67.04	68.51	71.4	65.86	66.1	70	72.95	3.41	
11	66.1	72.18	70.07	71.04	70.88	66.86	75.35	66.78	75.05	67.16	3.40	
12	55.6	57.68	52.66	58.17	63	54.85	58.21	52.25	56.71	52.3	3.37	
13	56.39	53.97	57.96	61.92	57.73	57.53	51.82	54.22	52.42	60.51	3.34	
14	71.22	62.22	64.39	70.78	68.98	72.44	68.7	72.65	66.5	66.72	3.19	
15	70.22	66.2	65.48	74.76	73.41	74.76	70.63	74.08	73.1	69.25	3.42	
16	74.84	78.7	74.33	71.15	68.93	78.16	76.84	75.23	78.06	70.61	3.45	
17	77.82	71.03	79.74	72.57	76.66	76.25	71.46	78.92	76.64	79.8	3.30	
18	68.78	66.13	65.91	69.51	69.01	67.24	73.26	69.85	73.78	63.15	3.27	
19	62.8	53.54	62.65	59	62.14	61.03	59.32	65.67	60.31	63.59	3.31	
20	73.06	69.94	63.3	66.92	68.62	64.7	64.74	61.8	68.43	64.81	3.41	3.35

ตารางที่ ค.9 ค่า SDBSS เดือนตุลาคม พ.ศ. 2551

Sample	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	SD	ค่าเฉลี่ย
1	76.67	81.86	70.89	79.42	78.22	80.03	76.33	82.16	71.27	77.31	3.89	
2	63.48	62.19	73.50	66.87	66.84	64.84	70.75	67.20	67.84	64.45	3.39	
3	71.81	65.94	59.81	63.47	66.39	61.01	66.42	64.11	67.92	66.71	3.45	
4	58.44	58.03	60.28	62.85	64.63	66.31	68.48	65.75	64.46	61.68	3.46	
5	59.89	56.56	65.29	64.93	61.03	57.50	59.32	61.76	58.73	54.23	3.49	
6	63.59	63.25	58.53	61.77	59.64	60.77	70.38	64.43	60.28	61.82	3.34	
7	66.64	65.86	61.51	62.68	70.02	70.35	70.23	65.63	71.42	69.64	3.46	
8	82.75	79.70	71.46	80.01	79.72	75.50	80.23	76.11	77.03	80.84	3.30	
9	67.19	63.59	69.32	71.95	65.49	69.16	68.93	65.47	71.89	62.07	3.34	
10	75.78	77.37	68.07	75.17	74.91	78.44	72.07	70.82	72.72	78.33	3.41	
11	64.23	55.82	58.00	57.87	52.53	56.15	55.23	55.26	55.97	61.64	3.40	
12	56.29	62.22	63.28	65.24	56.40	59.71	56.25	55.46	58.87	59.56	3.36	
13	65.52	70.57	70.21	73.97	70.22	70.31	73.40	63.01	71.46	70.64	3.32	
14	74.99	79.52	79.15	75.52	76.49	70.21	77.87	74.57	70.31	71.91	3.38	
15	81.58	74.20	76.90	78.49	79.58	80.55	80.11	72.42	79.57	82.94	3.27	
16	62.17	65.88	60.12	56.08	65.87	61.66	65.58	62.25	64.34	57.78	3.41	
17	74.01	75.29	71.48	63.48	70.95	73.77	72.74	68.04	69.90	73.10	3.47	
18	67.55	71.69	62.78	68.43	65.20	60.16	61.56	66.00	65.54	65.38	3.38	
19	62.23	53.87	55.02	54.41	55.32	56.99	58.40	54.87	63.89	58.24	3.42	
20	77.36	82.66	75.48	81.78	79.14	77.25	79.20	78.63	78.80	70.56	3.37	3.42

ตารางที่ ค.10 ค่า SDBSS เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2551

Sample	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	SD	ค่าเฉลี่ย
1	70.90	67.42	65.72	70.99	67.32	66.34	72.59	72.47	68.46	72.20	2.67	
2	61.94	64.27	68.39	68.03	67.40	60.47	65.58	66.49	67.05	62.00	2.84	
3	72.46	73.57	67.57	73.06	69.47	71.62	69.51	70.07	66.12	74.36	2.69	
4	60.23	57.87	55.96	62.66	61.31	58.97	58.01	56.46	63.02	63.01	2.68	
5	64.54	65.62	71.02	64.90	62.63	62.18	60.90	65.11	65.80	63.20	2.78	
6	56.04	57.29	58.53	60.66	65.19	57.65	61.61	61.73	58.45	60.25	2.70	
7	63.86	61.15	61.71	64.30	67.10	59.61	60.18	64.63	66.70	64.55	2.61	
8	68.71	65.86	63.46	69.20	63.50	70.04	69.77	64.81	63.59	66.78	2.70	
9	67.56	71.08	69.68	65.94	71.31	65.03	69.56	69.33	62.86	69.23	2.76	
10	77.39	78.63	77.08	82.62	81.02	79.10	74.17	78.35	74.77	76.11	2.63	
11	58.43	63.36	61.73	60.62	61.80	58.29	64.57	57.85	56.89	64.53	2.84	
12	49.99	48.81	47.34	51.76	50.23	52.50	55.17	53.16	54.80	53.82	2.61	
13	56.68	52.22	58.67	58.84	60.77	60.56	55.11	58.50	58.83	59.17	2.61	
14	63.59	62.17	57.85	58.87	58.31	54.77	62.75	60.35	59.72	58.16	2.66	
15	65.98	63.84	58.15	63.33	64.50	59.52	65.67	66.28	65.13	65.82	2.81	
16	54.72	59.09	61.40	56.39	57.18	63.54	58.09	56.08	56.25	57.71	2.67	
17	61.74	56.12	54.85	55.74	58.00	56.98	52.78	59.03	60.29	57.19	2.64	
18	64.75	64.38	63.63	62.33	63.03	67.00	66.73	68.97	70.02	63.12	2.65	
19	56.15	54.99	57.12	58.40	55.00	58.12	60.15	61.07	60.15	63.49	2.77	
20	61.33	60.63	63.39	66.68	63.70	61.16	60.13	67.69	63.49	66.32	2.70	2.70

ตารางที่ ค.11 ค่า SDBSS เดือนธันวาคม พ.ศ. 2551

Sample	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	SD	ค่าเฉลี่ย
1	74.47	74.35	66.95	72.41	75.52	76.03	71.66	74.53	69.49	74.25	2.88	
2	65.53	65.93	61.95	59.65	56.21	62.91	62.49	63.35	63.62	63.11	2.82	
3	62.77	67.15	65.63	66.10	68.95	68.60	66.59	62.91	63.08	61.15	2.67	
4	60.43	65.75	64.86	67.77	68.38	70.64	63.23	65.64	64.83	64.24	2.85	
5	66.12	62.15	63.39	59.69	64.79	65.69	65.88	67.69	69.24	62.00	2.88	
6	74.19	74.06	74.27	70.82	69.37	71.82	72.03	70.52	78.25	75.58	2.68	
7	61.32	62.28	63.23	62.69	64.95	65.62	67.35	61.59	68.14	68.16	2.68	
8	61.01	56.36	60.49	57.08	55.04	51.64	57.19	57.39	57.07	55.05	2.69	
9	65.92	66.02	65.38	64.51	67.21	64.02	64.14	65.87	73.04	70.09	2.87	
10	71.35	73.44	77.49	79.38	78.20	73.59	77.33	77.20	79.22	76.78	2.69	
11	56.40	53.23	51.98	56.05	61.78	54.24	57.17	54.34	56.17	55.19	2.67	
12	58.76	64.41	65.41	60.46	64.59	62.89	62.90	62.52	56.92	63.59	2.72	
13	73.77	69.26	71.04	76.82	76.93	70.98	70.66	75.96	74.46	74.31	2.77	
14	71.43	66.02	72.83	70.96	69.88	75.96	72.18	71.13	68.38	73.55	2.76	
15	64.94	63.99	67.39	71.08	66.03	61.01	67.32	67.07	66.15	63.86	2.69	
16	69.42	68.25	65.15	63.56	62.94	62.13	61.41	66.79	66.85	65.59	2.67	
17	66.67	71.17	68.52	70.86	72.77	70.74	73.68	65.44	68.90	66.94	2.72	
18	65.78	68.01	68.53	64.60	73.16	68.97	69.79	71.48	69.68	65.83	2.66	
19	60.22	60.20	61.34	64.35	61.51	68.29	65.28	63.41	65.50	65.22	2.67	
20	61.37	60.67	64.22	67.56	70.75	66.55	65.15	65.04	63.73	63.12	2.97	2.75

ตารางที่ ค.12 ค่า SDBSS เดือนมกราคม พ.ศ. 2552

Sample	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	SD	ค่าเฉลี่ย
1	64.13	60.14	57.93	55.45	59.33	63.37	64.10	62.60	62.75	58.80	2.96	
2	69.90	63.51	68.10	69.12	67.70	61.64	65.60	64.29	69.24	63.83	2.89	
3	52.75	55.60	49.86	55.50	51.29	58.80	55.92	54.39	56.34	58.65	2.92	
4	60.83	58.22	55.20	59.70	63.52	62.55	57.64	63.03	63.77	59.88	2.85	
5	65.71	69.57	66.21	63.95	65.68	61.41	69.61	61.88	67.16	65.34	2.77	
6	66.00	69.72	68.14	67.46	66.89	74.09	72.77	73.19	71.78	70.39	2.86	
7	83.15	81.42	83.46	83.75	83.37	83.01	76.21	84.61	81.80	77.49	2.79	
8	71.28	71.56	75.75	75.86	75.07	74.29	73.48	71.59	78.04	69.02	2.72	
9	80.79	77.49	78.80	77.57	76.48	81.82	82.51	79.50	73.87	81.43	2.72	
10	71.73	69.01	73.35	73.79	70.18	64.74	68.08	68.20	67.53	68.58	2.79	
11	72.80	63.82	66.66	66.39	68.96	68.42	67.21	62.85	65.81	68.74	2.82	
12	71.66	68.84	62.84	70.36	70.12	65.36	66.07	68.60	70.65	67.59	2.76	
13	61.41	59.26	60.30	61.43	68.20	59.01	61.32	61.92	59.70	64.10	2.74	
14	58.23	58.45	56.44	53.22	52.33	51.01	57.24	57.55	56.52	58.60	2.75	
15	63.69	59.55	56.79	58.37	59.42	60.99	59.23	64.63	65.83	61.45	2.91	
16	62.11	61.82	59.08	59.50	63.83	61.02	61.83	66.90	57.12	63.46	2.75	
17	61.68	62.62	64.15	59.06	58.59	56.95	61.85	65.23	64.15	64.29	2.81	
18	70.56	75.28	75.56	75.00	78.12	69.79	75.93	73.52	70.97	71.04	2.82	
19	62.31	61.64	61.75	62.79	62.64	58.83	66.09	68.36	62.62	59.88	2.76	
20	57.08	64.18	63.31	58.81	58.11	55.06	58.13	60.91	60.98	62.62	2.95	2.82

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค.3 ข้อมูลการคำนวณหาค่า OEE และ MTBF ของเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 1 ก่อนการปรับปรุง

ตารางที่ ค.13 ค่า OEE และค่า MTBF ของเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 1

เครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 1	ส.ค. 2551	ก.ย. 2551	ต.ค. 2551
Total available time (Min)	43,200	43,200	43,200
Total stop time (Min)	3,289	6,807	5,001
Loading time (Min)	39,911	36,393	38,199
Downtime (Min)	2,946	2,854	3,258
Loading time - Down time (Min)	36,966	33,538	34,941
Availability (%)	92.62	92.16	91.47
Theoretical cycle time X Qty produce	35,757	32,592	34,000
Operating time (Min)	36,966	33,538	34,941
Performance Rate (%)	96.73	97.18	97.31
Quantity in (Unit)	521,086	474,958	495,484
Quantity out (Unit)	519,691	473,740	494,129
Quality rate (%)	99.73	99.74	99.73
OEE (%)	89.35	89.33	88.76
Operating time (Min)	36,966	33,538	34,941
No. of Breakdown	109	107	121
MTBF (Min)	339	313	289

สูตรการคำนวณ :

%Availability = ((Loading Time – Downtime) x 100) / Loading Time

Total stop time: 1. PM schedule, 2.Meeting, 3.Out of product, 4.Other

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค.4 แสดงข้อมูลการคำนวณหาค่า OEE และ MTBF ของเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 2 ก่อนการปรับปรุง

ตารางที่ ค.14 แสดงค่า OEE และค่า MTBF ของเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 2

เครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 2	ส.ค. 2551	ก.ย. 2551	ต.ค. 2551
Total available time (Min)	43,200	43,200	43,200
Total stop time (Min)	1,539	4,964	6,570
Loading time (Min)	41,661	38,236	36,630
Downtime (Min)	3,152	3,165	3,256
Loading time - Down time (Min)	38,509	35,071	33,374
Availability (%)	92.43	91.72	91.11
Theoretical cycle time X Qty produce	37,300	34,170	32,736
Operating time (Min)	38,509	35,071	33,374
Performance Rate (%)	96.86	97.43	98.09
Quantity in (Unit)	543,574	497,967	477,055
Quantity out (Unit)	542,058	496,518	475,690
Quality rate (%)	99.72	99.71	99.71
OEE (%)	89.28	89.11	89.11
Operating time (Min)	38,509	35,071	33,374
No. of Breakdown	119	124	132
MTBF (Min)	324	283	253

สูตรการคำนวณ :

%Availability = ((Loading Time – Downtime) x 100) / Loading Time

Total stop time: 1. PM schedule, 2.Meeting, 3.Out of product, 4.Other

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค.5 ข้อมูลของทรานสดิวเซอร์ที่เปลี่ยนในเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 1

```
3. Free Air Mounting Consistency Test
DAC     = 150                                          specification
Z1      = 8.346              F1  = 137.10
Z2      = 8.309              F2  = 137.10
Z3      = 8.305              F3  = 137.10
Zuc     = (Z1+Z2+Z3)/3        Fuc = (F1+F2+F3)/3       5.00<=Zuc<=20.0
        = 8.320                  = 137.10             135.00<=Fuc<=138.50
        = PASS                    = PASS

4. Clamped Mounting Consistency Test
DAC     = 150                                          specification
Z1      = 10.480              F1  = 137.08
Z2      = 10.888              F2  = 137.09
Z3      = 10.489              F3  = 137.08
Zc      = (Z1+Z2+Z3)/3        Fc  = (F1+F2+F3)/3
        = 10.619                  = 137.08             135.00<=Fc<=138.50
        = PASS                    = PASS
Fc-Fuc  = PASS                                         Fc-Fuc<=0.30
Zc-Zuc  = PASS                                         Zc-Zuc<=4.50

DAC     = 212
Zc1     = 11.832
        = PASS                                         5.00<=Zc1<=24.0
```

รูปที่ ค.1 ข้อมูลการทดสอบทรานสดิวเซอร์จากบริษัทผู้ผลิตของเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค.6 ข้อมูลของทรานสดิวเซอร์ที่เปลี่ยนในเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 2

```
3. Free Air Mounting Consistency Test
DAC     = 150                                          specification
Z1      = 8.088              F1  = 137.42
Z2      = 8.060              F2  = 137.42
Z3      = 8.045              F3  = 137.42
Zuc     = (Z1+Z2+Z3)/3        Fuc = (F1+F2+F3)/3       5.00<=Zuc<=20.0
        = 8.064                  = 137.42             135.00<=Fuc<=138.50
        = PASS                     = PASS

4. Clamped Mounting Consistency Test
DAC     = 150                                          specification
Z1      = 9.993              F1  = 137.41
Z2      = 11.227              F2  = 137.42
Z3      = 10.236              F3  = 137.42
Zc      = (Z1+Z2+Z3)/3        Fc  = (F1+F2+F3)/3
        = 10.486                 = 137.42             135.00<=Fc<=138.50
        = PASS                     = PASS
Fc-Fuc  = PASS                                         Fc-Fuc<=0.30
Zc-Zuc  = PASS                                         Zc-Zuc<=4.50

DAC     = 212
Zc1     = 10.898
        = PASS                                         5.00<=Zc1<=24.0
```

รูปที่ ค.2 ข้อมูลการทดสอบทรานสดิวเซอร์จากบริษัทผู้ผลิตของเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค.7 ข้อมูลการคำนวณหาค่า OEE และ MTBF ของเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 1 หลังการปรับปรุง

ตารางที่ ค.15 ค่า OEE และค่า MTBF ของเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 1

เครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 1	พ.ย. 2551	ธ.ค. 2551	ม.ค. 2552
Total available time (Min)	43,200	40,320	37,440
Total stop time (Min)	2,164	3,177	5,455
Loading time (Min)	41,036	37,143	31,985
Downtime (Min)	1,306	1,376	1,457
Loading time - Down time (Min)	39,730	35,767	30,527
Availability (%)	96.82	96.29	95.44
Theoretical cycle time X Qty produce	38,663	34,789	29,619
Operating time (Min)	39,730	35,767	30,527
Performance Rate (%)	97.31	97.27	97.02
Quantity in (Unit)	563,432	506,987	431,636
Quantity out (Unit)	562,050	505,793	430,534
Quality rate (%)	99.75	99.76	99.74
OEE (%)	93.99	93.44	92.37
Operating time (Min)	39,730	35,767	30,527
No. of Breakdown	64	60	56
MTBF (Min)	621	596	545

สูตรการคำนวณ :

%Availability = ((Loading Time – Downtime) x 100) / Loading Time

Total stop time: 1. PM schedule, 2.Meeting, 3.Out of product, 4.Other

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค.8 ข้อมูลการคำนวณหาค่า OEE และ MTBF ของเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 2 หลังการปรับปรุง

ตารางที่ ค.16 ค่า OEE และค่า MTBF ของเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 2

เครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 2	พ.ย. 2551	ธ.ค. 2551	ม.ค. 2552
Total available time (Min)	43,200	40,320	37,440
Total stop time (Min)	3,051	4,365	7,300
Loading time (Min)	40,149	35,955	30,140
Downtime (Min)	1,345	1,425	1,476
Loading time - Down time (Min)	38,804	34,530	28,664
Availability (%)	96.65	96.04	95.10
Theoretical cycle time X Qty produce	37,870	33,672	27,923
Operating time (Min)	38,804	34,530	28,664
Performance Rate (%)	97.59	97.52	97.41
Quantity in (Unit)	551,874	490,705	406,916
Quantity out (Unit)	550,422	489,366	405,842
Quality rate (%)	99.74	99.73	99.74
OEE (%)	94.08	93.40	92.40
Operating time (Min)	38,804	34,530	28,664
No. of Breakdown	64	67	57
MTBF (Min)	606	515	503

สูตรการคำนวณ :

%Availability = ((Loading Time – Downtime) x 100) / Loading Time

Total stop time: 1. PM schedule, 2.Meeting, 3.Out of product, 4.Other

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค.9 การทดสอบความแตกต่างทางสถิติ ก่อนและหลังการปรับปรุงของเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 1

จากการทดสอบพบว่าค่า Availability ค่า OEE ค่า MTBF และค่า SDBSS ก่อนและหลังจากการเปลี่ยนทรานสดิวเซอร์มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยมีค่า 0.000, 0.005, 0.001 และ 0.000 ตามลำดับ

ตารางที่ ค.17 ผลการทดสอบค่าทางสถิติ ของเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 1

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	AVA_BEF	92.0825	3	.57756	.33345
	AVA_AFT	96.1856	3	.69329	.40027
Pair 2	PER_BEF	97.0716	3	.30259	.17470
	PER_AFT	97.2011	3	.15540	.08972
Pair 3	QUA_BEF	99.7341	3	.00866	.00500
	QUA_AFT	99.7546	3	.00990	.00572
Pair 4	OEE_BEF	89.1473	3	.33151	.19140
	OEE_AFT	93.2648	3	.82354	.47547
Pair 5	MTB_BEF	313.7816	3	25.18422	14.54011
	MTB_AFT	587.3458	3	38.58147	22.27502
Pair 6	SD_BEF	3.3133	3	.06506	.03756
	SD_AFT	2.7333	3	.05508	.03180

Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference Lower	Upper			
Pair 1 AVA_BEF - AVA_AF	-4.1031	.11681	.06744	-4.3933	-3.8129	-60.842	2	.000
Pair 2 PER_BEF - PER_AF	-.1295	.43447	.25084	-1.2088	.9498	-.516	2	.657
Pair 3 QUA_BEF - QUA_A	-.0205	.00216	.00125	-.0259	-.0151	-16.411	2	.004
Pair 4 OEE_BEF - OEE_AI	-4.1175	.51594	.29788	-5.3992	-2.8359	-13.823	2	.005
Pair 5 MTB_BEF - MTB_A	273.5642	14.90403	8.60484	310.5879	236.5405	-31.792	2	.001
Pair 6 SD_BEF - SD_AFT	.5800	.01000	.00577	.5552	.6048	100.459	2	.000

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค.10 การทดสอบความแตกต่างทางสถิติ ก่อนและหลังการปรับปรุงของเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 2

จากการทดสอบพบว่าค่า Availability ค่า OEE ค่า MTBF และค่า SDBSS ก่อนและหลังจากการเปลี่ยนทรานสดิวเซอร์มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยมีค่า 0.001, 0.011, 0.003 และ 0.000 ตามลำดับ

ตารางที่ ค.18 ผลการทดสอบค่าทางสถิติ ของเครื่องจักรทดลองเครื่องที่ 2

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	AVA_BEF	91.7553	3	.66202	.38222
	AVA_AFT	95.9293	3	.77943	.45001
Pair 2	PER_BEF	97.4603	3	.61317	.35402
	PER_AFT	97.5081	3	.08960	.05173
Pair 3	QUA_BEF	99.7147	3	.00608	.00351
	QUA_AFT	99.7334	3	.00542	.00313
Pair 4	OEE_BEF	89.1672	3	.09992	.05769
	OEE_AFT	93.2899	3	.84339	.48693
Pair 5	MTB_BEF	286.4217	3	35.52059	20.50782
	MTB_AFT	541.5151	3	56.45739	32.59569
Pair 6	SD_BEF	3.3475	3	.07064	.04078
	SD_AFT	2.7555	3	.05879	.03394

Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference Lower	Upper			
Pair 1 AVA_BEF - AVA_AF	-4.1741	.16492	.09522	-4.5837	-3.7644	-43.837	2	.001
Pair 2 PER_BEF - PER_AF	-.0478	.70270	.40570	-1.7934	1.6978	-.118	2	.917
Pair 3 QUA_BEF - QUA_A	-.0187	.00324	.00187	-.0268	-.0106	-9.991	2	.010
Pair 4 OEE_BEF - OEE_AF	-4.1228	.76648	.44253	-6.0268	-2.2187	-9.316	2	.011
Pair 5 MTB_BEF - MTB_A	255.0934	25.46339	14.70129	318.3479	191.8388	-17.352	2	.003
Pair 6 SD_BEF - SD_AFT	.5920	.01498	.00865	.5548	.6292	68.445	2	.000

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายนฤทธิ์ เร้ารุ่งอรุณ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปีการศึกษา 2540 และเข้าศึกษาต่อหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2550

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย