สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของเครื่องกัดร่องขนาดเล็กสำหรับสปินเดิลไฮโดรมอเตอร์

IMPROVEMENT PRODUCTIVITY OF MICRO-ELECTROCHEMICAL MACHINING FOR SPINDLE HYDRO MOTOR

ประไพร รักไท้

PRAPRAI RUGTHAI

วพ.
ว/3357
2548

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 61227
วัน,เดือน,ปี 17 ก.ค. 2549

b 11552019
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2548

ISBN 974-15-2085-9

IMPROVEMENT PRODUCTIVITY OF MICRO-ELECTROCHEMICAL MACHINING FOR SPINDLE HYDRO MOTOR

PRAPRAI RUGTHAI

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF SCIENCE IN INDUSTRIAL EDUCATION

IN ELECTRICAL COMMUNICATIONS ENGINEERING

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2005

ISBN 974-15-2085-9

COPYRIGHT 2005

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของเครื่องกัดร่องขนาดเล็กสำหรับสปินเดิลไฮโดรมอเตอร์
นักศึกษา	ประไพร รักไท้
รหัสประจำตัว	43064649
ปริญญา	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร
พ.ศ.	2548
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม	ดร. สมชาย หมื่นสายญาติ

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของเครื่องกัดร่องขนาดเล็กสำหรับสปินเดิลไฮโดรมอเตอร์ รุ่นชีต้า X15_73LP ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตที่ซับซ้อนและต้องเป็นไปตามขั้นตอนที่รวดเร็ว กระบวนการออกแบบชุดอุปกรณ์จับยึดและเวลามาตรฐานในการผลิตเป็นตัวแปรสำคัญต่อการปรับปรุงการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตเป็นอย่างมาก

จากการศึกษาทดลองการปรับปรุงระบบเครื่องกัดร่องขนาดเล็ก และชุดอุปกรณ์จับยึดอีเล็กโตรดที่ออกแบบขึ้นใหม่ พบว่าสามารถลดของเสียที่เกิดกับการกระแทกที่ผิวงานมอเตอร์ได้ในระหว่างการป้อนงานที่อุปกรณ์จับยึด การควบคุมความลึกของร่องมอเตอร์ตามแม่แบบอีเล็กโตรดได้ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานซึ่งตรวจสอบด้วยเครื่องวัดอยู่ในเกณฑ์ดี และจำนวนการผลิตมอเตอร์ที่ได้ต่ออีเล็กโตรดเพิ่มขึ้น ทำให้อายุการใช้งานของอีเล็กโตรดเพิ่มขึ้น และต้นทุนการผลิตลดต่ำลงจากการลดปริมาณการใช้อีเล็กโตรด สรุปได้จากผลการเก็บข้อมูลประสิทธิภาพของการผลิตสำหรับชุดอุปกรณ์จับยึดแบบอีเล็กโตรดโลเวอร์โคนเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยจาก 20,699 มอเตอร์ต่ออีเล็กโตรดเป็น 112,202 มอเตอร์ต่ออีเล็กโตรด ประสิทธิภาพของการผลิตสำหรับชุดอุปกรณ์จับยึดแบบอีเล็กโตรดอัปเปอร์โคนเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยจาก 18,234 มอเตอร์ต่ออีเล็กโตรดเป็น 142,045 มอเตอร์ต่ออีเล็กโตรด และประสิทธิภาพของการผลิตสำหรับชุดอุปกรณ์จับยึดแบบอีเล็กโตรดปั้มป์ซิล เพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยจาก 16,972 มอเตอร์ต่ออีเล็กโตรดเป็น 62,788 มอเตอร์ต่ออีเล็กโตรด จากการเก็บบันทึกข้อมูลอาการเสียของมอเตอร์ที่เกิดในกระบวนการผลิต ข้อมูลของเสียก่อนมีการปรับปรุงชุดอุปกรณ์จับยึดคิดเป็นค่าเฉลี่ยของเสียรวมต่อเดือนได้เป็น 0.57% และข้อมูลของเสียหลังมีการปรับปรุงชุดอุปกรณ์จับยึดคิดเป็นค่าเฉลี่ยของเสียรวมต่อเดือนได้เป็น 0.45%

Thesis Title	Improvement Productivity of Micro-Electrochemical Machining For Spindle Hydro Motor
Student	Praprai Rugthai
Student ID.	43064649
Degree	Master of Science in Industrial Education
Programme	Electrical Communication Engineering
Year	2005
Thesis Advisor	Assistant Professor Dr.Threraphon Thephasadin Na Ayuthaya
Thesis Co-Advisor	Dr.Somchai Maunsaiyat

ABSTRACT

This thesis aimed to improve the productivity of micro-electrochemical machining for spindle hydro motor model Cheetah X15_73LP which was complicated to produce processing and needed to do fast cycle stepping sequence. The design processing of equipment/fixture and standard cycle time were the significant variable the most important to improvement of productivity

From evaluated to improve micro-electrochemical system and designed the new electrode fixture found that was able to reduce the defect which happen to bump on motor hub-surface in between loading to fixture. The groove depth controlling of motor result as follow the master electrode got the average value and standard deviation measured by measurement machine was good result and increased the motor quantity per electrode, increased electrode life time increasing and decreased the investment for production refer to the usage of electrode reduction. The conclusion from recording result for improvement of productivity for lower-cone electrode fixture got the average increased from 20,699 motors per electrode to 112,202 motors per electrode, Improvement of productivity for upper-cone electrode fixture got the average increased from 18,234 motors per electrode to 142,045 motors per electrode and improvement of productivity for pump-seal electrode fixture got the average increased from 16,972 motors per electrode to 62,788 motors per electrode. The data recording of reject part before improve fixture calculated to average per month was 0.57% and the data recording of reject part after improve fixture calculated to average per month was 0.45%

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความอนุเคราะห์จาก ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ดร.สมชาย หมื่นสายญาติ ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม ผศ.ดร.สุรสิทธ์ ราตรี คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รศ.วิสุทธ์ สุนทรกนกพงศ์ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รศ.ว่าที่ รท. พิชัย สดภิบาล คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ชี้แนะปรับปรุงและแนะนำความรู้ แหล่งข้อมูลเพื่อการค้นคว้า ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องสมุดคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องสมุดแห่งชาติ เจ้าหน้าที่สำนักหอสมุดกลางมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ช่วยอำนวยความสะดวกและเอื้อเฟื้อสถานที่ในการค้นคว้าข้อมูล

ขอขอบคุณผู้บริหารของบริษัท นิเด็คไฮเทคมอเตอร์(ประเทศไทย) จำกัด แผนกวิศวกรรมกระบวนการและแผนกการผลิต และเพื่อนร่วมงานในบริษัทนิเด็คฯ รวมถึงผู้ใต้บังคับบัญชาของผู้วิจัย ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือ เอื้อเฟื้อสถานที่ และให้การสนับสนุนข้อมูลการทำการวิจัย

ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกๆ ท่าน ที่ได้สละเวลาให้คำปรึกษาแนะนำและให้ข้อเสนอแนะต่างๆให้แก่ผู้วิจัย

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ร่วมรุ่นห้องเรียนทุกท่านและบุคคลที่ผู้วิจัยไม่ได้กล่าวถึง ที่ให้การสนับสนุน และคอยให้กำลังใจผู้วิจัยมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ประสาทความรู้ ความเข้าใจด้านการศึกษาเทคโนโลยี ตลอดจนข้อคิดต่างๆ อันก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการค้นคว้า และเป็นแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อบุญถ่าย คุณแม่สวัสดิ์ รักไท้ เป็นอย่างยิ่งซึ่งเป็นผู้ให้กำเนิด ให้ความรู้ ให้การศึกษา และให้อนาคต แก่ผู้วิจัยเป็นอย่างดีตลอดมา และสมาชิกในครอบครัวทุกๆ คน โดยเฉพาะอย่างยิ่งภรรยาและบุตรทั้ง 2 คน ที่คอยให้กำลังใจและสละเวลาให้คุณพ่อได้มีเวลาศึกษาค้นคว้าทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเป็นอย่างดี

ประไพร รักไท้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VI

สารบัญภาพ VII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3

1.3 สมมติฐานการวิจัย 3

1.4 กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย 3

1.5 ขอบเขตของการวิจัย 4

1.6 ข้อตกลงเบื้องต้น 5

1.7 นิยามศัพท์เฉพาะที่ใช้ในการวิจัย 5

บทที่ 2 เอกสารและงานที่เกี่ยวข้องของการวิจัย 7

2.1 เครื่องอีเล็กโตรเคมีคอล 7

2.2 ระบบเครื่องอีเล็กโตรเคมีคอลขนาดเล็ก. 18

2.3 การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการบริหาร 24

2.4 การศึกษาการทำงาน การเพิ่มผลผลิตในอุตสาหกรรม 30

2.5 การบำรุงรักษาเชิงทวีผลโดยรวม 36

2.6 การปรับปรุงเพื่อลดความสูญเสีย 43

2.7 ระบบการควบคุมคุณภาพ 52

2.8 กลุ่มสร้างคุณภาพ (Quality Control Circle) 54

2.9 หลักเกณฑ์ทั่วไปในการออกแบบเครื่องจักรกลและชิ้นส่วน 60

2.10 การออกแบบทางวิศวกรรม 64

2.11 การออกแบบและสร้างชุดทดลอง 65

2.12 การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 67

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 71

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง 71

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 72

3.3 หาประสิทธิภาพของเครื่องมือวิจัย 75

3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูลการวิจัย 80

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล 81

3.6 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล 81

บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล 82

บทที่ 5 สรุปผลงานวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ 93

5.1 สรุปผลการวิจัย 93

5.2 อภิปรายผลการวิจัย 97

5.3 ข้อเสนอแนะ 98

บรรณานุกรม 100

ภาคผนวก 103

ภาคผนวก ก. เอกสารราชการ 104

ภาคผนวก ข. ข้อกำหนดควบคุมและขนาดพารามิเตอร์เครื่องอีเล็กโตรเคมีคอล 109

ภาคผนวก ค. แบบใบทดลองชุดอุปกรณ์จับยึดอีเล็กโตรด 111

ภาคผนวก ง. บันทึกข้อมูลของเสียในกระบวนการผลิตต่อเดือน 127

ภาคผนวก จ. ภาพเครื่องอีเล็กโตรเคมีคอล 137

ประวัติผู้เขียน 147

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ขอบเขตของกิจกรรม TPM	38
3.1	ค่าเฉลี่ยส่วนเบี่ยงเบนมาตราฐาน ค่าเฉลี่ยระดับการปฏิบัติการทดลอง และลำดับที่ ในการจัดกระบวนการการผลิตของโลเวอร์โคน (P/N:00-020)	76
3.2	ค่าเฉลี่ยส่วนเบี่ยงเบนมาตราฐาน ค่าเฉลี่ยระดับการปฏิบัติการทดลอง และลำดับที่ ในการจัดกระบวนการการผลิตของอัปเปอร์โคน (P/N:00-019)	77
3.3	ค่าเฉลี่ยส่วนเบี่ยงเบนมาตราฐาน ค่าเฉลี่ยระดับการปฏิบัติการทดลอง และลำดับที่ ในการจัดกระบวนการการผลิตของปั้มป์ซิล (P/N:00-018)	79
4.1	การเก็บข้อมูลการผลิตต่ออีเล็กโตรดแบบโลเวอร์โคน (P/N:00-020) เปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงอุปกรณ์จับยึด	84
4.2	การเก็บข้อมูลการผลิตต่ออีเล็กโตรดแบบอัปเปอร์โคน (P/N:00-019) เปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงอุปกรณ์จับยึด	86
4.3	การเก็บข้อมูลการผลิตต่ออีเล็กโตรดแบบปั้มป์ซิล (P/N:00-018) เปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงอุปกรณ์จับยึด	88
4.4	ข้อมูลอาการเสียของมอเตอร์ในกระบวนการผลิต เปรียบเทียบความแตกต่างก่อนการปรับปรุงกับหลังการปรับปรุงอุปกรณ์จับยึด	90

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	วงจรไฟฟ้า Electrochemical Machining (ECM)	8
2.2	เซลล์อีเล็กโตรไลท์เป็นการเคลื่อนที่ของไอออน	10
2.3	การกระจายการไหลของกระแสไฟฟ้าในเซลล์อีเล็กโตรไลท์	12
2.4	การกระจายการไหลของกระแสไฟฟ้าระหว่างช่องว่างอีเล็กโตรดที่แคบ	13
2.5	มูลฐานความรู้เบื้องต้นของ ECM	13
2.6	การไหลของระบบน้ำอีเล็กโตรไลท์	20
2.7	The Deming Cycle (PDCA)	56
2.8	ผังแสดงขั้นตอนการทำกิจกรรมของกลุ่มสร้างคุณภาพตาม	58
3.1	แสดงขั้นตอนการสร้างเครื่องมือสำหรับการวิจัย	74

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากสภาวะการเติบโตทางเศรษฐกิจโลกในปัจจุบันนี้ ในการผลิตชิ้นส่วนต่างๆ ที่ใช้ในการประกอบคอมพิวเตอร์มีความจำเป็นต่อธุรกิจหลาย ๆ ด้าน ตลอดจนการศึกษา และอื่น ๆ อีกมากมาย ได้ส่งผลให้บริษัทผู้ผลิตคอมพิวเตอร์ได้ผลิตคอมพิวเตอร์หลาย ๆ แบบ ออกสู่ตลาดมากมายเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของตลาด ทั้งบริษัทผู้ผลิตที่มีขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่ขายดีต่างก็มีผู้ลงทุนหันมาให้ความสนใจ ส่งผลให้อุตสาหกรรมต่าง ๆ มีการเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็ว ในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนที่เป็นส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์ก็เป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่ได้มีการแข่งขันกันอยู่หลายบริษัท ซึ่งได้นำเอาเทคโนโลยีในการผลิตแบบใหม่ถ่ายทอดให้กับบริษัทที่รับจ้างผลิตอีกต่อหนึ่งซึ่งเป็นผู้ผลิตรายย่อย โดยที่ทำเฉพาะชิ้นส่วนใดชิ้นส่วนหนึ่ง เพื่อส่งไปประกอบเป็นฮาร์ดดิสก์ต่อไป ส่งผลให้ผู้บริโภคมีอำนาจต่อรองในการซื้อมากขึ้น เพราะมีโอกาสเลือกซื้อสินค้าที่มีลักษณะเดียวกันแต่ต่างบริษัทผู้ผลิต ทำให้เกิดการแข่งขันที่จะนำเอาเทคโนโลยีแบบใหม่ที่มีความรวดเร็วในการผลิต กระบวนการผลิตที่สั้นลง การลงทุนของเครื่องจักรที่ถูกลง ซึ่งจะต้องรักษาคุณภาพให้ดีเพื่อจะได้ส่วนแบ่งของตลาด

ข้อมูลประวัติของโรงงานตัวอย่าง บริษัท นิเด็คไฮเทคมอเตอร์ (ประเทศไทย) จำกัด เป็นบริษัทที่ได้รับการส่งเสริมการลงทุนในการประกอบสปินเดิลมอเตอร์ (Spindle Motor) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่อยู่ในเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยมีหน้าที่ขับเคลื่อนหมุนแผ่นเก็บข้อมูล บริษัทนิเด็คฯ ก่อตั้งเมื่อ ค.ศ.1973 (พ.ศ.2516) ที่เมืองเกียวโต ประเทศญี่ปุ่น ในปัจจุบันมีโรงงานในเครือทั้งภายในและต่างประเทศ ประมาณ 19 สาขา และสำนักงานหลายแห่งอยู่ในภูมิภาคต่าง ๆ ทั่วโลก ซึ่งในประเทศไทยได้มีสำนักงานอยู่ 4 แห่ง ผลิตภัณฑ์หลักของบริษัทนิเด็คฯ คือ มอเตอร์ที่ขับเคลื่อนแผ่นดิสก์ (Spindle Motor) มอเตอร์สำหรับเครื่องใช้สำนักงาน (AC Motor) มอเตอร์สำหรับพัดลม (FAN Motor) เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (AC Adaptor)

ในปัจจุบันนี้นอกจากบริษัทนิเด็คฯ แล้วที่ผลิตชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กที่เป็นผลิตภัณฑ์ไฮดรอแบริงส์สปินเดิลมอเตอร์ที่ส่งให้กับบริษัทซีเกทฯ ใช้ประกอบในฮาร์ดดิสก์มีอีกบริษัทหนึ่ง คือ บริษัทมินิแบ (ประเทศไทย) จำกัด ซึ่งทั้งสองบริษัทได้รับเอาเทคโนโลยีการออกแบบผลิตภัณฑ์มาจากบริษัทซีเกทฯ ต่อจากนั้นบริษัทนิเด็คฯ ซึ่งเป็นผู้ผลิตก็จะทำการออกแบบเครื่องจักร เครื่องมือทดสอบ และอุปกรณ์อื่น ๆ ที่ใช้ทำการผลิตจนจบกระบวนการ ปัญหาที่เกิดขึ้นในสายการผลิตเครื่องอีเล็กโตรเคมีคอล (Electrochemical Machining) ที่ใช้ผลิตตัวสปินเดิลไฮโดรมอเตอร์มีต้นทุนที่สูงในการผลิตต่อมอเตอร์ ซึ่งเป็นเครื่องมือที่มีเทคโนโลยีสมัยใหม่ถูกนำมาใช้ ยัง

มีราคาแพง และต้องใช้วัสดุอุปกรณ์ที่มาใช้ประกอบเครื่องจักรและอุปกรณ์จับยึด (Fixture) ที่ทนต่อการกัดกร่อนของสารละลายเกลืออีเล็กโตรไลท์ จากปัญหาดังกล่าวบริษัทนิเด็คฯ ก็ประสบปัญหานี้เช่นกัน ปัจจุบันปัญหาที่พบมีอยู่ 2 ส่วน คือ ตัวอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ประกอบเครื่องรวมถึงโปรแกรมการทำงานของเครื่อง และอุปกรณ์จับยึดที่ใช้ในการผลิตรุ่น Cheetah X15_73LP พบปัญหาว่าชุดอุปกรณ์จัดยึดและอีเล็กโตรด ที่เป็นแม่พิมพ์ที่ใช้ในการผลิตเกิดการเสียหายจากการผลิตเร็วมาเป็นเวลานาน ทำให้อายุการใช้งานชุดอุปกรณ์จับยึดและอีเล็กโตรดสั้นกว่ารุ่นอื่น ๆ ซึ่งชุดอุปกรณ์จับยึดและอีเล็กโตรดที่ใช้ในการผลิตรุ่นนี้มีอยู่ 3 ส่วน คือ

1. ชุดอุปกรณ์จับยึดที่ติดตั้งอีเล็กโตรดแบบโลเวอร์โคน (Lower Cone Electrode)
2. ชุดอุปกรณ์จับยึดที่ติดตั้งอีเล็กโตรดแบบอัปเปอร์โคน (Upper Cone Electrode)
3. ชุดอุปกรณ์จับยึดที่ติดตั้งอีเล็กโตรดแบบปั๊มป์ซิล (Pumping Seal Electrode)

ชุดอุปกรณ์จับยึด (Fixture) ที่ใช้สำหรับติดตั้งอีเล็กโตรดทั้ง 3 แบบ เป็นชุดอุปกรณ์ที่ทำงานร่วมกันโดยเรียงเป็นขั้นตอนการทำการกัดร่องตามลำดับ ซึ่งประวัติการผลิตหนึ่งปีกว่าที่ผ่านมาตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2545 จนถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ.2546 ในแต่ละแบบการทำงานของอีเล็กโตรดในปัจจุบัน ชุดอุปกรณ์จับยึดที่ติดตั้งอีเล็กโตรดแบบปั๊มป์ซิลมีค่าเฉลี่ยอายุการใช้งานอยู่ประมาณ 15,212 มอเตอร์ต่อหนึ่งอีเล็กโตรด ชุดอุปกรณ์จับยึดที่ติดตั้งอีเล็กโตรดแบบอัปเปอร์โคนมีค่าเฉลี่ยอายุการใช้งานอยู่ประมาณ 18,284 มอเตอร์ต่อหนึ่งอีเล็กโตรด และชุดอุปกรณ์จับยึดที่ติดตั้งอีเล็กโตรดแบบโลเวอร์โคนมีค่าเฉลี่ยอายุการใช้งานอยู่ประมาณ 15,555 มอเตอร์ต่อหนึ่งอีเล็กโตรด เมื่อเทียบกับรุ่นอื่นที่ทำการผลิต เช่น รุ่น C1 และ C2 เป็นต้น ค่าอายุการใช้งานอีเล็กโตรดเฉลี่ยสูงกว่ามาก ก็แสดงให้เห็นว่าถ้าหากได้มีการทำการศึกษาวิเคราะห์น่าจะมีหนทางในการปรับปรุงเพื่อเพิ่มอายุการใช้งานขึ้นได้อีก จากสาเหตุอายุการใช้งานของอีเล็กโตรดที่สั้นเกินไป ทำให้เกิดการสูญเสียเครื่องหยุดเดินบ่อยครั้ง เสียเวลาในการประกอบและติดตั้ง อีเล็กโตรดตัวใหม่และรอขั้นตอนการทำการรับรองก่อนการผลิตจริง (Qualification) ก่อนเริ่มการผลิตของอีเล็กโตรดแต่ละตัว ซึ่งในแต่ละครั้งจะใช้เวลาของกระบวนการตรวจสอบการรับรองนานกว่า 4-6 ชั่วโมง จะเห็นว่ามีผลกระทบกับจำนวนที่ผลิตได้ในแต่ละวัน และเสียค่าใช้จ่ายในรุ่นนี้มากกว่ารุ่นอื่น

ในสภาวะปัจจุบันการลดและป้องกันของเสียในสายการผลิต ยืดอายุของอุปกรณ์การผลิตและเวลามาตรฐานในการผลิตได้เป็นกลยุทธที่สำคัญที่ใช้ในการแข่งขันกันทางธุรกิจในระดับสากล โดยมีการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยจำลองภาพออกแบบอุปกรณ์ต่างๆ ช่วยในการคำนวณในรายละเอียด ให้สอดคล้องกับกระบวนการผลิตของการประกอบชุดอุปกรณ์จับยึดอีเล็กโตรดที่มีความละเอียดอ่อนมาก และสามารถเข้ามาช่วยในการตัดสินใจวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

ดั้งนั้นผู้วิจัยมีความประสงค์ทำการศึกษาแนวทางการปรับปรุง และพัฒนาการทำงานที่เพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของเครื่องกัดร่องขนาดเล็กสำหรับสปินเดิลไฮโดรมอเตอร์ ของชุดอุปกรณ์จับยึดตัวสปินเดิลไฮโดรมอเตอร์ โดยได้เลือกบริษัทนิเด็คไฮเทคมอเตอร์ (ประเทศไทย) จำกัด สาขา

คลอง 7 รังสิต ทำการศึกษาวิจัยหลักการแก้ไขปัญหาแบบการบำรุงรักษาเชิงทวีผลโดยรวม การปรับปรุงเพื่อลดการสูญเสียอย่างเป็นระบบ หลักเกณฑ์ในการออกแบบเครื่องจักรกลและชิ้นส่วนโดยไม่กระทบต่องานที่ปฏิบัติอยู่ และเน้นที่ประสิทธิภาพการผลิตโดยรวม เพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดการจากการทำงานของเครื่อง และตัวชุดอุปกรณ์จับยึดซึ่งทำให้ อีเล็กโตรดเสีย และให้การทำงานของชุดอุปกรณ์จับยึดอีเล็กโตรดทั้ง 3 แบบ ที่ใช้ในการผลิตตัวผลิตภัณฑ์สปินเดิลไฮโดรมอเตอร์รุ่นซีต้า X15_73LP มีอายุการใช้งานของอีเล็กโตรดเพิ่มขึ้นมากกว่าเดิม เพื่อที่จะส่งมอบตัวผลิตภัณฑ์ให้กับบริษัทซีเกทฯ มีต้นทุนที่ต่ำลง คุณภาพที่สูง และราคาถูก อันจะส่งผลให้บริษัทผู้ผลิตได้ผลกำไรมากขึ้นซึ่งเป็นกลยุทธ์ที่สำคัญในการใช้แข่งขันกับบริษัทคู่แข่งอื่น ๆ ที่มีอยู่ในตลาดอุตสาหกรรม

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของเครื่องกัดร่องขนาดเล็กสำหรับสปินเดิลไฮโดรมอเตอร์ รุ่นซีต้า X15_73LP

2. เพื่อหาประสิทธิภาพของชุดอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานมอเตอร์และอีเล็กโตรดทั้ง 3 แบบ คือ ชุดอุปกรณ์จับยึดแบบอีเล็กโตรดโลเวอร์โคน ชุดอุปกรณ์จับยึดแบบอีเล็กโตรดอัปเปอร์โคน และชุดอุปกรณ์จับยึดแบบอีเล็กโตรดปั้มป์ซิล

1.3 สมมติฐานการวิจัย

1. เครื่องกัดร่องขนาดเล็กสามารถเพิ่มประสิทธิภาพอายุการใช้งานของอีเล็กโตรดได้มากขึ้นกว่าเดิม 2 เท่าของการผลิตวิธีการเดิม

2. จำนวนการผลิตมอเตอร์ต่ออีเล็กโตรดมากขึ้นกว่าเดิมจากประมาณ 15,000 ตัวเป็น 30,000 ตัว

3. สามารถลดของเสียจากกระบวนการผลิตจากเดิม 0.57 % เหลือเป็น 0.45%

1.4 กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

การศึกษาหาความรู้ด้วยวิธีการทดลอง สร้างชุดทดลองโดยเฉพาะด้านวิศวกรรมการผลิตด้านวิทยาศาสตร์เพื่อใช้ตรวจสอบวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ ซึ่งต้องอาศัยเครื่องมือ และวัสดุมาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อหาข้อเท็จจริงด้วยตนเอง ผู้วิจัยได้ใช้กรอบแนวคิดของ วัลลภ จันทร์ตระกูล (2543 : 110-128) และใน สุชาติ หัตถ์สุวรรณ (2547 : 19-21) มาใช้ในขั้นตอนในการสร้างชุดทดลองดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ขั้นตอนการกำหนดวัตถุประสงค์
ขั้นตอนที่ 2 ขั้นตอนการออกแบบ และสร้างชุดทดลอง
ขั้นตอนที่ 3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ และตัดสินเลือกชิ้นส่วนของอุกรณ์
ขั้นตอนที่ 4 ขั้นตอนการทดลอง
ขั้นตอนที่ 5 ขั้นตอนการหาประสิทธิภาพ

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1.5.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร คือ จำนวนสปินเดิลมอเตอร์รุ่น Cheetah X15_73LP ที่ใช้ในการทดลองกับชุดอุปกรณ์จับยึดทั้ง 3 แบบ คือ แบบอีเล็กโตรดโลเวอร์โคน แบบอีเล็กโตรดอัปเปอร์โคน และแบบอีเล็กโตรดปั้มป์ซิล โดยแต่ละแบบมีการใช้สปินเดิลมอเตอร์จำนวน 30,000 ตัว

กลุ่มตัวอย่าง คือ กลุ่มมอเตอร์รุ่น Cheetah X15_73LP ที่ใช้ทดสอบเครื่องมือการวิจัยว่าชุดอุปกรณ์จับยึดของอีเล็กโตรดที่ออกแบบใหม่ทั้ง 3 แบบ สามารถทำการผลิตได้ตามเงื่อนไขข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์สปินเดิลมอเตอร์ได้หรือไม่ โดยเก็บตัวอย่างมอเตอร์จากการใช้อีเล็กโตรดแต่ละแบบจำนวน 35 อีเล็กโตรด โดยการติดตั้งอีเล็กโตรดหนึ่งตัวกับชุดอุปกรณ์จับยึดจะนำเอามอเตอร์ 6 ตัวอย่างของช่วงแรกของการทดลอง ซึ่งจะได้จำนวนมอเตอร์ตัวอย่างรวม 210 มอเตอร์ของอีเล็กโตรดแต่ละแบบ

1.5.2 ตัวแปรที่ศึกษา

1.5.2.1 ตัวแปรต้น

1. จำนวนสปินเดิลไฮโดรมอเตอร์รุ่น Cheetah X15_73LP ใช้ในการป้อนงานกับชุดอุปกรณ์จับยึดแต่ละแบบจำนวน 30,000 มอเตอร์ ถ้าครบจำนวนแต่ละล็อทแล้วยังสามารถปฏิบัติงานได้ดี ให้ทำการป้อนงานล็อทต่อไปโดยมีจำนวนเท่ากัน

2. การปรับแต่งตรวจสอบชุดอุปกรณ์จับยึดให้อยู่ในสภาพพร้อมงาน ต้องกระทำการตรวจสอบทุกการเริ่มช่วงเวลาทำงานและหลังหยุดพัก

3. ค่าพารามิเตอร์ที่ควบคุมของเครื่องและต้องตรวจสอบก่อนการเริ่มช่วงเวลาทำงาน

1.5.2.2 ตัวแปรตาม

1. จำนวนงานของเสียที่เกิดจากการผลิตที่เกิดในกระบวนการ และความเสียหายที่เกิดกับชุดอุปกรณ์จับยึดและตัวอีเล็กโตรด

2. จำนวนผลการผลิตมอเตอร์ที่ได้ต่ออีเล็กโตรด

1.6 ข้อตกลงเบื้องต้น

การวิจัยนี้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของเครื่องกัดร่องขนาดเล็ก ของอุปกรณ์จับยึดสปินเดิลไฮโดรมอเตอร์รุ่น Cheetah X15_73LP ให้อายุการใช้งานของอีเล็กโตรดที่เป็นแม่แบบเพิ่มจำนวนมากขึ้น

การวิจัยนี้จะทำการเลือกผลิตภัณฑ์ตัวอย่างเพียง 1. ผลิตภัณฑ์ คือ สปินเดิลไฮโดรมอเตอร์รุ่น Cheetah X15_73LP

ก่อนทำการทดลองเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยได้ทำความเข้าใจกระบวนการการทำงานของระบบการทำงานเครื่องกัดร่องอีเล็กโตรเคมีคอลขนาดเล็ก และทำการอธิบายกับผู้ช่วยทำการทดลองซึ่งเป็นช่างเทคนิคและพนักงานประจำเครื่อง เพื่อให้เข้าใจวัตถุประสงค์การทดลองเป็นอย่างดี และสามารถปฏิบัติได้ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ

1.7 นิยามศัพท์เฉพาะที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องกัดร่องขนาดเล็ก หมายถึง เครื่องที่ใช้อีเล็กโตรไลท์เป็นตัวนำทางไฟฟ้า ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฟฟ้า-เคมี ดึงเอาประจุอีเล็กตรอนออกจากผิวของโลหะ ที่มีลวดลายตามอีเล็กโตรด ซึ่งเป็นประเภทชิ้นงานขนาดเล็ก เครื่องนี้เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า "เครื่องกัดร่องอีเล็กโตรเคมีคอลขนาดเล็ก"

2. อีเล็กโตรไลท์ (Electrolyte) หมายถึง สารละลายเกลือโซเดียมไนเตรดเข้มข้นในน้ำ ที่ใช้เป็นสื่อในการนำกระแสไฟฟ้าตรง ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาทางไฟฟ้า-เคมี โดยทำการดึงเอาอีเล็กตรอนที่ผิวโลหะขนาดเล็กและนำเอาเศษโลหะที่หลุดออกมาจากการเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้า-เคมี ตามอัตราการไหลที่แรงดันของอีเล็กโตรไลท์ที่คงที่

3. อีเล็กโตรด หมายถึง แบบแม่พิมพ์ขึ้นลายด้วยระบบไฟฟ้าของร่องด้านในของมอเตอร์ ซึ่งจะทำให้เกิดทิศทางการไหลเวียนและเกิดแรงดันของน้ำมันไฮโดรขณะที่หมุน แบบแม่พิมพ์ทำจากวัสดุทองเหลืองเกรดดีมีฉนวนทำจากเรซินชุบผิวทองเหลืองที่ป้องกันไม่ให้ไฟฟ้ารั่วออกแต่เปิดเฉพาะส่วนที่ต้องการพิมพ์ลายกับตัวมอเตอร์ มีการควบคุมลวดลายตามการออกแบบที่ละเอียดอ่อนขนาดความโตต้องอยู่ในข้อกำหนดทุกประการ การผลิตอีเล็กโตรดต้องใช้เครื่องที่ทันสมัยมากและพิถีพิถัน และมีขั้นตอนการผลิตที่ต้องควบคุมอย่างดีเยี่ยม อีเล็กโตรดมีอยู่ 3 แบบที่ใช้ประกอบในกระบวนการกัดร่อง คือ อีเล็กโตรดโลเวอร์โคนเป็นแบบแม่พิมพ์ลายของร่องในส่วนด้านล่างของมอเตอร์ อีเล็กโตรดอัปเปอร์โคนเป็นแบบแม่พิมพ์ลายของร่องในส่วนด้านบนของมอเตอร์ อีเล็กโตรดปั้มป์ซิลเป็นแบบแม่พิมพ์ลายของร่องในส่วนกลางของมอเตอร์

4. อุปกรณ์จับยึด (Fixture) หมายถึง อุปกรณ์ที่ใช้จับชิ้นงานตัวสปินเดิลมอเตอร์ และตัวอีเล็กโตรด ที่ออกแบบไว้เฉพาะงานที่ทนต่อสภาพการเกิดปฏิกิริยาทางไฟฟ้า-เคมี โดยมีความเที่ยงตรงสูง

5. ประสิทธิภาพการผลิต หมายถึง วิธีการทำงานในสายการผลิตซึ่งได้ในด้านคุณภาพและปริมาณ จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ได้เพิ่มมากขึ้นจากการคาดหวังที่จะผลิตได้ โดยการเปรียบเทียบก่อนการปรับปรุงกับหลังการปรับปรุงดังนี้ 1) เครื่องกัดร่องขนาดเล็กสามารถเพิ่มประสิทธิภาพอายุการใช้งานของอีเล็กโตรดได้มากขึ้นกว่าเดิม 2 เท่าของการผลิตวิธีการเดิม 2) จำนวนการผลิตมอเตอร์ต่ออีเล็กโตรดมากขึ้นกว่าเดิมจากประมาณ 15,000 ตัวเป็น 30,000 ตัว 3) สามารถลดของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตจากเดิม 0.57 % เหลือเป็น 0.45%

6. พนักงานช่างเทคนิค หมายถึง ช่างซ่อมประจำเครื่องกัดร่องอีเล็กโตรเคมีคอลขนาดเล็กของแผนก Electrochemical Machining (ECM)

7. สปินเดิลไฮโดรมอเตอร์ (Spindle Hydro Motor) หมายถึง มอเตอร์ขนาดเล็กที่ได้รับการออกแบบเพื่อประกอบกับแผ่นบันทึกข้อมูล ทำการหมุนแผ่นบันทึกข้อมูลตามรอบที่ออกแบบไว้ในตัวอุปกรณ์ฮาร์ดดิสก์ โดยอาศัยการหล่อลื่นจากน้ำมันที่มีแรงดันทำการสมดุลย์ตามร่องการลีดน้ำมันที่ออกแบบไว้เฉพาะแทนการใช้ตลับลูกปืน ในที่นี้คือรุ่น Cheetah X15_73LP

8. ใบการทดลอง หมายถึง เอกสารขั้นตอนการทดลองปฏิบัติการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของเครื่องกัดร่องขนาดเล็กสำหรับสปินเดิลไฮโดรมอเตอร์รุ่น Cheetah X15_73LP โดยแยกการทดลองชุดอุปกรณ์จับยึดอีเล็กโตรด มีอยู่ 3 แบบ ดังนี้ ใบการทดลองชุดอุปกรณ์จับยึดแบบอีเล็กโตรดโลเวอร์โคน ใบการทดลองชุดอุปกรณ์จับยึดแบบอีเล็กโตรดอัปเปอร์โคน ใบการทดลองชุดอุปกรณ์จับยึดแบบอีเล็กโตรดปั้มป์ซิล ซึ่งในแต่ละใบการทดลองจะมีหัวข้อดำเนินการทดลองดังนี้ วัตถุประสงค์ เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง ทฤษฎีโดยย่อ ลำดับขั้นการทดลอง สรุปผลการทดลอง ตารางบันทึกผลการทดลอง

บทที่ 2
เอกสารและงานที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

งานวิจัย เรื่องการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของเครื่องกัดร่องขนาดเล็กสำหรับไฮโดรสปินเดิลมอเตอร์ ของบริษัท นิเด็คไฮเทคมอเตอร์ (ประเทศไทย) จำกัด ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

2.1 เครื่องอีเล็กโตรเคมีคอล (Electrochemical Machine)

2.2 ระบบเครื่องอีเล็กโตรเคมีคอลขนาดเล็ก (Electrolytic Micro-machining System)

2.3 การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการบริหาร

2.4 การศึกษาการทำงาน การเพิ่มผลผลิตในอุตสาหกรรม

2.5 การบำรุงรักษาเชิงทวีผลโดยรวม หรือ Total Productive Maintenance (TPM)

2.6 การปรับปรุงเพื่อลดความสูญเสีย

2.7 ระบบการควบคุมคุณภาพ

2.8 กลุ่มสร้างคุณภาพ Quality Control Circles

2.9 หลักเกณฑ์ทั่วไปในการออกแบบเครื่องจักรกลและชิ้นส่วน

2.10 การออกแบบทางวิศวกรรม

2.11 การออกแบบและสร้างชุดทดลอง

2.12 การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เครื่องอีเล็กโตรเคมีคอล (Electrochemical Machine)

John F.Wilson (1982) ได้กล่าวถึงเครื่องอีเล็กโตรเคมีคอลเป็นลักษณะการแบ่งแยกประเภทของเครื่องจักรชนิดหนึ่งโดยเป็นกระบวนการใช้ตัวนำอีเล็กโตรไลท์ทำการกัดกร่อนโลหะและการขัดเกลาผิวเรียบที่สำเร็จรูป ซึ่งสามารถครอบคลุมการทำงานถึงชนิดที่เป็นแบบช่อง "Cavity-Type" กระบวนการทำงานของ ECM เป็นกระบวนการดังเหมือน Electrochemical Turning (ECT) ในขั้นแรกได้ใช้กระบวนการอีเล็กโตรเคมีคอลสำหรับการขัดเกลาผิวให้เรียบดังเหมือนกับ Electrochemical Deburring (ECD)

เครื่องอีเล็กโตรเคมีคอลได้นำเอาวิธีมาใช้ในการกัดโลหะอย่างกว้างขวางโดยปราศจากการใช้ของทางกลไก หรือเกี่ยวกับพลังงานความร้อน พลังงานทางไฟฟ้าถูกรวมกับสารเคมีที่เกิดปฏิกิริยาเป็นแบบโต้กลับ ของตรงกันข้ามกับการชุบ (Reverse Plating) ความสัมพันธ์ของไฟฟ้ากระแสตรงคือมีกำลังกระแสไฟฟ้าสูงและแรงดันไฟฟ้าต่ำ กระแสไฟฟ้าได้จ่ายไปอย่างต่อเนื่อง

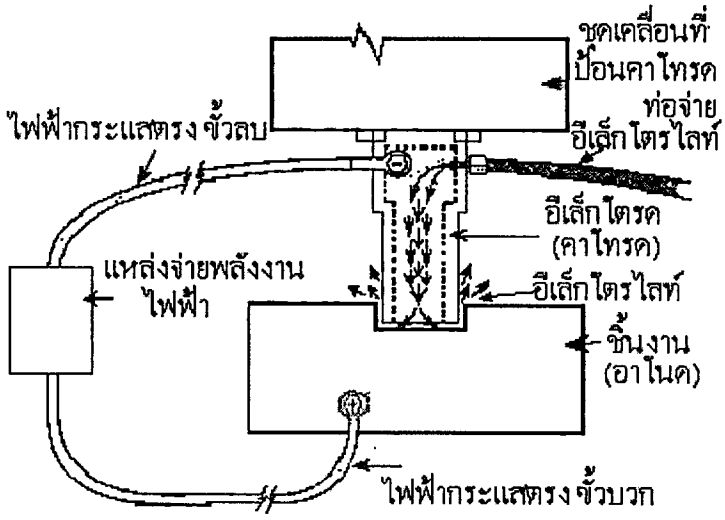
ระหว่างตัวชิ้นงานเป็นอาโนดขั้วบวก และตัวอีเล็กโตรดเป็นคาโทรดขั้วลบ โดยตัวนำอีเล็กโตรไลท์ที่ผิวอาโนดอีเล็กตรอนได้ถูกกัดออกไปตรงการไหลของกระแสไฟฟ้า และโครงสร้างโมเลกุลของโลหะบริเวณผิวถูกแตกออก อะตอมหลุดออกไปปนกับสารละลายเป็นไอออนโลหะ ในเวลาเดียวกันก๊าซไฮโดรเจนไอออนบวกถูกดึงบริเวณผิวประจุลบ และแพร่ที่ผิวคาโทรดกลายเป็นอะตอมไฮโดรเจน ซึ่งการรวมโมเลกุลแบบไฮโดรเจนวัตถุสารละลายที่ถูกกัดออกจากช่องระหว่างชิ้นงานและอีเล็กโตรด โดยการไหลของอีเล็กโตรไลท์ช่วยพาเอาความร้อนและก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นออกไป ก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นของชิ้นงานถูกลดปริมาณลง ได้แสดงให้เห็นในภาพที่ 2.1 การทำงานดังนี้

1. อีเล็กโตรดแม่พิมพ์ได้เตรียมคร่าวๆ ของรูปร่างภายนอกที่เป็นการทำงานเป็นตัวชิ้นงาน

2. ชิ้นงานและอีเล็กโตรดแม่พิมพ์ ทำการเคลื่อนที่ให้ใกล้กัน (ในกรณีการทำงานของ ECM Sinking, เป็นการป้อนอีเล็กโตรดไปหาตัวชิ้นงานขณะเดียวกันต้องรักษาระยะห่างที่ถูกต้อง)

3. ตัวกลางของการจ่ายช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอีเล็กโตรด ใช้ความดัน การไหลเวียนความนำของเหลวอีเล็กโตรไลท์

4. การควบคุมแหล่งจ่ายต้องระมัดระวังกำลังไฟฟ้ากระแสตรง ที่สามารถรักษาความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าอย่างเพียงพอระหว่างชิ้นงานและอีเล็กโตรด



ภาพที่ 2.1 วงจรไฟฟ้า Electrochemical Machining (ECM)

2.1.1 ประโยชน์ของ ECM (ECM Advantages)

1. ต้นทุน (Costs)

เครื่อง ECM มีลักษณะคุณสมบัติเฉพาะคล้ายกับการตีเหล็ก และการหล่อแบบ สามารถที่ผลิตสิ่งที่ยุ่งยากมากมายของเส้นแสดงรูปร่างที่ผิวในการเกิดขึ้นที่ครั้งเดียวของเครื่อง ECM การประหยัดเวลาของเครื่องเป็นการเปรียบเทียบโดยตรงถึงการทำงานของเครื่อง Milling Mechanical ซึ่งใช้ใบมีดขนาดเล็กต้องกระทำตามขวางเป็นเส้นรายตัวหลายเส้น การทำงานของเครื่องจักรจำนวนมากอาจจะถูกแทนที่ และในการทำงานขั้นสุดท้าย ดังเช่น Deburring Blending Radii , Polishing ซึ่งเป็นการเพิ่มความสามารถในสิ่งเหล่านี้ 1) ของเสียน้อยลง (Low Scrap) 2) ไม่ชำนาญ (Unskilled) หรือการทำงานเครื่องจักรอย่างอัตโนมัติ (Unskilled or Automatic Machine Operation) 3) เครื่องมือไม่สึกหรอ (No Tool Wear)

ซึ่งสามารถลดต้นทุนการผลิตของโรงงานที่เห็นเด่นชัดขึ้น คุณสมบัติเครื่อง ECM มีความสามารถอยู่อย่างหนึ่งคือ การทำงานที่เร็วและจะเข้ามาแทนที่การทำงานเครื่องจักรแบบกลไกทั่วไป อีกทั้งลดค่าใช้จ่ายสินค้าที่เก็บไว้ ขบวนการทำงานก็ลดน้อยลง และต้นทุนในการลงทุนในทั้งเครื่องจักรและอาคารสถานที่ในการติดตั้งก็สิ้นเปลืองน้อยมาก ECM เป็นกระบวนการที่ซึ่งอาจถูกใช้ในการผลิตอุปกรณ์ที่ใช้เทคนิคที่ทันสมัยซึ่งปราศจากการเพิ่มราคาของสินค้าในขั้นตอนสุดท้าย แม้จะมีค่าแรงงานที่สูงขึ้น ตัวอย่างคือการใช้กระบวนการในอุตสาหกรรมเครื่องยนต์ของเครื่องบิน ถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องยนต์ JET ใช้กับรูปร่างอุปกรณ์ที่มีความยุ่งยากของวัสดุ "Super-Allow" สำหรับในการทำตัวอย่างปลอกเครื่องยนต์ได้เพิ่มขึ้นในทุกวันนี้ ค่าแรงก็ได้เพิ่มขึ้นอย่างน่าตกใจ อุปกรณ์ที่มีความยุ่งยาก หรือวัสดุที่เหนียวกรณีนี้ไม่เป็นปัญหาสำหรับ ECM สามารถที่ผลิตชิ้นส่วนออกไปได้เร็วและเวลาที่ใช้ก็น้อย ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของการเพิ่มค่าแรง

2. คุณภาพของเครื่อง ECM (Quality of ECM)

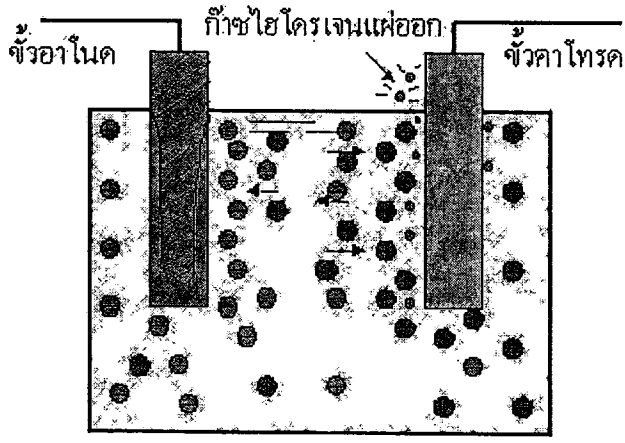
เครื่อง ECM ได้นำมาประยุกต์ ในอุตสาหกรรมหลาย ๆ ประเภทแทบทั้งนั้นไม่มีที่สิ้นสุด มีการใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องยนต์ทางอากาศขนาดใหญ่ อาจจะกล่าวได้ว่าอุตสาหกรรมแบบนี้มีความเจริญก้าวหน้ามาก ซึ่งในการใช้ของ ECM ได้มีการถูกสนับสนุนถึงความต้องการในการใช้งานอย่างจริงจัง ในการประยุกต์ใช้ของ ECM เป็นการใช้ที่เกิดความประทับใจเป็นอย่างมาก ในกระบวนการทำงานที่สั้นๆ และรวดเร็ว โดยที่มีการทำซ้ำของกระบวนการได้อยู่เลื่อยๆ ซึ่งมีความมั่นเป็นอย่างมาก และเกิดการยอมรับมันขึ้น จากกระบวนการ ECM ได้นำมาประยุกต์เห็นพร้องกันอยู่ใน 3 กลุ่ม ราคา, คุณภาพ, และความคล่องตัว

3. หลักมูลฐานสำคัญของกระบวนการ ECM

เมื่อเราทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าระหว่างโลหะอีเล็กโตรดซึ่งมีตัวกลางเป็นอีเล็กโตรไลท์ กระแสไฟฟ้าที่จ่ายออกจะเดินทางในน้ำอีเล็กโตรไลท์ จากอีเล็กโตรดหนึ่งผ่านไปยังอีกตัวหนึ่ง มันไม่เหมือนกับการนำของกระแสไฟฟ้าในโลหะ ซึ่งอีเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปตามโครงสร้างของโลหะต่างๆ ไอออนเป็นกลุ่มของอะตอมประจุไฟฟ้าพากันเคลื่อนที่ไปตามน้ำอีเล็กโตรไลท์ และในขณะนั้นก็เป็นการเดินทางไปของกระแสไฟฟ้าด้วย ในการเคลื่อนย้ายของอีเล็กตรอนระหว่างไอออน และอีเล็กโตรดเป็นการครบวงจรทางไฟฟ้าอย่างสมบูรณ์ เป็นปรากฏการธรรมชาติของการทำละลายโลหะที่อีเล็กโตรดขั้วบวก สิ่งนี้เป็นพื้นฐานของการเคลื่อนที่ของโลหะในกระบวนการ ECM

ในกระบวนการ ECM นี้ได้เกิดก๊าซไฮโดรเจนที่บริเวณผิวของอีเล็กโตรด ซึ่งเป็นการแผ่ออกมาจากผิวของอีเล็กโตรดขั้วลบ โลหะจะถูกดึงออกจากผิวขั้วอาโนดอะตอมต่ออะตอม และหลังจากการทำงานค่อนข้างที่จะซับซ้อนทางกลไกที่บริเวณผิวของขั้วอาโนดก็จะปรากฏให้เห็นในอีเล็กโตรไลท์ส่วนใหญ่เป็นไอออนบวก เป็นตะกอนของแข็งของสารประกอบโลหะไฮดรอไซด์ (Metal Hydroxide) ซึ่งเกิดจากการทำงานที่มากกว่าปกติของเครื่อง ECM

อีเล็กโตรไลท์อาจจะเกิดจากสารประกอบของกรด โดยปกติพื้นฐานของสารละลายเกลือในน้ำ ผลึกเกลือแยกอยู่เป็นอนุภาคเล็กๆ ในน้ำทั้งประจุขั้วบวกและขั้วลบ มีการเคลื่อนที่อย่างอิสระในสารละลายดูเหมือนไอออน และอาจจะเป็นอะตอมเดี่ยวหรือกลุ่มของอะตอมวงกลมหนึ่งหรือมากกว่าของประจุไฟฟ้า ประจุลบเท่ากันกับประจุบวกแต่จำนวนของประจุไอออนบวกและลบไม่จำเป็นต้องเท่ากัน



ภาพที่ 2.2 เซลล์อีเล็กโตรไลท์เป็นการเคลื่อนที่ของไอออน

ในการประยุกต์ความสามารถที่จะเป็นไปได้ ระหว่างการติดตั้งขุ่มอีเล็กโตรดเป็นสนามไฟฟ้าหนึ่งนั้น การเคลื่อนที่ของไอออนเป็นการแสดงให้เห็นในภาพที่ 2.2 แสดงการกระจายของไอออนภายใต้ที่มีผลกระทบของการจ่ายสนามไฟฟ้า ในการเข้ามารวมกันของไอออนบวก และอยู่ใกล้ชิดกับบริเวณผิวคาโทรด ทำให้เกิดการแยกวัตถุเหลวด้วยกระแสไฟฟ้าของน้ำ ในการแสดงผลนี้ อัตราขยายอิเล็กตรอนอณูน้ำจากคาโทรด มันจะแยกเป็นก๊าซไฮโดรเจนอิสระ และไอออนไฮโดรเจน

$$2H_2O + 2e \rightarrow H_2 + 2OH^-$$

ความรู้เบื้องต้นของไฮโดรเจนไอออนลบเป็นการสมดุลทางไฟฟ้า โดยโลหะไอออนบวกรวมอยู่กับอีเล็กโตรไลท์เหมือนสารละลายอาโนด

$$2Fe \rightarrow 2e \rightarrow Fe^{2+}$$

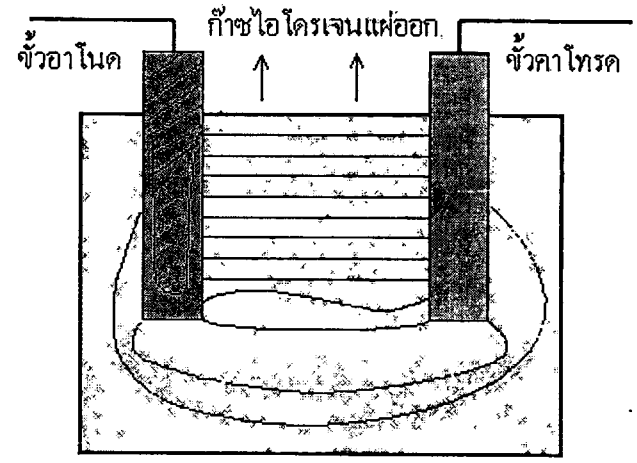
ไอออนโลหะไม่เหลืออยู่ในสารละลาย เมื่ออีเล็กโตรไลท์ที่ใช้อยู่ไม่ใช้บวกหรือลบ แต่รวมกันกับไอออนไฮโดรเจนถึงรูปแบบโลหะไฮดรอไซด์ โดยเหตุที่ไม่ได้เป็นการละลายในน้ำ มันปรากฏเหมือนตะกอนของแข็ง และไม่กระทบกับผลอันเกิดขึ้นกับอีเล็กโตรเคมีคอล

$$Fe^{2+} + 2H_2O \rightarrow Fe(OH)_2 + 2H^+$$

กระบวนการนี้เป็นอีกอันหนึ่งของ "Electrochemistry" ซึ่งเป็นต้นกำเนิดการทำงานโดย **Faraday** และได้ปฏิบัติตามกฎที่มีชื่อเสียงของเขาของการแยกวัตถุเหลวโดยกระแสไฟฟ้า (การเปลี่ยนแปลงทั้งหมดของสารเคมีที่เกิดขึ้นโดยการกระทำของกระแสไฟฟ้า ทุกตะกอนวัตถุหรือสารละลายที่เกิดจะเป็นสัดส่วนถึงปริมาณของกระแสที่ไหลผ่าน) การแยกวัตถุเหลวโดยกระแสไฟฟ้าได้ประสบผลสำเร็จในการทำงานในอุตสาหกรรม ดังเช่นคล้ายๆ กับการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า (Electroplating), การขึ้นรูปด้วยไฟฟ้า (Electroforming), และการขัดเงาด้วยไฟฟ้า (Electro Polishing) ซึ่งในความสนใจในสองอันดับแรกเป็นผลเกิดที่บริเวณผิวคาโทรดกลายเป็นโลหะไอออนจับกุ่มกัน และเป็นผลให้เกิดรูปแบบของโลหะใหม่เป็นไปตามผิว ประการแรกก็ได้เป็นวิธีของเครื่องประดับตกแต่ง หรือจุดประสงค์เพื่อป้องกันการกัดกร่อน (ตัวอย่างเช่น กันชนรถยนต์, แผ่นภาชนะ และอื่นๆ) ประการที่สอง คาโทรดที่เป็นต้นแบบจะถูกละลายออกไปนั้นเป็นเหมือนชั้นเคลือบของรูปแบบโลหะที่ชั้นสุดท้าย และในกระบวนการสุดท้ายการขัดเงาด้วยไฟฟ้า มันเป็นสารละลายของโลหะจากผิวอาโนด ถ้าได้รับการควบคุมอย่างถูกต้อง การเคลื่อนที่ของโลหะออกไปอย่างช้า ๆ ที่ผิวของอาโนด กระบวนการนี้ได้มีมากที่สุดเช่นเดียวกับ ECM ตั้งแต่ได้ทำการควบคุมการเคลื่อนที่ออกไปของโลหะเป็นความสำคัญในอนาคตต่อไป

ทั้งหมดที่กล่าวมาได้ถูกใช้ในขั้นตอนกระบวนการเป็นอย่างดี บนพื้นฐานการแยกวัตถุเหลวโดยกระแสไฟฟ้า ถูกทำงานโดยการใช้ระยะความห่างของอีเล็กโตรดในแท็งค์ของสารละลายอีเล็กโตรไลท์ที่มีความนำทางไฟฟ้าทั้งหมด อีเล็กโตรไลท์เป็นคุณสมบัติพิเศษที่มีเหนือธรรมชาติถูกใช้กระแสไฟฟ้าจำนวนน้อย เพียง 2-3 แอมป์ต่อตารางนิ้วของผิวอีเล็กโตรด และโลหะที่เคลื่อนที่ออกไป หรือตะกอนตามส่วนเล็ก ๆ ในภาพที่ 2.3 เส้นที่ลากเชื่อมถึงกันชี้บอก ระยะห่างการกระจายของอัตรากระแสไฟฟ้า ซึ่งมีอัตราการเคลื่อนที่ออกของโลหะจากผิวอาโนด การเคลื่อนที่ออกของโลหะคาโทรดก็เหมือนกันได้เกิดขึ้นบนส่วนผิวอื่น ๆ

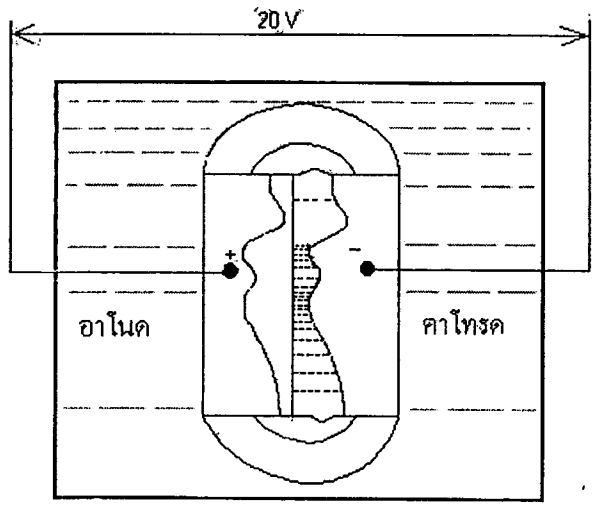
ถ้าอีเล็กโตรดสองอันแทนการควบคุมจากอีกอันหนึ่ง วางอยู่ใกล้กันมาก ๆ ประมาณ 0.020 นิ้ว ทำการป้อนแรงดันไฟฟ้า 20 โวลท์ระหว่างอีเล็กโตรด ไอออนประจุขั้วบวกถูกดึงไปยังประจุขั้วลบ และไอออนประจุขั้วลบถูกดึงไปยังประจุขั้วบวก อัตราที่ประจุสามารถมาถึงที่อีเล็กโตรดนั้นได้กำหนดขึ้นโดยตรงกับการป้อนแรงดันไฟฟ้าซึ่งเป็นการช่วยกระตุ้นแรง จำนวนไอออนเพิ่มขึ้นและเข้ามารวมกันซึ่งเป็นผลต้องแก้ไขอีเล็กโตรไลท์ และต้องกำหนดขอบเขตความกว้างนั้น ซึ่งไอออนต้องวิ่งไปตามขอบเขตอีเล็กโตรด แรงการกระตุ้นจะมากขึ้นโดยการป้อนแรงดันไฟฟ้าจำนวนมาก ดังนั้นระยะระหว่างอีเล็กโตรดที่แคบมากๆ ไอออนได้พากันไปอยู่อีกที่อย่างเร็วพอสมควร กระแสไฟฟ้าจำนวนมากตามสัดส่วนจะเป็น 100-1000 แอมป์แปรต่อตารางนิ้ว และการเคลื่อนที่ออกไปของโลหะจากผิวอาโนดจะเป็น 0.010-0.100 นิ้วต่อนาที



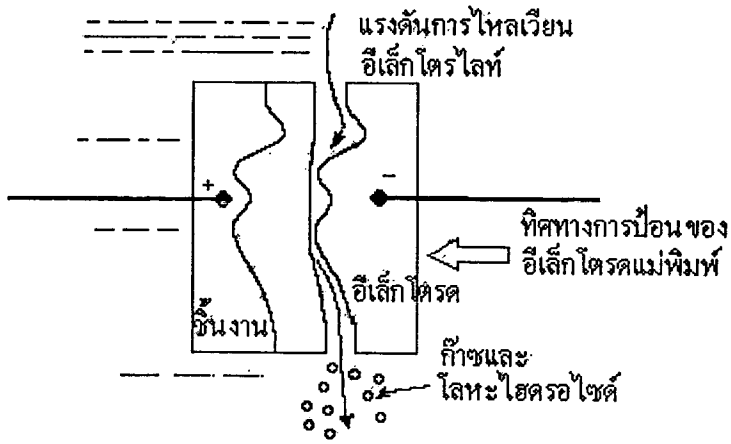
ภาพที่ 2.3 การกระจายการไหลของกระแสไฟฟ้าในเซลล์อีเล็กโตรไลท์

อีเล็กโตรดในภาพที่ 2.4 แสดงให้เห็นความหนาแน่นและทิศทางของการไหลของกระแสไฟฟ้าที่ใกล้กันมากๆ ได้ชี้ให้เห็นโดยเส้นต่อเข้าด้วยกันของอีเล็กโตรดช่องแคบที่เล็กมากๆ ซึ่งอัตราการไหลของกระแสไฟฟ้าจำนวนมาก และของการเคลื่อนที่ออกไปของโลหะจากอาโนดเส้นจุดๆ แสดงรูปร่างของอาโนดหลังจากการผ่านระยะเวลาของ ECM แล้ว จะสามารถเห็นได้แบบดังภาพที่ 2.5 นั้น ถ้าอีเล็กโตรดอยู่ตำแหน่งเดิมรูปร่างที่ได้นั้นก็จะคล้ายคลึงกับคาโทรด

การป้อนกระแสที่ให้ความเข้มสูงอย่างเร็วจะเกิดสารประกอบของแข็งไฮดรอไซด์ และถูกพามากับกระแสไฟฟ้าอีเล็กโตรไลซิ่ง (Electrolyzing) หลังประมาณ 2-3 วินาที เพื่อคงสภาพให้มีความต่อเนื่องจำนวนมากในชั่วขณะหนึ่ง



ภาพที่ 2.4 การกระจายการไหลของกระแสไฟฟ้าระหว่างช่องว่างอีเล็กโตรดที่แคบมาก ๆ



ภาพที่ 2.5 มูลฐานความรู้เบื้องต้นของ ECM

ชั้นส่วนผิวนี้ของกระบวนการของการทำงานต้องถูกดึงออกไปอย่างต่อเนื่อง และรุ่นแรง ซึ่งจะสำเร็จได้โดยการไหลเวียนของอีเล็กโตรไลท์ที่มีทิศทางการผ่านด้วยความเร็วสูงระหว่างช่องแคบๆ ของอีเล็กโตรด ในทางปฏิบัติอีเล็กโตรไลท์ถูกบังคับความเร็วมีทิศทางในช่องแคบที่จ่ายแรงดัน 25 – 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi)

ความแรงการไหลของอีเล็กโตรไลท์ได้ดึงเอาโลหะออกไปอย่างต่อเนื่องจากอาโนดที่ช่องแคบๆ ในเริ่มแรกได้เพิ่มขนาดเร็วขึ้นแต่เมื่อดำเนินไปสักระยะหนึ่งก็จะลดลง ก็เพราะว่าในช่องแคบๆ ตรงนี้มันเกิดความต้านทานทางไฟฟ้าเพิ่มขึ้น การให้คงสภาพความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ค่าสูงๆ ในตอนเริ่มแรก โลหะก็จะถูกละลายไปกับสารละลาย กระแสไฟฟ้าจะยังคงที่อยู่ และอัตราการเคลื่อนที่ออกไปของโลหะจะคงสภาพที่จำนวนมากซึ่งแสดงให้เห็นในภาพที่ 2.5 เป็นการประยุกต์ที่ขั้วคาโทรด ซึ่งที่ขั้วอาโนดจะดำเนินไปให้เกิดรูปร่างเป็นเหมือนต้นแบบทั้งหมดของขั้วคาโทรด ดังนั้นในความคิดการกระทำที่เป็นไปได้ การดึงเอาโลหะออกไปด้วยอัตราความเร็วสูงโดยเพิ่มความแรงการไหลของอีเล็กโตรไลท์ และควบคุมการเคลื่อนที่ของอีเล็กโตรดเหล่านั้นจะเป็นแบบพื้นฐานความคิดของ ECM

การคาดการณ์ที่พิจารณายอมรับกลไก ของอุปกรณ์เครื่องจักรที่แม่นยำของ ECM ในการผลิตจะมีอัตราการเคลื่อนที่ของโลหะจำนวนมาก กระแสไฟฟ้าถูกนำออกจากบริเวณผิวทั้งหมดของอีเล็กโตรดทั้งขั้วคาโทรดและขั้วอาโนด ช่องแคบที่เล็กมากๆ เป็นจุดเปลี่ยนแปลงระหว่างบริเวณผิวที่เผชิญหน้าของอีเล็กโตรดที่สูงกว่า จะมีความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าจำนวนมาก และมีอัตราการเคลื่อนที่ของโลหะจำนวนมาก มันเป็นการดำเนินการเคลื่อนที่ของขั้วคาโทรดไปยังขั้วอาโนด ในที่สุดผิวทั้งสองจะใกล้กันมากๆ ที่อยู่ตรงกันซึ่งโดยรวมแล้วบริเวณผิวไม่ค่อยแตกต่าง รูปร่างที่ได้จะเหมือนกับคาโทรด สิ่งที่สำคัญก็คือการทำซ้ำกันหลายครั้งของรูปร่างงานตัวใหม่ที่ถูกทำขึ้นเป็นกระบวนการแบบง่ายมากๆ ซึ่งเป็นความต้องการเครื่องจักรในการผลิตซึ่งเป็นหลักมูลฐานในการออกแบบทางวิศวกรรมของเครื่อง ECM ในขั้นตอนต่อไป

2.1.1.1 ระบบอีเล็กโตรไลท์ (Electrolyte System)

ระบบการไหลอีเล็กโตรไลท์ที่มีความเร็วสูงมากที่บริเวณผิวอีเล็กโตรดเป็นแฟกเตอร์หลักอย่างหนึ่งในการแยก ECM ออกจากกระบวนการอีเล็กโตรไลติกอื่นๆ โดยการกำหนดความเร็วที่สูงไหลผ่านไปยังที่บริเวณผิวอีเล็กโตรดและผิวชิ้นงาน ได้เกิดเป็นกระบวนการทำงานของเครื่องที่รวดเร็วในปัจจุบัน ตัวแปรที่สำคัญอันหนึ่งคือการเจือ (Dilution) ลงไปกับน้ำอีเล็กโตรไลท์ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาโต้กลับ ได้พารวมเอาความร้อนแผ่ผ่านไปขณะเกิดกระแสไฟฟ้าอีเล็กโตรไลซิ่ง ค่าความเร็วที่ต้องการอยู่ที่ 100 – 200 ฟุตต่อวินาที และแรงดันที่สูงมากประมาณ 80-400 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ถึงแม้จะเป็นการทำงานในช่องที่แคบๆ อัตราการไหลก็ขึ้นอยู่กับขนาดของอุปกรณ์ที่ประกอบและใช้ปั๊มป์ความจุ 300 แกลลอนต่อนาที สำหรับตัวอย่างใช้ปั๊มป์เส้นผ่าศูนย์กลางกว่า 12 นิ้ว ติดใบพัดระบาย (Turbine Wheel) อีเล็กโตรไลท์ถูกไหลเวียนอัดจากปั๊มป์จ่ายไปยังชุดเครื่องมือ

ที่ด้านออกไปยังชิ้นงานของตัวเครื่องและอีเล็กโตรไลท์จะไหลกลับ โดยการปล่อยไหลล้นกลับ (Gravity) ไปยังถังเก็บ

ช่องแคบ ๆ ของการทำงานเป็นส่วนที่เล็กมาก ๆ อัตราการเคลื่อนที่ของโลหะก็สูงมาก และต้องรักษาความสะอาดตลอดเวลา จำเป็นต้องให้อีเล็กโตรไลท์ไหลผ่านไปอย่างเรียบง่าย ทุกอย่างที่ขวางอยู่จะไปลดความเร็วการไหล การขวางกั้นในช่องแคบๆ เป็นปัญหาอันหนึ่งที่เกิดขึ้นเมื่อฝุ่นผงโลหะไม่ได้ถูกพาออกไปโดยอีเล็กโตรไลท์จะเกิดการลัดวงจรไฟฟ้าในอีเล็กโตรไลซิ่งระหว่างอีเล็กโตรดกับผิวชิ้นงานทำให้เกิดการเสียหายกับเครื่องมือ ดังนั้นการทำความสะอาดอีเล็กโตรไลท์จึงเป็นสิ่งสำคัญ

สิ่งจำเป็นที่สุดอีกอันหนึ่งลักษณะสำคัญของเครื่อง ECM คือระบบกรองป้องกันสิ่งที่ติดมาของฝุ่นผงที่ใหญ่กว่าหนึ่งในสามขนาดช่องแคบ การกรองฝุ่นแบบสายตาข่ายที่อยู่ในท่อการจ่ายเป็นการป้องกันฝุ่นผงที่ไม่ต้องการจากการหลุดออกมาจากเครื่องมือและอุปกรณ์เหล่านั้น การกรองสามารถได้ถึงขนาดลดลงที่ 1 ไมครอน เป็นการเหมาะสมสำหรับอัตราสมรรถนะการทำงานที่มากที่สุด ตัวกรองแบบด้ายทอแบบสายเดียว (Single Weave) ของเหล็กสแตนเลสชนิด 316 หรือสายโมเนลมีการต้านทานกรด เพราะว่าการไหลไปตามตาข่ายไม่ได้ทำให้อุดตันโดยทันทีกับโลหะไฮดรอไซด์ เครื่องกรองทุกๆ อย่างมีคุณภาพมากพอแต่ไม่เหมาะสม เพราะว่าเกิดการอุดตันรวดเร็วและยังเป็นข้อจำกัดการไหลของอีเล็กโตรไลท์

คุณสมบัติอีเล็กโตรไลท์มีผลกระทบเหมือนกันกับขนาดของช่องแคบ ๆ ในขณะการทำงานของเครื่อง เป็นผลกับรูปร่างของอีเล็กโตรดที่กำหนดลวดลายที่มีเส้นตรงและเส้นวงกลมของอุปกรณ์ในการทำงานของเครื่องในที่สุด ค่าการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ในอีเล็กโตรไลท์ก็เป็นส่วนประกอบด้วย คือค่า pH (เป็นตัวชี้ความเป็นด่างหรือกรด) ค่าอุณหภูมิ และการรวมตัวกันของของแข็ง จะมีผลกระทบกับความไม่แน่นอนของเครื่อง ECM ฉะนั้นจึงได้มีการควบคุมอย่างใกล้ชิดโลหะไฮดรอไซด์จำนวนน้อยๆ ได้ก่อเกิดขึ้นระหว่างการทำงานไม่ได้เป็นนัยสำคัญที่กระทบกับกระบวนการในสัดส่วนที่ขนาดใหญ่ ถ้าเกิดการสะสมมากขึ้นจะทำให้ลดประสิทธิภาพการทำงานและเกิดข้อบกพร่องไฮดรอไซด์ในอีเล็กโตรไลท์ที่ถูกจำกัดการเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่อง การใช้การติดตั้งถังเก็บขนาดใหญ่ การควบคุม pH แก้ไขโดยการเพิ่มน้ำหรือไม่ก็สารเคมีลงไปในน้ำอีเล็กโตรไลท์ ตามการวิเคราะห์สภาพของตัวอย่างที่ตรวจสอบ คุณสมบัติเหล่านี้เป็นสิ่งสำคัญเพราะว่า สิ่งเหล่านั้นมีผลกระทบต่อค่าความนำทางไฟฟ้าของอีเล็กโตรไลท์ เกิดความต้านทานทางไฟฟ้าในการทำปฏิกิริยาโต้กลับที่เกิดขึ้นบริเวณผิวอีเล็กโตรด

อีเล็กโตรไลท์ถูกควบคุมอุณหภูมิเหมือนกัน เพราะมีผลกระทบกับการกระทำของสารเคมีและความต้านทานไฟฟ้าของอีเล็กโตรไลท์ แฟกเตอร์ทั้งสองจะเห็นเป็นผลการกระทำท้ายสุดของเส้นแสดงรูปร่างที่ชิ้นงานหลัง ECM แล้ว

2.1.1.2 การรวบรวม (Summary)

สิ่งที่เป็นองค์ประกอบของเครื่อง ECM ประกอบด้วยโครงสร้างเครื่องที่แข็งแรงซึ่งรวมถึงการเคลื่อนไหวของเครื่องมืออย่างนิ่มนวล ชุดจ่ายพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง ถังเก็บน้ำอีเล็กโตรไลท์ ปั๊มปั่แรงดันสูง ตัวกรองและเครื่องมือกรองทำความสะอาดอีเล็กโตรไลท์ เหล่านี้เป็นองค์ประกอบเครื่องมือที่จำเป็นได้ควบคุมค่าพารามิเตอร์ของเครื่องอย่างใกล้ชิด ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ดี และการวางแผนกระบวนการที่ครอบคลุมทั้งหมด ทำให้ ECM เต็มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตของโรงงาน

2.1.2 ทฤษฎีการทำละลายอโนดิค (Anodic Dissolution Theory)

ชนิดของอีเล็กโตรด ขั้นตอนในการทำละลายของโลหะขั้วอาโนด เป็นสิ่งสำคัญใน ECM เป็นการทำลายการยึดอะตอมที่เป็นตารางเป็นผลึก การเคลื่อนที่ตัวประจุ เป็นสารประกอบจำพวกที่มีน้ำเป็นตัวประกอบ หรือไอออนของโลหะที่ซับซ้อน การแพร่ของอีเล็กโตรไลท์ โลหะ หรือน้ำภายหลังปฏิกิริยาการทำละลายความน่าจะเป็นที่กล่าวถึง สามารถเป็นขั้นตอนอัตราการกำหนดสำหรับโลหะที่ถูกกัดออกไปในปฏิกิริยาอาโนด การแบ่งแยกออกเป็น 2 ชนิด อีเล็กโตรดชนิดแรกเป็นแบบง่ายๆ เป็นปฏิกิริยากำหนดอัตราการเกิดขึ้นทีละน้อยที่เข้ามารวมกันโดยธรรมชาติ ในอีเล็กโตรไลท์เป็นการแพร่ไอออนโลหะสารละลายและการหลุดออกไปอยู่ที่อื่นจากอีเล็กโตรด กระบวนการแบบนี้รวดเร็วกว่าการทำลายการยึดที่เป็นตาราง หรือการเคลื่อนย้ายประจุที่ชั้นนั้นไม่เหนียว หรือชั้นขอบเขตในรูปร่าง ในอีเล็กโตรดแบบชนิดที่สอง ชนิดพิเศษของขอบเขตชั้นที่เป็นรูปร่างในอีเล็กโตรไลท์เป็นผลของหนึ่งอย่าง หรือมากกว่ากระบวนการช้าๆ ดังเหมือนสารประกอบที่มีน้ำเป็นสารประกอบ ความซับซ้อนของไอออนโลหะ

ในแบบการตัดชิ้นงานด้วย ECM ชิ้นส่วนของขั้วอาโนดจะทำงานเป็นอีเล็กโตรดแทน ได้เห็นจากการทำงานที่ปรากฏเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ชิ้นงานที่ตัดโดยกระบวนการ ECM แตกต่างกัน 3 ลักษณะอาจจะเกิดอยู่บนพื้นผิวที่เปลี่ยนแปลงทางเคมีของโลหะและขั้นความคมที่ไม่สม่ำเสมอ สามารถเกิดขึ้นได้ระหว่าง 3 ลักษณะนี้โหมดผันแปร (Various Mode) ซึ่งเกิดจากความแตกต่างผลกระทบที่แตกต่างเหล่านี้เป็นการเอทชิ่ง (Etching Mode) โหมดขัดเงา (Polishing Mode) และโหมด ECM

วิธีการทำชิ้นงานให้ได้รูปร่างตามแม่พิมพ์โดยใช้กรดกัด (Etching) วิธีการนี้พื้นผิวที่ได้จะเป็นแบบขรุขระและไม่ดีนัก อัตราการทำละลายที่ต่ำมาก ซึ่งขั้วอาโนดเป็นเหมือนอีเล็กโตรด อัตราการเกิดปฏิกิริยาอาจจะต่ำกว่าอัตราการแลกเปลี่ยน ไอออนโลหะอาจจะเป็นกลางทางไฟฟ้า และตกตะกอน การแลกเปลี่ยนนี้หรือการทำละลายและการตกตะกอน แนวโน้มที่ทำละลายอัดแน่นน้อย ก่อรูปขึ้นติดกันเป็นอะตอม และตกตะกอนที่อัดแน่นมากขึ้นติดกันบริเวณนั้น ผลก็คืออะตอมโลหะถูกกัดออกไปจากไยที่ติดกันเป็นพิเศษ หรือเม็ดผลึกถูกเปลี่ยนตำแหน่ง ผลที่ได้ทั้งหมดอาจจะ

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ดูดล้ายกรดกัดเป็นลายเส้น นี้อาจจะเกิดขึ้นแม้ว่าสารทำละลายความเข้มข้นของกระแสไฟฟ้าจำนวนมากซึ่งมากกว่ากระแสไฟฟ้าที่แลกเปลี่ยน เป็นการต้องการสำหรับกรดกัดเป็นลายเส้นคือว่าความสามารถการกระตุ้นสำหรับการทำละลายเป็นที่พอเพียงน้อยๆ ดังนั้นความแตกต่างในการกระตุ้นพลังงานของอะตอมที่แตกต่างกันบนผิวของโลหะ ผลที่ได้ในอัตราปฏิกิริยาที่แตกต่างอย่างอย่างมีนัยสำคัญ

วิธีการทำรูปของงานตามแม่พิมพ์โดยใช้กรดกัด (Etching) เป็นแบบทั่วๆ ไปภายใต้ใน ECM มันคือกลไกดูดล้ายถึงอีเล็กโตรไลติก หรือ กรดกัดแบบใช้ไฟฟ้า (Galvanic Corrosion) ได้ใช้ที่การควบคุมกรด (Corrosion) เครื่องยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสนิม อาจจะได้ใช้แน่นอนอย่างเต็มที่ในกรณีนี้ แรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงใน ECM ได้ใช้มากกว่าแบบกรดอีเล็กโตรไลติกความสามารถในการกระตุ้นแบบเอทชิ่ง นี้เป็นแบบต่ำโดยทั่วๆ ไปเพราะว่าการไหลกระแสไฟฟ้าจำนวนน้อยมากของแรงดันไฟฟ้าตกเกิดขึ้นยาวนานเกินในส่วนอีเล็กโตรไลท์ ถ้าบนมืออีกอันหนึ่งแนวโน้มเป็นการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาที่ขัดจังหวะการไหลของกระแสไฟฟ้า ใช้ประโยชน์แรงดันไฟฟ้าอย่างเต็มที่เป็นการเอาไปกัดที่บริเวณผิวโดยกลไกนี้ เครื่องยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสนิม สามารถทำให้สูงขึ้นกรดกัดเป็นบริเวณเส้นโดยอย่างสมบูรณ์ที่เกิดมีเส้นไยติดกัน

วิธีการขัดเงา (Polishing) วิธีนี้ได้ทำให้ผิวเรียบเป็นเงา พื้นที่โลหะที่ส่องแสงโดยการกัดออกไปโดยการกระทำของอีเล็กโตรด เป็นรูปแบบในชั้นบางๆ ของอีเล็กโตรไลท์ที่ครอบคลุมบริเวณผิวของโลหะอย่างช้าๆ โดยกำหนดอัตราเกิดขึ้นในชั้นบริเวณผิวโลหะหลุดออกเป็นรูปร่างบริเวณชั้น ตั้งแต่บริเวณชั้นที่มีการอินเตอร์เฟสกับอีเล็กโตรไลท์ เกิดผลแรงตึงเครียดที่แรงประสานให้เรียบไปตามเส้นแสดงรูปร่างถึงบริเวณชั้นและที่บริเวณผิวโลหะก็เกิดเช่นเดียวกัน

ผู้ใช้บางคนเชื่อว่า ECM ควรจะปฏิบัติภายใต้วิธีการขัดเงา (Polishing) เหตุผลสำหรับสิ่งนี้คือว่าผิวที่ได้ทำการขัดเงาแล้ว ค่าความขรุขระ (Roughness) โดยทั่วๆ ไปเพียง 2-3 ไมโคร นิ้ว (ประมาณ 0.08 μm) บ่อยครั้งที่ทำวิธีการการขัดเงาไม่เหมาะทำซ้ำที่ผิวบ่อยๆ พื้นที่ที่กว้างขนาดใหญ่จะไม่เรียบสม่ำเสมอ ถึงแม้ว่าบริเวณผิวจะเรียบเป็นเงาที่ทุกจุด การไม่เรียบสม่ำเสมอนี้เกิดขึ้นจากขึ้นๆ ลงๆ การไหลของอีเล็กโตรไลท์เกินบริเวณชั้น ถ้าคาโทรดมีหันเหการปล่อยอีเล็กโตรไลท์ขึ้น ๆ ลง ๆ ดังนั้นบริเวณชั้นที่มีไยประสานกันถูกไล่ออกไป โดยความดันอีเล็กโตรไลท์ที่สูงและการไหลเข้าแทนที่นี้ของการประสานกันที่เกิดขึ้นการไม่เรียบบนผิวโลหะ ที่ไม่เรียบนี้สามารถเกิดขึ้นจนกระทั่งเป็นเส้นแพน้ำแข็ง "Floe Lines" 2-3 พันของนิ้ว (ประมาณ 0.08 mm) การพัฒนาในทางลึกดังนั้น มันกลายเป็นความจำเป็นที่มีเครื่องมือเกี่ยวกับกำลังของของเหล็ว (Hydrodynamic) ที่สมบูรณ์อันใกล้ที่ผลิตอย่างราบรื่น แบน การตัดขัดเงา

ข้อเสียในวิธีการขัดเงา (Polishing) คืออัตราการตัด ทำซ้ำบ่อยๆ ได้น้อยมาก มันควรจะเป็นถ้าอัตราการกำหนดบริเวณชั้นไม่ได้ทำที่มีอยู่ ดังนั้นตั้งแต่มันเป็นไปไม่ได้ในอันใกล้นี้ที่ผลิตบริเวณ

61227

ชั้นทุก ๆ ที่ เหล่านี้จะเกิดขึ้นจุดอื่นบนอาโนด หรือตัวงานนั้นถูกกรดกัดมากกว่า และปราศจากการขัดเงา ซึ่งพบบนผนังอีกข้างหนึ่งของการตัดเจาะช่อง

2.2 ระบบเครื่องอีเล็กโตรเคมีคอลขนาดเล็ก (Electrolytic Micro machining System)

2.2.1 รายละเอียดขั้นตอนกระบวนการ ECM

ในกระบวนการเครื่อง ECM เป็นการสามารถควบคุมลักษณะการไหลเวียนของน้ำอีเล็กโตรไลท์ ไปกระทำการแตกตัวและหลุดออกมาของอะตอมที่บริเวณผิวของโลหะ โดยการไหลผ่านผิวโลหะที่ยึดติดกันแน่นและ เกิดการแตกตัวของอะตอมเกิดเป็นไอออน ซึ่งเป็นผลมาจากการใช้การใช้กระแสไฟฟ้าปล่อยเข้าไปผสมกับน้ำอีเล็กโตรไลท์ การควบคุมลักษณะนี้เรียกว่าการชะล้าง (Dissolution) ที่เกิดขึ้นที่ผิวโลหะโดยอาศัยเป็นเครื่องมือที่เป็นตัวนำจากที่มีช่องว่างแคบ ๆ ขนาดเล็กกับการไหลผ่านตัวชิ้นงาน และผลของน้ำอีเล็กโตรไลท์ ที่มีแรงดันขนาดพอเหมาะผ่านช่องว่างแคบ ๆ ขนาดเล็กที่บังคับให้ไหลผ่านไปพร้อมด้วยกับการปล่อยกระแสไฟฟ้า จากการจ่ายด้วยไฟฟ้ากระแสตรง ไปตามการไหลระหว่างผิวโลหะทั้งสองซึ่งมีขั้วไฟฟ้าต่างกัน

แบบกระบวนการทำงานวงจรอีเล็กโตรไลท์ ตัวชิ้นงานจะถูกต่อด้วยไฟฟ้ากระแสตรงด้านขั้วบวก ซึ่งขนาดของแรงดันไฟฟ้าประมาณ 5-18 โวลท์ และส่วนด้านตัวที่เป็นเครื่องมือยึดจับชิ้นงาน จะต่อด้วยไฟฟ้ากระแสตรงด้านขั้วลบ อีเล็กโตรไลท์ซึ่งเป็นสารละลายที่เป็นตัวนำไฟฟ้า ซึ่งจะมีการใช้ปั๊มแรงดันสูงช่วยให้เกิดการไหลเวียนระหว่างตัวชิ้นงานกับอุปกรณ์จับยึด โดยจะมีการขึ้นรูปแบบของลายที่ต้องการกับอุปกรณ์ที่จะเรียกว่าอิเล็กโตรด ให้ตัวชิ้นงานเกิดรูปร่างตาม ในขณะที่มีการใช้งานการไหลของน้ำอีเล็กโตรไลท์ ต้องไหลผ่านช่องแคบๆ ขนาดเล็กมีความจำเป็นจะต้องรักษาแรงดันให้คงที่ไว้ ซึ่งตัวอีเล็กโตรดจะต้องไม่แตะกับตัวชิ้นงาน ผลของการไหลของกระแสทำให้เกิดการหลุดออกมาของอะตอมจากตัวชิ้นงานเพียงอย่างเดียว และผลที่ได้จากการไหลของน้ำอีเล็กโตรไลท์ ทำให้เกิดการชะล้างการหลุดตัวออกไปของผิวโลหะอย่างรวดเร็วจากโลหะที่มีสภาพเป็นกลาง โลหะไฮดรอไซด์จะถูกกรองด้วยตัวฟิลเตอร์ จากการหมุนเวียนน้ำอีเล็กโตรไลท์ที่มีแรงดันสูง

ตัวแปรหลายตัวที่มีอิทธิพลในกระบวนการเครื่อง ECM มีส่วนประกอบดังเช่น ตัวชิ้นงาน และการเป็นรูปทรงทางเรขาคณิตกับอุปกรณ์ พารามิเตอร์ของน้ำอีเล็กโตรไลท์ ในกระบวนการเครื่องมือ และลักษณะเฉพาะของตัวเครื่อง การกระทำต่างๆ ให้มันเกิดสมดุลของพารามิเตอร์เหล่านี้เป็นสิ่งสำคัญที่กำหนดให้การคงสภาพของเครื่องอีเล็กโตรเคมีคอล ซึ่งเกิดจากการรับผิดชอบของผู้ดูแลเครื่องจักรเอง

2.2.2 ค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการ

ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในกระบวนการการทำงานของระบบ ได้เกิดจากการทดลองและพัฒนาบนตัวอย่างของการทำการทดลองบนตัวชิ้นงานต่างๆ ค่าตามรายการที่ได้มาและเลือกสำหรับการวิจัยหาผลสรุปของแต่ละค่าพารามิเตอร์ และค่าเหล่านี้จะถูกตั้งค่าสำหรับการทดสอบในหลายๆ ครั้งซึ่งค่าที่ได้ถือว่าเป็นค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการแนะนำเท่านั้น ซึ่งค่าเหล่านี้สามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยจะดูผลที่ได้ในการทดลองในแต่ละครั้ง

โดยปกติค่าพารามิเตอร์ที่ได้ควบคุมในกระบวนการมีดังนี้

อีเล็กโตรไลท์ (Electrolyte) : มีค่า Conductivity 118+/-5 mS ใช้ Sodium Nitrate ($NaNo_3$)
น้ำหนัก 1 ปอนด์ต่อน้ำ 1 แกลลอน (ให้ใช้ Chillean Industrial Grade)
*Note * 1Kg=2.204 Pound , 1Gallon= 3.78 Lites(US) = 4.55 Liter (British)*

ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) : 1.08@ 65°F

pH : 6.5 – 8.0 (ให้ใช้กรดไนตริคเติมเพื่อปรับสภาพค่ามาทางด้าน pH ต่ำ)

อุณหภูมิ (Temperature) : 50 – 60 °F

อัตราการไหล (Flow) : ขึ้นอยู่กับตัวชิ้นงาน (75 mL/min)

แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power Supply Voltage)
: ขึ้นอยู่กับตัวชิ้นงาน (10 - 12 Vdc)

เวลารอบการทำงาน (Process Time) : ขึ้นอยู่กับตัวชิ้นงาน (2.0 Sec)

เวลาของพัลซ์ (Pulse Time) : ขึ้นอยู่กับตัวชิ้นงาน (18 Up 45 Down, 63 mSec)

2.2.3 รายละเอียดการทำงานเครื่อง ECM

ก่อนอื่นที่จะทำกระบวนการ ECM พารามิเตอร์กระบวนการควรจะตั้งค่าไว้หรือสอบทวนความจริงมีค่าดังนี้แรงดันทางไฟฟ้าและการจำกัดกระแส อุณหภูมิของน้ำอีเล็กโตรไลท์ pH ความนำของกระแสไฟฟ้า (Conductivity) และอัตราการไหลของน้ำอีเล็กโตรไลท์

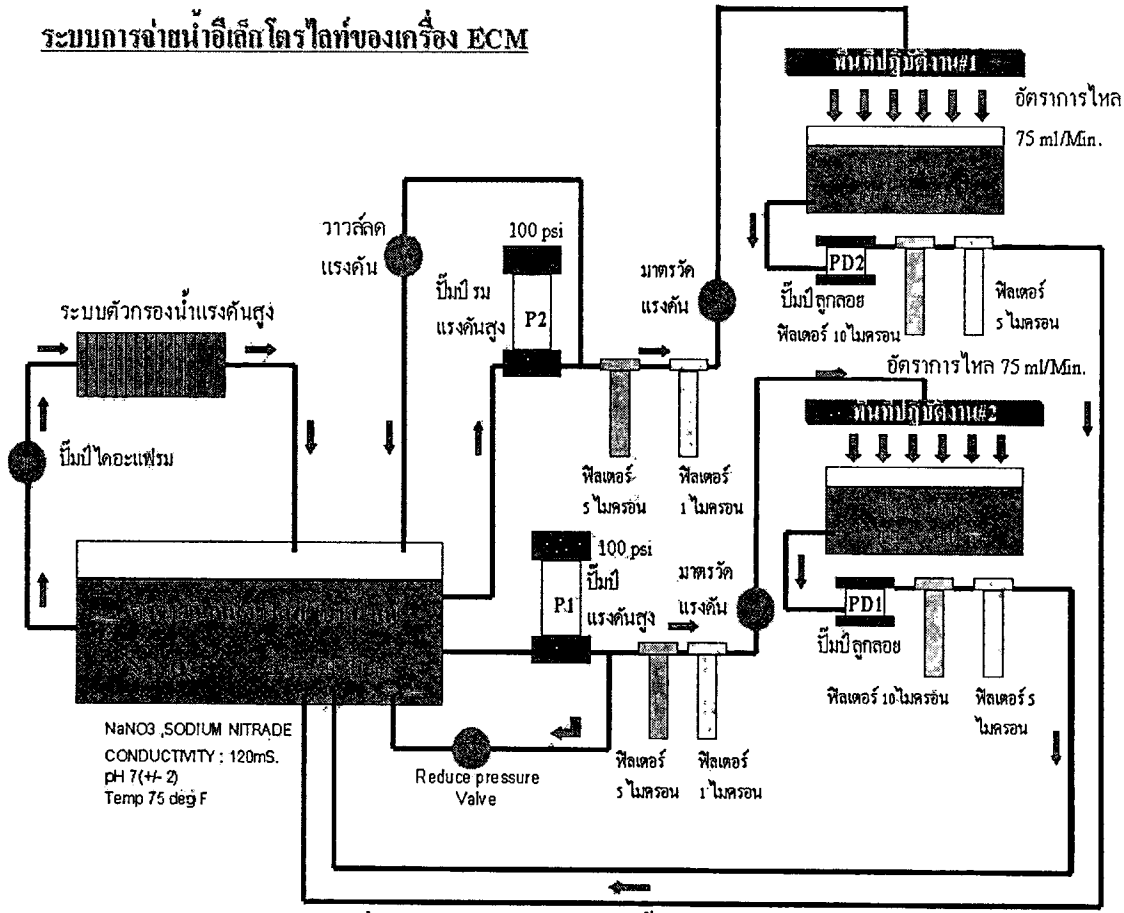
น้ำอีเล็กโตรไลท์จะถูกปั๊มแรงดันสูงดูดอัดไปในการไหลเวียน ระหว่างรอบการทำงานกระบวนการ ก่อนที่จะเริ่มรอบการทำงานจริง ทำการเปิดวาล์วให้ไหลวนผ่านได้ตลอด โดยปรับให้ความดันน้ำอีเล็กโตรไลท์ไหลไปยังตัวกรองฝุ่นขนาด 10, 5 และ 1 ไมครอน ที่มากับน้ำอีเล็กโตรไลท์ และส่งไปยังจุดการทำงานของอุปกรณ์จับยึด ที่มีวาล์วควบคุมเปิด-ปิดแต่ละชุดการทำงานโดยใช้มาตรวัดระดับแรงดันและอัตราการไหลของน้ำอีเล็กโตรไลท์ แสดงให้เห็นดังภาพในภาคผนวก จ. ภาพที่ จ.5 น้ำอีเล็กโตรไลท์ที่ไหลตกลงไปยังถังเก็บที่อยู่กับตัวเครื่องอีกถังหนึ่ง เมื่อเต็มถังก็มีปั๊มดูดส่งไปยังถังจ่ายขนาดใหญ่ซึ่งต้องผ่านตัวกรองอีกครั้งหนึ่ง ค่าพารามิเตอร์ในถังจ่ายขนาดใหญ่ได้ทำการควบคุมอุณหภูมิ ควบคุมค่าความนำทางไฟฟ้า และค่า pH

2.2.4 ชุดจ่ายพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง

สายไฟที่จ่ายไปต้องต่อตรงจากแหล่งจ่ายหลัก ขั้วบวกไปยังชิ้นงาน หรืออาโนดต่อกับชิ้นงาน และจากแหล่งจ่ายขั้วลบ ต่อกับเครื่องมือแม่แบบหรือคาโทรดต้องต่อกับอีเล็กโตรด การปรับแต่งแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ให้ปรับเลือกที่โหมด Chop และปรับพัลส์ทางด้านความสูงไว้ที่ 18 mSec และด้านต่ำไว้ที่ 45 mSec ดังแสดงในภาคผนวก จ. ภาพที่ จ.3 การปรับแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ปลายสาย และเวลารอบการทำงานต้องปรับในขณะที่ปล่อยน้ำอีเล็กโตรไลท์ไปในช่องว่างระหว่างตัวชิ้นงานกับอีเล็กโตรด

2.2.5 การทำงานของระบบตัวกรองแรงดันสูง และตัวกรองกระบอก

หน้าที่ของระบบตัวกรองแรงดันสูง เป็นการแยกเอาโลหะในแบบของโลหะไฮดรอไซด์จากการไหลของน้ำอีเล็กโตรไลท์หลังจากกระบวนการของเครื่องจักร น้ำอีเล็กโตรไลท์ถูกดูดจากถังจ่ายอีเล็กโตรไลท์โดยใช้แรงดันลมขับตัวปั๊มปไดอะแฟรม เกิดการกรองฝุ่นผงโลหะภายใต้แรงดันปั๊มปและน้ำอีเล็กโตรไลท์ที่ผ่านการกรองไหลย้อนกลับไปสู่ถังจ่ายตามเดิม ดังแสดงในภาคผนวก จ. ภาพที่ จ.4



ภาพที่ 2.6 การไหลของระบบน้ำอีเล็กโตรไลท์

2.2.6 องค์ประกอบระบบการทำงานเครื่องอีเล็กโตรเคมีคอล

ระบบการทำงานของทฤษฎีการใช้เครื่องอีเล็กโตรเคมีคอลจะต้องมีองค์ประกอบของเครื่องดังต่อไปนี้

1. ระบบน้ำอีเล็กโตรไลท์ ถังเก็บใต้เครื่องขนาด 70 แกลลอนขึ้นไป และถังเก็บการจ่ายขนาดใหญ่ 200 แกลลอนขึ้นไป

2. ชุดจ่ายแรงดันไฟฟ้า 3 เฟส 380 โวลท์

3. ชุดจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสามารถปรับแรงดันได้ (Continuous 18 volts DC (MAX) / Pulse DC 18 volts (MAX)

4. ปั๊มปั่นน้ำอีเล็กโตรไลท์ขนาด 10 แกลลอนต่อนาที แรงดัน 70 ปอนด์ต่อตารางนิ้วที่อัตราปกติ ควรเลือกปั๊มปั่นที่ทำจากวัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อนของอีเล็กโตรไลท์

5. ระบบทำความเย็นสำหรับน้ำอีเล็กโตรไลท์

6. ระบบการกรองฝุ่นผงโลหะในระบบการเดินท่อส่งชนิดกระบอก

7. ระบบการกรองแรงดันสูง (Filter Press System 1.0 cubic foot)

8. ระบบแรงดันลมทำงานปกติที่ 60 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว แรงดันสูงสุดที่ 80 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

9. ชุดอุปกรณ์การตรวจสอบและวัดค่าพารามิเตอร์ในระบบมีค่า pH – Conductivity - Temperature

10. ระบบการวัดและตรวจสอบความลึกของผิวงาน

2.2.7 ข้อมูลทางด้านเทคนิค ECM

1. อีเล็กโตรดที่เป็นตัวต้นแบบแม่พิมพ์ในการทำร่องที่ชิ้นงานจะต้องต่อที่ขั้วลบเสมอ

2. ตัวชิ้นงานจะต้องมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ซึ่งจะต้องต่อกับทางด้านขั้วบวกเสมอ

3. ถ้าปรากฏการกัดร่อง ไม่ต่อเนื่องบนตัวชิ้นงาน มันก็อาจจะเกิดจากการที่เศษคราบอะไรบางอย่างมาเกาะติดกับลายที่เป็นแบบเกิดคราบสกปรก ซึ่งอาจเกิดจากสาเหตุที่อัตราการไหลของน้ำอีเล็กโตรไลท์ต่ำเกินไป ทำให้เกิดการชะล้างไม่สมบูรณ์ ให้ตรวจสอบความสะอาดของชิ้นงานและอีเล็กโตรด และการปรับตำแหน่งของตัวชิ้นงานกับอุปกรณ์จับยึด การที่ตำแหน่งแนวการวางของตัวชิ้นงานไม่ตรงมีความสัมพันธ์ถึงการเกิดเหตุกับอีเล็กโตรด หรืออาจเสียหายได้ถ้าเกิดการลัดวงจร

4. ถ้าเกิดการลัดวงจรขึ้น แหล่งจ่ายไฟฟ้าจะปิดตังเอง ต้องทำการ Reset แหล่งจ่ายโดยการกดปุ่มบนชุดแหล่งจ่าย ถ้าเกิดการลัดวงจรต้องทำการตรวจสอบดูอีเล็กโตรด และอาจจะต้องมีการเปลี่ยนตัวใหม่

5. อัตราการไหลของน้ำอีเล็กโตรไลท์ ต้องถูกกำหนดอย่างเหมาะสมที่เกิดขึ้นในการทดลอง อัตราการไหลพอเพียงที่ทำการชะล้างกับชิ้นงานนั้น แต่ต้องไม่สูงเกินไปมันเป็นผลของอัตราการไหลเป็นแนวเส้นที่ทำให้เกิดร่องที่พื้นที่ของตัวชิ้นงาน อัตราการไหลของการติดตั้งสามารถที่จะกำหนดโดยการใช้มิเตอร์วัดอัตราการไหล และนาฬิกาจับเวลา ฉะนั้นค่าของอัตราการไหลจะถูกกำหนดมาเองในการทดลองของอุปกรณ์ในแต่ละรุ่น

6. จากการใช้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ผ่านมาจะทำงานได้ดีที่สุดที่ 10 โวลท์ สำหรับ 430SS, SF20T และDHS1 แรงดันไฟฟ้าที่ได้เคยใช้ดีที่สุดที่ค่า 8 โวลท์ สำหรับ 420SS.

7. การปรับตั้งเวลาการจ่ายของกระแสไฟฟ้าของเครื่องที่มีการกัดร่อง นี้เป็นค่าของ รอบเวลาการทำงาน ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ในการปรับให้เกิดการกัดร่องให้มีความลึก

8. Pulse width และช่องว่างการทำงาน จะถูกปรับโดย Pulse Timer บนแผงหน้าของเครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

9. ค่าความนำกระแสไฟฟ้า (Conductivity) จะต้องตั้งค่าที่ 118 milli-Siemens และทำการรักษาระดับไว้ที่ +/- 5 milli-Siemens

2.2.8 อีเล็กโตรด (Electrode)

ความต้องการสำหรับการซ่อมบำรุงหรือต้องเปลี่ยนอีเล็กโตรดตัวใหม่ กำหนดวิธีอย่างง่ายๆ โดยการตรวจสอบที่ตัวชิ้นงานโดยดูจากความลึกของร่อง ถ้าดูเห็นผิดปกติไปจากเดิม อาจจะสรุปได้ว่าอีเล็กโตรดเกิดการเสียหาย หรือต้องทำความสะอาด แล้วยังพบว่าร่อง ที่เกิดขึ้นแล้วทำการวัดค่าต่างๆ ที่ควบคุมหากยังไม่ได้ตามค่าที่กำหนดก็อาจที่จะต้องทำการเปลี่ยนเอาอีเล็กโตรดตัวใหม่มาใช้แทน

การทำความสะอาดอีเล็กโตรดที่ผิวควรต้องทำความสะอาดอย่างระมัดระวัง ควรใช้กับขนแปรงที่อ่อนนุ่ม ล้างด้วยน้ำ DI (Deionize Water) หรือ IPA (Isopropyl Alcohol) ทำการปัดที่ผิวของอีเล็กโตรดโดยไม่ให้ฉนวนเกิดการเสียหาย ตรวจสอบรอบตัวอีเล็กโตรดว่ามีฉนวนหลุดออกไปหรือไม่ หรือมีรอยกระแทกทำให้ฉนวนเกิดการแตกออกหรือไม่ โดยถอดเอาอีเล็กโตรดออกมาตรวจเช็คที่ใต้กล้องไมโครสโคปขยาย 10X

การเปลี่ยนอีเล็กโตรดตัวใหม่ (Electrode Replacement)

1. ถอดและเคลื่อนย้ายอุปกรณ์จับยึดออกมาจากเครื่อง และทำความสะอาดตัวอุปกรณ์จับยึด ก่อนที่จะทำการเปลี่ยนอีเล็กโตรดตัวใหม่ เพราะ อุปกรณ์จับยึดจะมีคราบน้ำเกลือ อีเล็กโตรไลท์ติดอยู่

2. ทำการถอดสายไฟขั้วบวก และขั้วลบออก และสายยางที่เป็นระบบจ่ายน้ำอีเล็กโตรไลท์ถอดสกรูที่ยึดกับตัวอีเล็กโตรดออกและเลื่อนตัวอีเล็กโตรดไปตามร่องที่บังคับไว้ในตัวอุปกรณ์จับยึดอย่างระมัดระวัง

3. เมื่อทำการใส่อีเล็กโตรดตัวใหม่กับ อุปกรณ์จับยึดต้องทำความสะอาดจุดที่เป็นหน้าสัมผัสกับตัวอุปกรณ์จับยึด ต้องระวังไม่ให้มีเศษผงโลหะเข้าไป และให้ใช้สารหล่อลื่นทางบางๆ ก่อนที่จะเลื่อนตัวอีเล็กโตรดเข้าไป

2.2.9 การทำความสะอาดอุปกรณ์จับยึด

การทำความสะอาดโดยทั่วไป

1. ตัวอุปกรณ์จับยึดต้องเก็บรักษาทำความสะอาดให้ปราศจากตัวน้ำเกลืออีเล็กโตรไลท์

2. เมื่ออุปกรณ์จับยึดไม่ได้ใช้งานให้ทำการนำไปแช่ และล้างด้วยน้ำ DI เพื่อทำการเก็บในพื้นที่ที่สะอาด

3. อุปกรณ์จับยึดที่มีการใช้อย่างต่อเนื่อง มันมีความจะเป็นต้องทำความสะอาดในน้ำ DI อย่างน้อยหลังจากเลิกปฏิบัติงานในแต่ละวัน

4. ถ้าไม่เคยมีการทำความสะอาดการแช่ และล้างตัวอุปกรณ์ จะมีคราบเกลือที่อุปกรณ์จับยึดอีเล็กโตรด แกนของลูกสูบ และบริเวณผิงอีเล็กโตรด อาจเกิดความเสียหายได้

2.2.10 การหล่อลื่น (Lubrication-Slide)

ตัวอุปกรณ์จับยึดที่มีแกนลูกสูบ ต้องทำการทาสารหล่อลื่น (1 ครั้งต่อวัน) เพื่อที่ป้องกันการเกิดสนิมจากน้ำเกลืออีเล็กโตรไลท์ ในการใช้สารหล่อลื่นควรใช้ชนิดที่กันน้ำได้เป็น (Industrial Lithium Multi-Purpose Grease) การทาสารหล่อลื่นใช้เพียงเล็กน้อยหล่อลื่นในส่วนที่เป็นลูกสูบสำหรับการเคลื่อนที่

2.2.11 การปรับตั้งตัวอุปกรณ์จับยึด

ต้องใช้ตัว "Master Gage" ที่ทำไว้เป็นตัวปรับตั้ง ทำการปรับแต่งตัว อุปกรณ์จับยึด เพื่อจับตัวชิ้นงาน การปรับแต่งของตัวอุปกรณ์จับยึดจะมีผลโดยตรงกับอีเล็กโตรด เมื่อเวลาทำการกัดร่องโดยดูจากการวัดความลึกของร่อง ในแต่ละด้านของเส้นลายที่เกิดขึ้นของความสมดุลและใช้เครื่องวัดความเรียบของผิวเป็นการวัดควาวมลึก และพิจารณาตำแหน่งแก้ไขการปรับแต่งต่อไป

2.2.12 การเปลี่ยนแทนที่อาโนดและการทำความสะอาด

การต่อเชื่อมอาโนด ที่เป็นแผ่น Plate เอาไว้แตะกับตัวชิ้นงานซึ่งทำจาก โลหะไททาเนียม ควรจะต้องทำความสะอาดเหมือนกับตัวอีเล็กโตรด อย่าใช้กระดาษทรายทำการขัดบนหน้าสัมผัสเพราะอาจจะเกิดการรั่วซึมของน้ำอีเล็กโตรไลท์ได้เมื่อขณะกำลังทำงาน

2.2.13 การเปลี่ยนไส้กรอง Filter Changes

ตัวกรองควรจะถูกเปลี่ยนก็ต่อเมื่อ คราบสิ่งสกปรกที่ติดในตัวกรอง มีคราบดำไปถึงส่วนกลางเป็นแนววงกลมของตัวกรองและดูจากการชี้บอกของเข็มมาตรวัดความดันในระบบท่อแรงดันน้ำอีเล็กโตรไลท์ และดูจากจำนวนการผลิตของสายการผลิต

2.2.14 ส่วนของตัวเครื่องจักร

1. ทำความสะอาด Conductivity Sensor (1 ครั้งต่อสัปดาห์)

2. ทำการปรับค่าสอบเทียบ (Calibration) อุปกรณ์การวัดที่ติดตั้งไว้ในเครื่อง 1 ครั้งต่อ 6 เดือน โดยการใช้ตัววัดเทียบจากเครื่องมือที่ไม่ได้อยู่ในเครื่อง สิ่งที่ต้องทำการ ปรับค่าสอบเทียบคือ 1) Conductivity Meter 2) pH Meter 3) Temperature Meter

3. การเปลี่ยนชุดกรอง เมื่อมีความจำเป็นตามระยะการใช้งานตามเวลารายวัน รายสัปดาห์ และรายเดือน และดูจากแรงดันของมาตรวัดน้ำ

4. การใช้เครื่องกรองแรงดันสูง เพื่อทำการกรองสิ่งสกปรกในน้ำ อีเล็กโตรไลท์ ให้กำหนดเป็นตารางการทำความสะอาดรายสัปดาห์ และรายเดือน

5. ทำการตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอจุดที่จะเป็นข้อต่อลม การกัดกร่อนของน้ำเกลือ อีเล็กโตรไลท์ และจุดต่อของขั้วไฟฟ้าในทั่วๆ ไปเป็นประจำวัน

2.3 การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการบริหาร (Productivity and Management)

นิพนธ์ ศรีสวรรค์ (2541) ได้สรุปแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและบริหารดังนี้ ความมีประสิทธิภาพของผู้บริหารการผลิต หรือความเป็นมืออาชีพของการบริหารธุรกิจอุตสาหกรรม หมายความว่า ผู้บริหารระดับสูงขององค์กร และผู้บริหารระดับปฏิบัติการจะต้องให้ความสำคัญอย่างยิ่งใน 5 เรื่องต่อไปนี้

คุณภาพ (Quality) คุณภาพของสินค้าหรือบริการ จะต้องมีความเป็นเลิศ หรืออย่างน้อยต้องเป็นไปตามที่ลูกค้าต้องการ สินค้าหรือบริการจะต้องสร้างความพึงพอใจแก่ลูกค้าจนสร้างความเชื่อมั่นได้ว่า ลูกค้าจะหันมาเลือกซื้อสินค้าหรือใช้บริการของเราอีกต่อไป

กระบวนการผลิตใด ๆ หรือสิ่งใด ๆ ที่ทำให้เกิด "ของเสีย" หรือของด้อยคุณภาพ เราจะต้องมีวิธีการแก้ไขปรับปรุงอย่างชัดเจน ทั้งนี้เพื่อป้องกันต้นทุนสูญเสียประเภท Cost of Poor Quality

ประสิทธิภาพของการบริหารการผลิตจะสูงขึ้น ถ้ายึดถือหลักการ "การประกันคุณภาพ" (Quality Assurance) แทนวิธี "การควบคุมคุณภาพ" (Quality Control) แบบเดิม ๆ คือแทนที่จะใช้วิธีการตรวจสอบหาจุดบกพร่องหาของเสียในขั้นตอนสุดท้ายหรือเป็นช่วงๆ เราควรสร้างวิธีการที่ทำให้พนักงานทุกคนสามารถผลิตหรือทำงานได้อย่างถูกต้องในตัวเองทุกๆ ขั้นตอน ซึ่งจะเป็นการประกันคุณภาพของสินค้าหรือบริการได้ดีกว่า

ต้นทุน (Cost) ต้นทุนของสินค้าหรือบริการ คือ ปัจจัยที่กำหนดราคาขายและสร้างกำไรให้กับกิจการ และเป็นปัจจัยสำคัญที่เพิ่มความสามารถในการแข่งขันให้กับองค์กรด้วย

ความมีประสิทธิภาพ และความเป็นมืออาชีพ จึงต้องแสดงออกซึ่งความสามารถในการลดต้นทุนการผลิตด้านต่าง ๆ ลงให้ได้มากที่สุด โดยยังคงคุณภาพเท่าเดิมได้ เช่น ต้นทุนค่าวัตถุดิบ แรงงาน พลังงาน โสหุ้ยค่าใช้จ่ายของเสีย เป็นต้น

ต้นทุนการผลิตจึงมักจะเกี่ยวข้องกับการบริหารการผลิตอย่างมีประสิทธิภาพ

การส่งมอบ (Delivery) การส่งมอบสินค้าหรือบริการให้ถึงมือลูกค้า มักจะพูดกันในรูปของความรวดเร็ว ความฉับไว เวลาที่ใช้ หรือการตรงต่อเวลา ส่วนจำนวนความครบถ้วนหรือความถูกต้องของสินค้าจะเป็นเรื่องของคุณภาพ

ในยุคที่มีการแข่งขันกันสูงยิ่งเช่นนี้ ความรวดเร็วในการผลิตสินค้าหรือให้บริการลูกค้า จะเป็นตัวที่ตัดสิน "การแพ้ ชนะ" ด้วย สินค้าที่ผลิตได้อย่างมีคุณภาพและรววเร็วทันความต้องการจะได้เปรียบคู่แข่งที่ช้ากว่า ความล่าช้าในการผลิตยังหมายถึง ต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้นด้วย และอาจทำให้ต้องสูญเสียลูกค้าไป

"ความเป็นมืออาชีพ" จึงต้องสามารถลดรอบเวลาของการผลิตลงให้ได้ ต้องมีการปรับตั้งแต่เครื่องจักรให้เร็วขึ้น มีการซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักรตามกำหนดเวลาอย่างเหมาะสม เป็นต้น

ความปลอดภัย (Safety) ความไม่ปลอดภัยในการทำงาน อาจทำให้เกิดอุบัติเหตุขึ้นได้ เมื่อเกิดอุบัติเหตุ ก็ต้องมีความเสียหายตามมาด้วย

อุบัติเหตุจึงเป็นต้นทุนการผลิตที่สามารถหลีกเลี่ยงได้เมื่อมีความปลอดภัยในบริเวณที่ทำงาน

การสร้างเสริมความปลอดภัยในการทำงาน สามารถกระทำได้โดยการสร้างสภาพแวดล้อมที่ปลอดภัยในโรงงาน (Safe Working Conditions) ให้เกิดขึ้น ควบคู่กับการฝึกอบรมสอนงานให้พนักงานทำงานด้วยวิธีการที่ปลอดภัย (Safe Practice) และมีกิจกรรมสนับสนุนอย่างต่อเนื่อง

หลักการ 3E อันได้แก่ Engineer (การใช้วิทยาการทางวิศวกรรม) Education (การให้การศึกษาอบรม) และ Enforcement (การใช้กฎระเบียบบังคับ) ยังคงมีประสิทธิภาพยิ่งสำหรับป้องกันอุบัติเหตุ อันตราย และการสร้างเสริมความปลอดภัยในบริเวณโรงงาน

"ความมีประสิทธิภาพและความเป็นมืออาชีพ" จึงต้องมุ่งเน้นที่ความสามารถในการป้องกันไม่ให้อุบัติเหตุเกิดขึ้น เป็นการป้องกันไม่ให้เกิดความสูญเสีย ไม่ใช่การเยียวยาแก้ไขเมื่อเกิดอุบัติเหตุแล้ว

การทำตามมาตรฐาน (Standardization) การปฏิบัติงานตามวิธีการที่กำหนดมาตรฐานไว้แล้วเป็นสิ่งที่สำคัญยิ่ง

พนักงานจะต้องยึดถือ "คู่มือการปฏิบัติงาน" ที่มีอยู่เป็นคัมภีร์ของการทำงาน ไม่ควรทำงานตามความคิดเห็นของตัวเอง หรือตามอำเภอใจ

การทำงานตามมาตรฐาน หมายความว่า การผลิตเป็นไปตามเป้าหมาย สินค้า หรือบริการมีคุณภาพ ไม่มีของเสียต้นทุนการผลิตต่ำ การทำงานปลอดภัย (ไม่มีอุบัติเหตุอันตราย) ส่งของได้รวดเร็วทันกำหนดเวลานัดหมาย

"ความเป็นมืออาชีพ" จึงต้องสามารถบริหารจัดการให้พนักงานปฏิบัติงานตามมาตรฐานด้วย เพื่อให้ได้สินค้าหรือบริการมีคุณภาพมาตรฐาน โดยเฉพาะกรณีที่ได้รับใบรับรองมาตรฐาน ISO 9000 แล้ว

"ความเป็นมืออาชีพ" นี้ จะพัฒนาโรงงานให้อยู่ในการแข่งขันระดับโลก หรือ ระดับอินเตอร์ได้

การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการบริหาร

จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับผู้บริหารมืออาชีพในภาวการณ์ปัจจุบัน ซึ่งผู้ประกอบธุรกิจอุตสาหกรรมที่มีวิสัยทัศน์ กว้างไกล อันนับได้ว่าเป็นกระดูกสันหลัง ที่แท้จริงในระบอบเศรษฐกิจของประเทศจะต้องรักษาไว้เป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งขององค์กร เพื่อให้นำองค์กรไปในทิศทางที่ถูกต้องให้สามารถอยู่รอดได้ ภายใต้ภาวะวิกฤตเศรษฐกิจที่ถดถอยเช่นนี้ ผู้บริหารที่มีประสิทธิภาพเท่านั้นจึงจะสามารถนำองค์กรให้ก้าวหน้า ภายในสภาวะแวดล้อมที่มีการแข่งขันที่นับวันจะรุนแรงมากขึ้นทุกที ภายใต้สภาวะด้านการตลาดไร้พรมแดน แต่มีการกีดกันด้านการค้าโดยเครื่องมือทางการค้ารูปแบบใหม่ๆ ที่อาจจะมีผลกระทบต่อสินค้าขององค์กร ทำให้ไม่สามารถแข่งขันในตลาดได้และต้องออกจากตลาดไปในที่สุด

สรุป สินค้าที่ได้จากการบริหารการผลิตที่มีการประกันคุณภาพด้วยระบบบริหารคุณภาพที่ได้มาตรฐานสากล โดยผู้บริหารที่มีประสิทธิภาพ ที่ทำให้ลูกค้าเกิดความพึง จึงจะคงอยู่ได้ในตลาดไร้พรมแดนในอนาคตอันใกล้

ประสิทธิภาพ

เครื่องมือวัดใดๆ ที่จะนำไปใช้ เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับสิ่งที่มีก่อนอยู่แล้ว อาจเป็นเครื่องมือชนิดเดียวกัน แต่ได้ผลที่ดีกว่าที่มีอยู่แล้ว เครื่องมือที่นำไปใช้ก็มีประสิทธิภาพสูงกว่า หรือเรียกว่ามีประสิทธิภาพดีที่สุด เช่น มีเครื่องมือ / ชนิด คือ ก กับ ข เครื่องมือทั้งสองวัดตัวแปรอย่างเดียวกัน และได้ผลออกมาอย่างเดียวกัน แต่เครื่องมือ ก ใช้เวลาในการสร้างน้อยกว่า ใช้ได้สะดวกกว่า และนำไปปฏิบัติได้คล่องแคล่วรวดเร็วกว่า และเครื่องมือ ก ยังใช้ได้ผลดีกว่าเครื่องมือ ข นั่นแสดงให้เห็นว่า เครื่องมือ ก มีประสิทธิภาพดีกว่า

ความหมายประสิทธิภาพการผลิต (Productivity)

ประสิทธิภาพการผลิต หมายถึง ผลผลิตที่ได้ในด้านคุณภาพ และปริมาณ สามารถวัดได้เป็น ชิ้น น้ำหนัก เวลา หรือวัดคุณค่าเป็นจำนวนเงิน การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตได้ให้ความหมายไว้ใน พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน (2525) สามารถทำได้ คือ

1. การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต โดยใช้เทคโนโลยี โดยการเอาประสบการณ์ความรู้ มาปรับปรุงวิธีการทำงาน การปรับปรุงเครื่องมือ อุปกรณ์ เครื่องจักร หรือ สร้างสรรค์วิธีการทำงานและเครื่องมือ อุปกรณ์ เครื่องจักร ที่ช่วยให้เกิดความสะดวก สบาย และเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตได้

2. การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโดยการจัดการ เป็นการจัดทุกด้านในองค์กร ซึ่งจะส่งผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต

3. การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตด้านบุคคล เช่นการฝึกอบรม และพัฒนาบุคคล การจัดหาสวัสดิการแก่พนักงาน การเพิ่มเงินเดือนค่าจ้าง การปรับปรุงสภาพแวดล้อมการทำงานเป็นต้น

ความหมายการเพิ่มผลผลิต

กบิล มโนธรรมกิจ (2543) ได้ให้ความหมายว่า การผลิต คือ การนำจำเป็นต้องใช้ในการผลิตมาป่านกระบวนการผลิต เพื่อให้ได้ผลผลิตตามที่เราต้องการ ผู้ที่ทำการผลิตจะต้องทราบว่าสิ่งที่ป้อนเข้าไปในการผลิตมีอะไรบ้าง อย่างละเท่าใด และจะทำให้เราได้ผลผลิตออกมาอย่างไรและเท่าใด สิ่งที่ป้อนเข้าไปในการผลิตที่สำคัญก็คือ วัตถุดิบและแรงงาน ส่วนสิ่งที่ได้ออกมาก็คือผลผลิตหรือสินค้า

ปริมาณผลผลิตจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อผลผลิตนั้น บางปัจจัยก็เป็นสิ่งที่สามารถควบคุมได้ เช่น พฤติกรรมและความชำนาญงานของพนักงาน วิธีการทำงาน หรือการจูงใจพนักงาน บางปัจจัยก็เป็นสิ่งที่อยู่นอกเหนือการควบคุม เช่น การแข่งขันและกลยุทธ์ทางการตลาดของคู่แข่ง หรือการเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจ เป็นต้น

การเพิ่มผลผลิตก็หมายถึงว่า การพยายามทำให้ได้ผลผลิตเท่าเดิม โดยใช้สิ่งป้อนเข้าไปหรือปัจจัยผลิตให้น้อยลง หรือใช้ปัจจัยผลิตเท่าเดิมแต่ให้ได้ผลผลิตเพิ่มขึ้น หรือให้ผลผลิตและปัจจัยผลิตเพิ่มขึ้น แต่การเพิ่มของปัจจัยผลิตเพิ่มเป็นอัตราส่วนที่ต่ำกว่าการเพิ่มของผลผลิตที่ได้ออกมา

ดังนั้นการเพิ่มผลผลิต (Productivity) จึงหมายถึงผลจากการเปรียบเทียบหรืออัตราส่วนระหว่างผลผลิตกับปัจจัยการผลิต

$$\text{การเพิ่มผลผลิต} = \frac{\text{ผลผลิต (Output)}}{\text{ปัจจัยการผลิต (Input)}}$$

อัตราการเพิ่มผลผลิตจะบอกให้ทราบว่าการทำงานต่างๆ มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลเป็นอย่างไร ถ้าจะดูอัตราการเพิ่มผลผลิตของช่วงเวลาต่างๆ กัน ก็จะทราบได้ว่าประสิทธิภาพของการทำงานนั้นๆ ดีขึ้นหรือแย่ลงอย่างไร ถ้าดูอัตราการเพิ่มผลผลิตของหน่วยงานเปรียบเทียบกับหน่วยงานอื่นๆ ที่คล้ายๆ กันก็จะทราบได้ว่าหน่วยงานนั้นมีประสิทธิภาพดีกว่าหรือแย่กว่าหน่วยงานอื่นๆ อย่างไร

การที่จะทำให้ผลผลิตและปัจจัยการผลิตเปลี่ยนแปลง เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตนั้นให้เพิ่มขึ้น จะต้องวิเคราะห์สาเหตุต่างๆ ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงนั้น และหาวิธีที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงนั้นๆ ขึ้น

เมื่อทราบถึงสาเหตุต่างๆ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงผลผลิตและปัจจัยการผลิตแล้ว จะเห็นว่ามีหลายอย่างที่สามารถปรับปรุงได้แต่การที่จะเลือกทำส่วนไหนนั้นก็ขึ้นอยู่กับ ความวิกฤตความเร่งด่วน หรือความสำคัญของแต่ละส่วน มีวิธีการต่างๆ ที่สามารถจะนำมาใช้ในการเพิ่มผลผลิต การจะใช้วิธีการใดกับปัญหาแบบใด ก็ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของแต่ละสภาพการณ์ แต่อาจจะแบ่งวิธีการปรับปรุงประสิทธิภาพเพื่อเพิ่มผลผลิตได้เป็น 3 ประเภทหลักๆ คือ

1. การปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตโดยใช้เทคโนโลยี
2. การปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตโดยการจัดการ
3. การปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตทางด้านบุคคล

หลังจากปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตด้วยวิธีการต่างๆ แล้ว เพื่อให้สามารถประเมินได้ว่าการปรับปรุงนั้นประสบผลเพียงไร จึงจำเป็นต้องมีการวัดค่าของประสิทธิภาพการผลิตทั้งก่อนและหลังการปรับปรุง

การวัดผลผลิต ในการผลิตต้องใช้ทรัพยากรต่างๆ เช่น วัตถุดิบ เงิน ที่ดิน เวลา คน และพลังงาน เป็นต้น สิ่งที่ใช้ในการผลิตเหล่านี้เรียกว่า ปัจจัยการผลิต และเมื่อผลิตหรือประกอบการแล้วทรัพยากรเหล่านั้นได้ก่อให้เกิดสินค้าออกมาจำนวนหนึ่ง สิ่งที่ทำออกมาได้จากการประกอบการนั้นเรียกว่า ผลผลิต ดังนั้นการวัดผลผลิตก็คือ การวัดสัดส่วนระหว่างผลผลิตได้กับทรัพยากรที่ใช้ไปในการผลิตนั้นๆ

การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต

เล็ก นาเงิน (2537) กล่าวว่า การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตเป็นการปรับปรุงวิธีการทำงานวิธีหนึ่ง ซึ่งเป็นหัวใจในการอยู่รอดและการเจริญเติบโตของธุรกิจและอุตสาหกรรม เพราะการผลิตที่มีประสิทธิภาพสูงจะทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำสามารถแข่งขันกับผู้อื่นได้อย่างดี โดยทั่วไปแล้วประสิทธิภาพการผลิตหมายถึงอัตราส่วนของผลผลิตที่ผลิตได้จริงเทียบกับมาตราฐานที่ควรจะผลิตได้ เขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

$$E = \frac{A}{F} x\, 100$$

เมื่อ E คือ ประสิทธิภาพการผลิต

A คือ จำนวนผลผลิตที่ผลิตได้จริง

F คือ จำนวนผลผลิตที่คาดหวังจะผลิตได้

จำนวนผลผลิตที่ผลิตได้จริงได้แก่ จำนวนสินค้าผลิตภัณฑ์หรือชิ้นส่วนต่างๆ อันเป็นผลผลิตที่ได้จากสายการผลิตหรือขั้นตอนการผลิตที่กำลังสนใจศึกษา เช่น จำนวนผลผลิตตู้เย็น ที่ผลิตจากสายการผลิตหรือจำนวนชิ้นงานที่ผลิตจากเครื่องใดเครื่องหนึ่ง ในช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษา จำนวนผลผลิตที่ควรจะผลิตได้หรือกำลังการผลิตของสายการผลิตอันได้แก่จำนวนสินค้าผลิตภัณฑ์หรือชิ้นส่วนต่างๆ คำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้

$$F = \frac{t_P}{C}$$

เมื่อ t_P คือ เวลาที่มีเพื่อการผลิต (Total Actual Time)

C คือ รอบเวลาการผลิต

เวลาที่มีเพื่อการผลิต หมายถึงเวลาที่มีทั้งหมด หักเวลาพักทั้งหมด ซึ่งเขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

$$t_P = t_t - t_r$$

เมื่อ t_t คือ เวลาที่มีทั้งหมด (Total Working Time)

t_r คือเวลาพักทั้งหมด (Total Rest Time)

เวลาที่มีทั้งหมด หมายถึงเวลาที่กำหนดเพื่อการผลิตทั้งหมด เช่น 8 ชั่งโมงต่อวัน หรือ 480 นาทีต่อวัน

เวลาที่พักทั้งหมด หมายถึง เวลาที่กำหนดไว้ในตารางการผลิต เพื่อให้พนักงานได้เปลี่ยนอิริยา บทในการทำงาน เข้าห้องน้ำ เป็นต้น หรือเวลาที่กำหนดให้เพื่อทำกิจกรรมนอกเหนือการผลิต

รอบเวลาการผลิต หมายถึงระยะเวลาการผลิตจากผลิตภัณฑ์ชิ้นหนึ่ง กับผลิตภัณฑ์ชิ้นต่อไป แต่ถ้าเป็นสายการประกอบ เช่นสายการประกอบตู้เย็นหรือรถยนต์ ที่มีการจัดวางตำแหน่งเครื่องจักรให้ทำอย่างต่อเนื่อง และการผลิตนั้นเป็นการประกอบผลิตภัณฑ์โดยการนำส่วนประกอบที่ผลิตเสร็จแล้วมาประกอบให้เป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป มักจะเรียกสายการผลิตแบบนี้ว่าสายการประกอบ รอบเวลาการผลิตจะหมายถึงระยะห่างระหว่างผลิตภัณฑ์แต่ละชิ้นที่ผลิตได้จากสายการผลิตนี้ เช่นสายการผลิตสามารถผลิตตู้เย็นออกมาได้ ทุกๆ 1 ½ นาที แสดงว่าสายการผลิตนี้มีรอบเวลาการผลิตเท่ากับ 1 ½ นาที หรือ 90 วินาที

ในกระบวนการผลิตมีการพิจารณาการปรับปรุงประสิทธิภาพให้สูงขึ้นได้ 5 วิธีดังนี้

1. อัตราส่วนการเพิ่มขึ้นของผลผลิตมากกว่าการเพิ่มขึ้นของปัจจัยการผลิต
2. การเพิ่มขึ้นของผลผลิตแต่ปัจจัยการผลิตคงที่
3. การเพิ่มขึ้นของผลผลิตและปัจจัยการผลิตลดลง
4. อัตราส่วนการลดลงของผลผลิตน้อยกว่าการลดลงของปัจจัยการผลิต
5. ผลผลิตคงที่ แต่ปัจจัยการผลิตลดลง

สำหรับแนวทางในการปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตสามารถทำได้หลายวิธี เช่น

1. การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโดยใช้เทคโนโลยี คือ การนำเอาประสบการณ์ความรู้ความเข้าใจที่มนุษย์มีอยู่ มาสร้างสรรค์วิธีการและอุปกรณ์เพื่อช่วยให้เกิดความสะดวกสบายและมีประสิทธิภาพ ดังนั้นการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโดยใช้เทคโนโลยี คือการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโดยการปรับปรุงวิธีการทำงาน เครื่องจักร และอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต

2. การเพิ่มประสิทธิภาพ โดยการพัฒนาทางด้านบุคลากร คือ การฝึกอบรมและการพัฒนาบุคคล การปรับปรุงสภาพแวดล้อมการทำงาน การจัดหาวัสดุอุปกรณ์ เครื่องเพื่อความสะดวกในการทำงาน การจัดหาสวัสดิการแก่พนักงาน รวมทั้งการเพิ่มเงินเดือน ค่าจ้าง และสิ่งจูงใจ

3. การเพิ่มประสิทธิภาพโดยการจัดการเป็นการปรับปรุงทางด้านการจดการอันได้แก่ การจัดการทางด้านการผลิต เช่น การวางแผนการผลิต การควบคุมด้านคุณภาพการจัดซื้อ การควบคุมวัสดุคงคลัง เป็นต้น เพราะสิ่งต่างๆ เหล่านี้จะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการผลิต

2.4 การศึกษาการทำงาน การเพิ่มผลผลิตในอุตสาหกรรม

1. การเพิ่มผลผลิตในอุตสาหกรรม

ในการดำเนินการทางธุระกิจใดๆ ก็ตามความสำคัญอยู่ที่สินค้าและการบริการต่างๆ แต่การที่จะทำให้กิจการค้ามั่นคงและเจริญอยู่ได้ตลอดไป นิมิต หาญพิทักษ์พงศ์ (2540) กล่าวว่า จำเป็นต้องดำเนินตามหลัก 3 ประการ คือ

1.1 ต้องมีลูกค้า ถ้ากิจการใดมีลูกค้ามาก และความต้องการสินค้าในตลาดสูง กิจการนั้นจะเจริญและขยายกิจการได้ ดังนั้นเพื่อให้กิจการดำเนินการต่อไปจึงจำเป็นต้อง ผลิตสินค้าที่เป็นที่ต้องการของตลาดในราคาที่ไม่แพง

1.2 ต้องปรับปรุงคุณภาพของสินค้าและบริการให้ดียิ่งขึ้นตามลำดับ โดยการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงกิจการทุกด้าน เช่น การออกแบบผลิตภัณฑ์ กรรมวิธีการผลิต ระเบียบการบริหาร การดำเนินงานในด้านการตลาด ด้านเทคนิคการจัดการ การฝึกอบรมเจ้าหน้าที่ระดับต่างๆ และพนักงาน การที่กิจการต้องประสบปัญหาทำให้ไม่สามารถดำเนินธุรกิจต่อไปได้เพราะการขาดทุน สาเหตุส่วนหนึ่งเกิดจากการที่ไม่มีการปรับปรุงในเรื่องผลิตภัณฑ์ และวิธีการดำเนินงานในด้านการตลาด

1.3 ต้องใช้ทรัพยากรหรือปัจจัยการผลิต อันได้แก่ บุคลากร เครื่องจักร วัสดุ อาคาร ที่ดินและเงินให้เกิดประโยชน์สูงสุด เพราะสิ่งเหล่านี้เป็นส่วนประกอบสำคัญที่ก่อให้เกิดเป็นสินค้าและบริการต่างๆ ขึ้น เป็นส่วนที่จะทำให้กิจการมั่นคงและเจริญก้าวหน้าได้ ดังนั้นธุรกิจอุตสาหกรรมซึ่งมีทรัพยากรอยู่อย่างจำกัด จึงจำเป็นต้องนำหลักวิชาการเพิ่มผลผลิตมาใช้

2. ความหมายของการเพิ่มผลผลิต (Definition of Productivity)

2.1 การเพิ่มผลผลิต มีความหมายกว้างขวางมาก และอาจให้คำจำกัดความหมายอย่างสุดแต่จะนำคำนี้ไปใช้กับเรื่องอะไร ถ้าการผลิต คือ การนำปัจจัยการผลิต เช่น วัตถุดิบ แรงงาน เครื่องจักร มาป้อนสู่ขบวนการผลิต เพื่อให้ได้ผลผลิต ซึ่งคือสินค้า หรือบริการตามที่ต้องการตาม

ปัจจัยการผลิต(INPUT) → ขบวนการผลิต(PROCESS) → ผลผลิต(OUTPUT)

การเพิ่มผลผลิตหาได้จากอัตราส่วนของการผลิตผลต่อปัจจัยการผลิต สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

ผลผลิต (Productivity) = ผลิตผล (Outputs) / ปัจจัยการผลิต (Inputs)

ดังนั้นการเพิ่มผลผลิตทำได้หลายวิธี คือ

1. พยายามเพิ่มผลิตผลโดยที่ปัจจัยการผลิตเท่าเดิม
2. พยายามเพิ่มผลิตผลและปัจจัยการผลิต โดยผลิตผลที่เพิ่มขึ้นมากกว่าปัจจัยการผลิตที่เพิ่มขึ้น
3. พยายามให้ผลิตผลเท่าเดิม โดยใช้ปัจจัยการผลิตน้อยลง
4. ถ้าจำเป็นต้องลดปริมาณการผลิต ให้ปริมาณการผลิตที่ลดลงน้อยกว่าการลดลงของปัจจัยการผลิต

จะพบว่า ในกรณีที่ 1, 2 จะได้ผลิตผลเพิ่มขึ้น ส่วนกรณีที่ 3, 4 ผลิตผลไม่ได้เพิ่มขึ้น แต่เน้นลดปัจจัยการผลิต

2.2 สาเหตุที่ทำให้กิจการต่างๆ ต้องเพิ่มผลผลิต เพราะ

1. มีการแข่งขันเพิ่มขึ้น
2. ปัจจัยการผลิตมีราคาสูงขึ้น
3. ต้องการลดต้นทุนการผลิต
4. ต้องการกำไรเพิ่มขึ้น

2.3 วิธีการเพิ่มผลผลิตทำได้โดยการหาวิธีการทำงานที่ดีกว่ามาใช้ เพื่อที่จะได้ใช้ทรัพยากร หรือปัจจัยการผลิตต่างๆ อันได้แก่ คน เครื่องจักร อุปกรณ์ วัสดุ เงิน และพลังงานให้เกิดประโยชน์มากที่สุด วิธีการเพิ่มผลผลิตมีหลายวิธี อาทิ

1. การนำวิธีการทำงานที่มีประสิทธิภาพดีกว่ามาใช้
2. การจัดรูปแบบของงานที่เกี่ยวข้องกับการผลิต การตลาดและการบริหารให้กระชับ และคล่องตัว
3. การฝึกคนงานและเจ้าหน้าที่ฝ่ายจัดการให้มีความสามารถและชำนาญมากยิ่งขึ้น
4. การใช้วัตถุดิบให้เกิดประโยชน์มากขึ้น โดยการลดการสูญเสียและเศษที่ใช้ไม่ได้ให้น้อยลง โดยการออกแบบผลิตภัณฑ์ให้มีลักษณะที่จะใช้วัตถุดิบได้อย่างประหยัด

5. การปรับปรุงคุณภาพและลักษณะของผลิตภัณฑ์ให้ดีขึ้นเพื่อให้ถูกใจลูกค้า

3. เทคนิคการปรับปรุงงานเพื่อการเพิ่มผลผลิต

ในการดำเนินการผลิตนั้นมักจะเกิดปัญหาต่างๆ มากมายที่ทำให้ประสิทธิภาพของการผลิตไม่เป็นไปตามเป้าหมาย ซึ่งปัญหาที่มักเกิดบ่อยๆ ได้แก่

1. การแบ่งงานไม่เท่ากัน ทำให้เกิดการว่างงานที่หน่วยงานหนึ่ง และอีกหน่วยงานหนึ่งหรือหน่วยงานอื่นๆ เกิดปัญหางานล้นมือ ทำงานไม่ทัน ทำให้ต้องเร่งงานโดยการทำงานล่วงเวลา

2. มีงานหรือการปฏิบัติงานที่ล้าสมัย สิ้นเปลืองเวลา สิ้นเปลืองเวลา สิ้นเปลืองแรงงาน และสิ้นเปลืองเงินทองสิ่งของโดยเปล่าประโยชน์

3. งานไม่เดินไปตามจังหวะ งานคั่งค้าง งานเดินไม่สะดวก งานช้า งานหยุดชะงักไม่เป็นไปตามกำหนดเวลาเท่าที่ควรจะเป็น

4. งานวิธีการปฏิบัติงานที่ยุ่งยาก สลับซับซ้อน ทำให้ผู้ปฏิบัติงานเข้าใจยาก ปฏิบัติถูกๆ ผิดๆ เป็นงานที่น่าเบื่อหน่าย หรือบางครั้งเป็นงานที่เปล่าประโยชน์แต่ก็ยังต้องทำอยู่

5. เครื่องมือเครื่องใช้ไม่มีหรือมีไม่พอ หรือมีแต่ชำรุดหรือล้าสมัย

6. การวางแผนผังของหน่วยผลิตหรือโรงงานไม่ดี ทำให้เกิดการติดขัดในการเคลื่อนย้ายวัสดุ ในขบวนการผลิต

7. การผลิตที่ทำให้เกิดของเสียในขบวนการผลิตมาก

8. การปฏิบัติงานที่ทำให้ผู้ปฏิบัติหรือคนงานเกิดความเหนื่อยล้าเกินไป

3.1 การปรับปรุง ได้แก่ การใช้สามัญสำนึกที่จัดเป็นระบบแล้ว เพื่อค้นหาวิธีทำงานที่ดีกว่า และง่ายกว่า และเพื่อหลีกเลี่ยงการสูญเปล่าทุกประเภท เป็นต้นว่า แรงงาน เวลา เงิน วัสดุสิ่งของ และอุปกรณ์เครื่องมือเครื่องใช้ ทั้งนี้เพื่อให้การดำเนินงานหรือปฏิบัติงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

การปรับปรุงงาน เพื่อให้ได้มาซึ่งงานหรือบริการหรือผลิตผล ทั้งปริมาณและคุณภาพ ตลอดจนวิธีการทำงานที่ดีกว่า และง่ายกว่านั้นมีเป้าหมายหรือจุดมุ่งหมายที่สำคัญดังนี้ คือ

1. การกำจัดหรือลดการต้องใช้วัสดุอย่างฟุ่มเฟือย โดยเปล่าประโยชน์ หรือมีของเสียในขบวนการผลิตมาก

2. เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของพนักงาน โดยการหาวิธีทำงานที่ดีกว่า และขจัดขั้นตอนการทำงานที่ไม่จำเป็นออก

3. ช่วยในการปรับปรุงการวางแผนผังโรงงานให้ดีขึ้น

4. ช่วยในการปรับปรุงสภาพการทำงานในโรงงาน

5. ช่วยในการหาวิธีขนย้ายสิ่งของที่เหมาะสม

6. ช่วยในการใช้เครื่องจักรและอุปกรณ์ให้เต็มที่

7. ช่วยลดความเหนื่อยล้าของพนักงาน

3.2 เทคนิคการปรับปรุงงานเพื่อเพิ่มผลผลิต มีอยู่หลายวิธีด้วยกัน แต่ก่อนที่จะนำเทคนิคอันใดอันหนึ่งมาใช้โดยเฉพาะ มีความจำเป็นต้องทราบวิธีการปฏิบัติงานที่เป็นอยู่ในปัจจุบันเสียก่อนว่า เวลาและแรงงานที่ใช้ไปนั้น ใช้ไปในทางใด จำนวนเท่าไร และใช้อย่างไร สามารถทราบข้อมูลเหล่านี้ได้โดยวิธีการศึกษาการทำงาน

วิธีการศึกษาการทำงานนี้เมื่อได้ดำเนินการไปตามหลักวิชาการแล้วจะแสดงให้ทราบจำนวนงานและเวลาที่เสียไปในการผลิตแต่ละขั้นตอนอย่างชัดเจน งานใดที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากความบกพร่องของการออกแบบผลิตภัณฑ์ หรือเนื่องจากการผลิตที่ไม่มีประสิทธิภาพ ทั้งยังแสดงถึงจำนวนเวลาที่เสียไปโดยไม่เกิดประโยชน์ เนื่องจากความบกพร่องในด้านการจัดการและการปฏิบัติงานของคนงาน

การศึกษางานจึงเป็นเทคนิคของการเพิ่มผลผลิต ช่วยทำให้สามารถปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ได้ดีขึ้น ทำให้ลดสิ่งที่สิ้นเปลือง ลดต้นทุนการผลิต และเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตให้สูงขึ้น

3.3 เทคนิคของฝ่ายจัดการที่จะเพิ่มผลผลิต มีหลายประการด้วยกัน ซึ่งจำแนกได้ดังนี้

1. ผลิตภัณฑ์ออกแบบมาไม่ดี แก้ไขโดยใช้เทคนิคที่เรียกว่าการพัฒนาผลิตภัณฑ์ (Product Development) เพื่อให้ผลิตภัณฑ์เป็นที่ถูกใจของผู้ซื้อ มีคุณภาพที่เหมาะสม ป้องกันมิให้ผู้ซื้อเสื่อมความนิยม

2. ต้องวางแผนการผลิตก่อนลงมือผลิต

3. การควบคุมวัสดุ ต้องคอยระมัดระวังไม่ให้เครื่องจักรและคนงานว่าง เพราะขาดวัสดุป้อนงาน ขณะเดียวกันก็ต้องระวังไม่ให้สต๊อกวัสดุมากเกินไป

4. การดูแลและการรักษาเครื่องจักรให้อยู่ในสภาพที่สามารถให้ใช้งานได้ตลอดเวลาโดยวิธีการป้องกันการชำรุด (Preventive Maintenance)

5. มีวิธีการในการขนถ่ายและเคลื่อนย้ายวัสดุ (Material Handling) ที่เหมาะสม ช่วยลดเวลาและแรงงานในการขนถ่ายวัสดุ

6. เมื่อวิธีการผลิตเปลี่ยนแปลงใหม่ คงงานจำเป็นต้องฝึกฝนวิธีใหม่ให้เกิดความชำนาญ จึงต้องมีการวางแผนการฝึกอบรมคนงานอย่างสม่ำเสมอ

7. โครงสร้างขององกรค์หรือบริษัท และการจัดรูปแบบการผลิตต้องมีการปรับปรุงอยู่เสมอ เพื่อให้การทำงานดำเนินไปโดยไม่มีอุปสรรค

8. การชักชวนให้คนงานช่วยตัดเวลาที่เสียไปโดยไม่ได้รับประโยชน์ การก่อให้เกิดสัมพันธภาพในงานที่ดี การปรับปรุงในหน้าที่ของตน

3.4 หลักทั่วไปในการปรับปรุงงาน โดยวิธีศึกษาการทำงานเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ ไม่ว่าจะเป็นงานประเภทใด หรือลักษณะใดมีหลักใหญ่ๆ ที่ใช้ได้ โดยทั่วๆ ไปอยู่ 4 ประการ คือ

3.4.1 กำจัดขั้นงานบางอย่างที่ไม่จำเป็นหรือไม่มีประโยชน์ออกไป ทั้งนี้เพราะงานหรือการปฏิบัติการที่ไม่จำเป็นย่อมหมายถึง การสูญเปล่าของแรงงาน เวลา วัสดุสิ่งของหรือเงินทอง ค่าใช้จ่ายที่นำมาลงทุนหรือดำเนินกิจการหรือจัดงานนั้นขึ้น การพิจารณาขั้นงานเพื่อการกำจัดออกนั้น จะเริ่มโดยการพิจารณาว่า "จะกำจัดขั้นงานได้ไหม" โดยพิจารณาว่า

- งานขั้นนี้อาจจะไม่มีความสำคัญอีกต่อไปแล้ว
- งานขั้นนี้อาจจะมีขึ้นเพื่อความสะดวกของพนักงานเท่านั้น
- งานขั้นนี้อาจจะตัดออกได้ ถ้ามีการจัดลำดับขั้นงานใหม่
- งานขั้นนี้อาจจะตัดออกได้ ถ้ามีการใช้เครื่องมือที่ดีกว่าเดิม

3.4.2 รวมขั้นงานหลายๆ ส่วนเข้าด้วยกัน ให้เป็นงานขั้นเดียวกัน (Combine) เมื่องานที่ไม่จำเป็นถูกกำจัดตัดทอนออกไปแล้ว และเหลือแต่ส่วนหรือขั้นงานที่จำเป็น หรือไม่สามารถกำจัดตัดตอนออกไปได้ ขั้นต่อไปก็คือ หาทางเอาขั้นงานหรือส่วนของงานที่จำเป็นนั้นมารวมเข้ากันใหม่หรือจัดทำใหม่ เช่นรวมเอางานหรือขั้นงานที่มีการปฏิบัติการที่ใกล้เคียงกันมาให้คนๆ เดียวกัน แทนที่จะมอบให้คนหลายคนทำหรือทำทีละขั้นหรือทีละแห่ง

ในการรวมขั้นงานหรือส่วนของงานเข้าด้วยกันนั้นกระทำได้โดยพิจารณาว่า "จะรวมขั้นงานเข้าด้วยกันได้ไหม" โดย

- การออกแบบสถานที่ทำงาน หรือเครื่องมือใหม่
- การเปลี่ยนลำดับขั้นงาน
- การเปลี่ยนชนิดของวัตถุดิบ และรายละเอียดของชิ้นส่วน
- การเพิ่มทักษะให้แก่พนักงาน

3.4.3 จัดลำดับขั้นของงานใหม่ (Rearrange) หากหลักการตามข้อ 1 และข้อ 2 ไม่ได้ผลก็อาจจะทำการปรับปรุงได้โดยการเปลี่ยนคน เปลี่ยนสถานที่ หรือเปลี่ยนลำดับในการปฏิบัติงาน หรือขั้นตอนการปฏิบัติงานเสียใหม่ให้เหมาะสม เช่น คนนี้ไม่เหมาะกับงานอย่างนี้ก็เอาไปทำงานอื่นที่เขาสนใจและถนัด ส่วนลำดับขั้นในการผลิตหรือการปฏิบัติงานก็เช่นกัน ขั้นไหนก่อนขั้นไหนหลังจะต้องเป็นไปตามขบวนการ ตามเหตุผล ตามสามัญสำนึก ถ้าลำดับขั้นตอนผิดงานจะเดินไม่สะดวกทันที จึงจำเป็นต้องจัดลำดับเสียใหม่ การพิจารณาว่าจะจัดลำดับขั้นงานใหม่ได้ไหม โดยจะพิจารณาว่าเมื่อมีการจัดลำดับแล้วจะทำให้เกิด

- การลดขั้นงานบางขั้นให้สั้นลงหรือง่ายขึ้น
- การลดขั้นงานขนย้ายวัสดุและการเดิน
- การประหยัดพื้นที่ในการทำงานและประหยัดเวลา
- การใช้เครื่องมืออย่างมีประสิทธิภาพขึ้น

3.4.4 ปรับปรุงงานขั้นหนึ่งๆ ให้ง่ายขึ้น (Simplify) ได้แก่การปรับปรุงงานให้มีการปฏิบัติงานที่ง่ายขึ้น และมีประสิทธิภาพสูง เช่น งานที่มีขั้นตอนการปฏิบัติที่ยุ่งยาก

สลับซับซ้อนเข้าใจยาก ก็ต้องหาทางทำให้ง่ายขึ้น หาทางใช้เครื่องมือ เครื่องผ่อนแรงที่ทันสมัยมาใช้เพื่อช่วยในการทำงานมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ในการปรับปรุงขั้นงานนั้นจะพิจารณาว่า จะปรับปรุงขั้นงานได้ไหม โดย

- การวางผังสถานที่ทำงานใหม่
- การใช้เครื่องมือที่ดีขึ้น
- การฝึกพนักงาน การคุมงานอย่างดี และมีการบริการอย่างดี
- การแบ่งขั้นงานให้ย่อยลงถ้าจำเป็น

หลักของการปรับปรุงงานนั้นจะเห็นว่า "การกำจัด" ควรมาก่อน ทั้งนี้ก็เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาว่างานบางขั้นได้เสียเวลาจัดรวม จัดลำดับหรือปรับปรุงไปแล้ว จึงพบว่าไม่จำเป็นต้องทำ ส่วน "การรวม" ควรจะทำถัดมาเพื่อไม่ให้เกิดกรณีที่มีการจัดลำดับขั้นงานก่อน จนโอกาสที่จะรวมขั้นงานหมดไป การ "จัดลำดับ" ควรจะทำภายหลังจากได้มีการกำจัดและยุบงานเข้ารวมกันแล้ว ส่วน "การปรับปรุง" นั้นเป็นเรื่องที่ไม่กระทบกระเทือนขบวนการทำงาน เนื่องจากเกี่ยวข้องเฉพาะงานแต่ละชิ้น จึงควรมาหลังสุด เมื่อแน่ใจว่างานทุกงานจำเป็น เป็นงานที่กระทัดและมีลำดับที่ถูกต้องแล้ว

3.5 ประโยชน์ของการปรับปรุงงานมองในแง่ต่างๆ ได้ดังนี้

3.5.1 การปรับปรุงเป็นผลดีต่อสมาชิกของบริษัทหรือองค์กร คือ

- เพิ่มความมั่นคงในการทำงานมากขึ้น
- ทำให้ค่าจ้างแรงงานของตนเองเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ
- ลดความเหน็ดเหนื่อยจากการใช้แรงงานให้น้อยลง
- ทำให้มาตราฐานการครองชีพสูงขึ้น
- ทำให้สถานที่ทำงานสะดวกสบายขึ้น
- เปิดโอกาสให้สมาชิกพัฒนาความสามารถของตนเองมากขึ้น

3.5.2 การปรับปรุงงานเป็นผลดีของบริษัทหรือองค์กร คือ

- ลดค่าใช้จ่ายในการผลิตหรือบริการแต่ละหน่วยให้น้อยลง
- ทำให้เงินเหลือเพื่อใช้จ่ายทางอื่นมากขึ้น
- ทำให้สามารถลดเวลาของสินค้าลงเพื่อแข่งขันกับคู่แข่งได้
- เพิ่มความมั่นคงทางด้านเศรษฐกิจให้มากขึ้น เพราะมีรายได้หรือกำไรขึ้นเรื่อยๆ
- ทำให้สามารถปรับปรุงคุณภาพของสินค้าหรือบริการดีขึ้น
- ช่วยลดการต้านทานการเปลี่ยนแปลงของสมาชิก
- ทำให้ได้รับความร่วมมือและมีการทำงานเป็นแบบทีมเวิร์คดีขึ้น

3.5.3 การปรับปรุงงานเป็นผลดีต่อสังคมส่วนรวม คือ

- ทำให้สินค้าและบริการมีราคาถูกลง ทุกคนซื้อได้ มีได้ เป็นการยกมาตราฐานการครองชีพให้สูงขึ้น ดีขึ้น สะดวกสบายขึ้น มีความสุขมากขึ้น สนองความต้องการได้มากขึ้น ดำรงชีพประจำวันง่ายขึ้น
- ลดความสูญเปล่าทางด้านแรงงานและวัสดุสิ่งของให้น้อยลง
- ทำให้สัมพันธภาพระหว่างนายจ้างกับลูกจ้างดีขึ้น

2.5 การบำรุงรักษาเชิงทวีผลโดยรวม หรือ Total Productive Maintenance (TPM)

ชิซุโอะ เซนจู (2539) ในปี ค.ศ.1971 JIPE : Japan Institute of Plant Maintenance ได้นิยามความหมายของคำว่า การบำรุงรักษาเชิงทวีผลโดยรวม หรือ Total Productive Maintenance (TPM) ว่า หมายถึงระบบการบำรุงที่ครอบคลุมตลอดช่วงอายุของอุปกรณ์ นับตั้งแต่การวางแผน การผลิต การบำรุงรักษา และอื่นๆ โดยอาศัยความร่วมมือของพนักงานทุกคน ตั้งแต่ฝ่ายบริหารระดับสูงจนถึงพนักงานหน้างาน และการส่งเสริมการบำรุงรักษาเชิงทวีผล โดยผ่านการจัดการแบบสร้างขวัญและกำลังใจ ตลอดจนการดำเนินกิจกรรมกลุ่มย่อยที่จะทำให้ประสิทธิภาพของอุปกรณ์มีค่าสูงสุด

กิจกรรมกลุ่มย่อยคือ หัวใจสำคัญของการส่งเสริมให้เกิดการบำรุงรักษาเชิงทวีผล กิจกรรมกลุ่มย่อยจะสามารถดำเนินการแยกหาสิ่งยากได้ ดังนั้น จึงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญอย่างมากที่จะพิจารณาถึงความเป็นไปได้ว่า เมื่อมีการใช้ระบบอัตโนมัติที่สมบูรณ์แบบในการผลิตแล้ว การดำเนินกิจกรรมกลุ่มย่อยโดยอิสระก็จะเป็นสิ่งที่ล้าสมัยไป

ดังนั้น จึงจำเป็นต้องกำหนดนิยามใหม่ให้อยู่ในรูปที่ง่ายขึ้นกล่าวคือ เป็นการทำให้ความสามารถของโรงงานได้รับการนำมาใช้สูงสุดด้วยการ

1) ลดการหยุดอุปกรณ์ (ทั้งกรณีหยุดสายการผลิต และการหยุดเพื่องานซ่อมแซม)
2) เพิ่มความสามารถของอุปกรณ์ทั้งในแง่ปริมาณ คือผลิตให้เพิ่มขึ้น และแง่คุณภาพ คือ การผลิตผลิตภัณฑ์ที่ลูกค้าพอใจ
3) การปรับปรุงองค์ประกอบด้านความปลอดภัย สุขอนามัย และสิ่งแวดล้อม เพื่อจะทำให้คุณภาพดีขึ้น และมีผลกำไรสูงขึ้น

คำว่า TPM มาจากคำว่า "Preventive Maintenance" (การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน) และมีความหมายหมายถึง กิจกรรมการบำรุงรักษาที่จะมีการป้องกันการหยุดของอุปกรณ์ โดยในเวลาต่อมาได้รับการขยายให้ครอบคลุมถึงการดำเนินการที่จะป้องกันการลดต่ำลงของระดับคุณภาพสินค้า อันเนื่องมาจากการเสื่อมหรือเกิดข้อบกพร่องของอุปกรณ์ โดยความรับผิดชองทั้งหมดนี้ยังคงอยู่ภายใต้ความรับผิดชอบของฝ่ายบำรุงรักษา แต่ในเวลาต่อมา พบว่าการใช้อุปกรณ์ที่ขณะเวลา

ต่างๆ นั้น มักจะเกิดปัญหาที่มิได้คาดการณ์ไว้เสมอ จึงเกิดความตระหนักว่า บุคลากรที่อยู่หน้างานหรือผู้ใช้อุปกรณ์นั้นย่อมจะเป็นผู้มีความรู้ดีที่สุด ซึ่งควรจะเป็นผู้ที่คอยให้คำปรึกษาในการซ่อมแซมและเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์ จึงทำให้เกิดแนวคิดในการปรับแต่งเครื่องจักรอุปกรณ์ที่จะทำให้คุณภาพสูงขึ้น ซึ่งถือเป็นส่วนสำคัญของการควบคุมอุปกรณ์ ในการนี้เองทำให้เกิดการแพร่หลายออกไปอย่างช้าๆ ถึงลักษณะที่ไม่ได้กำหนดไว้แต่แรก นั่นคือลักษณะที่จะก่อให้เกิดอันตรายแก่พนักงานและสร้างมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม จึงทำให้เกิดคำว่า PM ที่มีความหมายว่า "การบำรุงรักษาเชิงทวีผล (Productive Maintenance)" มาแทนที่การบำรุงรักษาเชิงป้องกันในความหมายเดิม

ในขณะที่ PM ยังคงมีความหมายถึงการบำรุงรักษาเชิงป้องกันนั้น ก็ดูเหมือนว่า PM จะมีขอบเขตอยู่ภายใต้ฝ่ายบำรุงรักษา แต่เมื่อนิยามของ PM ได้รับการขยายขอบเขตให้กว้างขึ้น โดยคำนึงถึงผลลัพธ์ที่จะต้องมองไว้แต่เริ่มแรกในลักษณะคาดการณ์ถึงผลล่วงหน้า (Proactive Solutions) ก็คงจะเป็นไปไม่ได้ที่จะให้ฝ่ายบำรุงรักษาดำเนินการโดยลำพังอีกต่อไป จึงมีผลทำให้ฝ่ายบำรุงรักษาต้องทำงานร่วมกับฝ่ายที่มีการใช้อุปกรณ์ซึ่งเกี่ยวข้องกับการผลิต อาทิ ฝ่ายวางแผน ฝ่ายพัฒนาทรัพยากรบุคคล (HRD) ฝ่ายบัญชีตลอดจนฝ่ายอื่นๆ ทั่วทั้งองค์กา ดังนั้น PM จึงเป็นภาระของบุคลากรหลายๆ คนโดยอาศัยผู้ชำนาญการจำนวนหนึ่งที่ไม่มากนักทำงานร่วมกับบุคลากรเกือบจะทุกคนทั่วทั้งองค์กรทำให้เกิดคำว่า "โดยรวม (Total)" ต่อจากคำว่า การบำรุงรักษาเชิงทวีผล และเกิดอักษรย่อว่า "T" หน้าคำว่า "PM" เป็นคำว่า "TPM" ในที่สุด

2.5.1 ขอบเขตและเนื้อหาของ TPM

ในตารางที่ 2.1 ได้แสดงถึงโครงร่างของกิจกรรม TPM และฝ่ายงานที่มีโอกาสมากที่สุดต่อการเข้าร่วมในกิจกรรม โดยในที่นี้มิได้กล่าวถึงฝ่ายจัดซื้อ ฝ่ายวิเคราะห์การลงทุน (บางที่อาจเรียกว่าฝ่ายโครงการ) และฝ่ายพัฒนาทรัพยากรบุคคล การที่จะพิจารณาว่าฝ่ายใดควรหรือไม่ควรเข้าร่วมในกิจกรรมนั้นจะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของแต่ละบริษัทเป็นสำคัญ

2.5.2 การติดตั้งอุปกรณ์ใหม่ ในการสร้างความต่อเนื่องของการนำเครื่องจักรมาใช้แทนคนและการนำเอาระบบอัตโนมัติเข้ามาใช้งานนั้น มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ทางบริษัทจะต้องติดตั้งและใช้อุปกรณ์เพื่อให้เกิดความเหมาะสมที่สุดทั้งคุณภาพ ต้นทุน ความปลอดภัย และประเด็นพิจารณาอื่นๆ ในการดำเนินการนี้ จะต้องเริ่มต้นจากฝ่ายวางแผนในการรวบรวมถึงความเห็นในลักษณะป้อนกลับ และความคิดจากฝ่ายผลิตและฝ่ายบำรุงรักษาวิเคราะห์ และกำหนดให้อยู่ในรูปโครงการโดยคำนึงถึงทั้งปริมาณและคุณภาพ ทั้งนี้จะต้องดำเนินการให้เสร็จสิ้นก่อนการวางแผน หรือการติดตั้งเครื่องจักรอุปกรณ์จะเสร็จสิ้น และผลของโครงการดังกล่าวจะต้องทำให้เกิดความมั่นใจว่าบริษัทจะสามารถผลิตได้ในปริมาณที่ต้องการตามระดับคุณภาพที่ต้องการด้วยต้นทุนการผลิตที่ลดลงกว่าเดิม

ในการพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนของเครื่องจักรอุปกรณ์นี้มิได้หมายความว่าจะต้องเป็นเครื่องจักรที่ดีกว่าและถูกกว่า แต่หมายความว่าเครื่องจักรอุปกรณ์ใหม่ที่สั่งซื้อจะต้องมีราคาไม่

แพงในประเด็นของราคาซื้อ (รวมดอกเบี้ยด้วย) และค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (ค่าดำเนินการผลิต ค่าซ่อมบำรุง ฯลฯ) ตลอดอายุการใช้งานของเครื่องจักรอุปกรณ์นั้น ทั้งนี้เพราะว่าเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่มีราคาถูก (คือ จัดหามาได้ในราคาถูก) มักจะมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานที่สูง จึงมีความจำเป็นต้องพิจารณาค่าใช้จ่ายต่างๆ ตลอดวงจรชีวิตของอุปกรณ์นั้น โดยจะเรียกค่าใช้จ่ายนี้ว่า "ต้นทุนวงจรชีวิต หรือ LCC (Life Cycle Cost)" ซึ่งเป็นแนวทางที่มีการดำเนินการครั้งแรก โดยกองทัพของอเมริกันแล้วต่อมาภายหลังได้เผยแพร่ออกมาสู่ภาคเอกชน

ตารางที่ 2.1 ขอบเขตของกิจกรรม TPM

รายละเอียด	การพิจารณาให้เป็นประเด็นหลัก / รอง		
	ความปลอดภัย	การผลิต	การวางแผน
1. การติดตั้งอุปกรณ์ : กางวางแผน การศึกษาค่าใช้จ่าย การเลือกการติดตั้ง การทดลองเดินเครื่อง ฯลฯ	รอง	รอง	หลัก
2. การใช้อุปกรณ์ในการดำเนินงาน : การปฏิบัติงานที่ถูกต้อง การปรับการไหลของงาน การป้องกันการหยุด กิจกรรม 5ส*	รอง	หลัก	รอง
3. การบำรุงรักษาอุปกรณ์			
3.1 การบำรุงรักษาประจำวัน (Daily Maintenance) : การทำความสะอาด การเติมน้ำมันเชื้อเพลิง การขันให้ติดแน่น การใช้เครื่องอย่างถูกวิธี การตรวจสอบประจำวัน	รอง	หลัก	
3.2 การบำรุงรักษาโดยปกติ (Regular Maintenance) : การตรวจสอบและการบำรุงรักษาในระยะเวลาที่กำหนด	หลัก	รอง	
3.3 การบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ (Predictive Maintenance) : การศึกษาถึงเชิงพฤติกรรมของอุปกรณ์ การตรวจจับความผิดปกติ การวินิจฉัยอาการของอุปกรณ์ (ดำเนินการเท่าที่จำเป็น)	หลัก	รอง	รอง
3.4 การบำรุงรักษาเมื่อเกิดข้อขัดข้อง (Break Down Maintenance) : การตรวจจับและแก้ไขแต่เริ่มแรกและการจัดการกับวิกฤติการณ์ (Crisis Management)	หลัก	หลัก	
3.5 การบำรุงรักษาเชิงแก้ไข (Corrective Maintenance) การปรับปรุงอุปกรณ์ การลดภาระงานลง การเพิ่มความแม่นยำ การเพิ่มความเร็วในการผลิต การทำให้วิธีการใช้ง่ายขึ้น เงื่อนไขการเฝ้าพินิจ และการปรับปรุงวิธีการบำรุงรักษาให้ง่ายขึ้น	หลัก	รอง	หลัก
4. การปรับปรุงอุปกรณ์ที่ดำเนินการภายใต้ผลจากการซ่อมแซมและปรับแต่งในการบำรุงรักษา			หลัก
5. การฝึกอบรมและการเพิ่มทักษะในด้านการบำรุงรักษา	หลัก	หลัก	
6. การเพิ่มความปลอดภัย และสุขอนามัย ตลอดจนการสร้าง	หลัก	หลัก	หลัก

* คำว่า 5 ส เป็นคำที่ใช้แทนการจัดระเบียบในการทำงานที่สามารถตรวจดูรู้ด้วยตาเปล่า ซึ่งมาจากคำว่า สะสาง สะอาด สะดวก สุขลักษณะ และสร้างนิสัย

2.5.3 การใช้อุปกรณ์ในการดำเนินงาน อุปกรณ์จะต้องได้รับการนำไปใช้งานอย่างจริงจัง ตลอดจนมีการบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่า ความสามารถในการผลิตทั้งปริมาณและคุณภาพได้รับการนำไปใช้ประโยชน์อย่างเต็มที่และมีการป้องกันมิให้เกิดข้องบกพร่อง (ทั้งในกรณีการหยุดและเกิดข้อบกพร่องด้านคุณภาพ) ในอดีตที่ผ่านมา เรามักจะเอาใจใส่เป็นพิเศษกับการป้องกันมิให้เกิดการหยุดบ่อยๆ (หมายถึง การเกิดข้อบกพร่องในช่วงสั้นๆ เช่น กรณีชิ้นงานไปขัดในช่องส่งงานสำหรับเครื่องจักร ทำให้การป้อนงานไม่บังเกิดผล) ในกรณีเช่นนี้จะเป็นสามัญสำนึกที่ดีต่อการพิจารณาถึงแผนการของบริษัทจำนวนมาก ที่จะมีการออกแบบให้โรงงานสามารถดำเนินการผลิตได้อย่างอัตโนมัติเพื่อการผลิตตลอดทั้งคืน

2.5.4 การบำรุงรักษาอุปกรณ์ ในการบำรุงรักษาอุปกรณ์นั้น มีวิธีการค่อนข้างมาก แต่ในที่นี้จะขออธิบายตามลำดับที่ได้กล่าวไว้แล้วในตารางที่ 2.1

1. การบำรุงรักษาประจำวัน การบำรุงรักษาประจำวันมีจุดมุ่งหมายที่จะบ่งชี้และป้องกันอาการบกพร่องของอุปกรณ์ และการที่อุปกรณ์จะถูกทำลาย จึงไม่น่าประหลาดใจที่พบว่าใบตรวจสอบและรายการตรวจมาตรฐานจำนวนมากจะกล่าวถึงการทำความสะอาด การเติมน้ำมันเชื้อเพลิง การขันให้ติดแน่น และการตรวจสอบประจำวัน โดยรายการเหล่านี้จะมีประโยชน์อย่างมากต่อการดำเนินกิจกรรม TPM

ตัวอย่าง ในกรณีของใบตรวจสอบการทำความสะอาด อาจจะประกอบด้วยรายการต่อไปนี้ คือ

1. การทำความสะอาดเครื่องจักร
2. การทำความสะอาดผิวหน้าสัมผัสทั้งหมด
3. การหล่อลื่น
4. การทำความสะอาดบริเวณโดยรอบของเครื่องจักร
5. ดำเนินการกับรอยรั่วของน้ำมันเชื้อเพลิง เศษโลหะจากการตะไบ หรือความสูญเสียอื่นๆ
6. จัดทำให้บริเวณที่ปกติจะทำความสะอาดได้ยากให้สามารถทำได้ง่าย
7. จัดทำมาตรฐานของความเป็นระเบียบ และจุดตรวจสอบมาตรฐาน

ในการดำเนินการทำความสะอาด หรือวิธีการบำรุงรักษาอื่นๆ นั้นมักจะมีการกำหนดการดำเนินการในสามขั้นตอนต่อไปนี้

1. การทำความสะอาดเบื้องต้น
2. การดำเนินการกับบริเวณที่ทำความสะอาดได้ยาก
3. การเขียนมาตรฐานของความเป็นระเบียบและใบตรวจสอบมาตรฐาน

ในใบตรวจสอบประจำวันนั้น ควรจะมีการระบุในรายละเอียดอย่างเฉพาะเจาะจง เช่น ใบตรวจสอบระบบไฮดรอลิก ใบตรวจสอบระบบนิวแมติก ใบตรวจสอบการปฏิบัติงาน และใบตรวจสอบระบบไฟฟ้า เป็นต้น นอกจากนี้ยังอาจจะมีใบตรวจสอบที่ใช้กันทั่วๆ ไปและนำมาประยุกต์ใช้ได้เกือบทุกโรงงานที่มีการเปลี่ยนแปลงแก้ไขเพียงเล็กน้อย

การบำรุงรักษาประจำวันนี้ ถือเป็นหัวใจในการบำรุงรักษาที่มอบหมายให้กับบุคคลที่ใช้เครื่องมืออุปกรณ์เป็นผู้ดำเนินงานบำรุงรักษาด้วยตนเอง นอกจากนี้ การบำรุงรักษาประจำวันยังส่งผลให้พนักงานรู้จักวิธีการรักษาให้เครื่องมืออยู่ในสภาพที่ดีสำหรับการใช้งานเสมอ อันมีผลทำให้ฝ่ายบำรุงรักษา และฝ่ายวางแผนสามารถดำเนินการบำรุงรักษาในระดับที่สูงขึ้น คือ การบำรุงรักษาที่มีมาตรการป้องกันปัญหาที่คาดว่าจะเกิดในอนาคต (Proactive Maintenance)

2. การบำรุงรักษาโดยปกติ การบำรุงรักษาโดยปกติเป็นกิจกรรมการบำรุงรักษาที่มีการดำเนินการตามกำหนดการ เพื่อดำเนินการประเมินถึงสถานภาพความเสี่ยงของเครื่องจักรอุปกรณ์ และปรับให้อยู่ในสภาพปกติ ซึ่งถือว่าเป็นลักษณะมุ่งสู่การบำรุงรักษาเชิงป้องกันและการบำรุงรักษาแบบนี้มักจะเป็นสิ่งที่คนทั่วไปนึกถึงเมื่อกล่าวถึงการบำรุงรักษา

3. การบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ การบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์จะครอบคลุมถึงการกำหนดเชิงปริมาณเกี่ยวกับการเสื่อมสภาพของเครื่องจักอุปกรณ์ และการป้องกัน (หรืออย่างน้อยคือการกำหนดมาตรการหยุดยั้ง) ความเสื่อมสภาพนั้น โดยมีความแตกต่างจากการบำรุงรักษาโดยปกติ คือ ในขณะที่การบำรุงรักษาโดยปกติจะทำการบำรุงรักษาตามกำหนดการ แต่การบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์จะทำการบำรุงรักษาตามความจำเป็น และในการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์นี้จะต้องมีการใช้เทคโนโลยีการประเมินผลที่ทันสมัยที่สุดในการวินิจฉัยสภาพอุปกรณ์ในระหว่างการใช้งาน และทำการกำหนดการบำรุงรักษาที่เหมาะสม ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขและสภาพของอุปกรณ์นั้นๆ

มีเทคนิคจำนวนมากสำหรับการวินิจฉัยเงื่อนไขและสภาพของอุปกรณ์ แต่ก็จะขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีชั้นสูงต่างๆ ได้แก่ Thermal – Sensitive Paint, Spectrum Analysis, Ultrasonic Probing, Electrical Resistance, Radiation และ Noise Measuring Devices โดยในกรณีนี้ข้อแนะนำว่า สำหรับบริษัทที่มีผลจากอาการบกพรองของอุปกรณ์ แล้วทำให้เกิดการสูญเสียและเสียค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมเป็นเงินจำนวนมากแล้ว ก็ควรจะดำเนินการบำรุงการรักษาเชิงคาดการณ์นี้ แทนที่จะดำเนินการบำรุงรักษาโดยปกติตามลำพัง

4. การบำรุงรักษาเมื่อเกิดข้อขัดข้อง ในการบำรุงรักษานั้น แม้ว่าจะมีความพยายามดำเนินการป้องกันอาการบกพร่องแล้วก็ตาม ก็อาจจะเกิดปัญหาแบบมิได้คาดการไว้ขึ้นได้เสมอ ในกรณีเช่นนี้ ก็มีความจำเป็นต้องดำเนินการค้นหาอาการบกพร่องโดยเร็วแล้วทำการวินิจฉัยถึงสาเหตุแห่งข้อบกพร่องเพื่อดำเนินการแก้ไขให้อยู่ในสภาพดี พร้อมทั้งกำหนดมาตรการการป้องกันเพื่อมิให้เกิดอาการบกพร่องขึ้นซ้ำอีก โดยการวิเคราะห์ควรใช้ FTA (Fault Tree Analysis) (เทคนิคประการหนึ่งสำหรับการวิเคราะห์สาเหตุแห่งข้อบกพร่องโดยหลักการของตรรกะ แสดงผ่าน

แผนภาพรูปกิ่งไม้ นอกจากนี้อาจจะใช้เทคนิคเชิงป้องกันอีกตัวหนึ่งคือ FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ประเมินถึงแนวโน้มข้อบกพร่อง ผลกระทบ และแนวโน้มของสาเหตุเพื่อกำหนดมาตรการป้องกันแต่เริ่มแรก) และ PM Analysis นอกจากนี้แล้วก็ควรมีการจัดทำใบตรวจสอบ และวิธีการดำเนินงานมาตรฐาน (SOP – Standard Operating Procedure) สำหรับอุปกรณ์หลักๆ บนพื้นฐานของคุณลักษณะทางเทคนิคที่เฉพาะต่างๆ และก็สามารถทำให้การซ่อมบำรุงเป็นไปอย่างมีระบบด้วยการใช้เทคนิคการวางแผนต่างๆ เข้ามาช่วยในการวางแผนการซ่อมบำรุง อาทิ PERT (Program Evaluation and Review Technique) (ในชุดเครื่องมือเพื่อการวางแผน 7 ประการ หรือ New 7 QC Tools เรียกว่า เทคนิคแผนภาพลูกศร) ตลอดจนเทคนิคการวิจัยวิธีการทำงานอื่นๆ

5. **การบำรุงรักษาเชิงแก้ไข** ในการดำเนินการใช้อุปกรณ์ที่ใช้งานไปนานๆ แล้วสามารถทำงานเหมือนอุปกรณ์ใหม่ๆได้นั้น บริษัทส่วนใหญ่ของญี่ปุ่นมักดำเนินการเพื่อเพิ่มสมรรถนะของอุปกรณ์ในความดูแล โดยแนวทางในการบำรุงรักษาเชิงแก้ไขนี้ประกอบด้วยการปรับปรุงการบำรุงรักษา และการทุ่มเทความพยายามในการกำจัดปัญหาที่แหล่งกำเนิดปัญหา การบำรุงรักษาเชิงแก้ไขมีจุดมุ่งหมายในการเพิ่มความน่าเชื่อถือ (Reliability) การปรับปรุงการบำรุงรักษา ตลอดจนการเพิ่มขีดความสามารถด้านคุณภาพของอุปกรณ์ โดยเป้าเหล่านี้จะต้องอาศัยความสนใจอย่างจริงจังต่อความเห็นของพนักงานที่เป็นผู้ใช้อุปกรณ์นั้นๆ ในลักษณะของข้อคิดเห็นประจำวัน ควบคู่ไปกับความร่วมมือกันอย่างจริงจังของฝ่ายบำรุงรักษาและฝ่ายผลิต

2.5.5 การปรับปรุงอุปกรณ์ ในการปรับปรุงอุปกรณ์นั้นจะต้องอาศัยองค์ประกอบสำคัญคืออาการบกพร่องของอุปกรณ์ ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี การเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ตลอดจนองค์ประกอบอื่นๆ โดยการออกแบบอุปกรณ์ใหม่ๆ นั้นจะต้องอาศัยประสบการณ์จากฝ่ายบำรุงรักษาและฝ่ายผลิต ตลอดจนเทคโนโลยีที่เคยใช้อยู่เดิมมาประกอบกับเทคโนโลยีที่ทันสมัยและประสบการณ์ต่างๆ

ในอดีตที่ผ่านมา บริษัทส่วนใหญ่มักจะใช้อุปกรณ์โดยพิจารณาจากประเด็นที่สามารถรองรับต่อการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์แล้วจะมีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด ตัวอย่างเช่น มีการนำอุปกรณ์ที่ล้าสมัยมาใช้ร่วมกับอุปกรณ์พิเศษ แต่เมื่อไม่นานมานี้ได้มีการนำเอาแนวความคิดของ LCC มาใช้เพื่อพิจารณาถึงแนวทางที่ทำให้ค่าใช้จ่ายโดยรวมมีค่าต่ำที่สุด ทั้งนี้ด้วยการพิจารณาจากทางเลือกต่างๆ ตามที่ได้วางแผนไว้ แล้วพิจารณาเลือกทางเลือก โดยอาศัยการตัดสินใจว่าทางเลือกใดมีความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์มากที่สุด โดยคำนึงถึงต้นทุนตลอดจนวงจรชีวิตของอุปกรณ์นั้น

2.5.6 การฝึกอบรมและการเพิ่มทักษะในด้านการบำรุงรักษา ในการฝึกอบรมจะต้องมีการจัดทำกำหนดการฝึกอบรมโดยละเอียด สำหรับการฝึกอบรมบุคลากรด้านการบำรุงรักษา โดยกำหนดการเหล่านี้จะมีการเปลี่ยนแปลงไปบ้างเล็กน้อยตามความต้องการของแต่ละบริษัท อย่างไรก็

ตาม หลักสูตรพื้นฐานโดยทั่วไปแล้วควรจะประกอบด้วยหลักสูตร 5 หลักสูตรที่ใช้เวลาในการสอนหลักสูตร ละ 3 วัน และเป็นหลักสูตรที่มีการสอนที่หน้างาน นอกจากนี้แล้วก็อาจจะมีความแตกต่างกันออกไปบ้างตามจุดเน้นของแต่ละบริษัท

โดยทั่วไปหลักสูตรการบำรุงรักษานี้จะจัดให้สำหรับพนักงานระดับปฏิบัติการ และมีหลักสูตรพิเศษและหลักสูตรชั้นสูงที่จัดให้กับวิศวกรบำรุงรักษา โดยหลักสูตรทั้งหมดเหล่านี้จะไม่เน้นเทคนิคด้านสถิติ

2.5.7 การใช้อุปกรณ์ป้องกันความผิดพลาด (Poka-Yoka หรือ Mistake Proof)

ความผิดพลาด ความเผอเรอของพนักงานในการทำงานนำไปสู่ การเกิดของเสีย เช่น ประกอบชิ้นส่วนผิด ลืมประกอบบางชิ้นส่วน ทำงานข้ามขั้นตอนทำงานไม่ครบขั้นตอน ใส่ชิ้นงานเข้าไปในเครื่องจักรผิดทิศทาง ตั้งเครื่องผิด เพื่อป้องกันไม่ให้ความผิดพลาดเกิดขึ้น จึงควรมีการพัฒนาระบบป้องกันความผิดพลาด (Poka-Yoka หรือ Mistake Proof) จากการทำงานของพนักงานเพื่อไม่ให้ผลิตของเสียขึ้น ซึ่งมีรูปแบบของระบบจะมี 2 แบบด้วยกันคือ

1. แบบควบคุม เป็นระบบที่จะทำให้เครื่องจักรหยุด หรือพนักงานไม่สามารถทำงานต่อไป ถ้าเกิดความผิดพลาดในการทำงาน เช่น ใส่ชิ้นส่วนเข้าเครื่องจักรเจาะรู โดยมีการสลับซ้าย ขวาของชิ้นส่วน จะไม่สามารถใส่ชิ้นส่วนเข้าไปได้ หรือใส่ได้จะไม่สามารถเจาะได้

2. แบบสัญญาณเตือน เป็นระบบที่จะมีสัญญาณเสียง หรือแสง เพื่อเตือนว่ามีความผิดปกติในการทำงาน เช่นเครื่องจักรมีสภาพผิดปกติในเรื่องความร้อน จะมีสัญญาณเตือนเพื่อไม่ให้พนักงานทำงานต่อเพื่อตรวจและบำรุงรักษาเครื่องจักร

2.5.8 การลดต้นทุนภายในองค์การ

การลดต้นทุนภายในองค์การโดยมองจากภาพรวมทั้งหมด เป็นหน้าที่ของผู้บริหารระดับสูงในการกำหนดเป้าหมายเรื่องที่ต้องการลดต้นทุน เช่น ลดต้นทุนการผลิตลง 10% ลดต้นทุนวัสดุลง 5% ลดต้นทุนพลังงานลง 20% ซึ่งการกำหนดเป้าหมายเหล่านี้จะต้องเป็นเป้าหมายที่มีความเป็นไปได้ และตรงกับความสูญเสียที่เกิดขึ้นอย่างแท้จริงโดยมีข้อมูลสนับสนุน ซึ่งข้อมูลเหล่านี้สามารถได้มาจากข้อมูลทางด้านบัญชี ข้อมูลการผลิต ข้อมูลของเสีย ข้อมูลอัตราประสิทธิผลของเครื่องจักร รวมไปถึงข้อมูลของคู่แข่งในเรื่องราคา คุณภาพด้วย นอกจากนี้ยังได้จากการที่ผู้บริหารเดินดูสายการผลิตด้วยตนเอง เพื่อให้เห็นสภาพความสูญเสียที่เกิดขึ้นแท้จริง และเห็นแนวทางในการลดความสูญเสียเหล่านั้น

หลังจากได้เป้าหมายแล้ว ก็ต้องถ่ายทอดนโยบายและเป้าหมายลงไปในแต่ละระดับ โดยให้พนักงานทุกระดับได้ตระหนักถึงความสำคัญของการลดต้นทุน เพื่อความอยู่รอดของพนักงานและองค์การ ซึ่งการลดต้นทุนในองค์การนั้นสามารถทำได้ 2 แนวทางร่วมกันได้ คือ

1. การลดต้นทุนด้วยการมีส่วนร่วมของทุกคน ซึ่งสามารถทำได้ด้วย การดำเนินกิจการการปรับปรุงที่ทุกคนมีส่วนร่วม เช่น กิจกรรม 5ส กิจกรรมกลุ่มย่อย กิจกรรมข้อเสนอแนะ ฯลฯ โดยมีเป้าหมายอยู่ที่การลดความสูญเสียเพื่อลดต้นทุน

2. การตั้งคณะทำงานเพื่อการลดต้นทุน ซึ่งคณะทำงานจะนำเป้าหมายและนโยบายของผู้บริหารมาทำการวิเคราะห์รายละเอียดถึงกำไรที่ลดลงความสูญเสียในรูปแบบต่างๆ จากนั้นจะจัดลำดับเรื่องที่ต้องลดต้นทุน และแผนกงานต่างๆ ที่ต้องเกี่ยวข้องกับการลดต้นทุนในเรื่องนั้นๆ นอกจากนี้ ถ้าเรื่องใดต้องใช้ความชำนาญพิเศษหรือเรื่องทางเทคนิค อาจมีการจัดตั้งคณะทำงานย่อยลงมาเพื่อดำเนินการเรื่องนั้นโดยเฉพาะ เช่น การสรรหาวัตถุดิบที่ถูกกว่า การวางผังการทำงานที่ได้ประสิทธิภาพมากขึ้น ฯลฯ

จากทั้ง 2 แนวทางจะได้แผนงานของการลดต้นทุนตามเป้าหมายหรือเกิดประโยชน์ต่อความอยู่รอดของหน่วยงาน ผู้บริหารควรมีการแบ่งสรรประโยชน์ที่เกิดขึ้นกับพนักงานในรูปแบบต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นรูปของตัวเงินหรือไม่เป็นตัวเงิน เพื่อคุณภาพชีวิตในการทำงานที่ดีขึ้น ซึ่งขึ้นอยู่กับสถานการณ์ขององค์การนั้น

2.6 การปรับปรุงเพื่อลดความสูญเสีย

อนิวัต ปาณะลักษณ์ (2546) สรุปไว้ว่า จุดประสงค์เพื่อทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในเครื่องจักร กระบวนการผลิต และโรงงาน โดยการกำจัดการสูญเสียให้หมดสิ้น และปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงาน โดยคำนึงถึง

1. การปรับปรุงเพื่อลดการสูญเสียต้องทำเป็นระบบ
2. การปรับปรุงเพื่อลดการสูญเสีย ต้องไม่กระทบต่อกิจกรรมกลุ่มย่อยที่ทำอยู่
3. การปรับปรุงเพื่อลดการสูญเสียจะเน้นที่ ประสิทธิภาพการผลิต

2.6.1 เป้าหมายคือ "ศูนย์" (Zero-Oriented) ลักษณะที่สำคัญของ TPM คือ มีเป้าหมายเป็น "ศูนย์" เพื่อผลักดันให้ทีมงาน ต้องลดการสูญเสียทุกประเภทให้เป็นศูนย์ กุญแจที่จะทำให้การสูญเสียเป็นศูนย์ คือ การกำหนด และสร้างภาพ "Optimal" ให้เกิดแก่เครื่องจักร โดยการบำรุงรักษาด้วยตนเอง การจะทำให้สำเร็จจะต้องให้ความสำคัญในเรื่องต่อไปนี้

1. ตรวจจับ ค้นหา และกำจัดข้อบกพร่องเล็กน้อยให้หมดไป
2. การสร้างและรักษาสภาพเครื่องจักรขั้นพื้นฐาน คือ ทำความสะอาด หล่อลื่น ขันแน่น แล้วกำหนดและสร้างภาพที่ดีที่สุดหรือสมบูรณ์แบบที่สุด (Ideal)
3. แก้ไขจุดบกพร่องที่กำหนดออกไป ไม่ว่าจะเป็นเรื่องใหญ่ก็ตาม

2.6.2 การทำให้เครื่องจักรไม่ให้ซับซ้อน (Simplify Equipment)

เพื่อไม่ให้เกิดการสูญเสียผลผลิต เนื่องจากการขัดข้องและปัญหาอื่นในโรงงานประเภทกระบวนการ จึงเพิ่มต้นทุนด้วยการมีอุปกรณ์สำรองอื่นๆ บ่อยครั้งที่เครื่องจักรไม่ได้ถูกใช้งานเป็นปี การวางแผนป้องกันการบำรุงรักษาที่ไม่เพียงพอก่อให้เกิดปัญหาการมีเครื่องจักร ซับซ้อน และต้นทุนการผลิตสูงโดยไม่จำเป็น

การพัฒนาเครื่องจักรไม่ให้ซับซ้อน จะช่วยกำจัดการสูญเสียและผลลัพธ์ที่จะได้ดังต่อไปนี้

1. จำนวนเครื่องจักรน้อย เวลาในการตรวจเช็คและหล่อลื่นย่อมน้อยลง
2. จำนวนเครื่องจักรน้อย ลดจำนวนแรงงาน ชั่วโมงต่อคน และต้นทุนต่ำ
3. กำลังไฟและไอน้ำที่ใช้ การใช้พลังงานต่อหน่วยต่ำลง
4. ลดจำนวนท่อและแผนผังเครื่องจักรที่ซับซ้อน ก่อให้เกิดการผิดพลาดในการเดินเครื่องจักรน้อยลง

2.6.3 ยกระดับเทคโนโลยีทางวิศวกรรม

การปรับปรุงเพื่อลดการสูญเสียในโรงงานประเภทกระบวนการ ต้องใช้ความรู้ทางวิศวกรรมสูง ในการปรับปรุงเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์และจำเป็นต้องยกระดับมาตรฐานทางวิศวกรรมเคมี เทอร์โมไดนามิค ไฮโดรไดนามิค โลหะวิทยา วัสดุศาสตร์ วิศวกรรมเครื่องมือวัด วิศวกรรมควบคุม เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม และอื่นๆ ซึ่งเหล่านี้ไม่สามารถเกิดขึ้นได้ในระยะเวลาอันสั้น แผนงานปรับปรุงเพื่อลดการสูญเสียจะช่วยยกระดับโดยการค้นหาช่องว่างที่ไปสู่ความรู้ที่แท้จริง

ผลผลิต เป็นการวัดว่าจะใช้แนวทางใดที่จะทำให้การผลิตผลิตภัณฑ์สามารถบรรลุจุดประสงค์ได้จริง ซึ่งแนวทางหมายถึง ปัจจัยที่จำเป็นต่อการผลิต อาทิเช่น วัสดุ เครื่องจักร วิธีการ พลังงาน ที่ดิน และอาคาร เป็นต้น ปัจจัยเหล่านี้คือ Input ส่วน Output คือผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ อัตราส่วนระหว่างค่าทั้งสองคือผลผลิต

การเพิ่มผลผลิตนั้น สามารถทำได้สองแนวทางคือเพิ่ม Output ที่เป็นตัวพิเศษและการลด Input ที่เป็นตัวส่วน

ผลผลผิต (Productivity) = [จุดประสงค์ / แนวทาง] = [Output / Input]

2.6.4 แนวทางการเพิ่ม ผลผลิต

1. แนวทางการเพิ่ม Output

1.1 เพิ่มประสิทธิภาพของเครื่อง คือการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องจักรหรือการเพิ่มผลผลิตต่อหนึ่งหน่วยเวลาโดยการกำจัด เช่นการชำรุดเสียหายของเครื่องจักร

1.2 เพิ่มประสิทธิภาพของคน คือพยายามลดจำนวนคนลง โดยทำให้คนสามารถรับผิดชอบเครื่องจักรได้หลายๆ เครื่องในเวลาเดียวกัน

1.3 เพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการ คือพยายามเพิ่มความถูกต้องแม่นยำในการวางแผนเช่น การวางแผนการผลิตและพยายามลดต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับ Logistic และลดการขาดแคลนวัสดุ

2. แนวทางการลด Input

2.1 เพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ คือทำให้ของเสียหมดไป และเพิ่มประสิทธิภาพโดยการลดของซ่อม

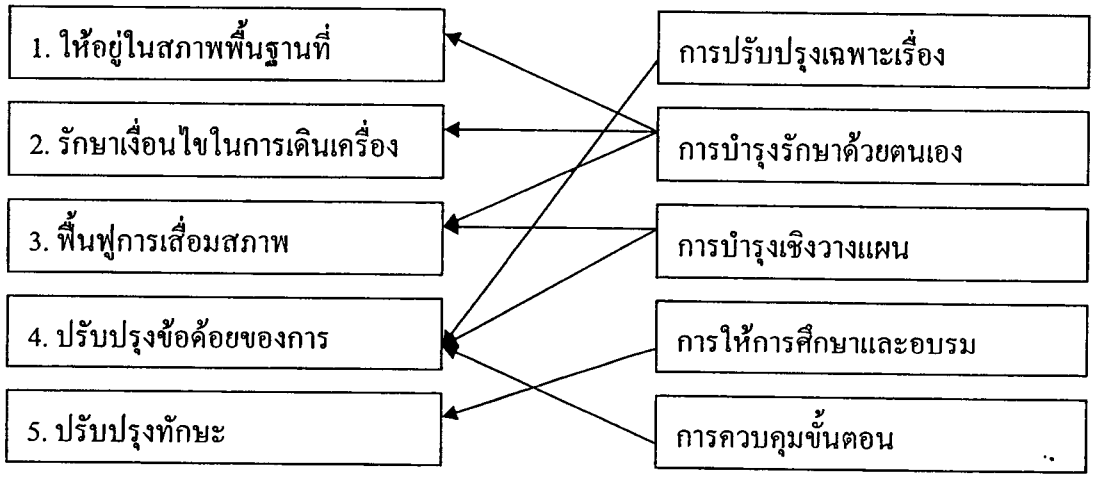
2.2 ทำให้ไม่ต้องใช้คน คือถ้าสามารถทำให้เดินเครื่องจักรได้โดยปราศจากคนแล้ว แน่นอนทีเดียวว่าจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้

การเพิ่มผลผลิตนั้นสามารถทำได้โดยการเพิ่ม Output หรือลด Input ซึ่ง TPM เป็นกิจกรรมที่ถือว่าปัจจัยที่ขัดขวางการเพิ่มผลผลิตเป็นความสูญเสีย และพยายามขจัดความสูญเสียเหล่านั้นให้เป็นศูนย์ สิ่งที่ Input เข้าไปจะสามารถคำนวณเป็นต้นทุนได้ทั้งหมด ถ้า Output มีมากและสามารถลด Input ได้แล้วก็สามารถทำให้ลดต้นทุนได้

2.6.5 แนวคิดของประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร

ผลผลิตสามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่าง Input และ Output เราจะรียกผลผลิตนี้ว่าประสิทธิภาพสำหรับ TPM เราจะสามารถคำนวณหาค่าประสิทธิภาพนี้ได้โดยผลคูณระหว่างค่าสัดส่วนของเครื่องจักรที่ทำงาน สัดส่วนของสมรรถนะการทำงานของเครื่องจักร และสัดส่วนของดี

5 มาตรฐานสู่การที่เหตุขัดข้องเป็นศูนย์และ 5 เสาหลักของ TPM



2.6.6 นิยามเหตุขัดข้อง

เหตุขัดข้อง หมายถึง สภาวะที่เครื่องจักรสูญเสียความสามารถในการเดินเครื่องจักรหรือสูญเสียความสามารถในการทำงานของชิ้นส่วนหรืออุปกรณ์ เหตุขัดข้องแบ่งออกเป็น 2 ประเภท

1. เหตุขัดข้องแบบหยุดฉับพลัน คือ เหตุขัดข้องที่เกิดจากเครื่องจักร/อุปกรณ์หยุดทำงานโดยสิ้นเชิงเป็นการเสียหายที่ร้ายแรง เหตุขัดข้องประเภทนี้เป็นเหตุขัดข้องแบบฉุกเฉิน ซึ่งจะเกิดขึ้นเป็นครั้งคราว

2. เหตุขัดข้องเนื่องจากการเสื่อมสภาพ คือ เหตุขัดข้องที่เกิดจากชิ้นส่วนของเครื่องจักรอุปกรณ์เกิดการเสื่อมสภาพการใช้งานตามอายุและการใช้งานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ เหตุขัดข้องที่เกิดจากการหยุดเล็กๆ น้อยๆ ตัวอย่างของเหตุขัดข้องประเภทนี้ ได้แก่ หลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้งานมานานจะมีแสงสว่างลดน้อยและมีการกระพริบเกิดขึ้น

2.6.7 แนวคิดขั้นตอนของการบรรลุ "เหตุขัดข้องเป็นศูนย์"

โดยเหตุขัดข้องของเครื่องจักร/อุปกรณ์มีต้นเหตุจากการกระทำของคนที่ทำให้เกิดขึ้น ส่วนแนวคิดเดิมๆ ที่ว่าเครื่องจักร/อุปกรณ์จะต้องมีเหตุขัดข้องเป็นปกติ ดังนั้นเพื่อให้การบรรลุถึง "เหตุขัดข้องเป็นศูนย์" จะต้องเปลี่ยนแนวความคิดหรือทัศนคติของพนักงานเสียใหม่ว่าเขาสามารถลดเหตุขัดข้องของเครื่องจักร/อุปกรณ์ให้เป็นศูนย์ได้ และสามารถป้องกันการเกิดความเสียหายตลอดช่วงอายุการใช้งานของเครื่องจักร

2.6.8 หลักการขั้นต้นในการลดเหตุขัดข้องให้เป็นศูนย์

1. คนทำให้เครื่องจักร/อุปกรณ์ เกิดความเสียหาย

2. เครื่องจักร/อุปกรณ์สามารถทำให้เหตุขัดข้องเป็นศูนย์ได้ โดยเปลี่ยนความคิดและการทำงานของตน

3. ตามปกติแล้วเครื่องจักร/อุปกรณ์ทั้งหมดสามารถเกิดความเสียหายได้ ดังนั้นควรเปลี่ยนแนวคิดว่า

"เครื่องจักร/อุปกรณ์ไม่ควรเกิดความเสียหาย"

"ความเสียหายลดเป็นศูนย์"

โดยทั่วไป คนเราจะมีระดับของ "คลอเลสตอรัล" แฝงอยู่ในเส้นเลือดในปริมาณที่สูงเราก็ไม่สามารถบอกได้ว่าเราเป็นโรคหัวใจ จนกว่าจะมีอาการแสดงออกมา ในทำนองเดียวกันถ้ามี "คลอเลสตอรัล" แฝงอยู่ในระบบ และเป็นสาเหตุให้เครื่องจักร/อุปกรณ์เสียในที่สุด เราเรียกสาเหตุลักษณะนี้ว่า "เหตุขัดข้องที่ซ่อนเร้น"

หลักขั้นต้นในการลดเหตุขัดข้องเป็นศูนย์นั้นก็คือ การตรวจจับ "เหตุขัดข้องที่ซ่อนเร้น" นี้ให้ได้ก่อนที่จะมีการแสดงออกมา เพื่อหาทางป้องกันต่อไป ซึ่งเหตุขัดข้องที่ซ่อนเร้นในเครื่องจักร/

อุปกรณ์นั้นได้แค่ เศษผง ความสกปรก การแตกร้าว อุณหภูมิที่ผิดปกติ การสั่นสะเทือนและเสียที่ผิดปกติ เป็นต้น

2.6.9 ห้าประการเพื่อลดเหตุขัดข้องเป็นศูนย์ เหตุขัดข้องของเครื่องจักร/อุปกรณ์ สามารถลดได้ด้วย 5 ประการ ดังนี้

1. ให้อยู่ในสภาพพื้นฐานที่เหมาะสม

การทำความสะอาด การหล่อลื่น และการขันแน่น เป็นวิธีที่ทำให้เครื่องจักร/อุปกรณ์ อยู่ในสภาพพื้นฐานที่เหมาะสม เหตุขัดข้องจะเสียหายบ่อยๆ จากเหตุการณ์เสื่อมสภาพ (เครื่องจักร/อุปกรณ์มักจะเสื่อมสภาพก่อนที่จะมีการบำรุงรักษา) และต้นเหตุของการเสื่อมสภาพที่เกิดขึ้นเกิดจากการขาดการดูแลเครื่องจักร/อุปกรณ์ขั้นพื้นฐาน 3 ประการ

2. รักษาเงื่อนไขในการเดินเครื่อง

เครื่องจักร/อุปกรณ์ในแต่ละเครื่องจะได้รับการออกแบบเงื่อนไขในการใช้งานมาแล้ว แต่ในการปฏิบัติอาจมีการทำงานของเครื่องจักร/อุปกรณ์ที่ไม่ถูกต้องตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้จึงเกิดเหตุขัดข้องขึ้น โดยทั่วไป จะต้องรักษาเงื่อนไขในการเดินเครื่องดูแลเกี่ยวกับกระแสไฟฟ้า แรงเคลื่อนไฟฟ้า การเคลื่อนที่หมุน การติดตั้ง และอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป ซึ่งเงื่อนไขต่างๆ นั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องจักร/อุปกรณ์เป็นสำคัญ

3. การฟื้นฟูการเสื่อมสภาพ

บางครั้งเครื่องจักร/อุปกรณ์อาจเกิดการเสื่อมสภาพก่อนเวลาอันสมควร จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะป้องกันการเสื่อมสภาพและฟื้นฟูเหตุขัดข้องให้กลับสู่สภาพเดิมก่อนที่เครื่องจักร/อุปกรณ์เกิดความเสียหายขึ้น วิธีการตรวจเช็ค การทดสอบ และการบำรุงรักษาเชิงป้องกันจะสามารถฟื้นฟูให้กลับสู่สภาพเดิมได้ตามเงื่อนไขในการออกแบบไว้

4. การปรับปรุงจุดด้อยของการออกแบบ

เครื่องจักร/อุปกรณ์อาจมีข้อบกพร่องในการออกแบบ การผลิตหรือการติดตั้งที่ไม่เหมาะสมในด้านเทคโนโลยีหรือทักษะการปฏิบัติงาน ดังนั้นควรมีการปรับปรุงจุดอ่อนของเครื่องจักร/อุปกรณ์ โดยการวิเคราะห์สาเหตุที่เกิดขึ้น

5. ปรับปรุงทักษะ

จากมาตรการที่ 1-4 เป็นสิ่งที่ทำให้เกิดขึ้นด้วยคน และถ้าผลลัพธ์ไม่เป็นไปตาม ความต้องการ แสดงว่าคนผู้นั้นไม่มีทักษะเพียงพอในการปฏิบัติงาน จะส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อการเดินเครื่องจักร หรือการซ่อมแซม

เหตุขัดข้องต่างๆ ไม่สามารถหลีกเลี่ยงการเกิดขึ้นได้ ถ้าพนักงานเดินเครื่องจักรและพนักงานซ่อมบำรุงขาดความรู้และทักษะที่จำเป็นต่อการปฏิบัติงาน

2.6.10 การนำการปรับปรุงเฉพาะเรื่องมาลงมือปฏิบัติได้อย่างไร

1. ทัศนคติที่มีต่อเหตุขัดข้อง

"ผมเดินเครื่อง" "คุณซ่อมเครื่อง"

2. การมุ่งที่ปริมาณการผลิตที่สูงขึ้นจึงทำให้มี

"ความสนใจในตัวเครื่องจักร อุปกรณ์ และการดูแลรักษาน้อยลง"

3. ทำไมบุคลากรในโรงงานอุตสาหกรรม ให้ความดูแลในการรักษาเครื่องจักรน้อย เพราะว่า

3.1 มีเวลาในการทำงานที่จำกัด-มีเวลาสั้น

3.2 มีข้อจำกัดในการเข้าไปสัมผัสเครื่องจักร อุปกรณ์ จากเหตุด้านความปลอดภัย

3.3 มีข้อจำกัดในด้านกฎของสหภาพแรงงาน

3.4 ไม่มีข้อปฏิบัติที่ระบุชัดเจนไว้ในวิธีปฏิบัติงาน

3.5 นโยบายการบริหารผิดพลาด

2.6.11 การปรับปรุงเพื่อลดการสูญเสีย แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

1) สนับสนุนการบำรุงรักษาด้วยตนเอง (Autonomous Maintenance Back-up) คือ การปรับปรุงที่นำเอาหลักการปรับปรุงเพื่อลดการสูญเสียมาดำเนินการช่วยเหลือ การบำรุงรักษาด้วยตนเอง ให้เกิดการคล่องตัวในการปฏิบัติงาน อันจะนำไปสู่ประสิทธิภาพในการทำงาน เช่น การจำกัดแหล่งกำเนิดสิ่งผิดปกติ ให้มีการควบคุมเครื่องจักรได้ง่ายขึ้น บำรุงรักษาได้ง่ายขึ้นเป็นต้น

2) การลดการสูญเสีย เพื่อก่อให้เกิดผลกำไร (Profit Seeking) โดยการกำจัดการสูญเสีย 16 ประเภท

"ความสูญเสียหลัก 7 ประการที่เป็นอุปสรรคต่อประสิทธิภาพของเครื่องจักร"

1. ความสูญเสียเนื่องจากการชำรุดเสียหาย (Breakdown Loss)

เป็นความสูญเสียเนื่องจากการชำรุดเสียหายที่เกิดขึ้นในลักษณะฉับพลันหรือเรื้อรัง รวมถึงความสูญเสียในเรื่องเวลาและวัสดุ ถ้าไม่มีการกำหนดนิยามของการชำรุดเสียหายอย่างชัดเจนแล้ว ก็จะทำให้ไม่ทราบว่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นเป็นความชำรุดเสียหายเนื่องจากการชำรุดเสียหาย หรือเป็นการสูญเสียเนื่องจากการหยุดชะงักงันของเครื่องจักร การชำรุดเสียหาย หมายถึงสิ่งต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. ฟังก์ชั่นการทำงานของเครื่องจักรหยุดทำงานหรือลดต่ำลง
2. การเปลี่ยนอะไหล่หรือซ่อมแซมเพื่อให้ฟังก์ชั่นการทำงานกลับสู่สภาพปกติ
3. สิ่งที่ต้องใช้เวลาในการซ่อมแซมมากกว่า 5 นาที

2. ความสูญเสียเนื่องจากเตรียมและการปรับแต่ง

หมายถึงความสูญเสียด้านเวลาที่ต้องใช้ในการเปลี่ยนกระบวนการเพื่อผลิตภัณฑ์ตัวต่อไป หลังจากที่เสร็จสิ้นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตอยู่ และเวลาที่ต้องใช้ในการปรับแต่งจนกว่าจะได้ผลิตภัณฑ์ที่ดีและสมบูรณ์ การปรับแต่งรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การกระทำเพื่อค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดหรือค่าที่เหมาะสมที่สุดที่มุ่งสู่จุดประสงค์บางอย่าง

2. การบรรลุจุดประสงค์โดยการลองผิดลองถูก การปรับแต่งเป็นสาเหตุของการเกิดของเสียในลักษณะซ่อนเร้น ดังนั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องแยกแยะให้ชัดเจนเป็นการปรับแต่งที่หลีกเลี่ยงได้ หรือหลีกเลี่ยงไม่ได้

3. ความสูญเสียเนื่องจากใบมีด

เป็นความสูญเสียของเวลาที่ต้องใช้ในการเปลี่ยนใบมีดตามระยะเวลารวมถึงเวลาที่ต้องใช้ในการเปลี่ยนเนื่องจากการหัก นอกจากนี้รวมถึงการสูญเสียของวัสดุที่เกิดขึ้นในช่วงการเปลี่ยน ตัวอย่างเช่นเวลาที่ต้องใช้ในการเปลี่ยน Chip หรือหินเจีย และเวลาที่ใช้ในการตรวจวัดผลิตภัณฑ์หลังจากการเปลี่ยน เป็นต้น

4. ความสูญเสียในช่วงการเริ่มผลิต

ความสูญเสียในช่วงเริ่มผลิต หมายถึงสูญเสียที่เกิดขึ้นในช่วงดังกล่าวต่อไปนี้

1. ช่วง Start Up หลังจากที่ซ่อมแซมตามระยะเวลา
2. ช่วง Start Up หลังจากที่เครื่องจักรหยุดเป็นระยะเวลานานๆ หรือเนื่องจากวันหยุด
3. ช่วง Start Up หลังจากหยุดพักกลางวัน

ในกรณี ไม่ใช่ปัญหาที่เกิดขึ้นที่ตัวเครื่องจักร แต่เป็นความสูญเสียของเวลาที่ต้องใช้จนกว่าจะสามารถได้ของดีออกมา แม้ว่าคุณภาพจะมีเสถียรภาพก็ตาม รวมถึงความสูญเสียวัสดุที่เกิดขึ้นในช่วงเวลานั้น

5. ความสูญเสียเนื่องจากการหยุดชะงักงันของเครื่องจักรและการเดินเครื่องเปล่า

ความสูญเสียเนื่องจากการหยุดชะงักงัน จะแตกต่างกับความสูญเสียเนื่องจากการชำรุดเสียหาย ความสูญเสียเนื่องจากการหยุดชะงักงัน และการเดินเครื่องเปล่า จะอยู่ในสภาวะดังกล่าวต่อไปนี้

1. สิ่งที่รวมถึงการหยุดชั่วคราวของฟังก์ชันการทำงานของเครื่องจักร
2. สิ่งที่ทำให้ฟังก์ชั่นการทำงานกลับสู่สภาพเดิมโดยการแก้ไขอย่างง่ายๆ เช่น การ Reset
3. สิ่งที่ไม่รวมถึงการเปลี่ยนอะไหล่หรือการซ่อมแซม
4. สิ่งที่ทำให้ฟังก์ชั่นการทำงานกลับสู่สภาพเดิมภายใน 5 นาที

สิ่งที่ต้องใช้เวลาเกินกว่า 5 นาที ในการทำให้ฟังก์ชั่นการทำงานของเครื่องจักรกลับสู่สภาพเดิมจะถือว่าเป็นการสูญเสียเนื่องจากการชำรุดเสียหาย เนื่องจากสามารถทำให้ฟังก์ชั่นการทำงานกลับสู่สภาพเดิมได้โดยง่าย จึงเป็นสิ่งที่มองข้ามได้ง่าย แต่สำหรับการเดินเครื่องจักรโดยปราศจากคนนั้น การปรับปรุงให้สมบูรณ์เป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้เลยทีเดียว

6. ความสูญเสียเนื่องจากความเร็ว

เป็นความสูญเสียที่เกิดขึ้นเนื่องจากเครื่องจักรทำงานด้วยความเร็วที่ช้ากว่าความเร็วที่กำหนด สิ่งต่างๆ ที่จะได้กล่าวต่อไปนี้คือความสูญเสียเนื่องจากความเร็ว

1. ความสูญเสียเนื่องจากความแตกต่างระหว่างความเร็วที่ใช้จริงกับความเร็วมาตรฐาน
2. ความเร็วสูญเสียในกรณีที่ความเร็วมาตรฐานต่ำกว่าเกณฑ์ความเร็วของเทคโนโลยีปัจจุบันหรือสภาพที่ควรจะเป็น

ความเร็วมาตรฐาน เป็นความเร็วที่ถูกกำหนดในขณะที่ออกแบบเครื่องจักรนั้น สาเหตุของการเกิดความสูญเสียจากการลดต่ำลงของความเร็ว อันเนื่องมาจากปัญหาที่ตัวของเครื่องจักรเช่น ในกรณีปัญหาด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ถ้าเดินเครื่องจักรด้วยความเร็วมาตรฐานหรือ Part Feeder ไม่สามารถป้อนงานได้ เป็นต้น จึงทำให้ต้องเดินเครื่องจักรด้วยความเร็วต่ำกว่าความเร็วมาตรฐาน

7. ความสูญเสียเนื่องจากของเสียและของซ่อม

เป็นความสูญเสียทางด้านวัสดุที่ต้องทิ้งของเสียนั้น และความสูญเสียของเวลาที่ต้องใช้ในการซ่อมแซมของเสียให้เป็นของดี หรือผลิตซ้ำใหม่ วิธีแก้ไขคือการไม่ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพที่ผิดปกติ

"ความสูญเสียที่ขัดขวางเวลาในการทำงานของเครื่องจักร"

8. ความสูญเสีย (Shutdown Loss)

ความสูญเสีย (Shutdown Loss) ประกอบด้วยความสูญเสียของเวลาที่ให้เครื่องจักรหยุดทำงานตามแผนที่ได้กำหนดไว้เพื่อการบำรุงรักษา และความสูญเสียของวัสดุที่เกิดขึ้นหลังจากที่การบำรุงรักษาเครื่องจักรเสร็จจนกระทั่งเครื่องจักรเดินได้ตามปกติ การ Shutdown เป็นการหยุดที่หลีกเลี่ยงไม่ได้เพื่อคุณลักษณะกล่าวคือ หยุดเครื่องจักรเพื่อรักษาสภาพความไว้วางใจ ทางด้านความปลอดภัยและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ แม้จะบอกว่ามีความจำเป็นที่จะหยุดเครื่องจักรแล้วก็ตาม แต่ก็ไม่ว่าจะไม่สามารถปรับปรุงได้ ความสูญเสีย มีปัญหาต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. การปฏิบัติงานที่ถูกการดำเนินการโดยมีการขยายเวลาที่ใช้ในอดีต
2. ไม่มีเวลาชัดเจนในการวางแผนการปฏิบัติเพื่อลดเวลา
3. ไม่มีเหตุผลในเชิงทฤษฎีสนับสนุนการกำหนดรอบเวลาของการบำรุงรักษา
4. ไม่มีการปรับปรุงเพื่อยืดรอบเวลาของการบำรุงรักษา

5. ไม่มีการปรับปรุงเพื่อลดเวลาในการปฏิบัติงาน

งานที่ทำโดยมีการยึดเวลาในอดีต มักจะเป็นงานที่ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องทำอาทิเช่น การเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ยังใช้งานได้ การปฏิบัติงานที่ไม่มีการปรับปรุงวีการทำงานและไม่มีมาตรฐานการปฏิบัติงาน แม้ว่างานนั้นจะเป็นงานการบำรุงรักษาที่จำเป็นและขาดไม่ได้ก็ตาม แต่ก็ขอให้ตระหนักอยู่เสมอว่า สามารถปรับปรุงได้เช่นกัน

"ความสูญเสียหลัก 5 ประการที่เป็นอุปสรรคต่อประสิทธิภาพของคน"

ความสูญเสียที่เป็นอุปสรรคต่อประสิทธิภาพของคนนั้นอาจถูกเรียกว่า ความสูญเสียของคน-เวลา ความสูญเสียของคน-เวลานั้น ทั้งหมดเป็นความสูญเสียของเวลา ซึ่งมีทั้งความสูญเสียที่มีสาเหตุมาจากการเคลื่อนไหวของพนักงาน วิธีการปฏิบัติงาน และความไม่เหมาะสมของ Layout ของวัสดุ เป็นต้น

9. ความสูญเสียเนื่องจากการบริหารจัดการ

ความสูญเสียเนื่องจากการบริหารจัดการเป็นความสูญเสียของการรอคอยที่เกิดขึ้นเนื่องจากการบริหารจัดการ เช่น รอคอยวัสดุ รอคอยคำสั่ง และรอคอยจนกว่าการชำรุดเสียหายของเครื่องจักรจะถูกซ่อมแซมเสร็จ

10. ความสูญเสียเนื่องจากการเคลื่อนไหว

ความสูญเสียเนื่องจากการเคลื่อนไหวประกอบด้วยความสูญเสียที่มีสาเหตุเนื่องมาจากการละเมิดกฎเกณฑ์ของเศรษฐศาสตร์สำหรับการเคลื่อนไหว หรือความสูญเสียเนื่องจากความชำนาญที่ไม่ดีพอ รวมถึงความสูญเสียที่มีสาเหตุเนื่องมาจากการ Layout ที่ไม่ดีพอ

11. ความสูญเสียเนื่องจากการจัดวาง

เป็นความสูญเสียในสายการปฏิบัติงานเช่น ความสูญเสียเนื่องจากความสมดุลของสายการผลิต และความสูญเสียเนื่องจากการเกิดคอขวดในโรงงานที่มีหลายกระบวนการหรือมีเครื่องจักรหลายเครื่อง

12. ความสูญเสียเนื่องจากการสูญเสียโอกาสในการเปลี่ยนเป็นระบบอัตโนมัติ

เป็นความสูญเสียของคนซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากการที่ไม่ทำให้เครื่องจักรทำงานแบบอัตโนมัติทั้งๆ ที่สามารถทำให้เป็นการทำงานแบบอัตโนมัติได้ เครื่องที่สามารถทำให้ระบบอัตโนมัติได้ง่าย เช่น เครื่อง Loading-Unloading เป็นต้น แต่ไม่ใช่ว่าเครื่องจักรทุกเครื่องถ้าทำให้เป็นระบบอัตโนมัติแล้วจะดีเสมอไป นอกจากนี้ความสูญเสียของวัสดุในกรณีที่ไม่ขนย้ายด้วยสายพานก็ถือได้ว่าเป็นความสูญเสียในกลุ่มนี้เช่นกัน

13. ความสูญเสียเนื่องจากการวัดและการปรับแต่ง

ความสูญเสียเนื่องจากการวัดและการปรับแต่ง เป็นความสูญเสียที่มีสาเหตุมาจกเวลาที่ต้องใช้ในการวัดและปรับแต่งเพื่อป้องกันการเกิดของเสียหรือป้องกันไม่ให้ของเสียหลุดลอดออกไป

"ความสูญเสียหลัก 3 ประการที่เป็นอุปสรรคต่อประสิทธิภาพของการใช้ วัสดุและพลังงาน"

14. ความสูญเสียเนื่องจาก Yield (Yield Loss)

Yield หมายถึง อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ต่อน้ำหนักของวัสดุ หรืออัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ต่อน้ำหนักโดยรวมของวัสดุที่ป้อน ดังนั้น ความสูญเสียเนื่องจาก Yield จะมี 2 ชนิด ด้วยกันคือ ความแตกต่างระหว่างน้ำหนักของวัสดุกับน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ และความแตกต่างระหว่างน้ำหนักโดยรวมของวัสดุที่ป้อน กับน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างของกรณีแรก เช่น ความสูญเสียของวัสดุเนื่องจากการทำให้เนื้อโลหะหนาขึ้นเพื่อป้องกันการเกิดรอยตำหนิในการหล่อของโลหะหล่อ ส่วนตัวอย่างของกรณีหลัง เช่น การเกิดครีบ หรือน้ำหนักที่ปากทางเข้าโลหะหลอมเหลว เป็นต้น

15. ความสูญเสียเนื่องจากพลังงาน

ความสูญเสียเนื่องจากพลังงานเป็นความสูญเสียที่เกี่ยวข้องกับ Utilities เช่น พลังงานไฟฟ้า เชื้อเพลิง ไอน้ำ อากาศ และน้ำ เป็นต้น

16. ความสูญเสียเนื่องจากแม่พิมพ์และ JIG

เป็นความสูญเสียของค่าใช้จ่ายที่ต้องใช้ในการสร้างและซ่อมแซมแม่พิมพ์หรือ JIG เพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ ถ้าจำนวนครั้งของการซ่อมแซมมากขึ้น ความสูญเสียก็จะเกิดมากขึ้นเช่นกัน

2.7 ระบบการควบคุมคุณภาพ

1. นิยามและหลักการพื้นฐาน กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2538) ได้กล่าวถึง "สินค้าที่มีคุณภาพ" จะหมายถึง สินค้าที่ดีในอุตสาหกรรมทุกประเภทสิ่งที่ผู้บริโภคต้องการหรือตั้งเป้าหมายไว้ก็คือ คุณภาพของสินค้านั้น ๆ ต้องได้มาตรฐานหรือคุณภาพของสินค้าจะเป็นอย่างไรก็ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานและราคาขายของสินค้านั้น

ความหมายของคำว่า "คุณภาพ" มาจากภาษาอังกฤษว่า "Quality" ซึ่งมีรากศัพท์มาจากภาษาละตินว่า "Qualitat" ซึ่ง "Qualitas" แปลว่า สภาพหรือคุณลักษณะ ดังนั้นจึงอาจขยายความว่า "คุณภาพ" หมายถึง ลักษณะของผลิตภัณฑ์หรือการบริการนั้น ๆ ที่ใช้ได้อย่างเหมาะสมรวมการออกแบบให้จูงใจผู้บริโภค

ความหมายของคำว่าการ "ควบคุม" (Control) หมายถึง กระบวนการกำหนดการกระทำที่ชี้ให้เห็นหรือเปรียบเทียบคุณสมบัติที่ได้กับมาตรฐานและถ้าพบว่ามีข้อบกพร่องที่แตกต่างออกไปก็จะต้องมีการแก้ไขหรือวิเคราะห์เพิ่มเติม

2. การควบคุมคุณภาพเชิงสถิติ (Statistical Quality Control : SQC)

SQC เป็นสาขาหนึ่งของการควบคุมคุณภาพ ซึ่งจะต้องมีการเก็บข้อมูล (Collection) การวิเคราะห์ข้อมูล (Analysis) และการเปรียบเทียบแสดงข้อมูลที่ได้ เพื่อที่จะแก้ไขปัญหาต่างๆ ในระบบการผลิตก็จะมีการเก็บตัวอย่างสินค้ามาตรวจสอบ (Inspection) เพื่อวัดค่าคุณสมบัติต่างๆ

ในระบบการผลิตก็จะมีการเก็บตัวอย่างสินค้ามาตรวจสอบ เพื่อวัดค่าคุณสมบัติต่างๆ แล้วนำข้อมูล (Data) ที่ได้นำมาคำนวณและประเมินผลตามหลักสถิติ และนำมาเปรียบเทียบกับข้อกำหนด (Specification) หรือมาตรฐาน (Standard) เพื่อจะพิจารณาว่าสินค้านั้นมีคุณภาพดีหรือไม่

3. การประกันคุณภาพ (Quality Assurance)

หมายถึง มาตรการทั้งปวงที่นำไปสู่การบรรลุถึงคุณภาพที่ต้องการซึ่งการประกันคุณภาพจำแนกออกเป็นงานวางแผนคุณภาพและงานควบคุมคุณภาพ

4. ความหมายของการควบคุมภาพประเภทต่างๆ

4.1 การควบคุมคุณภาพของขบวนการ (Process Quality Control : PQC) หมายถึง ระบบคุณภาพที่ให้ความสนใจกับการตรวจติดตาม (Monitoring) และการพัฒนาขบวนการผลิตโดยอาศัยการวิเคราะห์แนวโน้มและอาการของปัญหาด้านคุณภาพ

4.2 การควบคุณภาพเพื่อการยอมรับ (Acceptance Quality Control : AQC) หมายถึง ระบบคุณภาพในอันที่จะป้องกันลูกค้าจากการยอมรับผลิตภัณฑ์ที่บกพร่อง ตลอดจนการจูงใจและกระตุ้นให้ผู้ผลิตดำเนินการใช้ระบบการควบคุมคุณภาพของขบวนการทั้งนี้ด้วยการกำหนดจำนวนตรวจสอบและเข้มงวดกับการตรวจสอบเพื่อการตัดสินใจว่ายอมรับหรือไม่ในสัดส่วนที่สัมพันธ์โดยตรงกับความสำคัญของลักษณะคุณภาพที่ตรวจ

4.3 การตรวจสอบ 100% หมายถึง การตรวจสอบผลิตภัณฑ์ทีละหน่วย จนครบทุกหน่วย

4.4 การตรวจสอบเป็นครั้งคราว (Spot-Check Inspection) หมายถึงการตรวจสอบแบบเลือกตามใจชอบโดยมิได้วางอยู่บนเกณฑ์ด้านวิทยาศาสตร์ ได้แก่ การตรวจสอบชิ้นแรก (First-Item Inspection) การตรวจสอบชิ้นสุดท้าย (First-Hem Inspection) และการตรวจสอบแบบเดินตรวจ (Patrol Inspection) เป็นต้น

5.5 การชักสิ่งตัวอย่างเพื่อการยอมรับ (Acceptance Sampling) หมายถึง การตรวจสอบสิ่งตัวอย่าง (Sample) ที่เลือกขึ้นมาจากงานทั้งหมดที่ต้องการตัดสินใจ

5.6 การให้คำรับรอง (Certification) หมายถึง การควบคุมคุณภาพเพื่อการยอมรับโดยการให้ลูกค้าพอใจกับคุณภาพของสินค้า

5.7 แผนการชักสิ่งตัวอย่างเพื่อการยอมรับแบบเชิงคุณภาพ หมายถึง แผนการชักสิ่งตัวอย่างที่ใช้การแจงนับสิ่งตัวอย่างการจำแนก (Classification) ออกมาตามคุณลักษณะทางคุณภาพซึ่งจะมีความเหมาะสมอย่างมากต่อคุณลักษณะทางคุณภาพประเภทอาศัยความรู้สึก (Sensory) และ

ประเภทความสวยงาม (Cosmetic) และสามารถใช้ได้กับคุณลักษณะทางคุณภาพทางเคมี การภาพและจุลชีวะวิทยาที่มีความประสงค์ที่ต้องการความรวดเร็วในการตรวจสอบกล่าวคือ มีการจำแนกออกเป็นผ่านกับไม่ผ่านเท่านั้น อย่างไรก็ตามแผนการชักสิ่งตัวอย่างประเภทนี้มีข้อเสียที่ไม่สามารถให้รายละเอียดเกี่ยวกับคุณลักษณะทางคุณภาพที่ต้องการตัดสินใจมากนัก

5.8 แผนการชักตัวอย่าง หมายถึง ข้อกำหนดเฉพาะของกฎเกณฑ์ (Specification of the Rules) ซึ่งในการตัดสินคุณภาพของสินค้าที่ระบุไว้

5.9 แบบแผนการชักสิ่งตัวอย่าง หมายถึง กลยุทธ์โดยรวม (Overall Strategy) ที่ใช้ในการกำหนดแนวทางในการใช้แผนการชักสิ่งตัวอย่าง

5.10 ระบบการชักสิ่งตัวอย่าง (Sampling System 1993) หมายถึง บทรวม (Collection) ของแบบแผน

2.8 กลุ่มสร้างคุณภาพ (QC CIRCLES) : Quality Control Circles

เกษม พิพัฒน์ปัญญานุกูล (2525 : 119) QC Circle หรือการควบคุมคุณภาพแบบกลุ่มได้เริ่มขึ้นจากการที่ ดร. ดับบลิว อี เดมิ่ง ผู้เชี่ยวชาญทางด้านการควบคุมคุณภาพทางสถิติได้เดินทางมาเยือนญี่ปุ่นเมื่อต้นปี พ.ศ. 2493 ประเทศญี่ปุ่นได้เชิญ ดร. เดมิ่ง มาเพื่อช่วยเหลือในเรื่องการแนะนำเทคนิคทางด้านการควบคุมคุณภาพทางสถิติและการวิจัยตลาด นอกจากนี้ผู้ที่ร่วมมีส่วนสำคัญอีกผู้หนึ่งที่ได้มาเยือนญี่ปุ่น คือ ดร. เจ เอ็ม จูรัน ผู้เชี่ยวชาญชาวอเมริกัน ซึ่งได้มาทำการบรรยายเกี่ยวกับการจัดกฎเกณฑ์ของการควบคุมคุณภาพให้กับผู้ฟังชาวญี่ปุ่นเมื่อปี พ.ศ. 2497 การบรรยายของ ดร. เดมิ่ง และ ดร. จูรัน ทำให้เกิดผลกระทบอย่างมากต่อความนึกคิดของผู้บริหารชาวญี่ปุ่น The Union of Japannese Scientists and Engineers, JUSE ซึ่งเป็นองค์กรเอกชนได้ริเริ่มจัดตั้งรางวัลเดมิ่งขึ้นในประเทศญี่ปุ่นเมื่อปี 2494 โดยมีการรับเงินทุนอุดหนุนจาก ดร. เดมิ่ง แต่ต่อมาได้รับทุนจากสหพันธ์ฯ และจากแหล่งบริจาคของเอกชนต่างๆ รางวัลเดมิ่งเป็นรางวัลประจำปี แบ่งออกเป็นสองประเภท คือ ประเภทที่มีผลงานดีเด่นทั้งในด้านทฤษฎีและการนำวิธีการควบคุมคุณภาพทางสถิติไปใช้ อีกประเภทหนึ่งคือรางวัลที่มอบให้แกบริษัทต่างๆ ที่ประสบความสำเร็จอย่างยอดเยี่ยมจากการนำเทคนิคด้านการควบคุมคุณภาพทางสถิติไปใช้

กลุ่มสร้างคุณภาพ (QC CIRCLE) เป็นหัวเรี่ยวหัวแรงสำคัญในหน่วยผลิตย่อยๆ ที่จะทำให้ระบบ TQC (Total Quality Control) สมบูรณ์แบบ กลุ่มสร้างคุณภาพจึงเป็นกลุ่มของพนักงานที่ร่วมกันจัดตั้งขึ้นด้วยความสมัครใจเพื่อปรับปรุงงานที่ตนเกี่ยวข้องโดยความริเริ่มของคนในกลุ่ม ทำกันอย่างมีระบบ มีวิธีทางสถิติอย่างง่ายๆ เป็นเครื่องมือในการค้นคิดและตรวจสอบสาเหตุต่างๆ ที่ทำให้คุณภาพงานไม่ดี พร้อมทั้งนำเสนอแนวทางการแก้ปัญหาต่อผู้บริหาร

ดังนั้นในองค์กรที่มีกลุ่มสร้างคุณภาพจึงเป็นการบริหารแบบ 2 ทาง คือ จากเบื้องบนสู่เบื้องล่างและเบื้องล่างสู่เบื้องบน ในการปรับปรุงงานด้านต่างๆ QC Circle อาจเลือกทำงานด้านใดก็ได้ เช่น ด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ความปลอดภัยในการทำงาน ประสิทธิภาพในการทำงาน ความสะอาดเป็นต้น เมื่อแก้ไขปรับปรุงงานแล้ว ควรมีผลให้สมาชิกในกลุ่ม

1. มีความสุข ความพอใจ ในการทำงานมากขึ้น
2. มีความสะดวก สบาย ในการทำงานมากขึ้น
3. มีความปลอดภัยในการทำงานมากขึ้น

2.8.1 ระบบการบริหารแบบเดิม

1. พนักงานระดับปฏิบัติการมีโอกาสร่วมในการบริหารของบริษัทฯ น้อยมาก
2. พนักงานระดับปฏิบัติการมีความโน้มเอียงคล้ายเครื่องจักร ซึ่งไม่มีชีวิตจิตใจขึ้นทุกที
3. เป็นที่น่าเสียดายประสบการณ์ความรู้ ความสามารถ ซึ่งทับถมกันมานานปีของพนักงานระดับปฏิบัติการและไม่สามารถจะดึงออกมาได้เท่าที่ควรจะเป็น

2.8.2 ระบบการบริหารงานแบบใหม่

1. พนักงานระดับปฏิบัติการมีโอกาสร่วมในการบริหารของบริษัทฯ มากขึ้น โดยผ่านกิจกรรม QC. Circle
2. สามารถดึงประสบการณ์ ความรู้ ความสามารถ ซึ่งทับถมมานานปีของพนักงานระดับปฏิบัติการออกมาได้มากกว่า
3. พนักงานระดับปฏิบัติการจะปฏิบัติงานด้วยความสนุก มีชีวิตชีวา และมีความภาคภูมิใจในคุณค่าของตนเองมากยิ่งขึ้น

2.8.3 ความมุ่งหมายของการจัดทำ QC Circle มีหัวข้อใหญ่ๆ ดังนี้

1. ส่งเสริมด้านสังคมของพนักงานให้พนักงานมีความรู้สึกว่าเป็นหมู่คณะเดียวกัน โดยการมาปรึกษาหารือ แลกเปลี่ยนความคิดเห็นตลอดจนเปิดเผยความรู้สึกต่างๆ ในการทำงาน
2. ตรวจสอบคุภาพในการทำงานต่างๆ เพราะผู้รู้เรื่องดีที่สุดในการทำงานก็คือ ผู้ที่มีหน้าที่นั้นๆ ช่วยให้ทุกคนเข้าใจ และทราบความหมายในการทำงานทุกขั้นตอน
3. ยกระดับจิตใจของพนักงาน การทำงานร่วมกันย่อมก่อให้เกิดความรู้สึกสำนึกในหน้าที่เคารพความคิดเห็นของผู้อื่น ตลอดจนเพิ่มพูนความรู้ของตนเอง
4. ส่งเสริมความเป็นผู้นำ เพราะทุกคนสามารถเป็นผู้นำการประชุม มีโอกาสที่จะวางแผนและดำเนินงานต่างๆ ของกลุ่มได้

5. ทำงานตามนโยบายของผู้บังคับบัญชาระดับสูงให้เป็นผลสำเร็จ การทำงานใดๆ ถ้าทุกคนทราบถึงความหมายและประโยชน์ที่จะเกิดขึ้นแก่ส่วนรวม ย่อมได้รับความร่วมมือด้วยดี และทำให้พนักงานและผู้บังคับบัญชามรการติดต่อกันอย่างใกล้ชิด

6. ก่อให้เกิดระบบควบคุมคุณภาพทั้งบริษัท

7. สร้างความเจริญให้แก่ตนเองและบริษัท ในการทำงานนั้นจะมีการแข่งขันกันระหว่างบริษัทในการทำงาน บริษัทจะเจริญก้าวหน้าได้ พนักงานทุกคนต้องร่วมมือกันพัฒนา

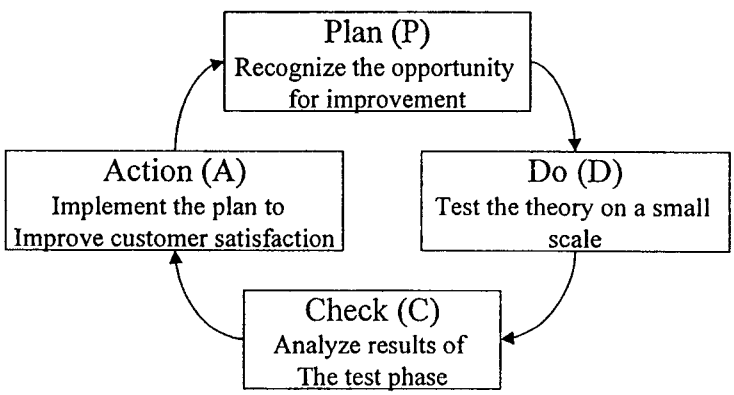
2.8.4 ขั้นตอนการทำกิจกรรม QC Circle

วงจรเดมมิ่ง (Deming Cycle) เป็นวงจรปรับปรุงกระบวนการอย่างต่อเนื่อง เพื่อบรรลุความต้องการหรือความคาดหวังลูกค้า คือมุ่งเน้นการป้องกันมากกว่าการตรวจจับของเสีย (To move from defect detection to defect preventive)

วงจรเดมมิ่งเป็นหัวใจที่สำคัญยิ่งในการที่กลุ่ม QC Circle จะดำเนินการปรับปรุงงานให้สำเร็จตามเป้าหมาย เป็นกุญแจดอกสำคัญที่กลุ่ม QC Circle จะต้องท่องจำให้ขึ้นใจ

วงจรเดมมิ่งเป็นหลักในการทำงานให้สำเร็จตามเป้าหมายอย่างหนึ่ง ดร. เดมิ่ง เป็นคนแรกที่คิดค้นหลักการอันนี้ ชาวญี่ปุ่นได้นำหลักการของ ดร. เดมิ่ง ไปใช้อย่างแพร่หลายและประสบความสำเร็จเป็นอย่างดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งได้นำไปใช้ในกิจกรรม QC Circle จนกระทั่งกลายเป็นส่วนหนึ่งของ QC Circle

ดร. เดมิ่ง ได้ตั้งวงจรการทำงานให้ประสบความสำเร็จไว้ดังนี้



ภาพที่ 2.7 The Deming Cycle (PDCA)

การทำงานของกลุ่มต้องอาศัยขั้นตอน PDCA ซึ่งมีลักษณะดังนี้

Plan (P) หมายถึง การวางแผนแก้ปัญหา ซึ่งประกอบด้วย

1. หาองค์ประกอบใหญ่ของปัญหา
2. เก็บข้อมูลเกี่ยวกับปัญหาก่อนการแก้ไข โดยอาศัย 7 Tools
3. เลือกปัญหาที่สำคัญมาแก้ไขก่อน / หลัง โดยใช้แผนภูมิพาเรโต
4. หารสาเหตุของปัญหาโดยใช้แผนภูมิก้างปลา
5. หาวิธีการแก้ไขปัญหา

Do (D) หมายถึง การลงมือแก้ปัญหาตามแผนที่วางไว้

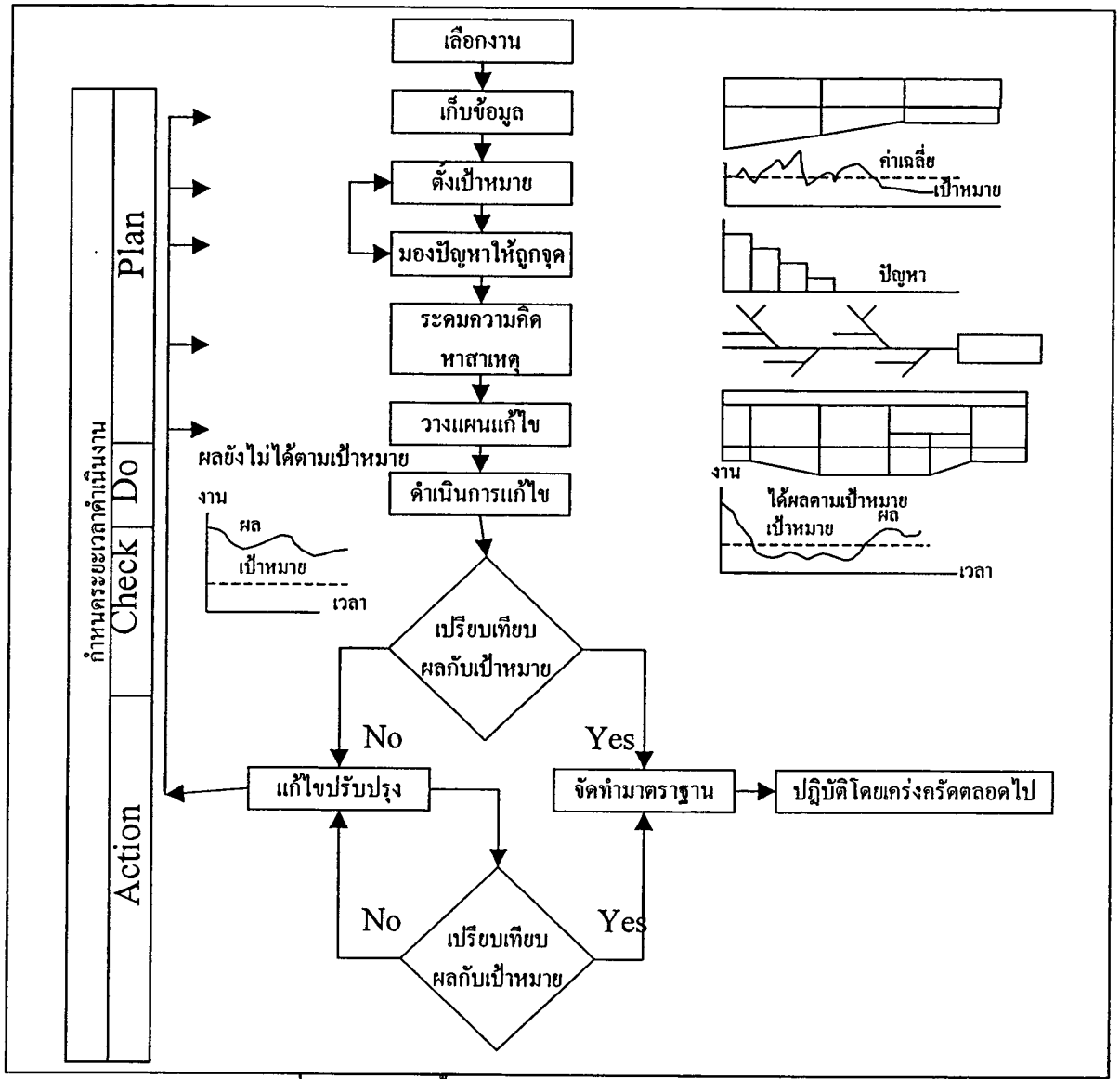
Check (C) หมายถึง การตรวจสอบดูว่าภายหลังการแก้ไขปัญหาแล้วสภาพของปัญหานั้นได้ลดลงไปจนถึงเป้าหมายที่ทางกลุ่มได้ตั้งไว้หรือไม่ ถ้ายังไม่ได้ตามเป้าหมายที่ทางกลุ่มจะต้องวางแผนแก้ไขปัญหาใหม่ต่อไป

การที่เราจะทราบว่าภายหลังแก้ปัญหาแล้วผลจะดีขึ้นแค่ไหนนั้น เราต้องเก็บข้อมูลภายหลังการแก้ปัญหาด้วย แล้วนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลที่เก็บก่อนการแก้ไขปัญหา การเก็บข้อมูลก่อนและหลังการแก้ปัญหานั้น ควรใช้เทคนิคการควบคุมคุณภาพอย่างเดียวกัน เพื่อความสะดวกในการเปรียบเทียบ

Action (A) หมายถึง ในกรณีภายหลังที่ตรวจสอบแล้วผลปรากฏว่าไม่ได้ตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ ทางกลุ่มจะต้องมีการแก้ไขแผนใหม่แล้วลงมือแก้ไขปัญหาตามแผนใหม่เสร็จแล้วตรวจสอบผลใหม่

หลักการของ Deming Cycle มีอยู่ว่า ในการทำงานใดๆก็ตาม ถ้าอยากจะให้งานสำเร็จด้วยระยะเวลาอันรวดเร็ว และการดำเนินงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ก็ให้ทำตามวงจร PDCA คือถ้าการทำงานตามวงจร PDCA ครั้งแรกแล้วไม่ประสบความสำเร็จ ก็ให้เริ่มทำงานตามวงจร PDCA ใหม่ และถ้างานยังไม่สำเร็จอีกก็ให้เริ่มวงจร PDCA ใหม่อีก เป็นเช่นนี้เรื่อยๆ จนกว่างานจะบรรลุตามเป้าหมาย

สำหรับกลุ่ม QC Circle จะนำวงจรเดมมิ่งไปประยุกต์กับการดำเนินกิจกรรม QC Circle ได้ตามผังดังนี้



ภาพที่ 2.8 ผังแสดงขั้นตอนการทำกิจกรรมของกลุ่มสร้างคุณภาพตาม

การวางแผน (Plan)

(1) **เลือกงานที่จะปรับปรุง** เป็นงานอันดับแรกที่กลุ่ม QC Circle จะต้องทำ ในระยะแรกควรเป็นเรื่องง่ายๆ เพื่อฝึกฝนตัวเองให้มีความเข้าใจในหลักการวิธีการของการทำกิจกรรม QC Circle เช่นการรักษาความสะอาด เป็นต้น

(2) **เก็บข้อมูลเพื่อดูสภาพเดิม** ในการเก็บข้อมูลจำเป็นต้องออกแบบฟอร์มเพื่อให้สะดวกในการเก็บข้อมูล แล้วพยายามแปลงข้อมูลออกมาเป็นรูปของสถิติ เช่น กราฟเส้นตรง กราฟวงกลม เป็นต้น ส่วนระยะเวลาในการเก็บข้อมูลขึ้นอยู่กับความยากง่ายของงานที่ต้องการปรับปรุง

(3) **ตั้งเป้าหมาย** พิจารณาจากสภาพเดิมของงานแล้วตั้งเป้าหมายในการปรับปรุงพร้อมกับกำหนดระยะดำเนินงาน

(4) **มองปัญหาให้ถูกจุด** เพื่อให้การปรับปรุงงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ จำเป็นจะต้องรู้ว่าปัญหาหลักคืออะไรกันแน่ แล้วเข้าปรับปรุงจุดนั้นก่อนเป็นอันดับแรกโดยใช้ Pareto diagram เข้าช่วยในการค้นหาปัญหาหลัก

(5) **ระดมความคิดหาสาเหตุ** นำปัญหาหลักที่ได้จากการวิเคราะห์ในข้อ (4) มาค้นหาสาเหตุว่าเกิดจากอะไรกันแน่ โดยใช้ผังก้างปลาเข้าช่วย

(6) **วางแผนแก้ไข** นำสาเหตุต่างๆ ที่วิเคราะห์ได้จากข้อ (5) มาวางแผนแก้ไข โดยกำหนดวิธีแก้ไขผู้รับผิดชอบและระยะเวลาในการดำเนินการ

(7) **ดำเนินการแก้ไข** ปัญหาใดที่กลุ่ม QC Circle สามารถแก้ไขได้เองก็ดำเนินการได้ทันที ส่วนปัญหาใดที่เกี่ยวข้องกับหน่วยงานอื่นๆ ก็ให้แจ้งผ่านผู้บังคับบัญชาเพื่อขอความร่วมมือในการดำเนินงาน

การติดตามผล (Check)

(8) **เปรียบเทียบผลกับเป้าหมาย** นำผลที่ได้จากการดำเนินการเปรียบเทียบกับเป้าหมาย ถ้าผลที่ได้เป็นที่พอใจคือใกล้เคียงกับเป้าหมายก็ให้จัดทำมาตรฐานไว้ ถ้าผลที่ได้ ไม่เข้าสู่เป้าหมายก็ให้ดำเนินการแก้ไขปรับปรุงใหม่

การปรับปรุงแก้ไขและจัดทำมาตรฐาน(Action)

1. เมื่อผลที่ได้ใกล้เคียงกับเป้าหมาย

(9) **จัดทำมาตรฐานการทำงาน** นำวิธีการแก้ไขที่ได้ผลจัดทำเป็นมาตรฐานการทำงานให้ ทุกคนปฏิบัติตามโดยเคร่งครัด เพื่อป้องกันมิให้ปัญหาเช่นนี้เกิดขึ้นซ้ำอีก และเมื่อเวลาสับเปลี่ยนตำแหน่งผู้ที่ย้ายมาใหม่จะได้ปฏิบัติถูกต้องตามมาตรฐาน

2. เมื่อผลที่ได้ไม่เป็นไปตามเป้าหมาย

(10) **แก้ไขปรับปรุง** เมื่อปรากฏว่าวิธีการที่นำมาแก้ไขไม่สามารถทำให้การปรับปรุงงานเป็นไปตามเป้าหมายกลุ่ม QC Circle สามารถดำเนินการได้ 2 กรณีดังนี้

กรณีที่ 1 แก้ไขปรับปรุงแผนงานวิธีการที่กำหนดไว้ขั้นต้นอีกเพียงเล็กน้อยแล้วดำเนินการแก้ไข

กรณีที่ 2 พิจารณาวางแผนใหม่หมดตั้งแต่ขั้นตอนมองปัญหาให้ถูกจุด จนกระทั่งถึงขั้นตอนวางแผนแก้ไข แล้วดำเนินการแก้ไข

2.9 หลักเกณฑ์ทั่วไปในการออกแบบเครื่องจักรกลและชิ้นส่วน

มานพ ตันตระบัณฑิตย์ (2545) กล่าวว่า ชิ้นส่วนเครื่องกลส่วนใหญ่ที่ออกแบบแล้วนำมาประกอบเป็นชุดประกอบ (Assembly) หรือนำเอาชุดประกอบหลายๆ ชุดมาประกอบรวมกันเป็นเครื่องจักรกล เช่น เครื่องกัด ฯลฯ ได้อย่างเหมาะเจาะพอดี (Optimum) การจะออกแบบชิ้นส่วนหรือเครื่องจักรกลให้ใช้งานได้ดีนั้น ประการแรกจะต้องมีการรวบรวม วิธีแก้ปัญหาในการออกแบบได้หลายรูปแบบ มีประสบการณ์มาพอสมควร มีพื้นฐานทางวิศวกรรมลึกซึ้ง รวมทั้งการมีจิตนาการความคิดสร้างสรรค์ที่ดี และมีความรู้เกี่ยวกับวิศวกรรมคุณค่า (Value Engineering) ด้วย

2.9.1 หลักเกณฑ์ทั่วไปในการออกแบบเครื่องจักรกลและชิ้นส่วนใหม่ทางวิศวกรรม

วิธีการดำเนินการออกแบบเดครื่องจักรกลหรือชิ้นส่วนจะต้องประกอบไปด้วยหลักการและขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. การวางแผน (Planning) : การเลือกงานที่จะออกแบบ

2. แนวคิด (Concept) : การแจงรูปแบบของงานออกแบบ การแบ่งแยกของระบบทำงานรวมไปเป็นระบบการทำงานย่อย (Subsystem) การรวมแนวการออกแบบเพื่อให้เกิดเป็นระบบทำงานรวม การประเมินคุณค่าแนวการออกแบบในเชิงวิศวกรรม และเชิงเศรษฐศาสตร์

3. การออกแบบร่าง (Lay Out) : เป็นการออกแบบร่างอย่างเป็นมาตราส่วน โดยจะต้องมีการประเมินคุณค่าการออกแบบร่างเชิงวิศวกรรม และเชิงเศรษฐศาสตร์ และการปรับปรุงออกแบบร่างให้ดีขึ้นด้วยการออกแบบรูปร่างในโซนต่างๆ ให้ดูเหมาะสมมากขึ้น

4. การออกแบบรายละเอียด : เป็นการออกแบบรูปร่างชิ้นส่วนย่อยให้มีความเหมาะสม การเขียนรายละเอียด การเขียนแบบ การเลือกใช้ชิ้นส่วนมาตรฐาน เช่น สกรู สลักโซ่ สายพาน ฯลฯ ตารางรายการวัสดุ วิธีการผลิต การประกอบ การขนส่ง และเก็บรักษา การตรวจสอบต้นทุนการผลิต การสร้างชุดต้นแบบ หรือโมเดล และการตัดสินใจเพื่อการผลิต

ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนการผลิตจะต้องมีแนวคิดในการเลือกออกแบบผลิตภัณฑ์จำเป็นจะต้องศึกษาแนวโน้มทางการตลาด ผลการวิจัยและเทคโนโลยีใหม่ ลิขสิทธิ์ ความต้องการของลูกค้า

2.9.2 พื้นฐานในการออกแบบรูปร่าง

การออกแบบรูปร่างจะเป็นจุดหลักของการออกแบบร่าง (Lay out) ที่เกี่ยวข้องกับกฎเกณฑ์ที่มีการกำหนดขึ้น การไม่คำนึงถึงกฎเกณฑ์กำหนดจะมีผลให้เกิดการผิดพลาดในกระบวนการผลิตและการนำไปใช้งานได้ หลักเกณฑ์พื้นฐานในการออกแบบรูปร่างก็คือ โดดเด่น ผลิตง่าย ใช้งานง่าย และปลอดภัยต่อมนุษย์ และสิ่งแวดล้อม

หลักเกณฑ์ในการออกแบบรูปร่างทั่วไปมีดังนี้

1. การทำงาน (Function) บรรลุตามวัตถุประสงค์หรือไม่ เช่น การทำงานของแต่ละส่วนหรือตรงตามมาตรฐานที่กำหนด ประสิทธิภาพ ข้อขัดข้องหรือสิ่งรบกวนที่จะเกิดขึ้น

2. วัสดุและรูปร่างการผลิต ในการออกแบบรูปร่างชิ้นส่วนในการผลิตให้เหมาะสมกับวัสดุ โดยเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตทั้งสองต่อจำนวนชิ้นของการผลิตมี 3 วิธีการดังนี้

2.1 ชิ้นงานหล่อ การขึ้นรูปจะต้องเหมาะสมกับกรรมวิธีการหล่อขึ้นรูปมีอยู่ 3 ลักษณะคือ

1. เหล็กหล่อในกระสวยทราย (Sand Casting) จะสามารถผลิตจำนวนน้อยหรือมากด้วยราคาถูกได้ สำหรับเหล็กหล่อเทาต้องมีความหนาต่ำสุด 3 มิลลิเมตร สำหรับเหล็กกล้าหล่อต้องมีความหนาต่ำสุด 5 มิลลิเมตร โดยมีพิกัดความเที่ยงตรง ± 1 มิลลิเมตร มีผิวหยาบ

2. เหล็กหล่อในกระสวยถาวร (Metal Mould Casting) จะเหมาะกับการผลิตจำนวนมากๆ ตั้งแต่ 200 ชิ้นขึ้นไป โดยมีน้ำหนักถึงประมาณ 50 กิโลกรัม ความหนามากกว่า 3 มิลลิเมตร ขนาดความเที่ยงตรงมากกว่า 0.2 ถึง 0.3 มิลลิเมตร มีผิวเรียบ นอกจากนี้ยังมีความหนาแน่น เม็ดเกร็ดละเอียดกว่า รวมทั้งมีความเค้นสูงกว่าการหล่อในกระสวยทราย บูชเหล็กกล้า โบลต์เหล็กกล้า หรืออื่นๆ ที่คล้ายคลึงกันก็สามารถหล่อขึ้นรูปด้วยวิธีนี้ได้

3. การหล่อขึ้นรูปแบบอัด (Pressure Die Casting) เหมาะสำหรับชิ้นส่วนที่มีผนังบางจำนวนมากกว่า 500 ชิ้นขึ้นไป มีโครงสร้างเม็ดเกร็ดละเอียดและหนาแน่นดี โดยโลหะเบาจะมีน้ำหนักประมาณ 10 กิโลกรัม สังกะสีเจือมีน้ำหนักประมาณ 20 กิโลกรัม และทองแดงเจือมีความหนามากกว่า 0.5 ถึง 3 มิลลิเมตร ขนาดความเที่ยงตรง 0.03 ถึง 0.3 มิลลิเมตร มีน้ำหนักประมาณ 25 กิโลกรัม

ชิ้นงานหล่อจะต้องออกแบบให้พื้นที่ผิวมีความเอียงเพื่อให้สามารถถอดแบบได้สะดวก โดยยึดหลักเกณฑ์ดังนี้

ถึง 1:1000	สำหรับการหล่อขึ้นรูปในกระสวนถาวรหรือหล่อแบบฉีด
ถึง 1:50	สำหรับผิวที่มีความสูง
ถึง 1:3	สำหรับตุ๊กตารองเพลาเตี้ย ๆ

2.2 การขึ้นรูปด้วยการปาดผิว การออกแบบจะต้องคำนึงถึงเวลาที่ใช้ปาดผิวให้สั้นที่สุด ในการบวนการจับยึด ปาดผิว และการวัด

2.3 การออกแบบการยึดชิ้นส่วน

1. การยึดด้วยสลักร่องบาก และสลักเบ่ง จะทำให้ต้นทุนในการผลิตถูกกว่าการใช้สลักทรงกระบอกหรือสลักเรียว (ลดงานผลิตพิกัดความเผื่อ และงานรีมเมอร์)

2. ให้ใช้สกรูร้อยแทนสกรูหลวมฟิต (ลดงานพิกัดความเผื่อ)

3. การลดจำนวนสกรูยึด แต่ให้เพิ่มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางให้โตขึ้น จะช่วยลดเวลางานเจาะและงานขันยึด

4. งานสวมอัดล้อเข้าเพลาจะมีต้นทุนถูกกว่าการใช้ลิ่มอัด หรือลิ่มส่งกำลัง

5. ผิวเรียวจะต้องเลือกใช้อัตราเรียวที่นิยมใช้กันทั่วไป ที่สามารถหารีมเมอร์ หรือเครื่องวัดได้ง่าย

2.9.3 แนวการส่งถ่ายแรง

ให้หลีกเลี่ยงการส่งถ่ายแรงลักษณะหักเหฉับพลัน เช่น เพลาที่มีการลดขนาดมากๆ บริเวณตกบ่าร่องบากลึกๆ แนวทางที่ควรกระทำก็คือ ให้มีการลดขนาดพอเพียงสามารถทำการถอดประกอบได้ กำหนดรัศมีบริเวณตกบ่าเพลา กำหนดความลึกร่องบากเท่าที่จำเป็น

2.9.4 คุณสมบัติทางกล

ความทนทาน การเสียรูป (Deformation) การขยายตัวที่ไม่มีผลกระทบต่อชิ้นส่วนอื่น การสึกหรอ การกักกร่อน ความต้านการกระแทก ความเสถียรภาพ (Stability) และการสั้นสะเทือน ที่จำเป็นจะต้องทำการทดสอบ

2.9.5 การนำซากกลับมาผลิตใหม่ (Recycling)

ควรเลือกใช้วัสดุที่ทำให้เกิดเป็นขยะน้อยที่สุด หรือการใช้วัสดุหลายชนิดที่สามารถถอดง่าย และนำซากมาผลิตใหม่ได้

2.9.6 ความปลอดภัย

ควรจะเป็นชิ้นส่วนที่มีสภาพการทำงานปลอดภัยรวมทั้งต่อสิ่งแวดล้อม

2.9.7 ความเหมาะสมด้านการยศาสตร์ (Ergonomic)

โดยพิจารณาถึงช่วงหรือช่องว่างระหว่างผู้ปฏิบัติงานกับเครื่องจักรกลสามารถทำงานได้สะดวกขึ้นด้วยเหตุนี้จำเป็นจะต้องพิจารณาหลักเกณฑ์ดังต่อไปนี้

1. ล้อมือหมุน (Hand Wheel) มือหมุนที่ความเร็วรอบค่อนข้างสูงให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 32 ถึง 40 เซนติเมตร ตั้งในแนวดิ่ง โดยให้แนวแกนกลางล้อหมุนอยู่สูงจากพื้นประมาณ 100 เซนติเมตร และแรงมือควรจะประมาณ 20 N สำหรับล้อหมุนที่ต้องใช้แรงหมุนที่ขอบล้อมากจะให้ล้อวางในแนวระนาบ สูงจากพื้นตั้งแต่ 75 ถึง 120 เซนติเมตร

2. ข้อเหวี่ยงหมุน ให้แกนข้อเหวี่ยงอยู่สูงจากพื้นประมาณ 100 เซนติเมตร รัศมีข้อเหวี่ยงประมาณ 40 เซนติเมตร และแรงที่ด้ามมือหมุนให้น้อยกว่า 130 N

3. คันโยกมือ ออกแบบให้โยกในแนวนอนจะเหมาะสมกว่าในแนวดิ่ง โดยแรงที่มือโยกน้อยกว่า 130 N ระหว่างมือโยกน้อยกว่า 75 เซนติเมตร ในกรณีที่โยกไปมาบ่อยๆ ควรออกแบบให้มีค่าน้อยกว่าค่าสูงสุดครึ่งหนึ่ง

4. คันเหยียบเท้า แรงเหยียบน้อยกว่า 500 N ระยะเท้าเหยียบน้อยกว่า 18 เซนติเมตร ในกรณีต้องใช้เท้าเหยียบบ่อย ๆ ควรออกแบบให้มีค่าน้อยกว่าค่าสูงสุดครึ่งหนึ่ง

5. แรงดึงต่อโซ่ ให้มีทิศทางดึงในแนวดิ่ง โดยให้แรงดึงน้อยกว่า 500 N

2.9.8 การควบคุมคุณภาพ (Quality Control)

ควรจะกระทำระหว่างและหลังการผลิต และระหว่างการนำไปใช้งาน ปรับปรุงกระบวนการผลิต และการควบคุมคุณภาพด้วยมาตรฐาน เช่น ISO 9000

2.9.9 การประกอบ (Mounting)

สามารถปรับประกอบได้ทั้งกลางวันหรือกลางคืน ปรับแต่ง ติดอุปกรณ์เสริมได้ง่ายสะดวกสะบาย

2.9.10 การขนส่ง (Transportation)

สามารถทำได้ทั้งกลางวันหรือกลางคืน โดยตรวจสอบความเสี่ยง การบรรจุหีบ

2.9.11 การนำไปใช้ปฏิบัติงาน

จะต้องมีลักษณะง่ายต่อการปฏิบัติงาน มีเสี่ยงเบา สั่นสะเทือนน้อย ทนการกัดกร่อน มีป้ายบอกการใช้ชนิดสารหล่อลื่น

2.9.12 การซ่อมและบำรุงรักษา

จะต้องสามารถกระทำได้โดยง่าย รวมถึงการตรวจสอบ การซ่อมเปลี่ยนอะไหล่

2.9.13 เวลาจัดส่งลูกค้า

การออกแบบให้ผลิตง่ายจะทำให้ลดเวลาการผลิตได้

หลักเกณฑ์การออกแบบบางครั้งจะนำเงื่อนไขต่างๆ มาเชื่อมโยงกัน เช่น ความปลอดภัยจากสภาพการทำงานเครื่องจักรกล การออกแบบเชิงวิศวกรรมและเชิงเศรษฐศาสตร์จะเกิดจากการเลือกวัสดุ การออกแบบรูปร่าง และการออกแบบให้รับภาระเป็นจุดหลัก

ส่วนคำว่า "ออกแบบรูปร่าง" จะหมายถึงการออกแบบและการขึ้นรูป การเลือกวัสดุ การวัดการผลิต การบำรุงรักษา และการหล่อลื่น

2.10 การออกแบบทางวิศวกรรม

กรรมมันต์ ชูประเสริฐ อนันต์ อกนิษฐาชาติ ทวี งานวิไลกร (2539) คำจำกัดความว่า

2.10.1 การออกแบบทางวิศวกรรม คือการวางแผนการสร้างเครื่อง โครงสร้าง ระบบ หรือกระบวนการ เพื่อแสดงปัจจัยต่างๆ ที่ต้องการ

กระบวนการออกแบบ ประกอบไปด้วย

1. การรู้ในสิ่งที่ต้องการและข้อกำหนดสิ่งของที่ต้องการนั้นในรูปของเงื่อนไขทั่วไป เพื่อจำกัดขอบเขตของปัญหา

2. การพิจารณาวิธีการต่างๆ สำหรับการแก้ปัญหาและเลือกเอาวิธีใดวิธีหนึ่งเพื่อเจาะเข้าไปในรายละเอียด ศึกษาความเป็นไปได้ของแต่ละขั้นตอนในกระบวนการ

3. การสร้างแบบจำลองและแสดงรายละเอียดสำหรับส่วนประกอบที่สำคัญ

4. การออกแบบของส่วนประกอบทั้งหมด พร้อมการเตรียมแบบรายละเอียดต่างๆ

ในช่วงแรกของกระบวนการออกแบบ ผู้ออกแบบจะต้องใช้จินตนาการในการออกแบบอย่างเต็มที่ แบบรายละเอียดต่าง ๆ สำหรับการออกแบบที่สมบูรณ์ คือข้อมูลเพื่อการตัดสินใจ ในขั้นตอนต่อมา ผู้ออกแบบต้องออกแบบโดยใช้กฎพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์จากข้อมูลที่ได้กำหนดไว้ อย่างไรก็ตามจะต้องเข้าใจว่าวิทยาศาสตร์เป็นเพียงข้อกำหนดที่ตั้งขึ้นเพื่อประกอบการตัดสินใจของผู้ออกแบบ ดังนั้นการตัดสินใจจะเป็นตังบ่งชี้ถึงคุณลักษณะของการออกแบบ

2.10.2 การออกแบบเครื่องจักรกล จะต้องวางแผนตามขั้นตอนดังนี้

เครื่องจักรกลจะถูกประกอบหลังจากได้เตรียมส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องจักรแล้ว จากนั้นก็จะเป็นการวิเคราะห์แรง (ซึ่งจะยังไม่สมบูรณ์เพราะยังไม่ได้พิจารณาถึงชิ้นส่วนที่มีการเคลื่อนที่) จากข้อมูลของส่วนประกอบที่ได้มีการออกแบบไว้ เราสามารถออกแบบส่วนประกอบย่อยไปได้อีก (เป็นการทดลองดูก่อนเพราะยังไม่รู้แรงที่แน่นอน) หลังจากนั้นจะเป็นการวิเคราะห์แรงที่แน่นอนอย่างละเอียด ขั้นสุดท้ายของการออกแบบจะเป็นการพิจารณาถึงผลกระทบต่างๆ และการแก้ไขปัจจัยทางด้านความแข็งแรง เช่น รูปทรง น้ำหนัก ขนาด วัสดุที่จะมาใช้ และกรรมวิธีการผลิต ฯลฯ

2.10.3 การเลือกใช้วัสดุ (Material Selection)

การเลือกใช้วัสดุทำชิ้นส่วนเครื่องจักรกลจะพิจารณาจากหน้าที่การทำงาน ภาระและอายุการใช้งานจากนั้นจึงจะพิจารณาจากวิธีการขึ้นรูปและการผลิต ต้นทุนการผลิต และการจัดหาวัสดุ

สำหรับความคุ้นเคยที่เกิดจากประสบการณ์สามารถเลือกใช้วัสดุได้ดังตัวอย่างต่อไปนี้

1. แกนและเพลาธรรมดา เหล็กกล้าคาร์บอน (St 37 ถึง St 60) หรืออาจจะเป็นเหล็กกล้าชุบผิวแข็งและเหล็กกล้าอบชุบ สำหรับเพลายาวและมีการตกบ่ามาก จะใช้เหล็กกล้าคุณภาพสูง หรือเหล็กหล่อชนิดพิเศษ (เนื่องจากการขันรูปและปฏิกิริยาร่องบาก)

2. ลิ่มขนาน ลิ่มลาดและสลัก ใช้ St 60

3. โครงเครื่องจักรกล ตัวเรือน แผ่นพื้น จะใช้เหล็กหล่อเทา สำหรับการรับภาระสูงจะใช้เหล็กหล่อพิเศษ และเหล็กกล้าหล่อ ในกรณีเชื่อมขึ้นรูปจะใช้เหล็กกล้าแผ่นเป็นส่วนใหญ่

4. ชิ้นส่วนที่รับแรงกลิ้งอัดสูง (ลูกกลิ้งของแบริ่ง เพลาลูกเบี้ยว เฟืองรับภาระสูง จะใช้เหล็กกล้าชุบแข็ง)

5. เฟือง ตามแต่สภาพภาระและขนาดความโตจะใช้เหล็กกล้าเทา เหล็กกล้าหล่อ เหล็กกล้า St 42 ถึง St 70 ส่วนใหญ่จะใช้เหล็กอบชุบและเหล็กกล้าชุบแข็ง ในกรณีพิเศษจะใช้โลหะที่ไม่ใช้เหล็กและพลาสติก

6. ผิวลื่นรับภาระ เช่น แบริ่งจะใช้เหล็กหล่อเทาอ่อน บรอนซ์ โลหะขาว สังกะสี วัสดุร่วม (Composite Material) ที่มีผิวนอกลื่น และพลาสติก

7. สปริงยืดหยุ่น จะใช้เหล็กกล้าสปริง และยาง ในกรณีพิเศษจะใช้บรอนซ์สปริง

8. ชิ้นส่วนขนาดเล็กผลิตแบบต่อเนื่อง (Mass Production) จะใช้โลหะฉีดหล่อ เหล็กกล้าตัดง่ายและพลาสติก

9. ชิ้นส่วนที่ต้องทนความร้อนและไฟ จะใช้เหล็กกล้าทนความร้อนหรือเหล็กกล้าทนต่อเกิดผิวสะเก็ด วัสดุเซรามิกหรือเหล็กกล้าหล่อ เหล็กหล่อที่มีคุณภาพเทียบเท่า

10. ชิ้นส่วนทนสึกหรอพิเศษหรือที่ต้องการทนสารเคมี การนำไฟฟ้าหรือเป็นแม่เหล็ก ต้องใช้วัสดุพิเศษ

เมื่อประสบการณ์การเลือกยังไม่เพียงพอ อาจจะเป็นเพราะเทคโนโลยีใหม่ ราคาวัสดุหรือวัสดุที่มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกันหลายชนิด ก็จะต้องทำการตรวจสอบให้ละเอียดมากยิ่งขึ้นกล่าวคือ

1. ความต้องการของชิ้นส่วน (การทำงาน ภาระ อายุการใช้งาน)

2. เงื่อนไขการผลิต (จำนวนชิ้น การขึ้นรูป ประเภทการผลิตและต้นทุนการผลิต)

3. คุณสมบัติวัสดุรวมถึงการทดสอบวัสดุ

การเลือกใช้เหล็กกล้ารูปพรรณก็เป็นทางเลือกหนึ่งที่ทำให้การทำงานรวดเร็วขึ้น

2.11 การออกแบบและสร้างชุดทดลอง

วัลลภ จันทร์ตระกูล (2543 : 110-128) แนวทางในการสร้างชุดทดลองเป็นลำดับขั้นดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดจุดมุ่งหมายในการนำชุดทดลองไปใช้

จากการตัดสินใจที่จะสร้างชุดทดลองในหัวข้อและเนื้อหาเรื่องใดแล้ว จะทำให้ทราบว่าชุดทดลองจะนำไปใช้กับวัตถุประสงค์การทดลองนั้นด้วย ซึ่งจะเป็นข้อมูลส่วนหนึ่งในการดำเนินงานพัฒนาออกแบบสร้างชุดทดลอง โดยกำหนดจุดประสงค์ของอุปกรณ์ เพื่อกำหนดคุณลักษณะของอุปกรณ์ให้สอดคล้องวัตถุประสงค์ ในขั้นตอนนี้อาจกล่าวได้ว่าเป็นขั้นตอนที่จะต้องศึกษาข้อมูลต่างๆ เพื่อให้การออกแบบชุดทดลองเกิดความเป็นจริงสำเร็จตามเป้าหมาย ควรศึกษาข้อมูลด้านวิชาการในเรื่องนั้นๆ หรือถ้าหากเรื่องนั้นได้มีการพัฒนามาแล้วโดยผู้อื่น ก็ควรที่ศึกษารายละเอียดด้วย เมื่อศึกษารายละเอียดต่างๆ แล้วจึงมาเขียนจุดประสงค์ของอุปกรณ์ ในลักษณะคำบรรยายแต่ไม่ระบุรูปร่างเทคนิคเฉพาะเจาะจงข้อมูลต่างๆ อาจกล่าวได้ว่าเป็นขอบเขตคุณลักษณะของอุปกรณ์ที่จะออกแบบสร้าง อาจกำหนดเป็นข้อๆ ได้ และตรวจสอบความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ จนกระทั่งได้ผลครอบคลุมตามเป้าหมาย

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดหน้าที่ของอุปกรณ์

คำบรรยายลักษณะของอุปกรณ์ ที่กำหนดขึ้นในขั้นตอนที่ 1 จะนำมาดำเนินการในขั้นตอนที่ 2 โดยวิเคราะห์คำบรรยายเพื่อหาคำพื้นฐาน ทำให้ทราบหน้าที่ของอุปกรณ์ จึงต้องมาวิเคราะห์ค่าประกอบสัมพันธ์ด้วย สรุปได้ว่าในขั้นตอนที่ 2 นี้จะทำให้ได้หน้าที่ของอุปกรณ์ และสามารถกำหนดตัวรายการอุปกรณ์หน้าที่เป็นกลางทั่วไป โดยไม่ระบุเฉพาะเจาะจงว่าต้องใช้ชิ้นส่วนอุปกรณ์แบบใด รูปร่างแบบใด

ขั้นตอนที่ 3 ศึกษาพิจารณาปัจจัยที่ทำให้อุปกรณ์นั้นทำงานได้ตามหน้าที่

เป็นการคิดค้นสิ่งที่จะทำให้อุปกรณ์นั้นทำงานได้ตามหน้าที่ที่กำหนด ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะอยู่ในรูปของวัสดุ พลังงาน และสัญญาณวิทยาการที่สำคัญเกี่ยวข้องในข้อนี้ คือ วิชาฟิสิกส์ ได้แก่ ด้านกลไก เคมี ไฟฟ้า แสงเสียง และความร้อน เป็นต้น สิ่งที่กำหนดอาจจะเป็นคำเขียนสั้นๆ หรือภาพสเก็ตง่ายๆ เพื่อจะใช้เป็นชิ้นส่วนประกอบอุปกรณ์ จะต้องพยายามเขียนกำหนดให้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้ สำหรบเป็นทางเลือกต่างๆ ที่จะทำการตันสินใจเลือกในลำดับต่อไป แนวทางที่จะได้ทางเลือก คือ การศึกษาพิจารณาในลักษณะรูปทรงต่างๆ และลักษณะของการเคลื่อนไหวของส่วนประกอบต่างๆ อาจต้องมีการระดมสมองร่วมกัน รวมทั้งข้อมูลต่างๆ ที่อยู่ รวมทั้งผลงานผู้อื่น ชิ้นส่วนที่คิดค้นขึ้น ควรจะต้องพิจารณาเงื่อนไขบางประการ เช่นการใช้ชิ้นส่วนสำเร็จ ความยากง่ายในการผลิต และค่าใช้จ่าย เป็นต้นนอกจากนั้นควรใช้ชิ้นส่วนประกอบบางชิ้นทำหน้าที่ได้หลายหน้าที่ สิ่งสำคัญในจุดนี้คือ พยายามใช้ชิ้นส่วน หรืออุปกรณ์บางอย่างที่มีอยู่แล้วให้มากที่สุด

ขั้นตอนที่ 4 วิเคราะห์และตัดสินใจเลือกชิ้นส่วนของอุปกรณ์

ขั้นตอนนี้มีเป้าหมายที่สำคัญ คือ ต้องการหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากทางเลือกหลาย ๆ ทางโดยการวิเคาระห์ และตัดสินใจเลือก ซึ่งอาจมีวิธีการที่แตกต่างกันไป การตัดสินใจเลือกมีสิ่งสำคัญ คือ แนวทางในการตัดสินใจเลือกเกณฑ์ โดยทั่วไปเกณฑ์ที่กำหนด ได้แก่เรื่องของขนาด

รูปร่าง ประสิทธิภาพในการทำงาน การบำรุงรักษา ความคงทน ราคา เป็นต้น ส่วนน้ำหนักของเกณฑ์ก็จะแตกต่างกันออกไปตามความสำคัญ หรือจะเน้นหนักไปในเรื่องใด เช่น เน้นหนักทางด้านเทคนิค หรือทางด้านเศรษฐศาสตร์ เป็นต้น การตัดสินใจจะต้องมีความเที่ยงตรงหน้าเชื่อถือ ในการตัดสินใจจึงควรประกอบด้วยบุคคลหลายฝ่าย เช่น ฝ่ายออกแบบ ฝ่ายผลิต ฝ่ายจัดการ เป็นต้น การพัฒนาอุปกรณ์ซึ่งมีอุปกรณ์ประกอบต่างๆ จำนวนมาก อาจจะต้องตัดสินใจเลือกส่วนประกอบแต่ละชิ้น ขั้นตอนนี้ต้องนำมาวิเคราะห์ความเข้ากันได้ หรือการประกอบกันได้ของชิ้นส่วนประกอบต่างๆ ที่ได้เลือกมาแล้ว จึงทำการตัดสินใจเลือกชุดประกอบแต่ละชุด

ขั้นตอนที่ 5 การสร้างต้นแบบและการตรวจสอบ

จากผลการตัดสินใจเลือกชิ้นประกอบ ในขั้นตอนที่ 4 จะต้องนำมาสเก็ตเป็นภาพประกอบคร่าวๆ หรือสเก็ตเป็นแบบง่ายๆ ก่อน จากนั้นจึงทำการสร้างป็นแบบ บางครั้งขั้นตอนนี้อาจจะต้องทำการทดลอง หรือ ทดสอบกลไกหน้าที่ของอุปกรณ์บางอย่างเพื่อให้สร้างต้นแบบประสบความสำเร็จ อุปกรณ์ต่าง ๆ สามารถทำงานได้ตามต้องการ

ขั้นที่ 6 การเขียนแบบ

ในกรณีที่ออกแบบสร้างเพียงชั้นเดียว งานเขียนแบบก็ไม่จำเป็น แต่ถ้าหากจะทำการผลิตหรือต้องการเก็บข้อมูลต่างๆ เพื่อประโยชน์ในการดำเนินการต่อไป งานเขียนแบบนับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่ง แบบงานจะเป็นข้อมูลในการดำเนินการผลิตได้ เขียนแบบจะต้องกำหนดย่อยและแบบชั้นเดียว ระบบการเขียนแบบมีความสำคัญต่อการกำหนดราคา การวางแผนการผลิตและการเก็บข้อมูลทางด้านชิ้นส่วน และวัสดุของหน่วยงาน

ขั้นตอนที่ 7 การเตรียมเอกสารประกอบ

อุปกรณ์ออกแบบสร้างแบบทั่วไป ควรจะต้องเตรียบเอกสารประกอบในการทดลอง เช่น ตำรา ใบงาน แบบทดสอบ เพื่อให้ผู้ใช้จะได้ทำการทดลองใช้งานอย่างถูกต้อง ปลอดภัย และสอดคล้องตามวัฤประสงค์ในการออกแบบสร้างอุปกรณ์ชิ้นนั้น

2.12 การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มงคล แซ่จิว (2544 : บทคัดย่อ) เรื่องไคเซ็นในการปรับปรุงระดับคุณภาพการผลิตในอุตสาหกรรม กรณีศึกษาบริษัทอีซูซุเอ็นยิ่นแมนูแฟคเจอริ่ง (ประเทศไทย) จำกัด ไคเซ็นคือแนวคิดการปรับปรุงแบบญี่ปุ่นที่แนะนำให้มีการปรับปรุงทีละเล็กละน้อยอย่างต่อเนื่อง โดยการเน้นการลงมือกระทำมากกว่าผลลัพธ์ การศึกษากรณีศึกษาการนำไคเซ็นไปใช้ในการปรับปรุงระดับคุณภาพการผลิตในอุตสาหกรรมยานยนต์นี้ ได้ศึกษาวิธีการและการดำเนินการด้านไคเซ็นของบริษัทอีซูซุฯ จากข้อมูลการสังเกตและข้อมูลที่เป็นเอกสารที่ได้รวบรวมไว้แล้ว จากการศึกษาพบว่าการนำไคเซ็นมาใช้ทำให้ระดับคุณภาพเครื่องยนต์ที่ผ่านการทดสอบขั้นสุดท้ายที่หน่วยทดสอบเพิ่มขึ้นจาก

อัตราการผ่านการทดสอบก่อนเริ่มทำไคเซ็นที่ร้อยละ 98.09 มาเป็นร้อยละ 99.50 ในปัจจุบัน และมีจำนวนหัวข้อด้านการปรับปรุงระหว่างปี พ.ศ.2542 – 2543 จำนวนรวมกัน 78 หัวข้อ หัวข้อการทำอุปกรณ์ป้องกันรวมกัน 39 หัวข้อ ผลของการทำไคเซ็นในด้านการรักษามาตราฐานและการปรับปรุงให้ดีกว่าเดิม

เชิดพงษ์ ด่านยุทธศิลป์ (2539 : บทคัดย่อ) เรื่องการศึกษาหาวิธีการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมปั่นด้าย ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโดยมุ่งเน้นในเรื่องการลดความสูญเสียของการใช้ทรัพยากร โดยเฉพาะวัตถุดิบ โดยใช้วิธีการในการปรับปรุงโครงสร้างของการจัดองค์กรและแรงงาน การปรับปรุงด้านผังโรงงาน และการขนถ่ายวัสดุโดยใช้วิธีการจัดวางผังโรงงานอย่างมีระบบ และปรับปรุงในเรื่องของการควบคุมของคุณภาพของวัตถุดิบ การใช้ประโยชน์พื้นที่ของคลังวัตถุดิบ และการปรับปรุงด้านเทคนิค 5ส ซึ่งจากผลการปรับปรุงทำให้ลดการสูญเสียของวัตถุดิบและลดต้นทุนของวัตถุดิบ ลดระยะทางการขนส่งระหว่างการผลิต และลดพื้นที่การจัดเก็บวัตถุดิบ เป็นผลทำให้ผลผลิตของโรงงานซึ่งก็คือ น้ำหนักด้ายที่ผลิต เพิ่มสูงขึ้น

กบิล มโนธรรมกิจ (2543 : บทคัดย่อ) เรื่องการเพิ่มผลผลิตของสายการผลิต Exhaust Manifold โดยการลดเวลาการตั้งเครื่องจักร จุดประสงค์ของโครงการวิจัยอุตสาหกรรมนี้เพื่อเพิ่มผลผลิตของสายการการผลิต Exhaust Manifold (EMF) พบว่าการตั้งเครื่องทำให้เกิดเวลาสูญเสียมากที่สุดจึงพิจารณาศึกษากระบวนการตั้งเครื่องเพื่อแก้ไขปัญหา ซึ่งจะจัดกระบวนการตั้งเครื่องเป็น 3 ส่วน คือ การตั้งเครื่องเบื้องต้น การตรวจสอบ และการปรับแก้งาน จากการศึกษาพบว่าปัญหาเกิดขึ้นได้แก่ ปัญหาด้านการจัดเตรียม ปัญหาการรอตรวจสอบ และปัญหาการปรับแก้งาน จากปัญหาดังกล่าวทางผู้วิจัยได้เสนอแนวทางการปรับปรุงโดยการประยุกต์ใช้เทคนิคต่างๆ ทางวิศวกรรมอุตสาหกรรมเพื่อใช้ในการแก้ปัญหา ซึ่งผลจากการปรับปรุงเพื่อลดเวลาการตั้งเครื่องสามารถสรุปได้ดังนี้

1. การปรับปรุงการตั้งเครื่องเบื้องต้น ลดเวลาที่ใช้ในการตั้งเครื่องเบื้องต้นลงจาก 2.61 ชั่วโมง เหลือเป็น 1.12 ชั่วโมง ลดลงได้ร้อยละ 56.9
2. การปรับปรุงการตรวจสอบ เสนอแนวทางเพื่อลดเวลาการตรวจสอบที่ฝ่ายประกันคุณภาพ
3. การปรับปรุงการปรับแก้งาน ลดเวลาที่ใช้ในการปรับแก้งานลงจาก 2.11 ชั่งโมง เหลือเป็น 1.18 ชั่งโมง ลดลงได้ 44.1

ผลการวิจัยพบว่า ภายหลังการปรับปรุงจะทำให้เวลาในการตั้งเครื่องลดลงได้ร้อยละ 53.5

เล็ก นาเงิน (2537 : บทคัดย่อ) เรื่องการเพิ่มประสิทธิภาพอุตสาหกรรมการผลิตด้วยการลดเวลาการสูญเสียกรณีศึกษาการผลิตตู้เย็น วัตถุประสงค์ 1. เพื่อจัดสร้างฐานข้อมูลและโปรแกรมคอมพิวเตอร์วิเคราะห์การสูญเสียเวลาในกระบวนการผลิต เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในสายการผลิต และ 2. เพื่อพัฒนารูปแบบการลดเวลาที่สูญเสียในกระบวนการผลิตโดยใช้อุตสาหกรรมการผลิต

ตู้เย็นเป็นกรณีศึกษา และใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ฟอกซ์เบส (FOX BASE) ใช้แผนภูมิพาราโต และแผนภูมิก้างปลาเป็นเครื่องมือ

ผลจากการวิจัยทำให้ได้ฐานข้อมูลซึ่งแสดงข้อมูลการผลิต และระยะเวลาที่สูญเสียในสายการผลิตโดยแสดงผลบนจอมอนิเตอร์ด้วยระบบโต้ตอบหรือแสดงผลทางเครื่องพิมพ์ ส่วนการสูญเสียเวลาที่เกิดจากปัจจัยการผลิตได้แก่ คน เครื่องจักร วัตถุดิบ และการบริหารนั้นในการวิจัยครั้งนี้ ได้วิเคราะห์เวลาที่สูญเสียเกิดจากเครื่องจักรมากที่สุด 5.9% และจากแผนภูมิก้างปลาแสดงว่าเครื่องจักรขัดข้องเนื่องจาก แผนซ่อมบำรุงรักษาไม่เหมาะสม สมรรถนะของเครื่องจักรไม่เหมาะสมที่จะทำงาน ติดต่อกันเป็นเวลานานและปัญหาอันเกิดมาจากระบบของเครื่องต้นกำลัง

ดังนั้นถ้ามีการจัดการที่ดีลดการสูญเสียจากเครื่องจักรได้จะทำให้ประสิทธิภาพของการผลิตเพิ่มขึ้นจาก 85.9% เป็น 90.34 % และผลผลิตตู้เย็นจะเพิ่มขึ้น 14 ตู้ต่อวัน เมื่อทำงาน 8 ชั่วโมง หรือ 18 ตู้ต่อวันเมื่อทำงาน 11 ชั่วโมง

ไพฑูรย์ พราวเนตร (2543 : บทคัดย่อ) เรื่องการศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพของสิ่งประดิษฐ์เรซิ่นมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของอุตสาหกรรมสิ่งประดิษฐ์เรซิ่นซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในอุตสาหกรรมขนาดย่อยของไทยซึ่งต้องใช้แรงงานฝีมือเป็นส่วนสำคัญในการผลิต การศึกษานี้มุ่งเน้นในการลดความสูญเสียของการใช้วัตถุดิบ และแรงงาน โดยการใช้เทคนิคทางด้านอุตสาหการ คือการปรับปรุงผังโรงงานและอุปกรณ์การขนย้าย การควบคุมการผลิต และการศึกษาเวลาและการทำงานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต ผลของการปรับปรุงโรงงานตัวอย่าง โดยวิธีดังกล่าวสามารถสรุปผลได้ดังนี้ 1. ลดการสูญเสียของเรซิ่นในแผนกหล่อ ได้ 20.5 % 2. ลดการสูญเสียของวัสดุในการล้างทินเนอร์ในแผนกขัดผิวลดค่าใช้จ่ายได้ 14,000 บาทต่อเดือน 3. ลดการสูญเสียจากการทำซ้ำในกระบวนการเขียนสีได้ 17.42 % 4. ลดระยะทางในการขนย้ายของการผลิตสิ่งประดิษฐ์เรซิ่นทึบแสงได้ 42.5 m. หรือ 57%

ณัฐพงศ์ วุฒิกร (2543 : บทคัดย่อ) เรื่องการปรับปรุงคุณภาพระบบการวัดความสั่นสะเทือนของสปินเดิลมอเตอร์โดยผ่านแนวทาง ซิกส์ซิกม่า วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อทดสอบแนวคิดในการบริหารคุณภาพที่เน้นการปรับปรุง ในกระบวนการผลิตโดยแนวทางซิกส์ซิกม่าซึ่งเป็นทฤษฎีการจัดการแนวใหม่ ประการถัดมา เพื่อแสวงหาแนวทางในการลดต้นทุนและขจัดความสิ้นเปลืองเป็นประการสำคัญ โดยการ ปรับปรุงคุณภาพในระบบการวัดเพื่อสร้างความเชื่อมั่นให้กับลูกค้าและสามารถนำข้อมูลที่ ได้มาใช้ในการอธิบายกระบวนการเพื่อนำสารสนเทศจากข้อมูลมาใช้เพื่อการตัดสินใจให้เกิด ประโยชน์และมีประสิทธิภาพสูงสุด สำหรับกระบวนการที่ศึกษานั้นเป็นกระบวนการทดสอบความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นภายใน ตัวสปินเดิลมอเตอร์ โดยการกำหนดระดับความสั่นสะเทือนให้ไม่เกิน 150% ACT จะส่งผลให้ ระบบการวัดดังกล่าวมีความถูกต้องและมีความแม่นยำ ซึ่งขั้นตอนการดำเนินงาน ทั้งหมดนั้น มีอยู่สี่ขั้นตอนคือ การวัดผล การวิเคราะห์ การปรับปรุง และการควบคุม โมเดลที่ใช้ในการ ศึกษาได้แก่โมเดลซีต้า 18 แอลพี จากการศึกษาพบว่า

ระบบการวัดความสั่นสะเทือนขาด คุณสมบัติเชิงเส้นตรงและคุณสมบัติความแม่นยำซึ่งไม่สามารถยอมรับได้จำเป็นต้องระบุถึง สาเหตุแล้วดำเนินการแก้ไข จากการวิเคราะห์สามารถกำหนดแนวทางในการแก้ปัญหาได้ โดยพยายามลดระดับความสั่นสะเทือนของผลิตภัณฑ์ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมมากขึ้น สำหรับแนวทางที่ต้องดำเนินต่อไปในอนาคตนั้นอยู่ในขั้นตอนการควบคุมซึ่งเป็นขั้นตอน สุดท้าย แต่เนื่องจากปัจจัยที่เป็นสาเหตุของปัญหานั้นเป็นชิ้นส่วนที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ ดังนั้นการดำเนินการเพื่อการควบคุมในการศึกษานี้จึงเป็นเรื่องยากและไม่สามารถ ทำได้ในทางปฏิบัติ

วิชัย ปามุทา (2544 : บทคัดย่อ) เรื่องการปรับปรุงอัตราส่วนของเสียจากกระบวนการตัดเพลาความเที่ยงตรงสูงขนาดเล็ก จุดประสงค์ของโครงงานวิจัยฉบับนี้คือการปรับปรุงเทคนิคการผลิตเพื่อลดอัตราส่วน ของเสียที่เกิดในกระบวนการตัดงานของการผลิตเพลาความเที่ยงตรงสูงขนาดเล็ก จากการศึกษากระบวนการตัดงานของแผนกตัดพบว่าสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาของเสียเกิดจากขั้นตอน การปรับตั้งเครื่องจักรในการขึ้นงานใหม่ ดังนั้นจึงทำการศึกษาและวิจัยกระบวนการตั้งเครื่อง ในการขึ้นงานใหม่เพื่อทำการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น จากการศึกษาขั้นตอนการปรับตั้งเครื่องจักรในการขึ้นงานใหม่พบว่าการตั้งเครื่องจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ การตั้งเครื่องเบื้องต้น การตรวจสอบชิ้นงาน และการปรับแต่งเครื่องจักร ซึ่งขั้นตอนที่ทำให้เกิดปัญหาของเสียจะเกิดขึ้น ในส่วนของการปรับแต่งเครื่องจักรในขั้นตอนการปรับแต่งค่าความโก่งและค่าความยาวของงานเป็นหลัก จากปัญหาดังกล่าวได้ทำการสร้างชุดสมดุลวัตถุดิบขึ้นเพื่อแก้ไขปัญหาการปรับตั้งค่าความโก่งและได้ทำการปรับปรุงชุดหยุดวัตถุดิบโดยทำสเกลเพื่อบอกระยะในการปรับตั้งความยาวรวมทั้งได้ทำการปรับปรุงวิธีการทำงาน เครื่องมืออุปกรณ์ ทำการปรับปรุงพื้นที่ในการทำงาน โดยได้ประยุกต์ใช้เทคนิคทางด้านวิศวกรรมอุตสาหกรรมเข้ามาทำการแก้ไข จากผลการปรับปรุงดังกล่าวสามารถลดอัตราส่วนงานเสียของแผนกตัดจากร้อยละ 4.94 เหลือเป็นร้อยละ 1.18 และส่งผลให้อัตราส่วนของเสียทั้งโรงงานลดลงจากร้อยละ 6.77 เหลือเป็นร้อยละ 4.00 หลังจากที่นำวิธีการที่ปรับปรุงขึ้น

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เพื่อปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของเครื่องกัดร่องขนาดเล็กสำหรับสปินเดิลไฮโดรมอเตอร์ ของบริษัทนิเด็คไฮเทคมอเตอร์ (ประเทศไทย) จำกัด สาขาที่ 4 คลอง 7 รังสิต จังหวัดปทุมธานี ซึ่งผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัย ดังนี้

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.3 หาประสิทธิภาพของชุดเครื่องมือการวิจัย

3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูลการวิจัย

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.6 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร คือ สปินเดิลมอเตอร์รุ่น Cheetah X15_73LP ที่ใช้ในการทดลองกับชุดอุปกรณ์จับยึดทั้ง 3 แบบ คือ อีเล็กโตรดโลเวอร์โคน อีเล็กโตรดอัปเปอร์โคน และอีเล็กโตรดปั้มป์ชิล แต่ละล็อทการทดลองจะมีจำนวน 30,000 ตัว

กลุ่มตัวอย่าง คือ กลุ่มมอเตอร์รุ่น Cheetah X15_73LP ที่ใช้ทดสอบเครื่องมือการวิจัยว่าชุดอุปกรณ์จับยึดของอีเล็กโตรดที่ออกแบบใหม่ทั้ง 3 แบบ สามารถทำการผลิตได้ตามเงื่อนไขข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์สปินเดิลมอเตอร์ได้หรือไม่ โดยเก็บตัวอย่างมอเตอร์จากการใช้อีเล็กโตรดแต่ละแบบจำนวน 35 อีเล็กโตรด โดยการติดตั้งอีเล็กโตรดหนึ่งตัวกับชุดอุปกรณ์จับยึดจะนำเอามอเตอร์ 6 ตัวอย่างของช่วงแรกของการทดลอง ซึ่งจะได้จำนวนมอเตอร์ตัวอย่างรวม 210 มอเตอร์ของอีเล็กโตรดแต่ละแบบ

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของเครื่องกัดร่องขนาดเล็กสำหรับสปินเดิลไฮโดรมอเตอร์รุ่น Cheetah X15_73LP ทำการปรับปรุงออกแบบชุดอุปกรณ์จับยึดของอีเล็กโตรดทั้ง 3 แบบ คือ แบบอีเล็กโตรดโลเวอร์โคน แบบอีเล็กโตรดอัปเปอร์โคน และแบบชุดอีเล็กโตรดปั้มป์ซิล ในการสร้างเครื่องมือสำหรับการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินตามขั้นตอนการสร้างเครื่องมือ ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ดังนี้

1. ศึกษาทฤษฎี แนวทางการสร้างเครื่องมือวิจัยจากเอกสาร ตำรา เครือข่ายสารสนเทศ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เกี่ยวกับขั้นตอนการสร้างเครื่องมือ

2. ศึกษาข้อมูลย้อนหลังช่วงเดือนมกราคม 2545 จนถึงเดือนพฤษภาคม 2546 ในกระบวนการผลิต ปริมาณการใช้อีเล็กโตรดและการหยุดซ่อมปรับแต่งเครื่อง เก็บข้อมูลปัญหาจากกระบวนการผลิต และของเสียที่เกิดจากการผลิต วิเคราะห์ปัญหาด้วยเครื่องมือทางสถิติ สรุปปัญหาที่ได้เกิดขึ้นกับชุดอุปกรณ์จับยึดมอเตอร์และอีเล็กโตรดเป็นหลัก จากการวิเคราะห์ของปัญหาซึ่งจะต้องทำการแก้ไขชุดอุปกรณ์จับยึด ซึ่งนำมาสู่การออกแบบสร้างชุดทดลองแบบใหม่ที่รวมการแก้ปัญหาที่เกิดจากกระบวนการผลิต

3. ทำการติดต่อประสานงานและขอความร่วมมือจากฝ่ายวิศวกรการออกแบบ เพื่อเขียนแบบแปลนชุดทดลองอุปกรณ์จับยึดใหม่ ที่ได้รับการแก้ไขปัญหาตามข้อมูลการวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ และทำการตรวจสอบแบบแปลนการออกแบบการสร้างชุดทดลองอุปกรณ์จับยึด โดยสามารถแสดงเป็นภาพเคลื่อนไหวในโปรแกรมคอมพิวเตอร์แบบสามมิติเสมือนจริง ซึ่งสะดวกในการแก้ไขแบบแปลน และจัดพิมพ์เป็นแบบแปลนรายละเอียดของชิ้นส่วนต่างๆ

4. นำแบบแปลนการออกแบบชุดทดลองอุปกรณ์จับยึดส่งไปทำการสร้างชิ้นส่วนต่างๆ ที่ machine shop และอุปกรณ์บางชิ้นส่วนที่ไม่สามารถทำได้เอง ก็จะทำการส่งไปยังผู้รับเหมาช่วงที่ชำนาญการข้างนอกโรงงาน แล้วนำทุกชิ้นส่วนที่ได้ทำการประกอบตามแบบแปลนการออกแบบเป็นชุดทดลองอุปกรณ์จับยึด ทำการปรับแต่งเบื้องต้นที่สามารถพร้อมใช้งานทำการทดลอง

5. แจ้งติดต่อประสานงานขอความร่วมมือกับช่างเทคนิคและพนักงานประจำเครื่อง จัดฝึกอบรมทำความเข้าใจกับชุดทดลองอุปกรณ์จับยึดแบบใหม่ และขั้นตอนในการทดลอง ก่อนไปทดลองใช้ (Try out) แสดงถึงข้อควรระวังของการใช้งานกับชุดอุปกรณ์จับยึดแบบใหม่ การปฏิบัติงานที่ต้องอาศัยความชำนาญที่ต้องทำตามขั้นตอนลำดับก่อนหลัง วิธีดูแลรักษาและตรวจเช็คเบื้องต้นเมื่อมีอาการผิดปกติเกิดขึ้นขณะปฏิบัติงานต้องหยุดทันที และวิธีการจดบันทึกตามแบบการทดลองเพื่อให้ง่ายต่อการเก็บข้อมูลการทดลอง

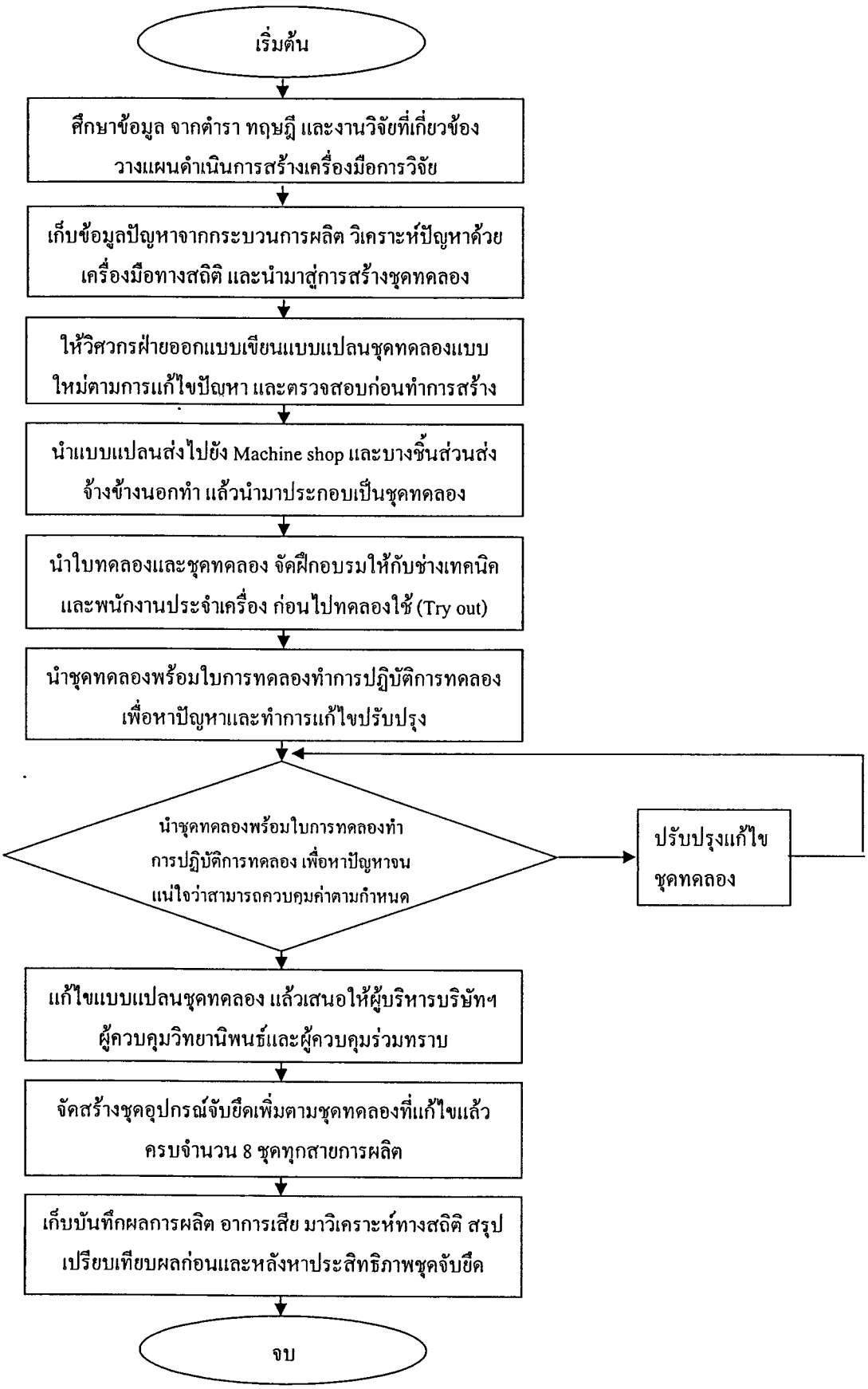
6. นำชุดทดลองอุปกรณ์จับยึดทำการติดตั้งกับเครื่องกัดร่อง ทำการปรับแต่งชุดทดลองและใช้งานจำนวน 35 มอเตอร์ทำการทดลอง เก็บรวบรวมบันทึกปัญหาที่พบขณะติดตั้งปรับแต่งและ

การปฏิบัติงานการทดลองของช่างเทคนิคและพนักงานประจำเครื่อง เพื่อทำการแก้ไขปรับปรุงเพิ่มเติมชุดทดลองจนแน่ใจว่าสามารถควบคุมค่าพารามิเตอร์ตามค่าที่กำหนดของผลิตภัณฑ์ ก่อนทำการผลิตเพื่อเก็บข้อมูลหาประสิทธิภาพเปรียบเทียบ

7. ส่งข้อมูลจากการตรวจพบปัญหาไปยังฝ่ายวิศวกรออกแบบ เพื่อทำการแก้ไขแบบแปลนชุดทดลองให้สมบูรณ์ แล้วเสนอขออนุมัติให้ผู้บริหารของบริษัทฯ ทำการจัดสร้างชุดอุปกรณ์จับยึดที่เหลือให้ครบจำนวน 8 ชุด และเสนอความคืบหน้าชุดทดลองให้ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์และผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วมทราบ

8. นำแบบแปลนที่ปรับปรุงแก้ไขจากการทดลองใช้ชุดต้นแบบ ทำการสร้างชุดอุปกรณ์จับยึดตามชุดต้นแบบเพิ่มให้พอดีกับอัตราการผลิต แล้วทำการติดตั้งชุดอุปกรณ์จับยึดแบบใหม่ให้ครบทุกสายการผลิต โดยเปลี่ยนเอาชุดอุปกรณ์จับยึดแบบเก่าเก็บไว้เพื่อรอการปรับปรุง

9. ทำการเก็บบันทึกผลการผลิตจำนวนมอเตอร์ที่ผลิตได้ต่ออีเล็กโตรด อาการของเสียที่เกิดจากการผลิต นำผลการเก็บข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ สรุปเปรียบเทียบผลของการผลิตเพื่อหาประสิทธิภาพก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงของชุดอุปกรณ์จับยึดต่อไป



ภาพที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการสร้างเครื่องมือสำหรับการวิจัย

3.3 หาประสิทธิภาพของชุดเครื่องมือการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยเพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องกัดร่องขนาดเล็ก ก่อนทำการวิจัยต้องทำการหาประสิทธิภาพของชุดอุปกรณ์จับยึดอีเล็กโตรดตามเงื่อนไขข้อกำหนดของสปินเดิลมอเตอร์ผลิตภัณฑ์ รุ่น Cheetah X15_73LP โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. การดำเนินการทดลองหาประสิทธิภาพของเครื่องมือการวิจัยชุดอุปกรณ์จับยึดอีเล็กโตรดแบบใหม่ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น โดยให้ช่างเทคนิคและพนักงานประจำเครื่องทำการปฏิบัติ เพื่อทำการวัดค่าพารามิเตอร์ตามที่กำหนด เก็บรวบรวมข้อมูลในการทดลอง และปัญหาที่พบกับชุดทดลองทั้ง 3 แบบ คือ ชุดทดลองอุปกรณ์จับยึดแบบอีเล็กโตรดโลเวอร์โคน ชุดทดลองอุปกรณ์จับยึดแบบอีเล็กโตรดอัปเปอร์โคน และชุดทดลองอุปกรณ์จับยึดแบบอีเล็กโตรดปั้มป์ซิล

2. นำบันทึกผลข้อมูลการทดลองการตรวจวัดด้วยเครื่องมือวัด มาวิเคราะห์ทางด้านสถิติเพื่อวัดตรวจสอบชุดอุปกรณ์จับยึดอีเล็กโตรดแบบใหม่สามารถทำได้ตามข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์สปินเดิลมอเตอร์ รุ่น Cheetah X15_73LP ซึ่งสามารถควบคุมค่าพารามิเตอร์ตามเงื่อนไขข้อกำหนดได้เป็นอย่างดี ซึ่งมีรายละเอียดเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลหลังการทดลองชุดอุปกรณ์จับยึดแบบอีเล็กโตรดโลเวอร์โคน โดยการวัดค่าและบันทึกข้อมูลผลการทดลอง ได้จากชุดอุปกรณ์จับยึดที่ออกแบบสร้างเครื่องมือขึ้นใหม่ที่ใช้ในการผลิตสปินเดิลไฮโดรมอเตอร์ รุ่น Cheetah X15_73LP โดยนำเอามอเตอร์ที่ได้จากกระบวนการกัดร่อง มาทำการวัดค่าและเก็บบันทึกข้อมูลตามขั้นตอนการทดลอง โดยอีเล็กโตรดทุกตัวที่ติดตั้งใหม่จะนำเอามอเตอร์ 6 ตัวอย่างที่เริ่มต้นกระบวนการผลิต ซึ่งได้เก็บงานตัวอย่างจากการติดตั้งอีเล็กโตรดทั้งหมด 35 ตัว และทำการวัดค่าเก็บข้อมูลที่ควบคุมตามค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดตามใบการทดลอง ซึ่งได้ตัวอย่างมอเตอร์รวมจำนวนทั้งหมด 175 ตัวอย่าง

และได้เก็บตัวอย่างมอเตอร์ 1 ตัวจากอีเล็กโตรดทุกตัวที่ติดตั้งใหม่ มาทำการผ่าตัวงานมอเตอร์เพื่อทำการวัดค่าตรวจสอบ และเก็บข้อมูลภายในมอเตอร์ที่ไม่สามารถวัดจากภายนอกได้ตามใบการทดลอง ซึ่งได้ตัวอย่างมอเตอร์รวมจำนวนทั้งหมด 35 ตัวอย่าง ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้แสดงในตารางดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1 ค่าเฉลี่ยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าเฉลี่ยระดับการปฏิบัติการทดลอง และลำดับที่ ในการจัดกระบวนการการผลิตของโลเวอร์โคน (P/N : 00-020) ในภาพรวม

กระบวนการทดลองและการวัดค่าโลเวอร์โคน (P/N : 00-020)	n = 175		ค่าควบคุม (μm)
	$\overline{X}$	*S.D.*	
1. ด้านความลึกค่าเฉลี่ยของร่องในโลเวอร์โคน	8.85	0.51	6-13 μm

กระบวนการทดลองและการวัดค่าโลเวอร์โคน (P/N : 00-020)	n = 35		ค่าควบคุม (mm)
	$\overline{X}$	*S.D.*	
2. ตำแหน่งร่องจุดที่ 1	1.25	0.02	1.19-1.29
3. ตำแหน่งร่องจุดที่ 2	2.41	0.03	2.28-2.48
4. ตำแหน่งปลายร่องจุดที่ 1	0.03	0.03	0.0 – 0.1
5. ตำแหน่งปลายร่องจุดที่ 2	0.03	0.03	0.0 – 0.1
6. ตำแหน่งไม่มีร่องจุดที่ 1	0.18	0.01	0.0 – 0.2
7. ตำแหน่งไม่มีร่องจุดที่ 2	0.18	0.01	0.0 – 0.2
8. ค่าอัตราส่วนเฉลี่ยร่องต่อพื้นที่ว่าง	48.55	3.02	40 – 60 %

จากตารางที่ 3.1 พบว่าการทดลองการทำการกัดร่องของโลเวอร์โคน ในภาพรวม 8 ค่าที่ทำการวัดตรวจสอบ เมื่อพิจารณาเป็นรายด้านในการวัดตรวจสอบพบว่า

1. การวัดตรวจสอบลำดับที่ 1 ด้านความลึกค่าเฉลี่ยของร่องในโลเวอร์โคน อยู่ในค่าที่ควบคุมเป็นอย่างดี $\left(\overline{X} = 8.85, S.D. = 0.51\right)$

2. การวัดตรวจสอบลำดับที่ 2 ด้านระยะตำแหน่งร่องจุดที่ 1 อยู่ในระหว่างค่าที่ควบคุมเป็นอย่างดี $\left(\overline{X} = 1.25, S.D. = 0.02\right)$

3. การวัดตรวจสอบลำดับที่ 3 ด้านระยะตำแหน่งร่องจุดที่ 2 อยู่ในระหว่างค่าที่ควบคุมเป็นอย่างดี $\left(\overline{X} = 2.41, S.D. = 0.03\right)$

4. การวัดตรวจสอบลำดับที่ 4 ด้านระยะตำแหน่งปลายร่องจุดที่ 1 อยู่ในระหว่างค่าที่ควบคุมเป็นอย่างดี $\left(\overline{X} = 0.03, S.D. = 0.03\right)$

5. การวัดตรวจสอบลำดับที่ 5 ด้านระยะตำแหน่งปลายร่องจุดที่ 2 อยู่ในระหว่างค่าที่ควบคุมเป็นอย่างดี $\left(\overline{X} = 0.03, S.D. = 0.03\right)$

6. การวัดตรวจสอบลำดับที่ 6 ด้านระยะตำแหน่งไม่มีร่องจุดที่ 1 อยู่ในระหว่างค่าที่ควบคุมเป็นอย่างดี $\left(\overline{X} = 0.18, S.D. = 0.01\right)$

7. การวัดตรวจสอบลำดับที่ 7 ด้านระยะตำแหน่งไม่มีร่องจุดที่ 2 อยู่ในระหว่างค่าที่ควบคุมเป็นอย่างดี $(\overline{X} = 0.19, S.D. = 0.01)$

8. การวัดตรวจสอบลำดับที่ 8 ด้านค่าอัตราส่วนเฉลี่ยร่องต่อพื้นที่ อยู่ในระหว่างค่าที่ควบคุมเป็นอย่างดี $(\overline{X} = 48.55, S.D. = 3.02)$

ตอนที่ 2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลหลังการทดลองชุดอุปกรณ์จับยึดแบบอีเล็กโตรดอัปเปอร์โคน โดยการวัดค่าและบันทึกข้อมูลผลการทดลอง ได้จากชุดอุปกรณ์จับยึดที่ออกแบบสร้างเครื่องมือขึ้นใหม่ที่ใช้ในการผลิตสปินเดิลไฮโดรมอเตอร์ รุ่น Cheetah X15_73LP โดยนำเอามอเตอร์ที่ได้จากกระบวนการกัดร่อง มาทำการวัดค่าและเก็บบันทึกข้อมูลตามขั้นตอนการทดลอง โดยอีเล็กโตรดทุกตัวที่ติดตั้งใหม่จะนำเอามอเตอร์ 6 ตัวอย่างที่เริ่มต้นกระบวนการผลิต ซึ่งได้เก็บงานตัวอย่างจากการติดตั้งอีเล็กโตรดทั้งหมด 35 ตัว และทำการวัดค่าเก็บข้อมูลที่ควบคุมตามค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดตามใบการทดลอง ซึ่งได้ตัวอย่างมอเตอร์รวมจำนวนทั้งหมด 175 ตัวอย่าง

และได้เก็บตัวอย่างมอเตอร์ 1 ตัวจากอีเล็กโตรดทุกตัวที่ติดตั้งใหม่ มาทำการผ่าตัวงานมอเตอร์เพื่อทำการวัดค่าตรวจสอบ และเก็บข้อมูลภายในมอเตอร์ที่ไม่สามารถวัดจากภายนอกได้ตามใบการทดลอง ซึ่งได้ตัวอย่างมอเตอร์รวมจำนวนทั้งหมด 35 ตัวอย่าง ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้แสดงในตารางดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.2 ค่าเฉลี่ยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าเฉลี่ยระดับการปฏิบัติการทดลอง ในการจัดกระบวนการการผลิตของอัปเปอร์โคน (P/N : 00-019) ในภาพรวม

กระบวนการทดลองและการวัดค่าอัปเปอร์โคน (P/N : 00-019)	n = 175		ค่าควบคุม (μm)
	$\overline{X}$	*S.D.*	
1. ด้านความลึกค่าเฉลี่ยของร่องในอัปเปอร์โคน	8.60	0.37	6-13 μm

ตารางที่ 3.2 (ต่อ)

กระบวนการทดลองและการวัดค่าอัปเปอร์โคน (P/N : 00-019)	n = 35		ค่าควบคุม (mm)
	$\overline{X}$	*S.D.*	
2. ตำแหน่งร่องจุดที่ 1	1.25	0.02	1.19-1.29
3. ตำแหน่งร่องจุดที่ 2	2.39	0.03	2.28-2.48
4. ตำแหน่งปลายร่องจุดที่ 1	0.02	0.01	0.0 – 0.1
5. ตำแหน่งปลายร่องจุดที่ 2	0.03	0.01	0.0 – 0.1
6. ตำแหน่งไม่มีร่องจุดที่ 1	0.18	0.01	0.0 – 0.2
7. ตำแหน่งไม่มีร่องจุดที่ 2	0.18	0.02	0.0 – 0.2
8. ค่าอัตราส่วนเฉลี่ยร่องต่อพื้นที่ว่าง	49.43	3.22	40 – 60 %

จากตารางที่ 3.2 พบว่าการทดลองการทำการกัดร่องของอัปเปอร์โคน ในภาพรวม 8 ค่าที่ทำการวัดตรวจสอบ เมื่อพิจารณาเป็นรายด้านในการวัดตรวจสอบพบว่า

1. การวัดตรวจสอบลำดับที่ 1 ด้านความลึกค่าเฉลี่ยของร่องในอัปเปอร์โคน อยู่ในค่าที่ควบคุมเป็นอย่างดี $(\overline{X} = 8.60, S.D. = 0.37)$

2. การวัดตรวจสอบลำดับที่ 2 ด้านระยะตำแหน่งร่องจุดที่ 1 อยู่ในระหว่างค่าที่ควบคุมเป็นอย่างดี $(\overline{X} = 1.25, S.D. = 0.02)$

3. การวัดตรวจสอบลำดับที่ 3 ด้านระยะตำแหน่งร่องจุดที่ 2 อยู่ในระหว่างค่าที่ควบคุมเป็นอย่างดี $(\overline{X} = 2.39, S.D. = 0.03)$

4. การวัดตรวจสอบลำดับที่ 4 ด้านระยะตำแหน่งปลายร่องจุดที่ 1 อยู่ในระหว่างค่าที่ควบคุมเป็นอย่างดี $(\overline{X} = 0.02, S.D. = 0.01)$

5. การวัดตรวจสอบลำดับที่ 5 ด้านระยะตำแหน่งปลายร่องจุดที่ 2 อยู่ในระหว่างค่าที่ควบคุมเป็นอย่างดี $(\overline{X} = 0.03, S.D. = 0.01)$

6. การวัดตรวจสอบลำดับที่ 6 ด้านระยะตำแหน่งไม่มีร่องจุดที่ 1 อยู่ในระหว่างค่าที่ควบคุมเป็นอย่างดี $(\overline{X} = 0.18, S.D. = 0.01)$

7. การวัดตรวจสอบลำดับที่ 7 ด้านระยะตำแหน่งไม่มีร่องจุดที่ 2 อยู่ในระหว่างค่าที่ควบคุมเป็นอย่างดี $(\overline{X} = 0.18, S.D. = 0.02)$

8. การวัดตรวจสอบลำดับที่ 8 ด้านค่าอัตราส่วนเฉลี่ยร่องต่อพื้นที่ อยู่ในระหว่างค่าที่ควบคุมเป็นอย่างดี $(\overline{X} = 49.43, S.D. = 3.22)$

ตอนที่ 3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลหลังการทดลองชุดอุปกรณ์จับยึดแบบอีเล็กโตรดปั้มป์ซิล โดยการวัดค่าและบันทึกข้อมูลผลการทดลอง ได้จากชุดอุปกรณ์จับยึดที่ออกแบบสร้างเครื่องมือขึ้นใหม่ที่ใช้ในการผลิตสปินเดิลไฮโดรมอเตอร์ รุ่น Cheetah X15_73LP โดยนำเอามอเตอร์ที่ได้จากกระบวนการกัดร่อง มาทำการวัดค่าและเก็บบันทึกข้อมูลตามขั้นตอนการทดลอง โดยอีเล็กโตรดทุกตัวที่ติดตั้งใหม่จะนำเอามอเตอร์ 6 ตัวอย่างที่เริ่มต้นกระบวนการผลิต ซึ่งได้เก็บงานตัวอย่างจากการติดตั้งอีเล็กโตรดทั้งหมด 35 ตัว และทำการวัดค่าเก็บข้อมูลที่ควบคุมตามค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดตามใบการทดลอง ซึ่งได้ตัวอย่างมอเตอร์รวมจำนวนทั้งหมด 175 ตัวอย่าง

และได้เก็บตัวอย่างมอเตอร์ 1 ตัวจากอีเล็กโตรดทุกตัวที่ติดตั้งใหม่ มาทำการผ่าตัวงานมอเตอร์เพื่อทำการวัดค่าตรวจสอบ และเก็บข้อมูลภายในมอเตอร์ที่ไม่สามารถวัดจากภายนอกได้ตามใบการทดลอง ซึ่งได้ตัวอย่างมอเตอร์รวมจำนวนทั้งหมด 35 ตัวอย่าง ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้แสดงในตารางดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.3 ค่าเฉลี่ยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าเฉลี่ยระดับการปฏิบัติการทดลอง ในการจัดกระบวนการการผลิตของปั้มป์ซิล (P/N : 00-018) ในภาพรวม

กระบวนการทดลองและการวัดค่าของปั้มป์ซิล (P/N : 00-018)	n = 175		ค่าควบคุม (μm)
	$\overline{X}$	*S.D.*	
1. ค้านความลึกค่าเฉลี่ยของร่องในปั้มป์ซิล	14.78	0.656	10-20
2. ค่าความลึกเฉลี่ยของร่องด้านบน(Top)	14.80	0.780	10-20
3. ค่าความลึกเฉลี่ยของร่องด้านล่าง(Bottom)	14.76	0.738	10-20

กระบวนการทดลองและการวัดค่าของปั้มป์ซิล (P/N : 00-018)	n = 35		ค่าควบคุม (mm)
	$\overline{X}$	*S.D.*	
4. ระยะตำแหน่งร่องชั้นใน	1.03	0.05	0.9 – 1.15
5. ระยะตำแหน่งร่องชั้นนอก	1.05	0.03	0.9 – 1.15
6. ค่าอัตราส่วนเฉลี่ยร่องต่อพื้นที่	53.86	2.83	40 – 60 %

จากตารางที่ 3.3 พบว่าการทดลองการทำการกัดร่องของปั้มป์ซิล ในภาพรวม 6 ค่าที่ทำการวัดตรวจสอบ เมื่อพิจารณาเป็นรายด้านในการวัดตรวจสอบพบว่า

1. การวัดตรวจสอบลำดับที่ 1 ด้านความลึกค่าเฉลี่ยของร่องในปั้มป์ซิล อยู่ในค่าที่ควบคุมเป็นอย่างดี $\left(\overline{X} = 14.78, S.D. = 0.66\right)$

2. การวัดตรวจสอบลำดับที่ 2 ด้านความลึกค่าเฉลี่ยของร่องด้านบนในปั้มป์ซิล อยู่ในค่าที่ควบคุมเป็นอย่างดี $(\overline{X} = 14.80, S.D. = 0.78)$

3. การวัดตรวจสอบลำดับที่ 3 ด้านความลึกค่าเฉลี่ยของร่องด้านล่างในปั้มป์ซิล อยู่ในค่าที่ควบคุมเป็นอย่างดี $(\overline{X} = 14.76, S.D. = 0.74)$

4. การวัดตรวจสอบลำดับที่ 4 ด้านระยะตำแหน่งร่องชั้นใน อยู่ในระหว่างค่าที่ควบคุมเป็นอย่างดี $(\overline{X} = 1.03, S.D. = 0.05)$

5. การวัดตรวจสอบลำดับที่ 5 ด้านระยะตำแหน่งร่องชั้นนอก อยู่ในระหว่างค่าที่ควบคุมเป็นอย่างดี $(\overline{X} = 1.05, S.D. = 0.03)$

6. การวัดตรวจสอบลำดับที่ 6 ด้านค่าอัตราส่วนเฉลี่ยร่องต่อพื้นที่ อยู่ในระหว่างค่าที่ควบคุมเป็นอย่างดี $(\overline{X} = 53.86, S.D. = 2.83)$

3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูลการวิจัย

การเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามลำดับขั้นตอน ดังนี้

1. บันทึกเสนอต่อหน่วยงานบัณฑิตศึกษา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ให้ออกหนังสือขอความอนุเคราะห์ให้นักศึกษาทดลองเครื่องมือเพื่อการวิจัย ถึงผู้บริหารบริษัทนิเด็คไฮเทคมอเตอร์ (ประเทศไทย) จำกัด เพื่อขออนุญาตเก็บข้อมูลสำหรับการวิจัย

2. สร้างชุดเครื่องมือการวิจัยเพื่อทำการทดลองนำเสนอแก่ผู้บริหารที่เกี่ยวข้องของบริษัทนิเด็คฯ จัดอบรมชุดอุปกรณ์จับยึดแบบใหม่แก่ช่างเทคนิคและพนักงานประจำเครื่อง เพื่อทราบและเข้าใจวัตถุประสงค์ของการทดลอง และขอความร่วมมือรวบรวมจดบันทึกปัญหาการติดตั้งชุดทดลองอุปกรณ์จับยึดกับเครื่องกัดร่องเสนอแนะกับผู้วิจัย เพื่อทำการปรับแก้ไขจนแน่ใจว่าสามารถทำการผลิตได้จริงแล้วสร้างชุดอุปกรณ์จับยึดเพิ่มเติมให้ครบตามจำนวนสายการผลิต

3. กำหนดวันติดตั้งชุดอุปกรณ์จับยึดแบบใหม่ทุกสายการผลิต ทำการเก็บบันทึกข้อมูลการผลิตจำนวนมอเตอร์ต่ออีเล็กโตรดตามตารางบันทึกการทดลอง ตรวจสอบและบันทึกอาการเสียหายของมอเตอร์ที่พบในกระบวนการผลิต โดยให้พนักงานประจำเครื่องเก็บบันทึกจำนวนการผลิตมอเตอร์แยกตามหมายเลขชุดอุปกรณ์จับยึด และแยกตามหมายเลขอีเล็กโตรด ทำการบันทึกจำนวนการผลิตในแต่ละชั่วโมง

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิจัย ผู้วิจัยได้ใช้วิธีทางสถิติเข้าช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลและเครื่องมือ ดังนี้

1. นำผลการเก็บข้อมูลการผลิตของชุดอุปกรณ์จับยึดก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง ทำการวิเคราะห์โดยหาค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต

2. เปรียบเทียบประสิทธิภาพของชุดอุปกรณ์จับยึด โดยการเก็บข้อมูลจำนวนการผลิตมอเตอร์ที่ได้ต่ออายุการใช้งานของอีเล็กโตรดทั้ง 3 แบบ ก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง

3. หาประสิทธิภาพจากของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิต โดยทำการเปรียบเทียบก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงชุดอุปกรณ์จับยึดทั้ง 3 แบบ ซึ่งใช้การคำนวณเป็นร้อยละ

3.6 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ใช้วิธีหาค่าทางสถิติเบื้องต้น เพื่อคำนวณค่าที่ได้ของการเก็บข้อมูลการทดลอง เพื่อหาค่าร้อยละ (p) , ค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)

1. ค่าร้อยละ (Percentage) (บุญชม ศรีสะอาด. 2532 : 101) ดังสมการ

$$p = \frac{f}{N} x\ 100$$

เมื่อ p แทน ร้อยละ

f แทน ความถี่ที่ต้องการแปลงให้เป็นร้อยละ

N แทน จำนวนความถี่ทั้งหมด

2. ค่าเฉลี่ย (Arithmetic Mean) (รวีวรรณ ชินะตระกูล. 2542 : 163) ดังสมการ

$$\overline{X} = \frac{\sum X}{N}$$

เมื่อ $\overline{X}$ แทน ค่าเฉลี่ย

$\sum X$ แทน ผลรวมค่าที่วัดได้ทั้งหมด

N แทน จำนวนมอเตอร์ที่วัด

3. ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) (รวีวรรณ ชินะตระกูล. 2542 : 179) ดังสมการ

$$S.D. = \sqrt{\frac{N\sum X^2 - (\sum X)^2}{N(N-1)}}$$

เมื่อ S.D. แทน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

X แทน ค่าที่ได้จากการวัดตามการทดลอง

N แทน จำนวนรวมของกลุ่มตัวอย่างมอเตอร์

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้เพื่อการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของเครื่องกัดร่องขนาดเล็กสำหรับสปินเดิลไฮโดรมอเตอร์รุ่น Cheetah X15_73LP ของบริษัท นิเด็คไฮเทคมอเตอร์ (ประเทศไทย) จำกัด สาขาที่ 4 คลอง 7 รังสิต จังหวัดปทุมธานี มีผลการทดลองดังนี้

ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบการเก็บข้อมูลการผลิตมอเตอร์ในแต่ละเดือน ของชุดอุปกรณ์จับยึดแบบอีเล็กโตรดโลเวอร์โคน (P/N : 00-020) ก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ในด้านจำนวนการผลิตมอเตอร์ต่ออีเล็กโตรดในแต่ละเดือน ปริมาณจำนวนการใช้อีเล็กโตรดโลเวอร์โคนในแต่ละเดือน อายุการใช้งานอีเล็กโตรดกับชุดทดลองอุปกรณ์จับยึด

ตอนที่ 2 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบการเก็บข้อมูลการผลิตมอเตอร์ในแต่ละเดือน ของชุดอุปกรณ์จับยึดแบบอีเล็กโตรดอัปเปอร์โคน (P/N : 00-019) ก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ในด้านจำนวนการผลิตมอเตอร์ต่ออีเล็กโตรดในแต่ละเดือน ปริมาณจำนวนการใช้อีเล็กโตรดอัปเปอร์โคนในแต่ละเดือน อายุการใช้งานอีเล็กโตรดกับชุดทดลองอุปกรณ์จับยึด

ตอนที่ 3 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบการเก็บข้อมูลการผลิตมอเตอร์ในแต่ละเดือน ของชุดอุปกรณ์จับยึดแบบอีเล็กโตรดปั้มป์ซิล (P/N : 00-018) ก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ในด้านจำนวนการผลิตมอเตอร์ต่ออีเล็กโตรดในแต่ละเดือน ปริมาณจำนวนการใช้อีเล็กโตรดปั้มป์ซิลในแต่ละเดือน อายุการใช้งานอีเล็กโตรดกับชุดทดลองอุปกรณ์จับยึด

ตอนที่ 4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพรายด้าน การประกอบชุดอุปกรณ์จับยึด เวลาการติดตั้งและปรับแต่งฟิกเจอร์ รอบเวลาปฏิบัติการป้อนงานเข้า-ออก การผลิตมอเตอร์ต่อชั่วโมง เครื่องหยุดเดินจากอีเล็กโตรดเสียหายและจำนวนครั้งที่หยุดติดตั้งอีเล็กโตรดใหม่ ก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงชุดอุปกรณ์จับยึดทั้ง 3 แบบ คือ ชุดอุปกรณ์จับยึดแบบอีเล็กโตรดโลเวอร์โคน ชุดอุปกรณ์จับยึกแบบอีเล็กโตรดอัปเปอร์โคน และชุดอุปกรณ์จับยึดแบบอีเล็กโตรดปั้มป์ซิลของเครื่องอีเล็กโตรเคมีคอล

ตอนที่ 5 การเปรียบเทียบข้อมูลของเสียจากกระบวนการผลิตก่อนการปรับปรุงชุดอุปกรณ์จับยึดอีเล็กโตรดกับ หลังการปรับปรุงชุดอุปกรณ์จับยึดอีเล็กโตรดทั้ง 3 แบบ คือ ชุดอุปกรณ์จับยึดแบบอีเล็กโตรดโลเวอร์โคน ชุดอุปกรณ์จับยึกแบบอีเล็กโตรดอัปเปอร์โคน และชุดอุปกรณ์จับยึด

แบบอีเล็กโตรดปั้มป์ซิล โดยจะเก็บข้อมูลแยกตามอาการของเสียและคำนวณเป็นค่าร้อยละของเสีย รวมทั้งหมดเป็นรายเดือน

ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบการเก็บข้อมูลการผลิตมอเตอร์ในแต่ละเดือน ของชุดอุปกรณ์จับยึดแบบอีเล็กโตรดโลเวอร์โคน (P/N : 00-020) ก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ในด้านจำนวนการผลิตมอเตอร์ต่ออีเล็กโตรดในแต่ละเดือน ปริมาณจำนวนการใช้อีเล็กโตรดโลเวอร์โคนในแต่ละเดือน อายุการใช้งานอีเล็กโตรดกับชุดทดลองอุปกรณ์จับยึด

ตารางที่ 4.1 การเก็บข้อมูลการผลิตต่ออีเล็กโตรดแบบโลเวอร์โคน (P/N : 00-020) เปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงอุปกรณ์จับยึด

อุปกรณ์จับยึดอีเล็กโตรดแบบโลเวอร์โคน (P/N : 00-020)											
ก่อนการปรับปรุงอุปกรณ์จับยึด				หลังการปรับปรุงอุปกรณ์จับยึด				การเปรียบเทียบความแตกต่าง			
เดือน	จำนวนการผลิตมอเตอร์	จำนวนการใช้อีเล็กโตรด	มอเตอร์ต่ออีเล็กโตรด	เดือน	จำนวนการผลิตมอเตอร์	จำนวนการใช้อีเล็กโตรด	มอเตอร์ต่ออีเล็กโตรด	เดือน	จำนวนการผลิตมอเตอร์	จำนวนการใช้อีเล็กโตรด	มอเตอร์ต่ออีเล็กโตรด
ธ.ค.2545	162,964	10	16,296	พ.ย.2547	375,520	3	125,173	พ.ย.2547	-212,556	7	-
ม.ค.2546	138,951	8	17,369	ธ.ค.2547	374,776	4	93,694	ธ.ค.2547	-235,825	4	-
ก.พ.2546	215,235	10	21,524	ม.ค.2548	282,534	1	282,534	ม.ค.2548	-67,299	9	-
มี.ค.2546	234,551	12	19,546	ก.พ.2548	213,001	4	53,250	ก.พ.2548	21,550	8	-
เม.ย.2546	320,037	15	21,336	มี.ค.2548	86,444	1	86,444	มี.ค.2548	233,593	14	-
พ.ค.2546	393,691	14	28,121	เม.ย.2548	128,462	4	32,116	เม.ย.2548	265,229	10	-
	ผลรวมการผลิตมอเตอร์	จำนวนการใช้อีเล็กโตรด	เฉลี่ยมอเตอร์/อีเล็กโตรด		ผลรวมการผลิตมอเตอร์	จำนวนการใช้อีเล็กโตรด	เฉลี่ยมอเตอร์/อีเล็กโตรด		ผลรวมการผลิตมอเตอร์	จำนวนการใช้อีเล็กโตรด	เฉลี่ยมอเตอร์/อีเล็กโตรด
	1,465,429	**69**	**20,699**		**1,460,737**	**17**	**112,202**		**4,692**	**52**	**-91,503**

หมายเหตุ เริ่มเปลี่ยนชุดอุปกรณ์จับยึดแบบใหม่ที่เดือน มิ.ย.2546

จากตารางที่ 4.1 พบว่าก่อนการปรับปรุงชุดอุปกรณ์จับยึดแบบอีเล็กโตรดโลเวอร์โคน เก็บข้อมูลย้อนหลัง 6 เดือน ช่วงเดือนธันวาคม 2545 จนถึงเดือนพฤษภาคม 2546 จำนวนการผลิตมอเตอร์ได้ 1,465,429 มอเตอร์ ซึ่งใช้จำนวนอีเล็กโตรดถึง 69 ตัว คิดเป็นค่าเฉลี่ยการผลิตมอเตอร์ต่ออีเล็กโตรดได้ 20,699 มอเตอร์

หลังการปรับปรุงชุดอุปกรณ์จับยึดแบบอีเล็กโตรดโลเวอร์โคน เก็บข้อมูลช่วง 6 เดือนจากเดือนพฤศจิกายน 2547 ถึงเดือนเมษายน 2548 ผลรวมจำนวนการผลิตมอเตอร์ได้ 1,460,737 มอเตอร์ ซึ่งใช้จำนวนอีเล็กโตรดโลเวอร์โคน 17 ตัว คิดเป็นค่าเฉลี่ยการผลิตมอเตอร์ต่ออีเล็กโตรดได้ถึง 112,202 มอเตอร์

คิดเป็นอัตราส่วนการเพิ่มขึ้นของค่าเฉลี่ยการผลิตมอเตอร์ต่ออีเล็กโตรด ก่อนการปรับปรุงจาก 20,699 มอเตอร์ต่ออีเล็กโต่รด หลังการปรับปรุงเป็น 112,202 มอเตอร์ต่ออีเล็กโตรด ได้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเป็น 91,503 มอเตอร์ต่ออีเล็กโตรด คิดเป็นค่าอัตราส่วนเพิ่มขึ้นเป็น 5.42 เท่า

จำนวนการใช้อีเล็กโตรดโลเวอร์โคน ก่อนการปรับปรุงชุดอุปกรณ์จับยึด มีจำนวน 69 ตัว และหลังการปรับปรุงชุดอุปกรณ์จับยึด มีจำนวนการใช้ 17 ตัว สามารถคำนวนอัตราส่วนที่ลดลงของการใช้อีเล็กโตรดโลเวอร์โคนเป็น 4.06 เท่า ซึ่งหมายความว่าสามารถช่วยประหยัดและลดการติดตั้งอีเล็กโตรดตัวใหม่กับชุดอุปกรณ์จับยึด 52 ตัว

หมายเหตุ : เวลาการติดตั้งอีเล็กโตรดโลเวอร์โคนตัวใหม่กับชุดอุปกรณ์จับยึดก่อนการใช้งานใช้เวลาเป็นส่วนๆ ดังนี้ การประกอบอีเล็กโตรดเข้ากับฟิกเจอร์พร้อมปรับแต่งเวลาเฉลี่ย 1 ชั่วโมง การติดตั้งเข้าฐานเครื่องกัดร่องและทดลองการกัดร่องตัวแรกเวลาเฉลี่ย 0.5 ชั่วโมง ส่งงานไปตรวจวัดค่าตามพารามิเตอร์และนำกลับมาปรับแต่งที่เครื่องอีก 1-3 ครั้งเวลาเฉลี่ย 1 ชั่วโมง จากนั้นทำการกัดร่องจริงกับมอเตอร์อีก 6 ตัวและส่งไปตรวจวัดทุกค่าพารามิเตอร์รวมกับผ่างานมอเตอร์ 1 ตัวที่จะวัดค่าพารามิเตอร์ด้านในเวลาเฉลี่ย 1.5 ชั่วโมง รวมทั้งสิ้นเวลาประมาณ 4 ชั่วโมง

ตอนที่ 2 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบการเก็บข้อมูลการผลิตมอเตอร์ในแต่ละเดือน ของชุดอุปกรณ์จับยึดแบบอีเล็กโตรดอัปเปอร์โคน (P/N : 00-019) ก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ในด้านจำนวนการผลิตมอเตอร์ต่ออีเล็กโตรดในแต่ละเดือน ปริมาณจำนวนการใช้อีเล็กโตรดอัปเปอร์โคนในแต่ละเดือน อายุการใช้งานอีเล็กโตรดกับชุดทดลองอุปกรณ์จับยึด

ตารางที่ 4.2 การเก็บข้อมูลการผลิตต่ออีเล็กโตรดแบบอัปเปอร์โคน (P/N : 00-019) เปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงอุปกรณ์จับยึด

อุปกรณ์จับยึดอีเล็กโตรดแบบอัปเปอร์โคน (P/N : 00-019)											
ก่อนการปรับปรุงอุปกรณ์จับยึด				หลังการปรับปรุงอุปกรณ์จับยึด				การเปรียบเทียบความแตกต่าง			
เดือน	จำนวนการผลิตมอเตอร์	จำนวนการใช้อีเล็กโตรด	มอเตอร์ต่ออีเล็กโตรด	เดือน	จำนวนการผลิตมอเตอร์	จำนวนการใช้อีเล็กโตรด	มอเตอร์ต่ออีเล็กโตรด	เดือน	จำนวนการผลิตมอเตอร์	จำนวนการใช้อีเล็กโตรด	มอเตอร์ต่ออีเล็กโตรด
ธ.ค.2545	162,964	9	18,107	พ.ย.2547	375,520	3	125,173	พ.ย.2547	-212,556	7	-
ม.ค.2546	138,951	7	19,850	ธ.ค.2547	374,776	2	187,388	ธ.ค.2547	-235,825	4	-
ก.พ.2546	215,235	12	17,936	ม.ค.2548	282,534	1	282,534	ม.ค.2548	-67,299	9	-
มี.ค.2546	234,551	15	15,637	ก.พ.2548	213,001	2	106,501	ก.พ.2548	21,550	8	-
เม.ย.2546	320,037	20	16,002	มี.ค.2548	86,444	1	86,444	มี.ค.2548	233,593	14	-
พ.ค.2546	393,691	18	21,872	เม.ย.2548	128,462	2	64,231	เม.ย.2548	265,229	10	-
	ผลรวมการผลิตมอเตอร์	จำนวนการใช้อีเล็กโตรด	เฉลี่ยมอเตอร์/อีเล็กโตรด		ผลรวมการผลิตมอเตอร์	จำนวนการใช้อีเล็กโตรด	เฉลี่ยมอเตอร์/อีเล็กโตรด		ผลรวมการผลิตมอเตอร์	จำนวนการใช้อีเล็กโตรด	เฉลี่ยมอเตอร์/อีเล็กโตรด
	1,465,429	**81**	**18,234**		**1,460,737**	**11**	**142,045**		**4,692**	**70**	**-123,811**

หมายเหตุ เริ่มเปลี่ยนชุดอุปกรณ์จับยึดแบบใหม่ที่เดือน มิ.ย.2546

จากตารางที่ 4.2 พบว่าก่อนการปรับปรุงชุดอุปกรณ์จับยึดแบบอีเล็กโตรดอัปเปอร์โคน ข้อมูลย้อนหลัง 6 เดือน ช่วงเดือนธันวาคม 2545 จนถึงเดือนพฤษภาคม 2546 จำนวนการผลิตมอเตอร์ได้ 1,465,429 มอเตอร์ ซึ่งใช้จำนวนอีเล็กโตรดถึง 81 ตัว คิดเป็นค่าเฉลี่ยการผลิตมอเตอร์ต่ออีเล็กโตรดได้ 18,234 มอเตอร์

หลังการปรับปรุงชุดอุปกรณ์จับยึดแบบอีเล็กโตรดอัปเปอร์โคน เก็บข้อมูลช่วง 6 เดือนจากเดือนพฤศจิกายน 2547 ถึงเดือนเมษายน 2548 ผลรวมจำนวนการผลิตมอเตอร์ได้ 1,460,737 มอเตอร์ ซึ่งใช้จำนวนอีเล็กโตรดอัปเปอร์โคน 11 ตัว คิดเป็นค่าเฉลี่ยการผลิตมอเตอร์ต่ออีเล็กโตรดได้ถึง 142,045 มอเตอร์

คิดเป็นอัตราส่วนการเพิ่มขึ้นของค่าเฉลี่ยการผลิตมอเตอร์ต่ออีเล็กโตรด ก่อนการปรับปรุงจาก 18,234 มอเตอร์ต่ออีเล็กโตรด หลังการปรับปรุงเป็น 142,045 มอเตอร์ต่ออีเล็กโตรด ได้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเป็น 123,811 มอเตอร์ต่ออีเล็กโตรด คิดเป็นค่าอัตราส่วนเพิ่มขึ้นเป็น 7.79 เท่า

จำนวนการใช้อีเล็กโตรดอัปเปอร์โคน ก่อนการปรับปรุงชุดอุปกรณ์จับยึด มีจำนวน 81 ตัว และหลังการปรับปรุงชุดอุปกรณ์จับยึด มีจำนวนการใช้ 11 ตัว สามารถคำนวนอัตราส่วนที่ลดลงของการใช้อีเล็กโตรดอัปเปอร์โคน เป็น 7.36 เท่า ซึ่งหมายความว่าสามารถช่วยประหยัดและลดการติดตั้งอีเล็กโตรดตัวใหม่กับชุดอุปกรณ์จับยึด 70 ตัว

ตอนที่ 3 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบการเก็บข้อมูลการผลิตมอเตอร์ในแต่ละเดือน ของชุดอุปกรณ์จับยึดแบบอีเล็กโตรดปั๊มป์ซิล (P/N : 00-018) ก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ในด้านจำนวนการผลิตมอเตอร์ต่ออีเล็กโตรดในแต่ละเดือน ปริมาณจำนวนการใช้อีเล็กโตรดปั๊มป์ซิลในแต่ละเดือน อายุการใช้งานอีเล็กโตรดกับชุดทดลองอุปกรณ์จับยึด

ตารางที่ 4.3 การเก็บข้อมูลการผลิตต่ออีเล็กโตรดแบบปั้มป์ซิล (P/N : 00-018) เปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงอุปกรณ์จับยึด

อุปกรณ์จับยึดอีเล็กโตรดแบบปั้มป์ซิล (P/N : 00-018)											
ก่อนการปรับปรุงอุปกรณ์จับยึด				หลังการปรับปรุงอุปกรณ์จับยึด				การเปรียบเทียบความแตกต่าง			
เดือน	จำนวนการผลิตมอเตอร์	จำนวนการใช้อีเล็กโตรด	มอเตอร์ต่ออีเล็กโตรด	เดือน	จำนวนการผลิตมอเตอร์	จำนวนการใช้อีเล็กโตรด	มอเตอร์ต่ออีเล็กโตรด	เดือน	จำนวนการผลิตมอเตอร์	จำนวนการใช้อีเล็กโตรด	มอเตอร์ต่ออีเล็กโตรด
ธ.ค.2545	162,964	14	11,640	พ.ย.2547	375,520	3	125,173	พ.ย.2547	-212,556	7	-
ม.ค.2546	138,951	7	19,850	ธ.ค.2547	374,776	6	62,463	ธ.ค.2547	-235,825	4	-
ก.พ.2546	215,235	12	17,936	ม.ค.2548	282,534	3	94,178	ม.ค.2548	-67,299	9	-
มี.ค.2546	234,551	17	13,797	ก.พ.2548	213,001	4	53,250	ก.พ.2548	21,550	8	-
เม.ย.2546	320,037	14	22,860	มี.ค.2548	86,444	3	28,815	มี.ค.2548	233,593	14	-
พ.ค.2546	393,691	25	15,748	เม.ย.2548	128,462	10	12,846	เม.ย.2548	265,229	10	-
	ผลรวมการผลิตมอเตอร์	จำนวนการใช้อีเล็กโตรด	เฉลี่ยมอเตอร์/อีเล็กโตรด		ผลรวมการผลิตมอเตอร์	จำนวนการใช้อีเล็กโตรด	เฉลี่ยมอเตอร์/อีเล็กโตรด		ผลรวมการผลิตมอเตอร์	จำนวนการใช้อีเล็กโตรด	เฉลี่ยมอเตอร์/อีเล็กโตรด
	1,465,429	**89**	**16,972**		**1,460,737**	**29**	**62,788**		**4,692**	**60**	**-45,816**

หมายเหตุ เริ่มเปลี่ยนชุดอุปกรณ์จับยึดแบบใหม่ที่เดือน มิ.ย.2546

จากตารางที่ 4.3 พบว่าก่อนการปรับปรุงชุดอุปกรณ์จับยึดแบบอีเล็กโตรดปั้มป์ซิล ข้อมูลย้อนหลัง 6 เดือน ช่วงเดือนธันวาคม 2545 จนถึงเดือนพฤษภาคม 2546 จำนวนการผลิตมอเตอร์ได้ 1,465,429 มอเตอร์ ซึ่งใช้จำนวนอีเล็กโตรดถึง 89 ตัว คิดเป็นค่าเฉลี่ยการผลิตมอเตอร์ต่ออีเล็กโตรดได้ 16,972 มอเตอร์

หลังการปรับปรุงชุดอุปกรณ์จับยึดแบบอีเล็กโตรดปั้มป์ซิล เก็บข้อมูลช่วง 6 เดือนจากเดือนพฤศจิกายน 2547 ถึงเดือนเมษายน 2548 ผลรวมจำนวนการผลิตมอเตอร์ได้ 1,460,737 มอเตอร์ ซึ่งใช้จำนวนอีเล็กโตรดปั้มป์ซิล 29 ตัว คิดเป็นค่าเฉลี่ยการผลิตมอเตอร์ต่ออีเล็กโตรดได้ถึง 62,788 มอเตอร์

คิดเป็นอัตราส่วนการเพิ่มขึ้นของค่าเฉลี่ยการผลิตมอเตอร์ต่ออีเล็กโตรด ก่อนการปรับปรุงจาก 16,972 มอเตอร์ต่ออีเล็กโตรด หลังการปรับปรุงเป็น 62,788 มอเตอร์ต่ออีเล็กโตรด ได้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเป็น 45,816 มอเตอร์ต่ออีเล็กโตรด คิดเป็นค่าอัตราส่วนเพิ่มขึ้นเป็น 3.69 เท่า

จำนวนการใช้อีเล็กโตรดปั้มป์ซิล ก่อนการปรับปรุงชุดอุปกรณ์จับยึด มีจำนวน 89 ตัว และหลังการปรับปรุงชุดอุปกรณ์จับยึด มีจำนวนการใช้ 29 ตัว สามารถคำนวนอัตราส่วนที่ลดลงของการใช้อีเล็กโตรดปั้มป์ซิลเป็น 3.06 เท่า ซึ่งหมายความว่าสามารถช่วยประหยัดและลดการติดตั้งอีเล็กโตรดตัวใหม่กับชุดอุปกรณ์จับยึด 60 ตัว

ตอนที่ 4 การเปรียบเทียบข้อมูลของเสียจากกระบวนการผลิตก่อนการปรับปรุงชุดอุปกรณ์จับยึดอีเล็กโตรดกับหลังการปรับปรุงชุดอุปกรณ์จับยึดอีเล็กโตรด โดยการเก็บข้อมูลแยกตามอาการของเสียของมอเตอร์แต่ละเดือน และคำนวณเป็นค่าร้อยละของเสียจากจำนวนการผลิตแต่ละเดือน ซึ่งมีการเก็บข้อมูลก่อนการปรับปรุงย้อนหลัง 6 เดือนอยู่ในช่วงเดือนธันวาคม 2545 ถึงเดือนพฤษภาคม 2546 และการเก็บข้อมูลหลังการปรับปรุงอยู่ช่วงเดือนพฤศจิกายน 2547 ถึงเดือนเมษายน 2548 ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลอาการเสียของมอเตอร์ในกระบวนการผลิตเปรียบเทียบความแตกต่าง ก่อนการปรับปรุงกับหลังการปรับปรุงอุปกรณ์จับยึด

		ก่อนการปรับปรุงอุปกรณ์จับยึด							หลังการปรับปรุงอุปกรณ์จับยึด							ความ
ที่	อาการของเสีย	ธ.ค.45	ม.ค.46	ก.พ.46	มี.ค.46	เม.ย.46	พ.ค.46	รวม	พ.ย.47	ธ.ค.47	ม.ค.48	ก.พ.48	มี.ค.48	เม.ย.48	รวม	แตกต่าง
1	ร่องความลึกต่ำ	108	209	152	284	660	699	2112	282	420	190	45	91	131	1159	953
2	รอยไหม้ผิว	66	388	84	191	575	295	1599	270	826	300	199	56	176	1827	-228
3	รอยขีดผิว Hub	53	82	129	244	296	167	971	284	452	256	170	238	81	1481	-510
4	ร่องเกิดลายขาด	312	805	782	448	542	445	3334	24	41	35	44	27	23	194	3140
5	ร่องเกิดซ้ำ	10	27	39	42	64	67	249	25	32	60	248	14	21	400	-151
6	อัตราส่วนร่องต่อพ.ท.			36				36	137	182		32	27		378	-342
7	รอยจิกด้านบน-ล่าง								37	2				52	91	-91
8	ร่องลึกเกินกำหนด	3	4	1	8	9	12	37	15	126	59		42	9	251	-214
9	รอยขีดข่วนด้านในงาน				3	14		17	94	9			1	4	108	-91
10	เป็นคราบไฟรั่วที่ผิวงาน									5		1	136	39	181	-181
11	ผิวงานเปื้อนน้ำมัน,สกปรก		6					6	17	1	21				39	-33
12	เศษโลหะ,แตก,ขนาด		1		1	3		5		24			63	19	106	-101
13	เกิดสนิมที่ร่อง								2	5	2	1			10	-10
	รวมจำนวนของเสีย	552	1522	1223	1221	2163	1685	8366	971	1187	2125	923	740	695	6641	1725
	จำนวนการผลิต	162,964	138,951	215,235	234,551	320,037	393,691	1465429	375,520	374,776	282,534	231,001	86,444	128,462	1460737	4692
	เปอร์เซ็นต์ของเสีย	0.34%	0.93%	0.57%	0.52%	0.68%	0.43%	0.57%	0.32%	0.32%	0.57%	0.33%	0.35%	0.80%	0.45%	0.12%

จากตารางที่ 4.4 ข้อมูลอาการเสียของมอเตอร์ในกระบวนการผลิตเปรียบเทียบความแตกต่าง ก่อนการปรับปรุงกับหลังการปรับปรุงอุปกรณ์จับยึด ซึ่งมีการเก็บข้อมูลก่อนการปรับปรุงย้อนหลัง 6 เดือนอยู่ในช่วงเดือนธันวาคม 2545 ถึงเดือน พฤษภาคม 2546 และการเก็บข้อมูลหลังการปรับปรุงอยู่ช่วงเดือนพฤศจิกายน 2547 ถึงเดือนเมษายน 2548 พบว่าจำนวนการผลิตมอเตอร์ใกล้เคียงกันจำนวน 1,460,737 ตัวซึ่งแตกต่างกันอยู่ 4,692 ตัว จำนวนมอเตอร์ที่เสียลดลงจาก 8,366 ตัวเป็น 6,641 ตัวซึ่งแตกต่างกันอยู่ 1,725 ตัว และเปอร์เซ็นต์ของเสียลดลงจาก 0.57% เหลือเป็น 0.45% ซึ่งแตกต่างกันอยู่ 0.12%

การผลิตสปินเดิลมอเตอร์รุ่น Cheetah X15_73LP ก่อนมีการปรับปรุงชุดอุปกรณ์จับยึด ได้แยกประเภทอาการของเสียออกเป็น 13 รายการ จากการตรวจพบด้วยตาเปล่าและเกิดจากการวัดด้วยเครื่องมือวัด ซึ่งพบว่าในช่วงที่เก็บข้อมูลเปอร์เซ็นต์ของเสีย ในเดือนมกราคม 2546 สูง 0.93% และในเดือนธันวาคม 2545 มีของเสียต่ำ 0.34% หากคิดเป็นค่าเฉลี่ยของเสียรวมจากเดือนธันวาคม 2545 ถึงเดือนพฤษภาคม 2546 ค่าเฉลี่ยที่ได้เป็น 0.57%

อาการของเสียที่ตรวจพบก่อนทำการปรับปรุงชุดอุปกรณ์จับยึด ในจำนวนของเสียทั้งหมดในกระบวนการผลิต เรียงตามลำดับมากไปหาน้อยดังนี้

อันดับหนึ่ง	เกิดจากอาการร่องเกิดลายขาด	3334 มอเตอร์ คิดเป็น 39.85%
อันดับสอง	เกิดจากอาการร่องความลึกต่ำ	2112 มอเตอร์ คิดเป็น 25.24%
อันดับสาม	เกิดจากอาการรอยไหม้ผิว	1599 มอเตอร์ คิดเป็น 19.11%
อันดับสี่	เกิดจากอาการรอยขีดผิว HUB	971 มอเตอร์ คิดเป็น 11.60%
อันดับห้า	เกิดจากอาการร่องเกิดซ้ำ	249 มอเตอร์ คิดเป็น 2.97%
อันดับหก	เกิดจากอาการร่องลึกเกินกำหนด	37 มอเตอร์ คิดเป็น 0.44%
อันดับเจ็ด	เกิดจากอาการอัตราส่วนร่องต่อพื้นที่	36 มอเตอร์ คิดเป็น 0.43%
อันดับแปด	เกิดจากอาการรอยขีดข่วนด้านในงาน	17 มอเตอร์ คิดเป็น 0.20%
อันดับเก้า	เกิดจากอาการผิวงานเปื้อนน้ำมันสกปรก	6 มอเตอร์ คิดเป็น 0.07%
อันดับสิบ	เกิดจากอาการเศษโลหะ แตก ขนาด	5 มอเตอร์ คิดเป็น 0.06%
อันดับสิบเอ็ด	เกิดจากอาการเป็นคราบไฟรั่วที่ผิวงาน	0 มอเตอร์ คิดเป็น 0%
อันดับสิบสอง	เกิดจากอาการเกิดสนิมที่ร่อง	0 มอเตอร์ คิดเป็น 0%
อันดับสิบสาม	เกิดจากอาการรอยจิกด้านบน-ล่าง	0 มอเตอร์ คิดเป็น 0%

การผลิตสปินเดิลมอเตอร์รุ่น Cheetah X15_73LP หลังมีการปรับปรุงชุดอุปกรณ์จับยึด ได้เก็บข้อมูลอาการเสียของมอเตอร์ที่เกิดในกระบวนการผลิตหลังการปรับปรุงอุปกรณ์จับยึด ช่วงเดือนพฤศจิกายน 2547 ถึงเดือนเมษายน 2548 ได้แยกประเภทอาการของเสียออกเป็น 13 รายการ จากการตรวจพบด้วยตาเปล่าและเกิดจากการวัดด้วยเครื่องมือวัด ซึ่งพบว่าในช่วงที่เก็บข้อมูล

เปอร์เซ็นต์ของเสีย ในเดือนเมษายน 2548 สูง 0.80% และในเดือนพฤศจิกายน 2547 มีของเสียต่ำ 0.32% หากคิดเป็นค่าเฉลี่ยของเสียรวมจากเดือนพฤศจิกายน 2547 ถึงเดือนเมษายน 2548 ค่าเฉลี่ยที่ได้เป็น 0.45%

อาการของเสียที่ตรวจพบหลังทำการปรับปรุงชุดอุปกรณ์จับยึด ในจำนวนของเสียทั้งหมดในกระบวนการผลิต เรียงตามลำดับมากไปหาน้อยดังนี้

อันดับหนึ่ง	เกิดจากอาการรอยไหม้ผิว	1827 มอเตอร์ คิดเป็น 27.51%
อันดับสอง	เกิดจากอาการร่องความลึกต่ำ	1159 มอเตอร์ คิดเป็น 17.45%
อันดับสาม	เกิดจากอาการรอยขีดผิว HUB	1481 มอเตอร์ คิดเป็น 22.30%
อันดับสี่	เกิดจากอาการร่องเกิดซ้ำ	400 มอเตอร์ คิดเป็น 6.02%
อันดับห้า	เกิดจากอาการอัตราส่วนร่องต่อพื้นที่	378 มอเตอร์ คิดเป็น 5.69%
อันดับหก	เกิดจากอาการร่องลึกเกินกำหนด	251 มอเตอร์ คิดเป็น 3.78%
อันดับเจ็ด	เกิดจากอาการร่องเกิดลายขาด	194 มอเตอร์ คิดเป็น 2.92%
อันดับแปด	เกิดจากอาการเป็นคราบไฟรั่วที่ผิวงาน	181 มอเตอร์ คิดเป็น 2.73%
อันดับเก้า	เกิดจากอาการรอยขีดข่วนด้านในงาน	108 มอเตอร์ คิดเป็น 1.63%
อันดับสิบ	เกิดจากอาการเศษโลหะ แตก ขนาด	106 มอเตอร์ คิดเป็น 1.59%
อันดับสิบเอ็ด	เกิดจากอาการรอยจิกด้านบน-ล่าง	91 มอตอร์ คิดเป็น 1.37%
อันดับสิบสอง	เกิดจากอาการผิวงานเปื้อนน้ำมันสกปรก	39 มอเตอร์ คิดเป็น 0.59%
อันดับสิบสาม	เกิดจากอาการเกิดสนิมที่ร่อง	10 มอเตอร์ คิดเป็น 0.15%

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตสำหรับเครื่องกัดร่องอีเล็กโตรเคมีคอลขนาดเล็กสำหรับสปินเดิลไฮโดรมอเตอร์รุ่น Cheetah X15_73LP โดยการออกแบบสร้างชุดทดลองอุปกรณ์จับยึดตัวชิ้นงานกับอีเล็กโตรด ได้สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.2 อภิปรายผล

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของเครื่องกัดร่องขนาดเล็กสำหรับสปินเดิลไฮโดรมอเตอร์รุ่น Cheetah X15_73LP

2. เพื่อหาประสิทธิภาพของชุดอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานมอเตอร์และอีเล็กโตรดทั้ง 3 แบบ คือ ชุดอุปกรณ์จับยึดแบบอีเล็กโตรดโลเวอร์โคน ชุดอุปกรณ์จับยึดแบบอีเล็กโตรดอัปเปอร์โคน และชุดอุปกรณ์จับยึดแบบอีเล็กโตรดปั้มป์ซิล

5.1.2 สมมติฐานการวิจัย

1. เครื่องกัดร่องขนาดเล็กสามารถเพิ่มประสิทธิภาพอายุการใช้งานของอีเล็กโตรดได้มากขึ้นกว่าเดิม 2 เท่าของการผลิตวิธีการเดิม

2. จำนวนการผลิตมอเตอร์ต่ออีเล็กโตรดมากขึ้นกว่าเดิมจากประมาณ 15,000 ตัวเป็น 30,000 ตัว

3. สามารถลดของเสียจากกระบวนการผลิตจากเดิม 0.57% เหลือเป็น 0.45%

5.1.3 ประชากรและตัวแปร

5.1.3.1 ประชากร

ประชากร คือ จำนวนสปินเดิลมอเตอร์รุ่น Cheetah X15_73LP ที่ใช้ในการทดลองกับชุดอุปกรณ์จับยึดทั้ง 3 แบบ คือ แบบอีเล็กโตรดโลเวอร์โคน แบบอีเล็กโตรดอัปเปอร์โคน และแบบอีเล็กโตรดปั้มป์ซิล โดยแต่ละแบบมีการใช้สปินเดิลมอเตอร์จำนวน 30,000 ตัว

5.1.3.2 ตัวแปร

5.1.3.2.1 ตัวแปรต้น

1. จำนวนสปินเดิลไฮโดรมอเตอร์รุ่น Cheetah X15_73LP ใช้ในการป้อนงานกับชุดอุปกรณ์จับยึดแต่ละแบบจำนวน 30,000 มอเตอร์ ถ้าครบจำนวนแต่ละล็อทแล้วยังสามารถปฏิบัติงานได้ดี ให้ทำการป้อนงานล็อทต่อไปโดยมีจำนวนเท่ากัน

2. การปรับแต่งตรวจสอบชุดอุปกรณ์จับยึดให้อยู่ในสภาพพร้อมงาน ต้องกระทำการตรวจสอบทุกการเริ่มช่วงเวลาทำงานและหลังหยุดพัก

3. ค่าพารามิเตอร์ที่ควบคุมของเครื่องและต้องตรวจสอบก่อนการเริ่มช่วงเวลาทำงาน

5.1.3.2.2 ตัวแปรตาม

1. จำนวนงานของเสียที่เกิดจากการผลิตที่เกิดในกระบวนการ และความเสียหายที่เกิดกับชุดอุปกรณ์จับยึดและตัวอีเล็กโตรด

2. จำนวนผลการผลิตมอเตอร์ที่ได้ต่ออีเล็กโตรด

5.1.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็น ชุดทดลองอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานมอเตอร์และอีเล็กโตรด โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ชุดทดลองอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานมอเตอร์และอีเล็กโตรด ประกอบด้วยชุดอุปกรณ์จับยึดของอีเล็กโตรด 3 แบบ คือ ชุดทดลองอุปกรณ์จับยึดแบบอีเล็กโตรดโลเวอร์โคน ชุดทดลองอุปกรณ์จับยึดแบบอีเล็กโตรดอัปเปอร์โคน และชุดทดลองอุปกรณ์จับยึดอีเล็กโตรดปั้มป์ซิล

2. ใบการทดลอง ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนชุดทดลองอุปกรณ์จับยึดอีเล็กโตรดโลเวอร์โคน ส่วนชุดทดลองอุปกรณ์จับยึดอีเล็กโตรดอัปเปอร์โคน และส่วนชุดทดลองอุปกรณ์จับยึดอีเล็กโตรดปั้มป์ซิล

3. ผลการหาประสิทธิภาพเครื่องมือการวิจัย คือ ชุดทดลองอุปกรณ์จับยึดทั้ง 3 แบบ ในแต่ละส่วนชุดการทดลอง วิเคราะห์ข้อมูลหลังการทดลองจากการบันทึกการวัดค่าพารามิเตอร์ตามที่กำหนดรายด้านตามใบการทดลอง

5.1.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามลำดับขั้นตอน ดังนี้

1. บันทึกเสนอต่อหน่วยงานบัณฑิตศึกษา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง ให้ออกหนังสือขอความอนุเคราะห์ให้นักศึกษาทดลองเครื่องมือเพื่อการวิจัย ถึงผู้บริหารบริษัทนิเด็คไฮเทคมอเตอร์ (ประเทศไทย) จำกัด เพื่อขออนุญาตเก็บข้อมูลสำหรับการวิจัย

2. สร้างชุดเครื่องมือการวิจัยเพื่อทำการทดลองนำเสนอแก่ผู้บริหารที่เกี่ยวข้องของบริษัทนิเด็คฯ จัดอบรมชุดอุปกรณ์จับยึดแบบใหม่แก่ช่างเทคนิคและพนักงานประจำเครื่อง เพื่อทราบและเข้าใจวัตถุประสงค์ของการทดลอง และขอความร่วมมือรวบรวมจดบันทึกปัญหาการติดตั้งชุดทดลองอุปกรณ์จับยึดกับเครื่องกัดร่องเสนอแนะกับผู้วิจัย เพื่อทำการปรับแก้ไขจนแน่ใจว่าสามารถทำการผลิตได้จริงแล้วสร้างชุดอุปกรณ์จับยึดเพิ่มเติมให้ครบตามจำนวนสายการผลิต

3. กำหนดวันติดตั้งชุดอุปกรณ์จับยึดแบบใหม่ทุกสายการผลิต ทำการเก็บบันทึกข้อมูลการผลิตจำนวนมอเตอร์ต่ออีเล็กโตรดตามตารางบันทึกการทดลอง ตรวจสอบและบันทึกอาการเสียหายของมอเตอร์ที่พบในกระบวนการผลิต โดยให้พนักงานประจำเครื่องเก็บบันทึกจำนวนการผลิตมอเตอร์แยกตามหมายเลขชุดอุปกรณ์จับยึด และแยกตามหมายเลขอีเล็กโตรด ทำการบันทึกจำนวนการผลิตในแต่ละชั่วโมง

5.1.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

ชุดทดลองอุปกรณ์จับยึดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของเครื่องกัดร่องขนาดเล็กสำหรับสปินเดิลไฮโดรมอเตอร์รุ่น Cheetah X15_73LP ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ ดังนี้

1. นำผลการเก็บข้อมูลการผลิตของชุดอุปกรณ์จับยึดก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง ทำการวิเคราะห์โดยหาค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต

2. เปรียบเทียบประสิทธิภาพของชุดอุปกรณ์จับยึด โดยการเก็บข้อมูลจำนวนการผลิตมอเตอร์ที่ได้ต่ออายุการใช้งานของอีเล็กโตรดทั้ง 3 แบบ ก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง

3. หาประสิทธิภาพจากของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิต โดยทำการเปรียบเทียบก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงชุดอุปกรณ์จับยึดทั้ง 3 แบบ ซึ่งใช้การคำนวณเป็นร้อยละ

5.1.7 สรุปผลการวิจัย

จากการดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนดังกล่าว เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของเครื่องกัดร่องขนาดเล็กสำหรับสปินเดิลไฮโดรมอเตอร์ รุ่น Cheetah X15_73LP สามารถนำมาสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. ทำการวิจัยการสร้างชุดทดลองและหาประสิทธิภาพของชุดทดลองอุปกรณ์จับยึดทั้ง 3 แบบ คือ แบบอีเล็กโตรดโลเวอร์โคน แบบอีเล็กโตรดอัปเปอร์โคน และแบบอีเล็กโตรดปั้มป์ซิล ตามหลักข้อกำหนดจำเพาะของผลิตภัณฑ์สปินเดิลมอเตอร์

2. ประสิทธิภาพของชุดทดลองอุปกรณ์จับยึดแบบอีเล็กโตรดโลเวอร์โคน จากการวัดค่าและบันทึกข้อมูลจากผลการทดลองซึ่งอ้างอิงจากข้อกำหนดจำเพาะของผลิตภัณฑ์ สามารถปฏิบัติให้อยู่ในค่าควบคุมเจาะจงได้เป็นอย่างดี ซึ่งค่าความลึกของร่องโลเวอร์โคนค่าควบคุมกำหนดที่ 6-13 μm ได้ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 8.85 μm และได้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.51 พบว่าการจับงานและการลงตามตำแหน่งมีค่าความแม่นยำสูงของชุดทดลองอุปกรณ์จับยึด เกิดความผิดผลาดน้อยมาก ด้านค่าอัตราส่วน

เฉลี่ยร่องต่อพื้นที่ว่าง ค่าควบคุมกำหนดที่ 40–60 %ได้ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 48.55% และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 3.02

3. ประสิทธิภาพของชุดทดลองอุปกรณ์จับยึดแบบอีเล็กโตรดอัปเปอร์โคน จากการวัดค่าและบันทึกข้อมูลจากผลการทดลองซึ่งอ้างอิงจากข้อกำหนดจำเพาะของผลิตภัณฑ์ สามารถปฏิบัติให้อยู่ในค่าควบคุมเจาะจงได้เป็นอย่างดี ซึ่งค่าความลึกของร่องอัปเปอร์โคนค่าควบคุมกำหนดที่ 6-13 μm ได้ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 8.89 μm และได้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.51 พบว่าการจับงานและการลงตามตำแหน่งมีค่าความแม่นยำสูงของชุดทดลองอุปกรณ์จับยึด เกิดความผิดผลาดน้อยมาก ด้านค่าอัตราส่วนเฉลี่ยร่องต่อพื้นที่ว่าง ค่าควบคุมกำหนดที่ 40–60 %ได้ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 49.43% และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 3.22

4. ประสิทธิภาพของชุดทดลองอุปกรณ์จับยึดแบบอีเล็กโตรดปั้มป์ซิล จากการวัดค่าและบันทึกข้อมูลจากผลการทดลองซึ่งอ้างอิงจากข้อกำหนดจำเพาะของผลิตภัณฑ์ สามารถปฏิบัติให้อยู่ในค่าควบคุมเจาะจงได้เป็นอย่างดี ซึ่งค่าความลึกของร่องปั้มป์ซิลค่าควบคุมกำหนดที่ 10-20 μm ได้ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 14.74 μm และได้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.65 พบว่าการจับงานและการลงตามตำแหน่งมีค่าความแม่นยำสูงของชุดทดลองอุปกรณ์จับยึด เกิดความผิดผลาดน้อยมาก ด้านค่าอัตราส่วนเฉลี่ยร่องต่อพื้นที่ว่าง ค่าควบคุมกำหนดที่ 40–60 %ได้ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 53.32% และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2.82

5. ประสิทธิภาพอายุการใช้งานอีเล็กโตรดโลเวอร์โคน ก่อนการปรับปรุงชุดอุปกรณ์จับยึด ค่าเฉลี่ยการผลิตมอเตอร์ต่ออีเล็กโตรดได้ 20,699 มอเตอร์ หลังการปรับปรุงชุดอุปกรณ์จับยึด คิดเป็นค่าเฉลี่ยการผลิตมอเตอร์ต่ออีเล็กโตรดได้ถึง 112,202 มอเตอร์ คิดเป็นอัตราส่วนการเพิ่มขึ้นของค่าเฉลี่ยการผลิตมอเตอร์ต่ออีเล็กโตรด ได้ค่าอัตราส่วนเพิ่มขึ้นเป็น 5.42 เท่า จำนวนการใช้อีเล็กโตรด โลเวอร์โคนในการติดตั้งใหม่ก่อนการปรับปรุงชุดอุปกรณ์จับยึดมีจำนวนการใช้เป็น 69 ตัว และหลังการปรับปรุงชุดอุปกรณ์จับยึดมีจำนวนการใช้เป็น 17 ตัว อัตราส่วนที่ลดลงของการใช้อีเล็กโตรด โลเวอร์โคน เป็น 4.06 เท่า

6. ประสิทธิภาพอายุการใช้งานอีเล็กโตรดอัปเปอร์โคน ก่อนการปรับปรุงชุดอุปกรณ์จับยึด ค่าเฉลี่ยการผลิตมอเตอร์ต่ออีเล็กโตรดได้ 18,234 มอเตอร์ หลังการปรับปรุงชุดอุปกรณ์จับยึด คิดเป็นค่าเฉลี่ยการผลิตมอเตอร์ต่ออีเล็กโตรดได้ถึง 142,045 มอเตอร์ คิดเป็นอัตราส่วนการเพิ่มขึ้นของค่าเฉลี่ยการผลิตมอเตอร์ต่ออีเล็กโตรด ได้ค่าอัตราส่วนเพิ่มขึ้นเป็น 7.79 เท่า จำนวนการใช้อีเล็กโตรดอัปเปอร์โคน ในการติดตั้งใหม่ก่อนการปรับปรุงชุดอุปกรณ์จับมีจำนวนการใช้เป็น 81 ตัว และหลังการปรับปรุงชุดอุปกรณ์จับยึดมีจำนวนการใช้เป็น 11 ตัว อัตราส่วนที่ลดลงของการใช้อีเล็กโตรด อัปเปอร์โคน เป็น 7.36 เท่า

7. ประสิทธิภาพอายุการใช้งานอีเล็กโตรดปั้มป์ซิล ก่อนการปรับปรุงชุดอุปกรณ์จับยึด ค่าเฉลี่ยการผลิตมอเตอร์ต่ออีเล็กโตรดได้ 16,972 มอเตอร์ หลังการปรับปรุงชุดอุปกรณ์จับยึด คิดเป็นค่า

เฉลี่ยการผลิตมอเตอร์ต่ออีเล็กโตรดได้ถึง 62,788 มอเตอร์ คิดเป็นอัตราส่วนการเพิ่มขึ้นของค่าเฉลี่ยการผลิตมอเตอร์ต่ออีเล็กโตรด ได้ค่าอัตราส่วนเพิ่มขึ้นเป็น 3.69 เท่า จำนวนการใช้อีเล็กโตรดปั้มป์ซิล ในการติดตั้งใหม่ก่อนการปรับปรุงชุดอุปกรณ์จับยึดมีจำนวนการใช้เป็น 89 ตัว และหลังการปรับปรุงชุดอุปกรณ์จับยึดมีจำนวนการใช้เป็น 29 ตัว อัตราส่วนที่ลดลงของการใช้อีเล็กโตรดปั้มป์ซิลเป็น 3.06 เท่า

8. จากการเก็บบันทึกข้อมูลอาการเสียของมอเตอร์ที่เกิดในกระบวนการผลิต จากการตรวจสอบด้วยตาเปล่าใต้กล้องจุลทัศน์กำลังขยาย 30X และการวัดด้วยเครื่องมือวัดความลึกร่องผิว ข้อมูลก่อนมีการปรับปรุงชุดอุปกรณ์จับยึดคิดเป็นค่าเฉลี่ยของเสียรวมได้เป็น 0.57% ข้อมูลหลังมีการปรับปรุงชุดอุปกรณ์จับยึดคิดเป็นค่าเฉลี่ยของเสียรวมได้เป็น 0.45%

5.2 อภิปรายผล

จากผลการวิจัยชุดทดลองอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานมอเตอร์และอีเล็กโตรดทั้ง 3 แบบ สำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตสำหรับเครื่องกัดร่องอีเล็กโตรเคมีคอลขนาดเล็กสำหรับสปินเดิลไฮโดรมอเตอร์ รุ่น Cheetah X15_73LP พบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพอายุการใช้งานของอีเล็กโตรดได้มากขึ้น จำนวนการผลิตต่ออีเล็กโตรดมากขึ้น และสามารถลดของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ซึ่งสามารถนำไปสู่กระบวนการปฏิบัติได้อย่างมีประสิทธิภาพ การตรวจสอบก่อนพร้อมใช้งานและการปรับแต่งแก้ไขชุดอุปกรณ์ การดูแลรักษาการซ่อมบำรุงการป้องกันเป็นไปตามแผนการตรวจสอบเป็นอย่างดี และช่างเทคนิคและพนักงานประจำเครื่องช่วยกันนำเสนอข้อมูลของปัญหาที่พบในระหว่างปฏิบัติงานทำการทดลอง สามารถปรับปรุงแก้ไขชุดทดลองอุปกรณ์จับยึดอย่างต่อเนื่อง ทำให้ชุดทดลองอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานมอเตอร์และอีเล็กโตรดทั้ง 3 แบบนั้นสามารถปฏิบัติให้อยู่ในค่าควบคุมที่กำหนดเจาะจงของผลิตภัณฑ์ได้เป็นอย่างดี ในภาพรวมพบว่าการจับงานและการลงตามตำแหน่งมีค่าความแม่นยำสูงของชุดทดลองอุปกรณ์จับยึด เกิดความคลาดเคลื่อนผิดผลาดน้อยมาก แสดงว่าชุดทดลองอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานมอเตอร์และอีเล็กโตรดทั้ง 3 แบบนี้มีการออกแบบพัฒนาได้เหมาะสมตามลักษณะการใช้งาน อำนวยความสะดวกกับช่างเทคนิคและพนักงานประจำเครื่อง เกิดการพัฒนาการออกแบบอย่างต่อเนื่องจนสมบูรณ์แบบเหมาะกับการผลิตรุ่น Cheetah X15_73LP ได้อย่างมีประสิทธิภาพ คุณภาพของชุดทดลองอุปกรณ์จับยึดได้ทำการนำเสนอลำดับขั้นการทดลอง ใบทดลองชุดอุปกรณ์จับยึดอีเล็กโตรดทั้ง 3 แบบ การเก็บบันทึกข้อมูลในกระบวนการผลิต และเทคนิคการออกแบบชุดอุปกรณ์จับยึดเพื่อทำการทดลองช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ตามข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์สปินเดิลมอเตอร์ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในการเกณฑ์ดีมีคุณภาพ สอดคล้องกับการวิจัยของวิชัย ปามุทา (2544 : บทคัดย่อ) การปรับปรุงเทคนิคการผลิตเพื่อลดอัตราส่วนของเสียที่เกิดในกระบวนการตัดงานของการผลิตเพลาความเที่ยงตรงสูงขนาดเล็ก จากผลการปรับปรุงสามารถลดอัตราส่วนงานเสียของการปรับตั้งเครื่องจักรในการขึ้นงาน

ใหม่การปรับแต่งค่าความโก่งและค่าความยาวของงานเป็นหลัก ของแผนกตัดจากร้อยละ 4.94 เหลือเป็นร้อยละ 1.18 และส่งผลให้อัตราส่วนของเสียทั้งโรงงานลดลงจากร้อยละ 6.77 เหลือเป็นร้อยละ 4.00

จึงสรุปได้ว่า ชุดทดลองอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานมอเตอร์และอีเล็กโตรดทั้ง 3 แบบ เรื่องการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของเครื่องกัดร่องขนาดเล็กสำหรับสปินเดิลไฮโดรมอเตอร์ รุ่น Cheetah X15_73LP ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพอายุการใช้งานของอีเล็กโตรดได้มากขึ้น จำนวนการผลิตต่ออีเล็กโตรดมากขึ้น และสามารถลดของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งช่างเทคนิคและพนักงานประจำเครื่องสามารถใช้ในการผลิตปฏิบัติได้เป็นอย่างดีกับแผนก Electrochemical Machining (ECM)

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

1. จากการวิจัยชุดทดลองอุปกรณ์จับยึดพบว่าแผนก Electrochemical Machining ควรจะมีเครื่องชุดทดลองขนาดเล็กแยกจากสายการผลิต และแยกช่างเทคนิคไว้ส่วนหนึ่งเพื่อทำการพัฒนาปรับปรุงเครื่องจักรและอุปกรณ์จับยึด เรียกว่าทีมติดตั้งกับทีมซ่อมบำรุง เนื่องจากงานประจำมีมากและมีการผลิตรุ่นใหม่อยู่เสมอทำให้ไม่มีเวลาพอในการแก้ไขปรับปรุง

2. จากการวิจัยพบว่าควรจะมีฝ่ายออกแบบชุดอุปกรณ์จับยึดของแผนก ECM โดยตรงและบุคลากรที่เพียงพอในระดับวิศวกร จะได้สามารถทำการวิเคราะห์ปัญหาของเครื่องมือและอุปกรณ์ในสายการผลิต และเป็นคนเชื่อมโยงข้อมูลนำเสนอให้กับผู้บริหาร

3. ชุดอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานมอเตอร์และอีเล็กโตรดทั้ง 3 แบบสำหรับรุ่น Cheetah X15_73LP ที่สร้างขึ้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์สปินเดิลมอเตอร์รุ่นอื่นๆ ที่คล้ายคลึงกันได้

4. จากการทดลองชุดอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานมอเตอร์และอีเล็กโตรดที่ออกแบบสร้างปรับปรุงขึ้นใหม่ ข้อควรระวังที่ออกแบบต้องป้องกันสาเหตุมอเตอร์ชนกระแทกกับอุปกรณ์จับยึดเป็นหลัก โดยเพิ่มตัวประคองการป้อนงานที่ง่ายต่อการปฏิบัติงานขึ้นอยู่กับรูปร่างของมอเตอร์ และวัสดุที่ทำต้องไม่ทำความเสียหายกับตัวมอเตอร์ได้ง่าย

5. ควรมีตัวแม่แบบปรับตั้ง (Master Setup) สำหรับช่างเทคนิคเพื่อง่ายและสะดวกรวดเร็วในการปรับแต่งชุดอุปกรณ์จับยึด และชุดอะไหล่ซ่อมบำรุง

6. ระบบตัวเครื่องจักรควรได้รับการพัฒนาให้มากขึ้นโดยการติดตั้งระบบตรวจจับเซ็นเซอร์อัตโนมัต และพัฒนาไปสู่การใช้ Automation ให้มากขึ้นเพื่อลดความผิดพลาดที่เกิดจากคนเมื่อมีการทำซ้ำๆ และเกิดความเมื่อยล้า

7. ควรทำตารางตรวจเช็คประจำวันและทะเบียนประวัติของชุดอุปกรณ์เพื่อตรวจสอบความเสียหายกับเครื่องจักรและอุปกรณ์จับยึด เพื่อลดอัตราการเสี่ยงต่อความเสียหายกับอุปกรณ์ที่มีราคาแพงและสามารถช่วยลดการหยุดเดินเครื่องจักรโดยไม่จำเป็น

ผู้วิจัยได้ข้อสรุปในภาพรวมในการทำวิจัยครั้งนี้ว่าการทดสอบโดยใช้สถิติควบคุมคุณภาพ ในการควบคุมคุณภาพเครื่อง เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องกัดร่องขนาดเล็ก นอกจากนั้นยังช่วยให้สามารถประมาณอายุการใช้งานอุปกรณ์ต่างๆ ที่ประกอบอยู่ในเครื่องกัดร่องขนาดเล็ก รวมไปถึงรอบการเปลี่ยนแต่ละครั้งของเครื่องมืออุปกรณ์จับยึด ซึ่งทำให้การเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์แต่ละครั้งคุ้มค่าต่อการลงทุนของหน่วยงานโดยที่คุณภาพของผลิตภัณฑ์มอเตอร์มีเสถียรภาพตลอดอายุการใช้งานแต่ละรอบ ผู้วิจัยคาดว่าการวิจัยครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ต่อบริษัทนิเด็คฯ เป็นอย่างมาก และผู้สนใจที่จะนำไปใช้ในหน่วยงานต่อไป

5.3.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรมีการพัฒนาชุดอุปกรณ์จับยึดเพื่อความสมบูรณ์ของความคงทนต่อการผลิตที่มีปริมาณมากและรวดเร็ว ในรูปแบบการป้อนงานแบบอัตโนมัติ

2. ควรมีการวิจัยพัฒนานำชุดทดลองแบบอื่นๆ ที่สามารถประยุกต์ใช้กับการผลิต เพื่อนำข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นไปปรับปรุงและพัฒนาประสิทธิภาพให้ได้มาตรฐานที่สูงขึ้น

3. ควรมีการวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับเทคโนโลยีของวัสดุที่นำมาใช้ประกอบเป็นอุปกรณ์จับยึดที่ทนต่อสภาพสารละลายเกลือ รวมถึงภาชนะอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานด้านปฏิกิริยาทางไฟฟ้า-เคมี

4. ควรมีการวิจัยตัวแปรต่างๆ ในด้านระยะเวลาที่ใช้ในการผลิต ความสามารถคงสภาวะหรือรักษาสภาพเงื่อนไขการผลิตที่มีคุณภาพ อายุการทำงานของชิ้นส่วนอุปกรณ์เครื่องวัดที่สามารถติดตั้งประจำเครื่องกึ่งอัตโนมัติ

5. ควรมีการวิจัยเปรียบเทียบผลการกัดร่องด้วยวิธีทางปฏิกิริยาไฟฟ้า-เคมีกับวิธีอื่นๆ ซึ่งอาจจะต้องพิจารณาในด้านมาตรฐานเวลาการผลิต งบประมาณการลงทุน การดูแลรักษา และปัญหาสิ่งแวดล้อมที่อาจจะเกิดขึ้นในภายหลัง

บรรณานุกรม

กบิล มโนธรรมกิจ. 2543. "การเพิ่มผลผลิตของสายการผลิต Exhaust Manifold โดยการลดเวลาการตั้งเครื่องจักร" วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

กรรมมันต์ ชูประเสริฐ และคณะ. 2539. แปลและเรียบเรียง **การออกแบบเครื่องจักรกล.** Allen S. Hall Alfred R. Holowenko Herman G. Laughlin (McGraw-Hill).

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. 2538. **มาตรฐานระบบการตรวจสอบด้วยการชักสิ่งตัวอย่างเพื่อการยอมรับ MIL-SYD-105E.** กรุงเทพ: ส.เอเชียเพรส (1989).

เกษม พิพัฒน์ปัญญนุกูล. 2541 **การควบคุมคุณภาพ (QUALITY CONTROL).** กรุงเทพ ฯ. สำนักพิมพ์ประกอบเมไตร.

คมสันต์ อารยะธนิตกุล. 2545. "การดำเนินการใช้เทคนิคการบำรุงรักษาทวีผลที่ทุกคนมีส่วนร่วมในเขตอุตสาหกรรมบางกระดี" วิทยานิพนธ์สาขาการบริหารอาชีวศึกษา ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

จะเด็จ เนียมสุวรรณ์. 2544. "การดำเนินงาน OEE ของหน่วยงานซ่อมบำรุงเพื่อสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้าภายในของอุตสาหกรรมอีเล็กทรอนิคส์ กรณีศึกษา บริษัทซีเกท เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด" วิทยานิพนธ์สาขาการบริหารอาชีวศึกษา ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ชิซุโอะ เซนจู. 2539. **TQC and TPM** แปลและเรียบเรียงโดย กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ และ ลักษณะ มานิตขจรกิจ. จำทำโดย ส่วนตำราสนับสนุนเทคนิคอุตสาหกรรม สมาคมส่งเสริมเทคโนลียี (ไทย-ญี่ปุ่น)

เชิดพงษ์ ด่านยุทธศิลป์. 2539. "การปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมปั่นด้าย" วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการมหาบัณฑิต วิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ณัฐพงศ์ วุฒิกร. 2543. "การปรับปรุงคุณภาพระบบการวัดความสั่นสะเทือนของสปินเดิลมอเตอร์โดยผ่านแนวทาง ซิกส์ซิกม่า" วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

นิพนธ์ ศรีสวรรค์. 2541. **ความเป็นมืออาชีพ ของนักการบริหารการผลิต ยุค 2000** วารสาร TPA NEWS, สถาบันราชภัฏ จันทรเกษม.

นิมิต หาญพิทักษ์พงศ์. 2540. "เรื่องการเพิ่มผลผลิตตัวเก็บประจุ กรณีศึกษาโรงงาน ABB Capacitor LTD" วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

บุญชม ศรีสะอาด. 2532. **การวิจัยเบื้องต้น**. ภาควิชาพื้นฐานการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ มหาสารคาม.

ปนิดา วีโรภาส. 2543. "การเพิ่มผลผลิตของแม่พิมพ์ทุบขึ้นรูปร้อนมาตรวัดน้ำอุ่น LCX13" วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

พจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ.2525. พิมพ์ครั้งที่ 1. 2526. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์อักษรเจริญทัศน์.

พิชัย พูลทอง. 2541. "การปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในโรงงานผลิตแปรง" วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต.

ไพฑูรย์ พราวเนตร. 2543. "การปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตของผลิตภัณฑ์สิ่งประดิษฐ์เรซิ่น" วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มงคล แซ่จิว. 2544. "ไคเซ็นในการปรับปรุงระดับคุณภาพการผลิตในอุตสาหกรรมยานยนต์ กรณีศึกษา บริษัท อีซูซุ เอ็นยินแมนูแฟคเจอริ่ง ประเทศไทย จำกัด" สาระนิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

มานพ ตันตระบัณฑิตย์. 2545. **การออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล 1** (ฉบับปรับปรุง). กรุงเทพ ฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

รวีวรรณ ชินะตระกูล. 2542. **การทำการวิจัยทางการศึกษา**. กรุงเทพ ฯ : ที.พี.พริ้นท์

เล็ก นาเงิน. 2537. "การเพิ่มประสิทธิภาพอุตสาหกรรมการผลิตด้วยการลดเวลาการสูญเสีย กรณีศึกษา : การผลิตตู้เย็น" วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

วารินทร์ สินสูงสุด. 2541. **แก้ปัญหา-ปรับปรุงคุณภาพ Problem Solving Quality Continuous Improvement** เอกสารที่ใช้บรรยาย การฝึกอบรม สถาบันเพิ่มผลผลิตบัณฑิตธรรม (BPI)

วารินทร์ สินสูงสุด. 2541. **Quality - คุณภาพ 14จุดของเดมิ่ง, 14ขั้นของครอสบี้, วิธีการของจูรัน, คุณภาพการบริการ**. เอกสารที่ใช้บรรยาย การฝึกอบรม สถาบันเพิ่มผลผลิตบัณฑิตธรรม (BPI)

วิชัย ปามุทา. 2544. "การปรับปรุงอัตราส่วนของเสียจากกระบวนการตัดเพลาความเที่ยงตรงสูงขนาดเล็ก" วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

วัลลภ จันทร์ตระกูล. 2543. **สื่อการเรียนการสอน.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. สาระนิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สุชาติ หัตถ์สุวรรณ. 2547. "การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดทดลองวิชาการออกแบบวงจรพัลส์และสวิตชิ่งหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต สถาบันราชภัฏธนบุรี" วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สุรสิทธิ์ ตติยภัณฑรักษ์. 2545. **การลดต้นทุน โดยทุกคนมีส่วนร่วม Cost Reduction By Everyone.** บริษัท แมกซิมัม โปรดักติวิตี้ คอนซัลแตนท์ จำกัด มีนาคม 2545.

อนิวัต ปาณะลักษณ์. 2546. **การปรับปรุงเพื่อลดความสูญเสีย.** สถาบันส่งเสริมเทคโนโลยี สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). กรุงเทพฯ .

เอกสารฝึกอบรม **Quality Control Circle for Non-Exempt and Exempt.** 2541. บริษัทซีเกท เทคโนโลยี(ประเทศไทย) จำกัด สาขารังสิตคลอง 7

Electrolytic Micro machining System operation manual build for Seagate by Extrude Hone Cooperation ECX Division IRWIN, PA USA - January 2000

John F. Wilson -**"Practice and Theory of Electrochemical Machining"** ROBERT E. KRIEGER PUBLISHING COMPANY MALABAR, FLORIDA 1982

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

เอกสารราชการ

คำสั่งคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ที่ 205 /2546
เรื่อง แต่งตั้งกณะกรรมการควบคุมและคณะกรรมการพิจารณาหัวข้อและ
เค้าโครงวิทยานิพนธ์ ของ นายประไพร รักไท้

เพื่อให้การเรียบเรียงวิทยานิพนธ์ ของ นายประไพร รักไท้ เป็นไปด้วยความเรียบร้อยและมีประสิทธิภาพจึงแต่งตั้งคณะกรรมการเพื่อควบคุมและพิจารณาหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์ ดังต่อไปนี้

1. คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

ผศ.ดร.ธีระพล	เทพหัสดิน ณ อยุธยา	ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์
ดร.สมชาย	หมื่นสายญาติ	ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม

2. คณะกรรมการพิจารณาหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์

ดร.สุรสิทธิ์	ราตรี	ประธานกรรมการ
ผศ.ดร.ธีระพล	เทพหัสดิน ณ อยุธยา	กรรมการ
ดร.สมชาย	หมื่นสายญาติ	กรรมการ
ผศ.วิสุทธิ์	อธิพรธรรม	กรรมการ
ผศ.อุดมศักดิ์	สาริบุตร	กรรมการ

ทั้งนี้ ตั้งแต่บัดนี้เป็นต้นไป

สั่ง ณ วันที่ 16 กรกฎาคม พ.ศ. 2546

(รองศาสตราจารย์ รวีวรรณ ชินะตระกูล)
คณบดี

ประกาศบัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ผลการพิจารณาหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย โดยความเห็นชอบของคณะกรรมการพิจารณาหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ขอประกาศรายชื่อหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์ หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร ที่ได้รับอนุมัติให้ดำเนินการดังนี้

นายประไพร รักไท้ รหัสประจำตัว 43064649 ให้ทำวิทยานิพนธ์เรื่อง "การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของเครื่องกัดร่องขนาดเล็กสำหรับสปินเดิลไฮโดรมอเตอร์ (IMPROVEMENT PRODUCTIVITY OF MICRO-ELECTROCHEMICAL MACHINING FOR SPINDLE HYDRO MOTOR)" โดยมี ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา เป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ดร.สมชาย หมื่นสายญาติ เป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม

ซึ่งได้รับอนุมัติเมื่อวันที่ 29 ธันวาคม 2546

ทั้งนี้ให้นักศึกษาค้นคว้าและเขียนวิทยานิพนธ์ โดยปรึกษากับอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ให้เสร็จสิ้นภายในเวลาที่กำหนดในระเบียบของบัณฑิตวิทยาลัย

ประกาศ ณ วันที่ 12 มกราคม พ.ศ. 2547

(รองศาสตราจารย์บุญวัฒน์ อัตชู)

รักษาราชการแทนคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ที่ ศธ 0524.04 / 0102

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

12 มกราคม 2547

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ให้นักศึกษาทดลองเครื่องมือเพื่อการวิจัย

เรียน ผู้จัดการบริษัท นิเด็คโฮเทค มอเตอร์ (ประเทศไทย) จำกัด

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบบันทึกการทดลอง เพื่อการวิจัย จำนวน 1 ชุด

ด้วย นายประไพร รักไท้ นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จะทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของเครื่องกัดร่องขนาดเล็กสำหรับสปินเดิลไฮโดรมอเตอร์" คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม จึงขอความความอนุเคราะห์ท่านโปรดอนุญาตให้ นายประไพร รักไท้ ทดลองเครื่องมือเพื่อการวิจัยภายในสถานประกอบการของท่านได้

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาอนุญาตและขอขอบคุณในความอนุเคราะห์ของท่านมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เลิศลักษณ์ กลิ่นหอม)
รักษาการรองคณบดี
กำกับดูแลงานด้านบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติราชการแทนคณบดี

หน่วยบัณฑิตศึกษา
โทร. 737-3000 ต่อ 3692
โทรสาร. 3264325

ที่ ศธ 0524.04 / 0344

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

27 มกราคม 2547

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ให้นักศึกษาเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อการวิจัย

เรียน ผู้จัดการบริษัท นิเด็ค ไฮเทค มอเตอร์ ประเทศไทย จำกัด

สิ่งที่ส่งมาด้วย 1. ประกาศผลการพิจารณาหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์ จำนวน 1 ฉบับ
2. แบบบันทึกการทดลอง เพื่อการวิจัย จำนวน 1 ชุด

ด้วย นายประไพร รักไท้ นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จะทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของเครื่องกัดร่องขนาดเล็กสำหรับสปินเดิลไฮโดรมอเตอร์" และได้รับอนุมัติหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์แล้ว เมื่อวันที่ 29 ธันวาคม 2546 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม จึงขอความอนุเคราะห์จากท่านได้โปรดอนุญาตให้ นายประไพร รักไท้ เก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อการวิจัยภายในสถานประกอบการของท่านได้

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาอนุญาตและขอขอบคุณในความอนุเคราะห์ของท่านมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เลิศลักษณ์ กลิ่นหอม)
รักษาการรองคณบดี
กำกับดูแลงานด้านบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติราชการแทนคณบดี

หน่วยบัณฑิตศึกษา
โทร. 737-3000 ต่อ 3692
โทรสาร. 3264325

ภาคผนวก ข.

ข้อกำหนดการควบคุมและขนาดตามพารามิเตอร์เครื่องอีเล็กโตรเคมีคอล

ข้อกำหนดการควบคุมและขนาดตามพารามิเตอร์เครื่องอีเล็กโตรเคมีคอล

การปรับแต่งพารามิเตอร์ : แหล่งจ่าย DC Power supply ที่ 10 V(dc) , Pulse width 0.018 , Pulse Cycle 0.063 Rev : A

ปรับอุณหภูมิของน้ำอีเล็กโตรไลท์ที่ 55 - 70 Degree F , pH ที่ 6 - 8 , Conductivity ที่ 118 +/- 5 mS

สำหรับรุ่น : Cheetah X15_73LP

แบบ อีเล็กโตรด	ขนาดพารามิเตอร์	แรงดัน อีเล็กโตรไลท์	Cycle Time (sec)	เกณฑ์กำหนด (Specification)		กำหนดควบคุม (Control limit)		ความถี่การตรวจสอบ สำหรับการผลิต	ความถี่การตรวจสอบ สำหรับช่างเทคนิค
				ค่าต่ำสุด (Min)	ค่าสูงสุด (Max)	ค่าต่ำสุด (Min)	ค่าสูงสุด (Max)		
ปัมป์ซิล	1. Grooves Depth	75 +/- 5 (มิลลิลิตร/นาที)	3.4	10 um	20 um	12.5 um	17.5 um	5 pcs/fixture/mc/shift	1 pcs/fixture/mc
	2. Grooves Location			0.5 +/- 0.1 mm		0.5 +/- 0.06 mm			เมื่อมีการติดตั้งฟิกเจอร์ใหม่
	3. Grooves angle			25 องศา	25 องศา	24 องศา	26 องศา		
	4. Number Grooves			15		15			เมื่อติดตั้งอีเล็กโตรดใหม่
โลเวอร์โคน	1. Grooves Depth	100 / 40 (มิลลิลิตร/นาที)	1.8	8 um.	11 um.	8 um.	11 um.	5pc/fixture/mc/shift	1 pcs/fixture/mc
อัปเปอร์โคน				6 um.	13 um.	8 um.	11 um.		เมื่อมีการติดตั้งฟิกเจอร์ใหม่
	2. Center location			1.243 +/- .05 mm		1.243 +/- .03 mm			
	3. Grooves angle			20 องศา		19 องศา	21 องศา		
	4. Number Grooves			Outer cone 20		Outer cone 20			เมื่อติดตั้งอีเล็กโตรดใหม่
				Inner cone 14		Inner cone 14			เมื่อติดตั้งอีเล็กโตรดใหม่

หมายเหตุ : ส่วนผสมน้ำอีเล็กโตรไลท์ NaNO3 (Sodium Nitrate) 1 Lb / น้ำดีไอ 1 Gallon (1 Gallon = 3.75 lites)

: เครื่องมือตรวจวัดค่าความนำไฟฟ้า Conductivity ใช้ Brandname Traceable MIL-B-117G Type 1 class F style 1

: เครื่องวัดค่า pH ใช้ Brandname Fisher Scientific SB110-1

ภาคผนวก ค.

แบบใบทดลองชุดอุปกรณ์จับยึดอีเล็กโตรด

ใบทดลองปฏิบัติการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของเครื่องกัดร่องขนาดเล็ก สำหรับสปินเดิลไฮโดรมอเตอร์

ใบทดลอง
การทดลองชุดอุปกรณ์จับยึด แบบอีเล็กโตรดโลเวอร์โคน
การทดลองชุดอุปกรณ์จับยึด แบบอีเล็กโตรดอัปเปอร์โคน
การทดลองชุดอุปกรณ์จับยึด แบบอีเล็กโตรดปั้มป์ซิล

วัตถุประสงค์

1. สามารถประกอบและติดตั้งชุดอุปกรณ์จับยึดแบบอีเล็กโตรดโลเวอร์โคน อัปเปอร์โคน และปั้มป์ซิลได้ จนเกิดความชำนาญไม่เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ และสามารถใช้ตัวงานแม่แบบปรับแต่ง (Master setup) เป็นตัวปรับชุดอุปกรณ์ ทำให้เป็นวิธีการปรับแต่งมาตราฐานเดียวกัน
2. สามารถวัดและควบคุมค่าความลึกและมุมของร่องมอเตอร์แบบอีเล็กโตรดโลเวอร์โคน อัปเปอร์โคน และปั้มป์ซิล โดยใช้เทคนิค การโหลดงาน การปรับค่าพารามิเตอร์ และการใช้เครื่องมือวัดต่างๆช่วย
3. สามารถวัดแรงดันไฟฟ้า รอบเวลาการจ่ายกระแสไฟฟ้า ค่าคอนดัคติวิตี้ ค่าpH ค่าอุณหภูมิ เพื่อกำหนดเป็นค่าควบคุมการปฏิบัติงาน
4. ลดความเสียหายที่เกิดจากรอยกระแทกที่มอเตอร์กับชุดอุปกรณ์จับยึดโดยใช้เทคนิคการออกแบบ และการโหลดงานที่อุปกรณ์จับยึด

เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

1. ชุดอุปกรณ์จับยึดแบบอีเล็กโตรดโลเวอร์โคน	1 ชุด
2. ชุดอุปกรณ์จับยึดแบบอีเล็กโตรดอัปเปอร์โคน	1 ชุด
3. ชุดอุปกรณ์จับยึดแบบอีเล็กโตรดปั้มป์ซิล	1 ชุด
4. เครื่องกัดร่อง อีเล็กโตรเคมีคอล	1 เครื่อง
5. ชุดประแจและไขควง	1 ชุด
6. มัลติมิเตอร์	1 เครื่อง
7. คอนดัคติวีตี้มิเตอร์	1 เครื่อง
8. เครื่องมือวัดร่องผิว (Surface Analyzer)	1 เครื่อง
9. กล้องไมโครสโคบ กำลังขยาย 10X/30X	1 เครื่อง

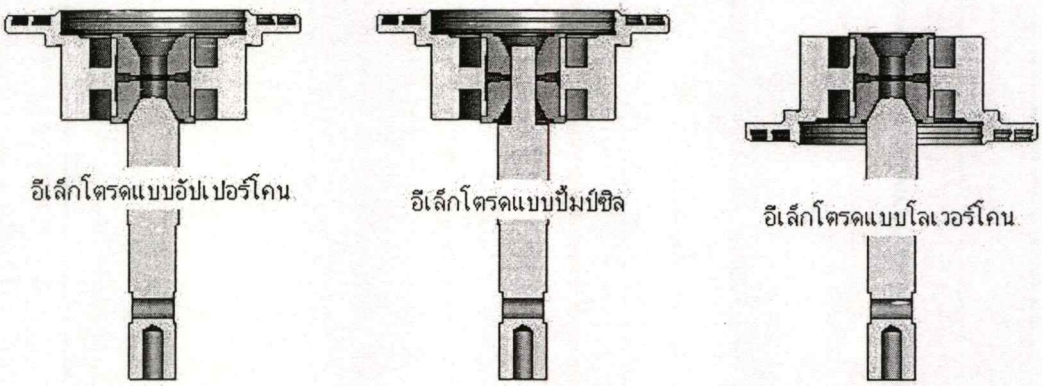
10. เครื่องตัดไฟเบอร์ขนาดเล็ก ใบตัด 5 นิ้วหนา 1 มิลลิเมตร 1 เครื่อง

11. เครื่องวัดอุณหภูมิ 1 เครื่อง

ทฤษฎีโดยย่อ

ในปัจจุบันHarddisk Drive ใช้สปินเดิลมอเตอร์ชนิดน้ำมันไฮโดร ในการออกแบบสปินเดิลมอเตอร์ที่ใช้น้ำมันไฮโดรทำหน้าที่แทนตลับลูกปูน จำเป็นจะต้องมีการออกแบบร่องภายในที่ทำให้เกิดแรงดันของน้ำมันไฮโดรภายในตัวมอเตอร์ขณะที่มีการหมุน การจะทำให้เกิดร่องในสปินเดิลมอเตอร์รุ่น Cheetah X15_73LP ได้ออกแบบใช้วิธีการอีเล็กโตรเคมีคอล โดยเกี่ยวข้องกับทฤษฎีการเคลื่อนย้ายประจุไฟฟ้าที่เป็นขั้วบวกและขั้วลบ ใช้การออกแบบลวดลายอีเล็กโตรดเป็นแม่แบบที่ทำให้เกิดร่องภายในมอเตอร์ซึ่งมีแบบอยู่ 3 ชนิด คือแบบโลเวอร์โคน แบบอัปเปอร์โคน และแบบปั้มซิล ดังนั้นจึงต้องมีการออกแบบอุปกรณ์จับยึดอีเล็กโตรดในแต่ละชนิด เพื่อให้เกิดกระบวนการกัดร่องอย่างมีประสิทธิภาพ

มุมที่มอเตอร์รุ่น X15_73LP ต้องกัดร่องด้านบน ช่องกลาง และด้านล่าง

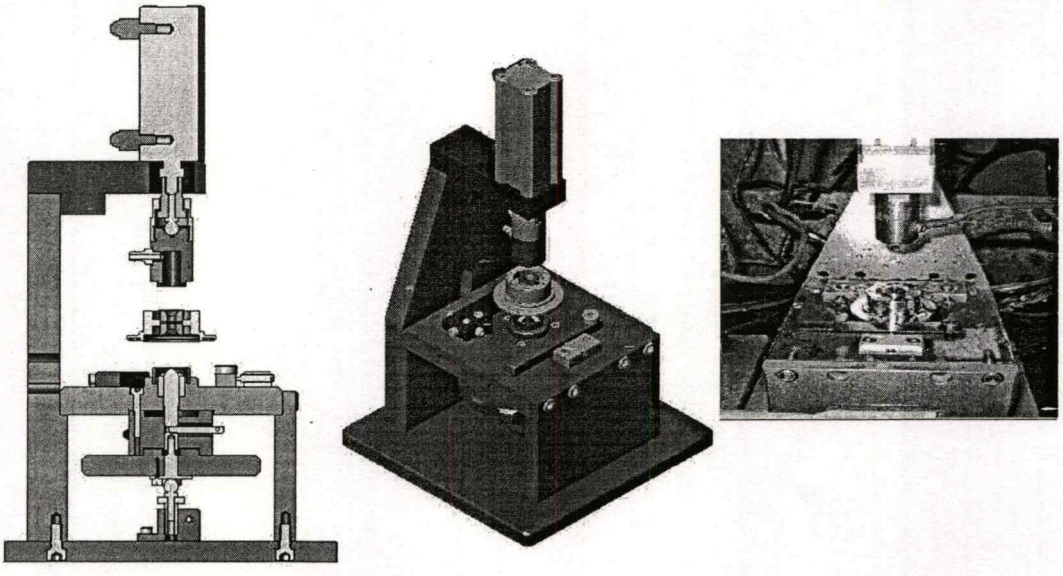


ภาพที่ 1 รูปชนิดอีเล็กโตรดแบบอัปเปอร์โคน อีเล็กโตรดแบบปั้มป์ซิลและอีเล็กโตรดแบบโลเวอร์โคน

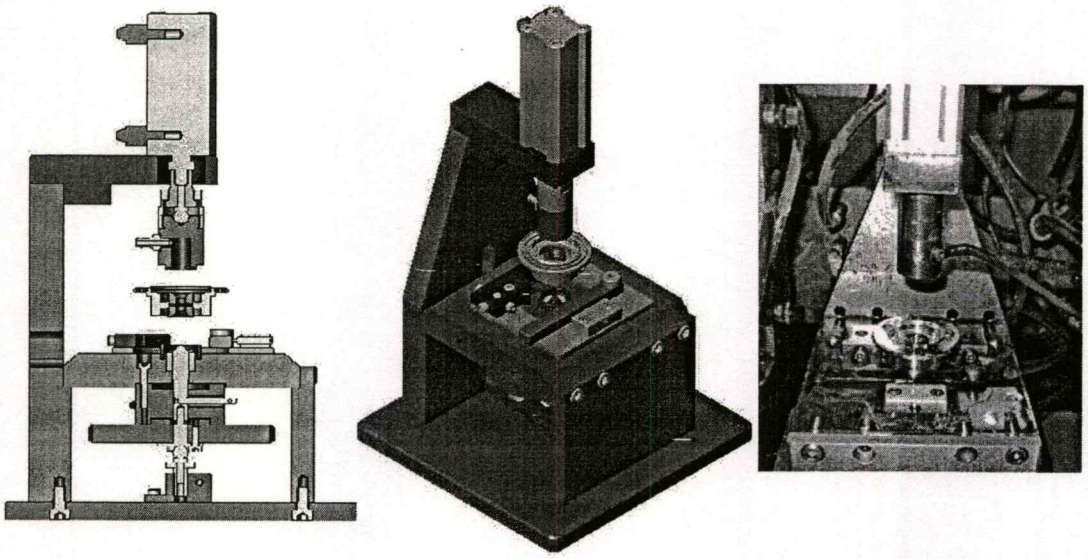
ทฤษฎีการออกแบบฟิกเจอร์ต้องอ้างอิงถึง ข้อกำหนดคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากกระบวนการกัดร่อง จะต้องไม่มีการเกิดรอยขีดข่วนที่ผิวของชิ้นงานและไม่เกิดรอยไหม้จากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี การออกแบบจะต้องเลือกวัสดุที่ไม่ทำให้เกิดรอยขีดข่วนกับชิ้นงานซึ่งมอเตอร์ทำจากวัสดุเป็นอลูมิเนียม ดังนั้นจะต้องเลือกวัสดุที่มีความแข็งน้อยกว่าเป็นประเภทพลาสติกสังเคราะห์ในการทดลองจะเลือกวัสดุอัลเทม-1000 (ULTEM, Natural (1000), ชื่อทางเคมี POLYETHERIMIDE (PEI)) ซึ่งทนต่อความร้อนสูง 538 องศาเซลเซียส ทนต่อสารเคมีกัดกร่อน สามารถทำการขึ้นรูปกับเครื่องกลึงตัดตกแต่งตามการออกแบบได้ ซึ่งเป็นวัสดุที่เหมาะสมที่สุดในการเลือกใช้ ส่วนทางขั้วต่อไฟฟ้าของชุดอุปกรณ์จับยึดจะเลือกโลหะที่ทนต่อระบบไฟฟ้าเคมี ซึ่งการทดลองจะเลือกเอาไททาเนียม (Titanium (Ti)) ซึ่งทนต่อเกลืออีเล็กโตรไลท์ สามารถขึ้นรูปตาม

การออกแบบรูปทรงต่างๆ ได้ เพื่อยึดอายุการใช้งานอุปกรณ์จับยึดอีเล็กโตรดการเลือกวัสดุที่ใช้ประกอบทำฟิกเจอร์จึงมีส่วนสำคัญมาก เนื่องจากรูปร่างของมอเตอร์มีการออกแบบที่ซับซ้อน มีร่องต่างๆ มุมและความโค้งจึงไม่ง่ายนักที่จะออกแบบฟิกเจอร์ให้จับมอเตอร์ขณะทำการกัดร่องต้องไม่มีการรั่วซึมของน้ำอีเล็กโตรไลท์ในการไหลเวียนผ่านตัวงานมอเตอร์ พาเอาเศษโลหะขนาดเล็กที่หลุดออก มาจากปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมีซึ่งขณะที่น้ำอีเล็กโตรไลท์ไหลออกมาจะมีกระแสไฟฟ้าปนมาด้วย ถ้าหากน้ำรั่วซึมที่มอเตอร์มาที่ภายนอกจะทำให้เกิดรอยคราบขอบของน้ำที่ผิวของมอเตอร์ ในการออกแบบต้องคำนึงถึงการปฏิบัติแบบมีการผลิตอย่างต่อเนื่อง ง่ายต่อการโหลดทางด้านนำเอางานเข้าให้เปิดโล่งด้านข้างและด้านบนยกสูงพ้นห่างการชนกับงานและมือ ง่ายต่อการปรับแต่งและติดตั้งสามารถซ่อมบำรุงเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ชำรุดได้ง่ายและรวดเร็ว

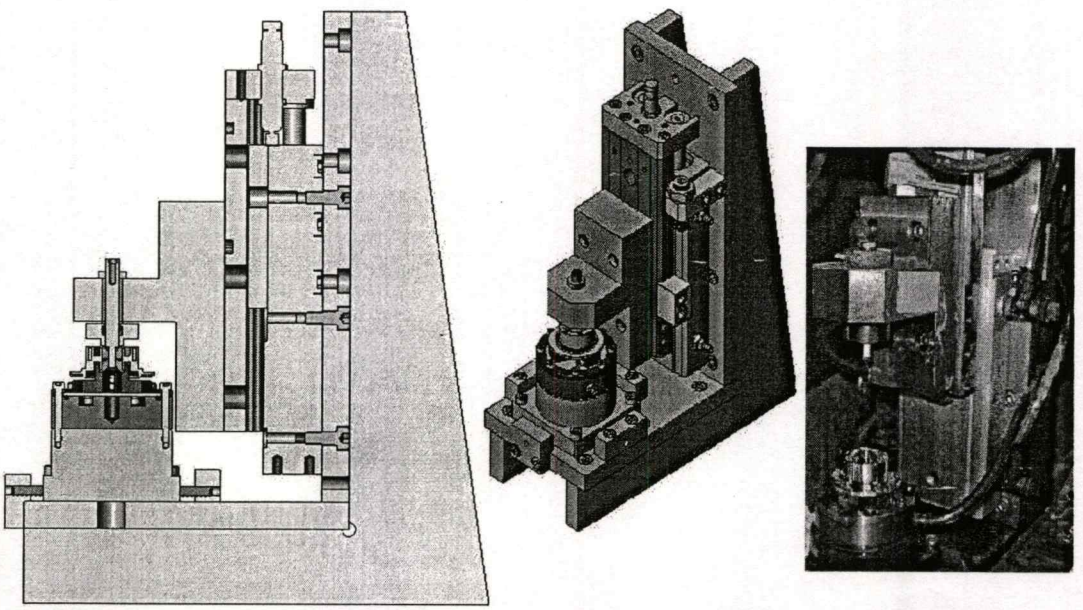
ลำดับขั้นการทดลอง



ภาพที่ 2 ชุดการทดลองอุปกรณ์จับยึด แบบอีเล็กโตรดโลเวอร์โคน



ภาพที่ 3 ชุดการทดลองอุปกรณ์จับยึด แบบอีเล็กโตรดอัปเปอร์โคน



ภาพที่ 4 ชุดการทดลองอุปกรณ์จับยึด แบบอีเล็กโตรดปั้มป์ซิล

ชุดการทดลองอุปกรณ์จับยึดแบบอีเล็กโตรดโลเวอร์โคนแสดงดังรูปที่ 2 ชุดการทดลองอุปกรณ์จับยึดแบบอีเล็กโตรดอัปเปอร์โคนแสดงดังรูปที่ 3 และชุดการทดลองอุปกรณ์จับยึดแบบอีเล็กโตรดปั้มป์ซิลแสดงดังรูปที่ 4 ระบบการควบคุมการทำงานของเครื่องอีเล็กโตรเคมีคอล การวัดงานโดยใช้เครื่องมือวัด และการติดตั้งปรับแต่งในกระบวนการกัดร่องทางไฟฟ้าเคมีกับชุดการทดลองอุปกรณ์จับยึดทั้ง 3 แบบ

1. สามารถทำการเตรียมน้ำอีเล็กโตรไลท์ใหม่ที่จะใช้ในกระบวนการกัดร่อง โดยใช้สัดส่วนเกลือโซเดียมไนเตรท (Sodium nitrate ($NaNo_3$)) น้ำหนัก 1 ปอนด์ต่อน้ำกลั่น หรือน้ำดีไอ (DI Water) 1 แกลลอนซึ่งมีถังบรรจุประมาณ 200 แกลลอน ใช้เครื่องกวนแบบใบพัด กวนน้ำให้เข้ากันจนเกลือเม็ดละลายหมด เปิดระบบน้ำให้ไหลเวียนโดยใช้มอเตอร์ปั๊มปั๊แรงดันสูงกรองเศษฝุ่นตะกอนต่างๆ จนเกิดความใสสะอาดของน้ำอีเล็กโตรไลท์อย่างน้อยไม่ต่ำกว่า 30 นาที

1.1 วัดค่าความนำไฟฟ้าคอนดัคติวิตี้และควบคุมค่า 118±5 มิลลิซีเมนต์ (mS)

1.2 ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) : 1.08@ 18.3°C

1.3 ค่า pH ระหว่าง 6.5 – 8.0 โดยใช้กรดไนตริกเติมปรับสภาพค่า pH ให้ต่ำลงอยู่ที่ค่ากลางคือ pH เท่ากับ 7

1.4 เปิดเครื่องทำความเย็นของระบบคูลลิ่งและปรับแผงควบคุมให้อุณหภูมิทำงานที่บ่อจ่าย 10 – 15.5 องศาเซลเซียส

1.5 ตรวจและเปลี่ยนไส้กรองน้ำในระบบการไหลเวียนของน้ำอีเล็กโตรไลท์ ตามจุด 1 ไมครอน 5 ไมครอน และ 10 ไมครอน เพื่อกำจัดฝุ่นผงสิ่งสกปรกต่างๆ พร้อมตรวจสอบการรั่วซึมตำแหน่งไส้กรองทุกจุด

1.6 ทำการเปิดระบบการไหลเวียนน้ำอีเล็กโตรไลท์ก่อนใช้งานประมาณ 30 นาที เพื่อเกิดการไหลเวียนที่สมบูรณ์และกรองฝุ่นที่ปนเปื้อนออกไป

2. สามารถทำการประกอบชุดอุปกรณ์จับยึดอีเล็กโตรดแบบใหม่ตามผังการออกแบบซึ่งมีตัวบังคับทิศทางการวางงานมอเตอร์ป้องกันการชนโดยตรงเข้ากับตัวอีเล็กโตรด ในการปรับแต่งใช้ตัวชุดมาตราฐานปรับแต่ง (Setup Master Solid) โดยการออกแบบใหม่ ใช้ปรับแต่งชุดอุปกรณ์จับยึดอีเล็กโตรดเพื่อตรวจสอบ และปรับแต่งศูนย์ในแนวดิ่งของการเลื่อนขึ้นและเลื่อนลงให้ตรงตามตำแหน่งก่อนจนเกิดความแน่ใจในความแม่นยำสูงสุด ก่อนทำการติดตั้งตัวอีเล็กโตรดจริง โดยตรวจสอบการเลื่อนด้วยชุดมาตราฐานปรับแต่งที่ยึดแทนอีเล็กโตรดให้เลื่อนลงตรงตำแหน่งไม่ให้เบียดด้านใดด้านหนึ่ง ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดการชนของอีเล็กโตรดกับชิ้นงาน

3. สามารถทำการติดตั้งอีเล็กโตรดโลเวอร์โคน อีเล็กโตรดอัปเปอร์โคน และอีเล็กโตรดปั๊มซิล เข้ากับอุปกรณ์จับยึดแบบใหม่ตามผังการออกแบบหลักจากได้ประกอบและตรวจสอบด้วยชุดมาตราฐานปรับแต่ง ตรวจสอบและล็อกตำแหน่งด้านล่างอีเล็กโตรดเข้ากับฐานยึด แล้วตรวจสอบอีกครั้งที่ช่องห่างระหว่างผิวงานอีเล็กโตรดกับฐานยึดต้องมีช่องห่างเท่าๆ กันรอบตัวอีเล็กโตรดเพื่อให้การไหลของน้ำอีเล็กโตรไลท์ได้รอบตัวอย่างสมบูรณ์ ด้วยกล้องไมรโครสโคบกำลังขยาย 30X เท่า

4. นำชุดอุปกรณ์จับยึดที่ติดตั้งอีเล็กโตรดทั้ง 3 แบบแล้ว คือ แบบโลเวอร์โคน แบบอัปเปอร์โคน และแบบปั๊มปั๊ซิล ที่เรียบร้อยแล้วไปติดตั้งกับฐานตัวเครื่องอีเล็กโตรเคมีคอล

4.1 ทำการต่อท่อระบบการฉีดน้ำอีเล็กโตรไลท์กับชุดอุปกรณ์จับยึดอีเล็กโตรดทั้ง 3 แบบ ทดสอบปรับแต่งระบบการไหลและแรงดันน้ำอีเล็กโทรไลท์ไว้ที่ 75 มิลลิลิตรต่อนาที โดยใช้ตัวงานมอเตอร์วางที่จิกจับงานแล้วนำอีเล็กโตรดเลื่อนลง เปิดวาวล์น้ำตรวจสอบรอยรั่วและปรับแต่งแรงดันน้ำอีเล็กโตรไลท์ขณะไหลผ่านชิ้นงานอีกครั้ง

4.2 ทำการต่อชุดแรงดันลมกับชุดอุปกรณ์จับยึดอีเล็กโตรดทั้ง 3 แบบ แล้วทำการปรับความแรงของลมที่จ่ายไปยังกระบอกสูบให้เลื่อนขึ้นลงอย่างพอเหมาะไม่เร็วหรือช้าจนเกินไป ปรับแรงดันลมที่ใช้ประมาณ 65 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

5. ทำการต่อสายขั้วไฟฟ้าขั้วอาโนดและขั้วคาโทรดเข้ากับชุดอุปกรณ์จับยึดและอีเล็กโตรดทั้ง 3 แบบซึ่งได้ออกแบบขั้วต่อเป็นแบบบังคับสวมต่างขั้วไฟฟ้าทำจากวัสดุทองแดง ขั้วอาโนดต่อกับฟิกเจอร์จับงานหรือมอเตอร์ และขั้วคาโทรดต่อกับอีเล็กโตรด

5.1 ทำการตรวจสอบความถูกต้องของขั้วไฟฟ้าโดยใช้มัลติมิเตอร์ การตรวจสอบให้นำตัวมอเตอร์วางที่ฟิกเจอร์แล้วเลื่อนอีเล็กโตรดลงในตำแหน่งหยุดแล้วใช้มัลติมิเตอร์วัดว่า มีการลัดวงจรทางไฟฟ้าหรือไม่

5.2 ทำการปรับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า DC ประมาณ 10 – 12 โวลท์ซึ่งขึ้นอยู่กับช่องแคบระหว่างตัวชิ้นงานมอเตอร์และอีเล็กโตรดที่ผลิตขึ้นมาได้ อาจมีการเปลี่ยนแปลงบ้างเล็กน้อย เลือกที่โหมดช็อบ (Chop) ปรับรูปเวลาพัลซ์ (Pulse time) ช่วงขาขึ้น 18 mSec และช่วงขาลง 45 mSec ได้รูปเวลาพัลซ์หนึ่งลูกคลื่นรวมเป็น 63 mSec เพื่อให้เกิดรูปพัลซ์ผสมไปในแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าช่วยเร่งปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมีในขณะทำการกัดร่องมอเตอร์ ถ้าต้องการร่องให้เปิดปากกว้างขึ้นให้เพิ่มแรงดันไฟฟ้า และถ้าต้องการร่องให้แคบลงให้ลดแรงดันไฟฟ้า

5.3 ทำการปรับเวลารอบการทำงาน (Cycle time) ไว้ที่ 2.0 วินาทีที่หน้าแผงควบคุมของชุดแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า และจะปรับให้ถูกต้องอีกครั้งโดยตรวจดูจากความลึกของร่อง ถ้าต้องการความลึกของร่องเพิ่มขึ้นให้ทำการเพิ่มเวลา และถ้าต้องการลดความลึกของร่องให้ทำการลดเวลาลง

6. พร้อมสำหรับการเริ่มทำการทดลองโดยเลือกไปที่โหมดอัตโนมัติที่มีการเขียนชุดโปรแกรม PLC ควบคุม เพื่อการควบคุมความสัมพันธ์การทำงานลำดับก่อนและหลังในการเปิด-ปิดวาวล์แรงดันน้ำอีเล็กโตรไลท์รวมถึงการควบคุมช่วงเวลาจังหวะการจ่ายแรงดันไฟฟ้า และการเคลื่อนที่ของลูกสูบลมขึ้นลงตามจังหวะลำดับขั้น

6.1 ให้ทำการป้อนงานมอเตอร์ลงที่ฟิกเจอร์โดยคว่ำมอเตอร์ลง โดยพามอเตอร์ลงไปตามตัวป้องกันการชนจนสุดแล้วล็อกมอเตอร์ด้วยชุดหนีบด้านข้าง แล้วกดปุ่มชุดลูกสูบด้านบนให้เลื่อนลงกดทับบนมอเตอร์ไว้

6.2 พร้อมแล้วกดปุ่มเปิดน้ำอีเล็กโตรไลท์ให้ไหลผ่านไปตามช่องแคบระหว่างอีเล็กโตรดกับมอเตอร์แล้วผ่านออกไปทางปลายท่อด้านของฟิกเจอร์ ตรวจสอบต้องไม่มีการรั่วซึมตามจุดที่น้ำอีเล็กโตรดไหลผ่าน เพราะจะเกิดรอยคราบทิ้งไว้ตามน้ำที่รั่วซึม

7. การตรวจสอบแรงดันอัตราการไหลของน้ำอีเล็กโตรไลท์ทุกรอบการทำงาน โดยดูจากมาตรวัดต้องอยู่ที่ค่าควบคุม 75 มิลลิลิตรต่อนาที (mL/Min) โดยให้ปรับล้อมือหมุนด้านล่างของฟิกเจอร์ซึ่งเป็นเกลี่ยวละเอียดที่ชุดอุปกรณ์จับยึดเพื่อเคลื่อนที่ตัวอีเล็กโตรดขึ้น-ลงโดยดูที่ลูกลอยในมาตรวัด การปรับแต่งค่าอัตราการไหลต้องมีการโหลดงานมอเตอร์ประกอบด้วยเพื่อดูค่าช่องความห่างของชิ้นงานมอเตอร์กับผิวอีเล็กโตรดเพื่อยืนยันว่ามีการไหลของน้ำผ่านช่องที่อัตราไหลคงที่และจะไม่เกิดการลัดวงจรไฟฟ้า

8. ทำการบิดสวิทช์ปล่อยกระแสไฟฟ้า วัดระดับแรงดันไฟฟ้า DC ขณะเกิดกระบวนการกัดร่องทางไฟฟ้าเคมี ที่จุดอีเล็กโตรดกับชิ้นงานด้วยมัลติมิเตอร์ได้เท่ากับ.....โวลท์ ขณะเกิดปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมีเพื่อดึงเอาอีเล็กตรอนจากผิวงานมอเตอร์หลุดออกมาจะทำให้เห็นน้ำอีเล็กโตรไลท์ขุ่นขาวไหลออกมา การปรับแต่งแรงดันไฟฟ้ากับความกว้างของระยะห่างของร่องจะสัมพันธ์กัน โดยแรงดันไฟฟ้ามากจะทำให้ปากร่องกว้างขึ้น การปรับแต่งแรงดันจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงทีละ 0.1 โวลท์ หมายเหตุให้ทำความสะอาดหัวอีเล็กโตรดทุกๆ 5 ตัวหลังกระบวนการกัดร่องโดยใช้ผ้าขาวผิวนุ่มหรือแปรงพลาสติกขนอ่อนนุ่ม

9. ทำการวัดเวลารอบของการจ่ายแรงดันไฟฟ้าโดยอ่านค่าจาก หน้าจอแสดงผลไทเมอร์รีเลย์ (Timer relay) ได้ค่าเท่ากับ.....วินาที โดยความสัมพันธ์ของเวลาของการจ่ายแรงดันไฟฟ้าจะมีผลกับความลึกของร่อง ดังนั้นจึงต้องทำการปรับแต่งทุกครั้งที่มีการติดตั้งอีเล็กโตรดใหม่ หรือเปลี่ยนน้ำอีเล็กโทรไลท์หรือเงื่อนไขอื่นที่เปลี่ยนแปลง

10. ทำการวัดค่าความนำไฟฟ้า (Conductvity) ของน้ำอีเล็กโตรไลท์ด้วยคอนดัคติวิตี้มิเตอร์ได้ค่าเท่ากับ.....มิลลิซีเมนต์(mS) โดยการจุ่มหัวอ่าน(Probe) ลงไปในบ่อจ่ายน้ำอีเล็กโตรไลท์ที่ความสูงกึ่งกลางของบ่อ

11. ทำการวัดอุณหภูมิของน้ำอีเล็กโตรไลท์ด้วย Temperature Meter อ่านจากมิเตอร์ได้ค่าเท่ากับ.....องศาเซลเซียส

12. ทำการวัดค่า pH ของน้ำอีเล็กโตรไลท์ด้วย pH Meter อ่านค่าได้เท่ากับ .....pH (ค่าควบคุม pH = 7±1)

13. ทำการตรวจชิ้นงานตัวอย่างแรกจากการทดลองด้วยกล้องไมโครสโคบ 30X หากพบความผิดปกติจากการทดลองตัวแรกรีบแก้ไขโดยทันที หากกระบวนกัดร่องสมบูรณ์กัดร่องได้รูปตามลายของอีเล็กโตรด ไม่มีรอยไหม้ดำเกิดขึ้นที่ผิวงานมอเตอร์ จึงนำชิ้นงานมอเตอร์ไปวัดความลึกของร่องเพื่อทำการปรับแต่งแรงดันไฟฟ้าและรอบเวลาที่ใช้ เมื่อปรับแต่งได้ความลึกของร่องได้ตามค่าที่กำหนดดีแล้วให้ทำการทดลองงานอีกตัวหนึ่งเพื่อเป็นการยืนยันความถูกต้องทุก

ประการ หมายเหตุ :ให้ใช้งานที่เป็นขอเสียตามผิวของมอเตอร์เป็นตัวทดลองก่อน เพื่อลดของเสียที่เกิดจากช่วงแรกของการปรับแต่ง

14. ทำการทดลองกระบวนการกัดร่องกับงานมอเตอร์จริงแบบต่อเนื่องกัน แล้วเก็บเอาตัวอย่างมอเตอร์ทั้งหมด 6 ตัวอย่างจากการเริ่มกระบวนการ ตรวจสอบมอเตอร์ทุกตัวใต้กล้องไมโครสโคบหาอาการเสียตามเอกสารประกอบการตรวจของเสียของชิ้นงาน แล้วแบ่งเอามอเตอร์ 5 ตัวอย่างไปทำการวัดร่องความลึกตามจุดที่กำหนดด้วยเครื่องมือวัดร่องผิว (Surface Analyzer)และบันทึกค่าการวัดลงในตารางบันทึกการทดลอง

15. นำเอามอเตอร์ทดลองตัวที่ 6 ไปทำการผ่าครึ่งกลางตัวมอเตอร์แยกออกเป็น 2 ส่วน โดยตัดด้วยเครื่องตัดไฟเบอร์แบบแท่นขนาดเล็กใช้ใบตัดไฟเบอร์หนาประมาณ 0.5 มิลลิเมตร นำมอเตอร์ไปทำการวัดร่องความลึกภายในและมุมของร่องด้วยเครื่องมือวัดร่องผิว (Surface Analyzer) และคำนวนอัตราส่วนระหว่างพื้นที่กับร่อง (Groove to Land ratio) และบันทึกค่าการวัดลงในตารางบันทึกการทดลอง

16. อธิบายผลการทดลองตั้งแต่ข้อที่ 8 ถึงข้อที่ 15

.....

.....

.....

.....

.....

.....

<u>สรุปผลการทดลอง</u>

1. การทดลองปรับปรุงชุดอุปกรณ์จับยึดอีเล็กโตรดโลเวอร์โคน สามารถลดความสูญเสียของงานจากการกระแทกจากการโหลดชิ้นงานได้ร้อยละเท่าไร ลดอย่างไร.

   .....

   .....

   .....

2. การวัดค่าความลึกของร่องกลุ่มของงานการทดลองนำมาคิดเป็นค่าเฉลี่ยได้ตามค่าที่กำหนดหรือไม่ เท่าไร อย่างไร.

   .....

   .....

   .....

3. การวัดค่าความลึกของร่องกลุ่มของงานการทดลอง นำมาคิดหาความเบี่ยงเบนมาตราฐาน ของการวัดความลึกของกลุ่มงานทดลองอย่างไร.

.....

.....

.....

4. อายุการใช้งานของชุดอุปกรณ์จับยึดใช้ได้นานขึ้นกี่เท่า และอีเล็กโตรดโลเวอร์โคนสามารถผลิตร่องกับมอเตอร์ได้กี่ตัวเมื่อเทียบกับก่อนการปรับปรุง.

.....

.....

.....

ตารางบันทึกผลการทดลอง

ตารางที่ 1 การเก็บข้อมูลความลึกของร่องมอเตอร์แบบอีเล็กโตรดโลเวอร์โคน หรือ อัปเปอร์โคน

ลำดับงาน	อีเล็กโตรด	ความลึกร่องที่ควบคุม 6 to 13um (Groove Depth Specification)					
		จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	มากสุด	น้อยสุด	เฉลี่ย
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							
30							
31							
32							
33							
34							
35							

ตารางที่ 2 การเก็บข้อมูลพารามิเตอร์เครื่องกัดร่อง ที่ติดตั้งอุปกรณ์จับยึดอีเล็กโตรด
แบบโลเวอร์โดน หรือแบบอัปเปอร์โดน และแบบปั๊มปีซิล

เลขที่	วันที่	อีเล็ดโตรด หมายเลข	ผู้รับผิดชอบ	คอนดัคติวิตี้ mS	pH	แรงดันไฟฟ้า DC	อุณหภูมิ °C	Fixture เลขที่	เครื่องจักรที่	รอบเวลา (Sec)
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										
23										
24										
25										
26										
27										
28										
29										
30										
31										
32										
33										
34										
35										

ตารางที่ 3 การเก็บข้อมูลตัวอย่างมอเตอร์ที่ทำการผ่าวัดค่าภายในของแบบอีเล็กโตรดโลเวอร์โคนหรือแบบอีเล็กโตรดอัปเปอร์โคน

เลขที่	วันที่	อีเล็ดโตรดที่	จำนวนร่อง		มุมร่อง 20 +/- 2		ค่าแหน่งร่องที่ควบคุม		ระยะไม่มีร่อง 0.2mm (max)		ปลายร่อง 0.1mm (max)	
			ชั้นนอก (20)	ชั้นใน (14)	ชั้นใน	ชั้นนอก	จุด1 (1.193-1.293)	จุด 2 (2.28-2.48)	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 1	จุดที่ 2
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												
21												
22												
23												
24												
25												
26												
27												
28												
29												
30												
31												
32												
33												
34												

ตารางที่ 4 การเก็บข้อมูลอัตราส่วนร่องต่อพื้นเรียบภายในหลังการผ่ามอเตอร์ของอีเล็กโตรดแบบโลเวอร์โคนหรือแบบอัปเปอร์โคน หรือแบบปั้มป์ซิล

เลขที่	วันที่	อีเล็คโตรด ที่	ชั้นใน#1		อัตราส่วน (40-60%)	ชั้นนอก#1		อัตราส่วน (40-60%)	ชั้นใน#2		อัตราส่วน (40-60%)	ชั้นนอก#2		อัตราส่วน (40-60%)	สรุปอัตราส่วน		
			พื้นเรียบ	ร่อง		พื้นเรียบ	ร่อง		พื้นเรียบ	ร่อง		พื้นเรียบ	ร่อง		น้อยสุด	มากสุด	เฉลี่ย
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	
10																	
11																	
12																	
13																	
14																	
15																	
16																	
17																	
18																	
19																	
20																	
21																	
22																	
23																	
24																	
25																	
26																	
27																	
28																	
29																	
30																	
31																	
32																	

ตารางที่ 5 การเก็บข้อมูลความลึกของร่องมอเตอร์แบบอีเล็กโตรดปั้มป์ซิล

ลำดับที่	อีเล็กโตรดที่	ความลึกร่องที่ควบคุม 10 - 20 um (Groove Depth Specification)								
		ด้านบน (TOP)			ด้านล่าง (Bottom)			MAX	MIN	Avg
		จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	มากสุด	น้อยสุด	เฉลี่ย
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										
23										
24										
25										
26										
27										
28										
29										
30										
31										
32										
33										
34										
35										

ตารางที่ 6 การเก็บข้อมูลภายในหลังการผ่ามอเตอร์ของอีเล็กโตรดปั๊มปิโตรเลียม

เลขที่	วันที่	อีเล็ดโตรดที่	จำนวนร่อง (15)		มุมร่อง 25 +/- 1		ตำแหน่ง(0.90-1.15mm)		ผู้รับผิดชอบ
			ชั้นใน	ชั้นนอก	ชั้นใน	ชั้นนอก	ชั้นใน	ชั้นนอก	
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									
25									
26									
27									
28									
29									
30									
31									
32									
33									
34									
35									

ภาคผนวก ง.

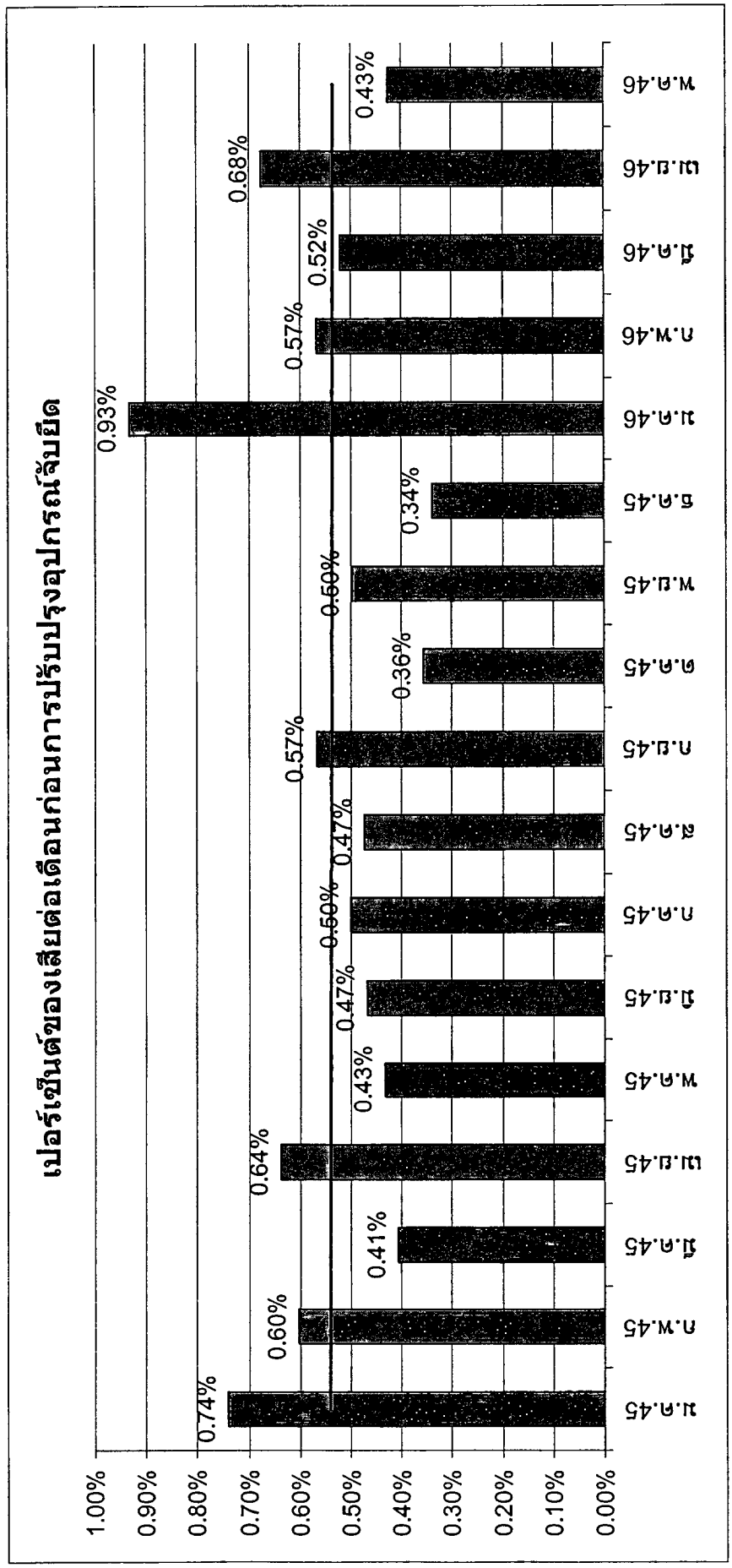
บันทึกข้อมูลของเสียในกระบวนการผลิตต่อเดือน

ตารางที่ ง.1 ข้อมูลอาการเสียของมอเตอร์ในกระบวนการผลิตก่อนการปรับปรุงอุปกรณ์จับยึด ช่วงเดือน ม.ค.2545 ถึงเดือน พ.ค.2546

ที่	อาการของเสีย	ม.ค.45	ก.พ.45	มี.ค.45	เม.ย.45	พ.ค.45	มิ.ย.45	ก.ค.45	ส.ค.45	ก.ย.45	ต.ค.45	พ.ย.45	ธ.ค.45	ม.ค.46	ก.พ.46	มี.ค.46	เม.ย.46	พ.ค.46
1	ร่องความลึกต่ำ	1593	1149	478	1130	840	812	1111	629	668	290	530	108	209	152	284	660	699
2	รอยไหม้ผิว	815	803	215	548	343	355	454	155	139	116	145	66	388	84	191	575	295
3	รอยขีดผิว Hub	5	7		133	115	197	223	119	144	132	134	53	82	129	244	296	167
4	ร่องเกิดลายขาด	796	634	347	748	215	319	653	187	306	377	578	312	805	782	448	542	445
5	ร่องเกิดซ้ำ	158	158	86	105	99	86	158	57	76	43	78	10	27	39	42	64	67
6	อัตราส่วนร่องต่อพ.ท.					131	53								36			
7	รอยจิกด้านบน-ล่าง						2			8								
8	ร่องลึกเกินกำหนด	3	14			21	9	14		12	4	11	3	4	1	8	9	12
9	รอยขีดข่วนด้านในงาน	87	26	36					6	30						3	14	
10	เป็นคราบไฟรั่วที่ผิวงาน					28		5										
11	ผิวงานมีน้ำมัน,สกปรก	1		5	1	37		6	2					6				
12	เศษโลหะ,แตก,ขนาด	9			16	6	36	17	2	15	2	3		1		1	3	
13	เกิดสนิมที่ร่อง		7	5	1	5			1		1							
รวมจำนวนของเสีย		3467	2798	1172	2682	1840	1869	2641	1158	1398	965	1479	552	1522	1223	1221	2163	1685
จำนวนการผลิต		469,474	464,571	288,438	421,690	424,481	400,125	527,823	244,110	247,062	270,959	297,746	162,964	162,964	215,235	234,551	320,037	393,691
เปอร์เซ็นต์ของเสีย		0.74%	0.60%	0.41%	0.64%	0.43%	0.47%	0.50%	0.47%	0.57%	0.36%	0.50%	0.34%	0.93%	0.57%	0.52%	0.68%	0.43%
		เปอร์เซ็นต์ของเสียเฉลี่ย = 0.54 %																

ตารางที่ ง.2 ข้อมูลอาการเสียของมอเตอร์ในกระบวนการผลิตก่อนการปรับปรุงอุปกรณ์จับยึด ช่วงเดือน ม.ค.2545 ถึงเดือน พ.ค.2546

ที่	อาการของเสีย	รวม	ค่าเฉลี่ยต่อเดือน	%ของเสีย
1	ร่องความลึกต่ำ	11,342	667	38.02%
2	รอยไหม้ผิว	5,687	335	19.06%
3	รอยขีดผิว Hub	2,180	128	7.31%
4	ร่องเกิดลายขาด	8,494	500	28.47%
5	ร่องเกิดซ้ำ	1,353	80	4.53%
6	อัตราส่วนร่องต่อพ.ท.	220	13	0.74%
7	รอยจิกด้านบน-ล่าง	10	1	0.03%
8	ร่องลึกเกินกำหนด	125	7	0.42%
9	รอยขีดข่วนด้านในงาน	202	12	0.68%
10	เป็นคราบไฟรั่วที่ผิวงาน	33	2	0.11%
11	ผิวงานเปื้อนน้ำมัน,สกปรก	58	3	0.19%
12	เศษโลหะ,แตก,ขนาด	111	7	0.37%
13	เกิดสนิมที่ร่อง	20	1	0.07%
รวมจำนวนของเสีย		29,835		
จำนวนการผลิต		5,545,921		
เปอร์เซ็นต์ของเสียรวม		0.54%		



ภาพที่ ง.1 เปอร์เซ็นต์ของเสียต่อเดือนก่อนการปรับปรุงอุปกรณ์จับยึด

จากภาพที่ ง.1 กราฟแสดงข้อมูลจากตารางที่ ง.1 ข้อมูลเปอร์เซ็นต์ของเสียของมอเตอร์ต่อเดือน ในกระบวนการผลิตก่อนการปรับปรุงอุปกรณ์จับยึด ช่วงเดือน ม.ค. 2545 ถึงเดือน พ.ค.2546 ซึ่งคำนวณได้ค่าเฉลี่ยของเสียรวม 0.54 %

ตารางที่ ง.3 ข้อมูลอาการเสียของมอเตอร์ในกระบวนการผลิตหลังการปรับปรุงอุปกรณ์จับยึด ช่วงเดือน มิ.ย.2546 ถึงเดือน มิ.ย.2548

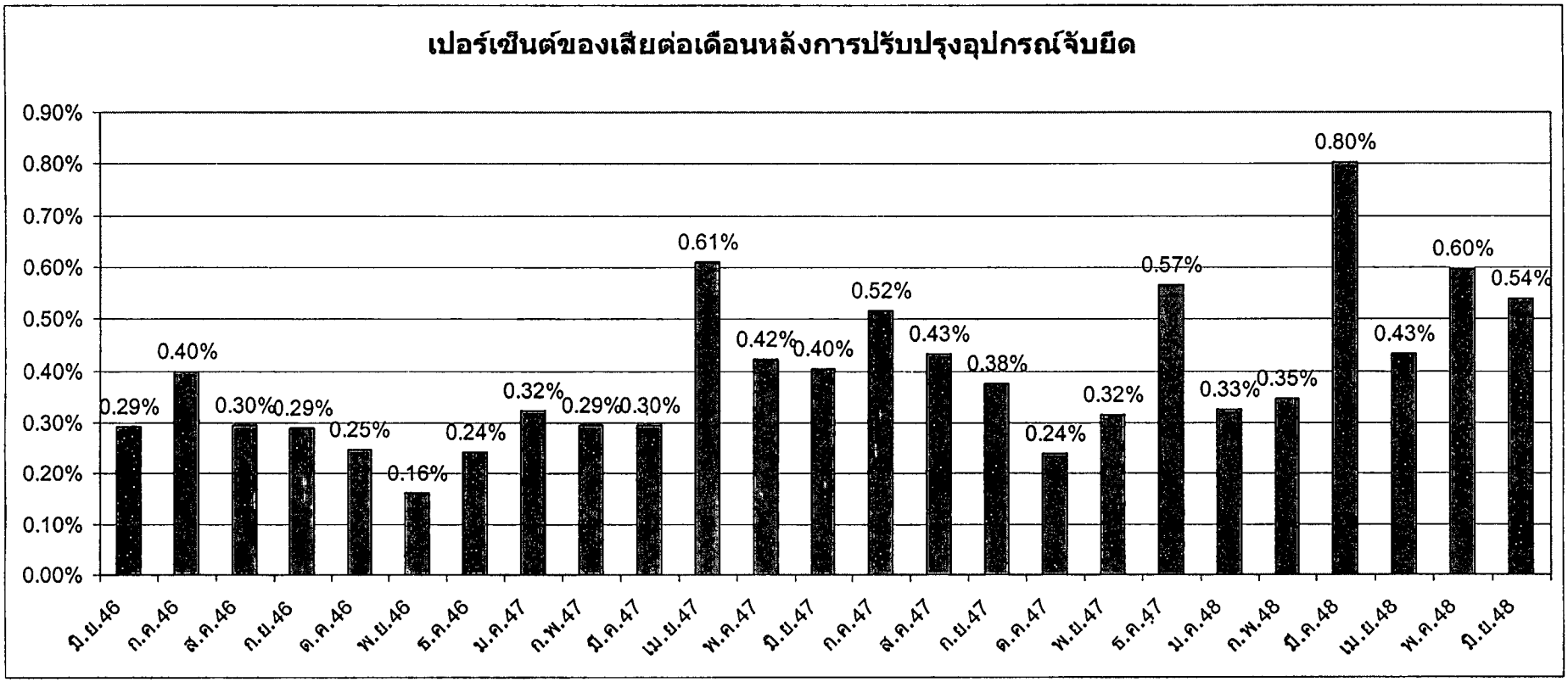
ที่	อาการของเสีย	มิ.ย.46	ก.ค.46	ส.ค.46	ก.ย.46	ต.ค.46	พ.ย.46	ธ.ค.46	ม.ค.47	ก.พ.47	มี.ค.47	เม.ย.47	พ.ค.47	มิ.ย.47	ก.ค.47
1	ร่องความลึกต่ำ	621	822	479	410	277	180	293	295	283	124	365	336	416	443
2	รอยไหม้ผิว	186	260	163	169	226	161	180	432	218	104	520	313	532	645
3	รอยขีดผิว Hub	160	161	186	221	210	118	79	136	109	134	171	244	137	215
4	ร่องเกิดลายขาด	43	72	44	36	62	35	29	51	16	149	163	155	77	112
5	ร่องเกิดซ้ำ	32	36	21	31	48	8	23	15	21	18	31	28	32	34
6	อัตราส่วนร่องต่อพ.ท.														194
7	รอยจิกด้านบน-ล่าง					29	37	83	38	53	43	25	13	37	84
8	ร่องลึกเกินกำหนด		10	3	8	9	9	14	4	6	4	3	1	55	9
9	รอยขีดข่วนด้านในงาน							4		1		76		17	13
10	เป็นคราบไฟรั่วที่ผิวงาน						2			1			3	6	1
11	ผิวงานเปื้อนน้ำมัน,สกปรก				62								9		17
12	เศษโลหะ,แตก,ขนาด			1						6	1	3	6	1	
13	เกิดสนิมที่ร่อง					5					1		7	1	2
รวมจำนวนของเสีย		1042	1361	897	937	866	550	705	971	714	578	1357	1115	1311	1769
จำนวนการผลิต		356,803	341,416	303,860	323,463	348,363	342,771	289,722	300,032	243,266	195,229	222,126	263,357	324,812	342,236
เปอร์เซ็นต์ของเสีย		0.29%	0.40%	0.30%	0.29%	0.25%	0.16%	0.24%	0.32%	0.29%	0.30%	0.61%	0.42%	0.40%	0.52%

ตารางที่ ง.3 ข้อมูลอาการเสียของมอเตอร์ในกระบวนการผลิตหลังการปรับปรุงอุปกรณ์จับยึด ช่วงเดือน มิ.ย.2546 ถึงเดือน มิ.ย.2548 (ต่อ)

ที่	อาการของเสีย	ส.ค.47	ก.ย.47	ต.ค.47	พ.ย.47	ธ.ค.47	ม.ค.48	ก.พ.48	มี.ค.48	เม.ย.48	พ.ค.48	มิ.ย.48	
1	ร่องความลึกต่ำ	247	157	169	282	420	190	45	91	131	90	11	
2	รอยไหม้ผิว	442	489	177	270	826	300	199	56	176	268	81	
3	รอยขีดผิว Hub	357	301	346	284	452	256	170	238	81	58	30	
4	ร่องเกิดลายขาด	166	194	26	24	41	35	44	27	23	63	10	
5	ร่องเกิดซ้ำ	31	47	25	25	32	60	248	14	21	19		
6	อัตราส่วนร่องต่อพ.ท.	68	23	58	137	182		32	27				
7	รอยจิกด้านบน-ล่าง		30	35	37	2				52	71	22	
8	ร่องลึกเกินกำหนด	49	8	21	15	126	59		42	9	5		
9	รอยขีดข่วนด้านในงาน			18	94	9			1	4	3		
10	เป็นคราบไฟรั่วที่ผิวงาน					5		1	136	39	1		
11	ผิวงานเปื้อนน้ำมัน,สกปรก	1	4		17	1	21						
12	เศษโลหะ,แตก,ขนาด					24			63	19			
13	เกิดสนิมที่ร่อง	51	3	2	2	5	2	1					
รวมจำนวนของเสีย		1412	1256	877	1187	2125	923	740	695	555	578	154	
จำนวนการผลิต		325,119	333,900	367,262	375,520	374,776	282,534	213,001	86,444	128,462	96,671	28,533	
เปอร์เซ็นต์ของเสีย		0.43%	0.38%	0.24%	0.32%	0.57%	0.33%	0.35%	0.80%	0.43%	0.60%	0.54%	**เปอร์เซ็นต์ของเสียเฉลี่ย0.35%**

ตารางที่ ง.4 ข้อมูลอาการเสียของมอเตอร์ในกระบวนการผลิตหลังการปรับปรุงอุปกรณ์จับยึด ช่วงเดือน มิ.ย.2546 ถึงเดือน มิ.ย.2548

ที่	อาการของเสีย	รวม	ค่าเฉลี่ยต่อเดือน	%ของเสีย
1	ร่องความลึกต่ำ	7,177	276	29.09%
2	รอยไหม้ผิว	7,393	284	29.96%
3	รอยขีดผิว Hub	4,854	187	19.67%
4	ร่องเกิดลายขาด	1,697	65	6.88%
5	ร่องเกิดซ้ำ	900	35	3.65%
6	อัตราส่วนร่องต่อพ.ท.	721	28	2.92%
7	รอยจิกด้านบน-ล่าง	691	27	2.80%
8	ร่องลึกเกินกำหนด	469	18	1.90%
9	รอยขีดข่วนด้านในงาน	240	9	0.97%
10	เป็นคราบไฟรั่วที่ผิวงาน	195	8	0.79%
11	ผิวงานเปื้อนน้ำมัน,สกปรก	132	5	0.53%
12	เศษโลหะ,แตก,ขนาด	124	5	0.50%
13	เกิดสนิมที่ร่อง	82	3	0.33%
รวมจำนวนของเสีย		24,675		
จำนวนการผลิต		6,809,678		
เปอร์เซ็นต์ของเสีย		0.35%		



ภาพที่ ง.2 เปอร์เซ็นต์ของเสียต่อเดือนหลังการปรับปรุงชุดอุปกรณ์จับยึด

จากภาพที่ ง.2 กราฟแสดงข้อมูลจากตารางที่ ง.3 ข้อมูลอาการเสียของมอเตอร์ในกระบวนการผลิตหลังการปรับปรุงอุปกรณ์จับยึด ช่วงเดือน มิ.ย.2546 ถึงเดือน มิ.ย. 2548 ซึ่งคำนวณได้ค่าเฉลี่ยของเสียรวม 0.35%

ตารางที่ ง.5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพและเวลาการปฏิบัติงาน ก่อนและหลังการปรับปรุงอุปกรณ์จับยึดทั้ง 3 แบบ ของเครื่องอีเล็กโตรเคมีคอล

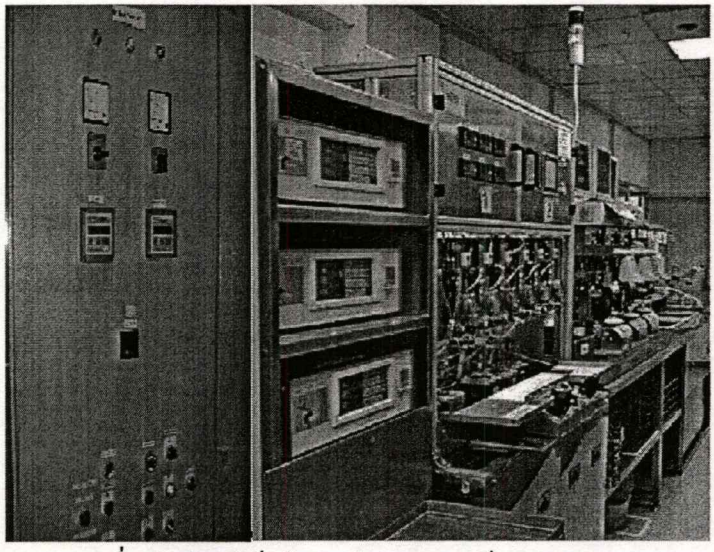
รายละเอียด	ก่อนการปรับปรุงอุปกรณ์จับยึด	หลังการปรับปรุงอุปกรณ์จับยึด	หมายเหตุ
1. เวลาการประกอบชุดอุปกรณ์จับยึด ซึ่งประกอบตามแบบแปลนตามชิ้นส่วนต่างๆ รวมถึงการติดตั้งอีเล็กโตรด	1) ชิ้นส่วนประกอบมีมากชิ้นและยึดด้วยสกูรจำนวนมาก	1) ลดชิ้นส่วนการประกอบ ใช้การเชื่อมยึดติดและร่องรับ	เวลาการประกอบลดลง 20 นาที
	2) โครงสร้างช่องป้อนงานแคบ ใช้เครื่องมือขันยึดสกูรลำบาก	2) โครงสร้างยกสูง เปลี่ยนลูกสูบสูงและเปิดออกสามด้าน	
	3) โครงสร้างเลื่อนไป-เลื่อนมาเมื่อขณะขันสกูรยึด	3) เพิ่มหมุดกันเลื่อนเพื่อล็อกตำแหน่ง	
	4) ช่องล็อกอีเล็กโตรดถูกปิดบังจากโครงสร้างด้านบนประกอบยาก	4) เปิดโล่งออกเพื่อเอาไมโครสโคบส่องเมื่อติดตั้งอีเล็กโตรด	
	5) โครงสร้างอลูมิเนียมความแข็งแรงเสียรูปเร็ว โดนกัดกร่อนง่าย	5) โครงสร้างเป็นสแตนเลสไร้สนิมเพิ่มความหนาทนต่อการกัดกร่อน	
	6) เวลาที่ใช้ประกอบเฉลี่ย 60 นาที	6) ลดเวลาใช้การประกอบ 40 นาที	
2. เวลาการติดตั้งฟิกเจอร์และปรับแต่งระยะอีเล็กโตรด ที่ฐานเครื่องอีเล็กโตรเคมีคอลเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าและระบบน้ำอีเล็กโตรไลท์	1) ขั้วไฟฟ้าแบบสายไฟปลอกปลายยึดกับตัวสกูร	1) ออกแบบ Terminal ล็อกขั้วไฟฟ้าต่างกันเป็น Connector เมื่อเสียบที่ปลั๊กแล้วล็อกด้วยสกูร	เวลาการติดตั้งและปรับแต่งลดลง 15 นาที
	2) ท่อต่อระบบน้ำแรงดันเป็นแบบหางปลาไหล	2) เปลี่ยนเป็น quick lock ถอดเข้าออกง่ายทำจากสแตนเลส	
	3) ต้องยกออกมาปรับแต่งข้างนอก	3) สามารถปรับแต่งที่ฐานยึดในเครื่อง	
	4) เวลาที่ใช้ติดตั้งและปรับแต่งเฉลี่ย 25 นาที	4) เวลาที่ใช้ติดตั้งและปรับแต่งเฉลี่ย 10 นาที	

ตารางที่ ง.5 (ต่อ)

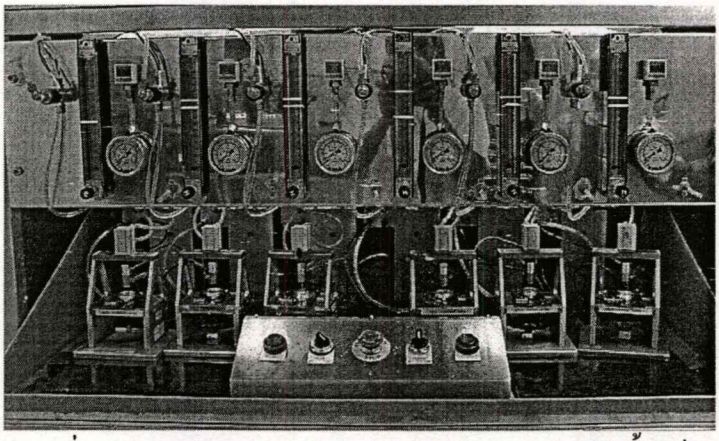
รายละเอียด	ก่อนการปรับปรุงอุปกรณ์จับยึด	หลังการปรับปรุงอุปกรณ์จับยึด	หมายเหตุ
3. รอบเวลาปฏิบัติการป้อนงานเข้า-ออก (Cycle Time) เป็นการรวมเวลาทั้งหมดจากเริ่มป้อนงาน รวมถึงกระบวนการกัดร่อง	1) ต้องระวังงานชนกับตัวฟิกเจอร์ขณะป้อนงานเข้า - ออก	1) มุมฟิกเจอร์ที่เสี่ยงต่อการชนถูกเปิดโล่ง สะดวกในการป้อนงาน	รอบการทำงาน (Cycle time)ลดลง 4 วินาที
	2) ต้องขยับงานหาตำแหน่งและจะชุดกับอีเล็กโตรด	2) มีตัวบังคับการป้อนงานนำล่องตรงตำแหน่ง	
	3) ต้องระวังงานชนกับผิวอีเล็กโตรดถ้าจับงานเอียง	3) มีตัวป้องกันการชนอีเล็กโตรดก่อนวางงานลงตามตำแหน่ง	
	4) เวลาการป้อนงาน 12 วินาที และกระบวนการกัดร่อง 4 วินาที รวมเวลา 16 วินาที	4) เวลาการป้อนงาน 8 วินาที และกระบวนการกัดร่อง 4 วินาที รวมเวลา12 วินาที	
4. ประสิทธิภาพการผลิตมอเตอร์ต่อชั่วโมง คิดจากรอบเวลาการป้อนงานเข้า-ออก	1) การผลิตมอเตอร์ต่อชั่วโมงได้ 225 มอเตอร์ Output = 3600 วินาที / 16 วินาที = 225 มอเตอร์ต่อชั่วโมง	1) การผลิตต่อชั่วโมงเป็น 300 มอเตอร์ Output = 3600 วินาที / 12 วินาที = 300 มอเตอร์ต่อชั่วโมง	การผลิตเพิ่มขึ้น 33 %

ภาคผนวก จ.

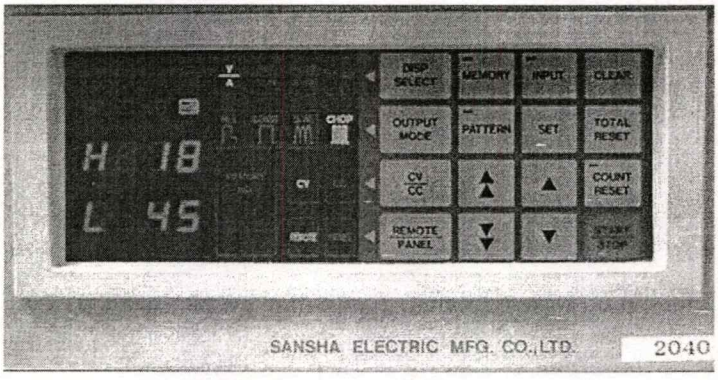
ภาพเครื่องอีเล็กโตรเคมีคอล



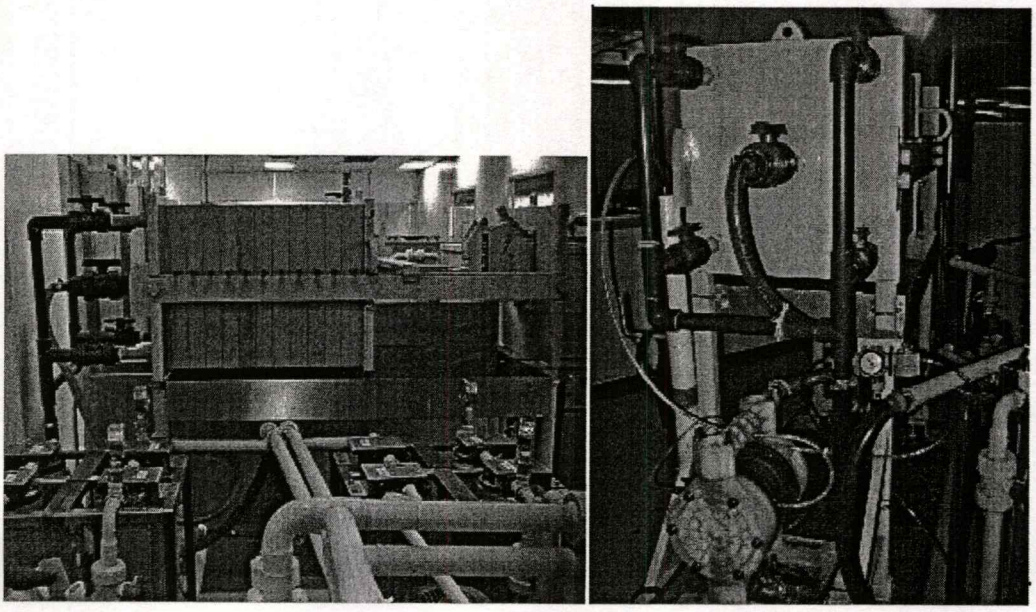
ภาพที่ จ.1 ระบบเครื่องกัดร่องอีเล็กโตรเคมีคอลขนาดเล็ก (Electrochemical Machine)



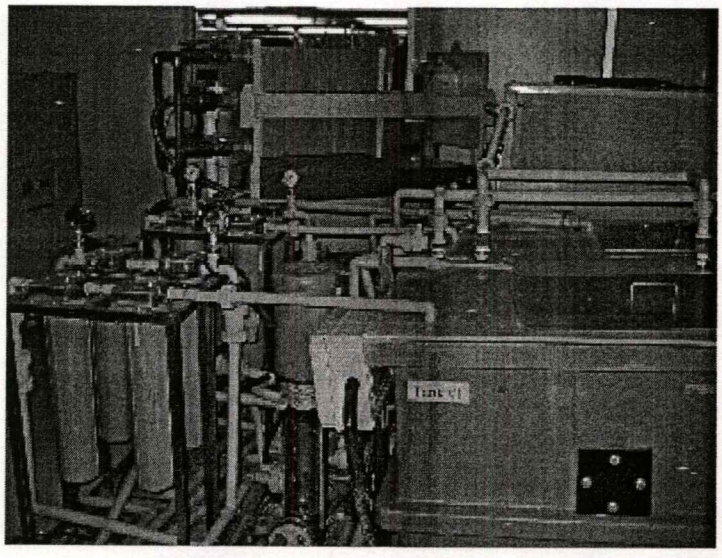
ภาพที่ จ.2 ชุดควบคุมการทำงานและมาตรวัดระดับแรงดันน้ำอีเล็กโตรไลท์



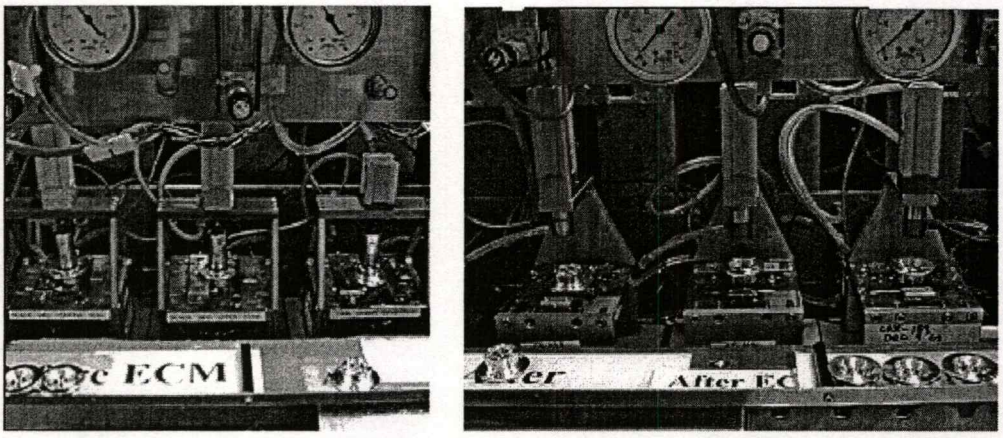
ภาพที่ จ.3 การปรับเครื่องจ่ายพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง



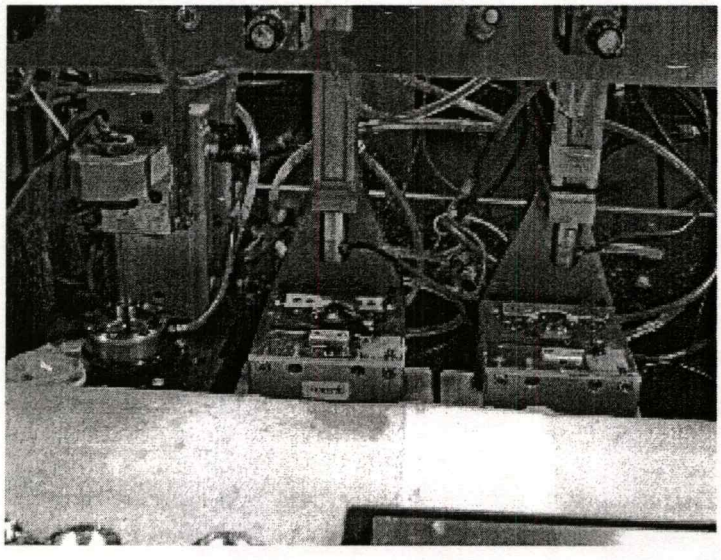
ภาพที่ จ.4 ระบบตัวกรองแรงดันสูง (Filter Press System) ชุดกรองฝุ่นผงตะกอนหนักด้วยการอัดน้ำอีเล็กโตรไลท์แรงดันสูงผ่านแผ่นกรอง ซึ่งใช้ปั๊มปีลมทำจากวัสดุพลาสติกทนสารเคมีได้ดูดน้ำจากบ่อจ่ายผ่านชุดกรอง



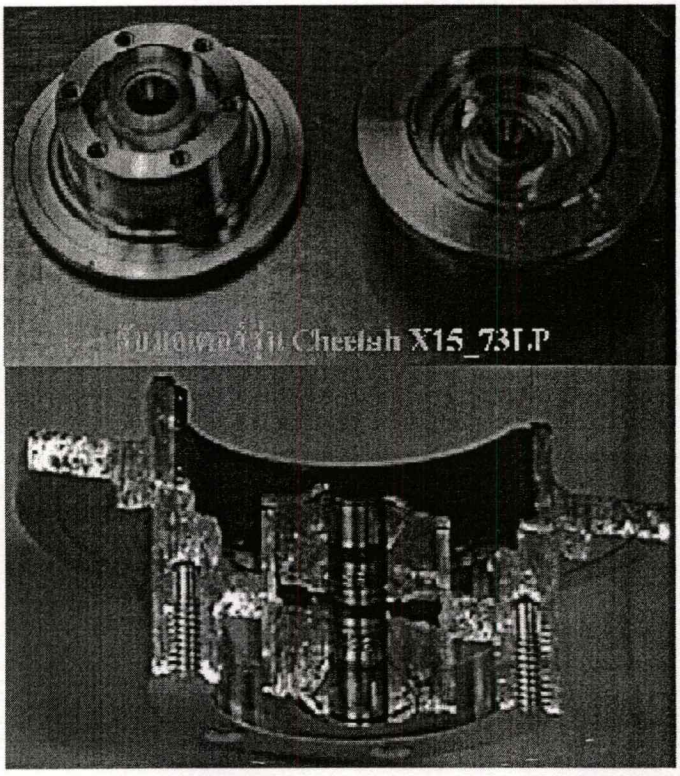
ภาพที่ จ.5 ระบบการกรองผงตะกอนหนักจากถังเก็บน้ำอีเล็กโตรไลท์ก่อนจ่ายไปยังจุดการปฏิบัติงานโดยใช้ปั๊มป์ไฟฟ้าแรงดันสูง อัดผ่านไส้กรอง 5 ไมครอนและ 1 ไมครอนตามลำดับ แรงดันของน้ำอีเล็กโตรไลท์ที่ควบคุม 75 $\pm$5 PSI



ภาพที่ จ.6 ภาพซ้ายเป็นชุดอุปกรณ์จับยึดทั้งสามแบบดั้งเดิมมีขีดจำกัดในการป้อนมอเตอร์ ภาพขวาเป็นการออกแบบรุ่นแรกซึ่งจะต้องมีการปรับปรุงเพิ่มเติม ซึ่งได้ตัดเอาตัวยึดด้านข้างออกไปด้านหนึ่ง และยกระดับหัวกดด้านบนขึ้น กลับทิศทางการป้อนมอเตอร์ วัสดุที่ทำเป็นฐานป้อนมอเตอร์เปลี่ยนเป็นพลาสติก



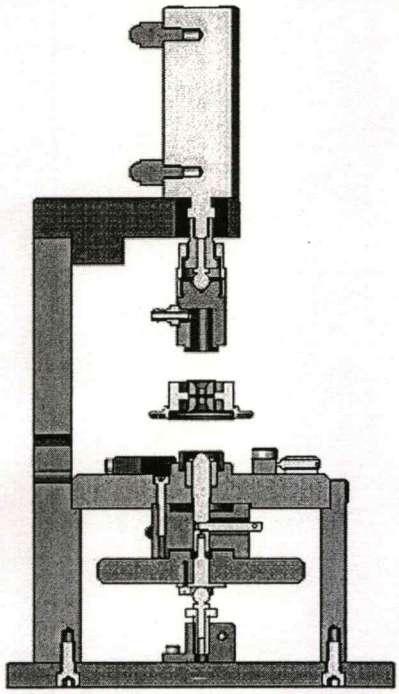
ภาพที่ จ.7 การติดตั้งอุปกรณ์จับยึดที่ออกแบบใหม่ทั้งสามแบบที่มีการปรับปรุงเพิ่มเติมแล้ว ตัวด้านซ้ายคือชุดอุปกรณ์จับยึดปั๊มปีซิล ตัวกลางคือชุดอุปกรณ์จับยึดโลเวอร์โคน และตัวด้านขวาคือชุดอุปกรณ์จับยึดอัปเปอร์โคน

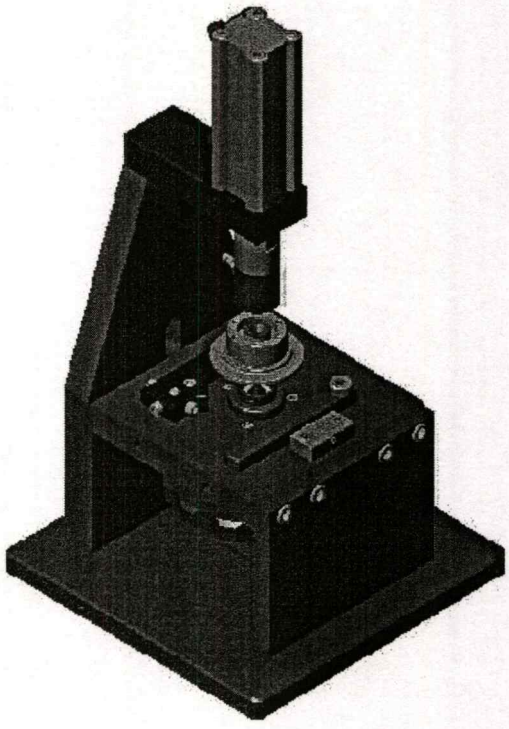


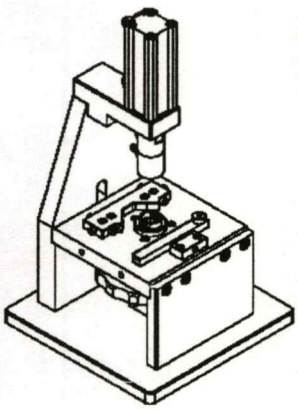
ภาพที่ จ.8 สปินเดิลมอเตอร์รุ่น Cheetah X15_73LP การผ่ามอเตอร์เพื่อจะวัดร่องภายใน

ภาพที่ จ.9 เครื่อง Surfanalyzer รุ่น 5000 ของ Fedral USA. วัดความลึกร่องผิวงาน

ภาพที่ จ.10 แบบแปลนการออกแบบอุปกรณ์การจับยึดแบบใหม่ของชุดอีเล็กโตรดโลเวอร์โคน





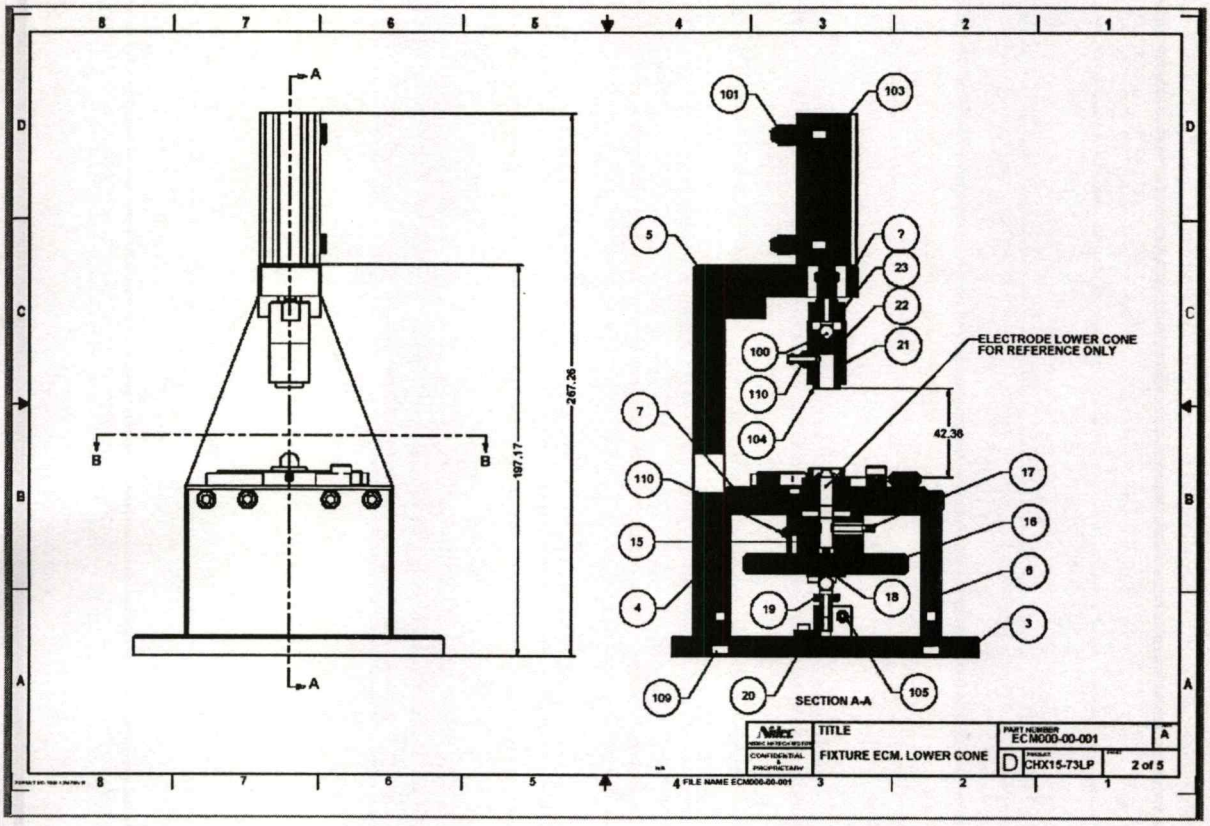


REF	1	REFERENCE	ELECTRODE LOWER CONE	/	/	/
114	12	HLTS5-10	SPRUE(HERICOIL)	SST	MISUMI	/
113	2	HLTS4-8	SPRUE(HERICOIL)	SST	MISUMI	/
112	7	HLTS3-6	SPRUE(HERICOIL)	SST	MISUMI	/
111	1	PJHW 4-2	SPRING PLUNGER M4	SST	MISUMI	/
110	2	MS-5AU-6	BARB FITTING FOR SOFT TUBE	SST	SMC	/
109	16	M5 x 0.8 x 12 SHCS	SOCKET HEAD CAP SCREW,M5	SST	/	/
108	4	M3 x 0.5 x 80 SHCS	SOCKET HEAD CAP SCREW,M3	SST	/	/
107	4	M3 x 0.5 x 8 SHCS	SOCKET HEAD CAP SCREW,M3	SST	/	/
106	3	M3 x 0.5 x 20 SHCS	SOCKET HEAD CAP SREW,M3	SST	/	/
105	12	M3 x 0.5 x 10 SHCS	SOCKET HEAD CAP SREW,M3	SST	/	/
104	1	ID.359"xCS.059"	O-RING ID.359"xCS.059" 60SL	RUBBER	APPLE RUBBER SOFT	
103	1	CQ2B16-35DM-X439	COMPACT CYLINDER BORE 16	/	SMC	/
102	1	CBDR 6-6	STEP SCREW,M4	SST	MISUMI	/
101	2	AS1201FG-M5-04S	SPEED CONTROL	/	SMC	/
100	2	448-4	BALL TOOLING	SST	INDUS.TECHTONIC	
23	1	ECM000-00-023	HANCER CLAMP TOP	ULTEM 1000	/	/
22	1	ECM000-00-022	RETAINER CLAMP TOP	304 SST	/	/
21	1	ECM000-00-021	CLAMP TOP LOWER	CP GRADE 2 TITANIUM		/
20	1	ECM000-00-020	CLAMP SUPPORT	AL6061T6	/	/
19	1	ECM000-00-019	SUPPORT WHEEL	ULTEM 1000	/	/
18	1	ECM000-00-018	ACTUATOR ELECTRODE	440C SST	/	/
17	1	ECM000-00-017	PIN ELECTRODE	BRASS	/	/
16	1	ECM000-00-016	WHEEL ADJUST	DELRIN (W)	/	/
15	1	ECM000-00-015	MANIFOLD LOWER	ULTEM 1000	/	/
14	1	ECM000-00-014	BLOCK PLUNGER	ULTEM 1000	/	/
13	1	ECM000-00-013	LEVER CLAMP	ULTEM 1000	/	/
12	2	ECM000-00-012	PIN GUIDE V-BLOCK	440C SST	/	/
11	2	ECM000-00-011	PAD CERAMIC	CERAMIC TOUGHENED ZIRCONIA		/
10	1	ECM000-00-010	V-BLOCK	304 SST	/	/
9	1	ECM000-00-009	GUIDE HUB	ULTEM1000	/	/
8	1	ECM000-00-008	INSERT CERAMIC	CERAMIC TOUGHENED ZIRCONIA		/
7	1	ECM000-00-007	BASE NEST LOWER	ACRYLIC GLASS	/	/
6	1	ECM000-00-006	PLATE SIDE RIGHT	AL6061T6	/	/
5	1	ECM000-00-005	BEAM CYLINDER	304 SST	/	/
4	1	ECM000-00-004	PLATE SIDE LEFT	304 SST	/	/
3	1	ECM000-00-003	PLAT BASE LOWER	AL6061T6	/	/
ITEM NO.	QTY.	PART NUMBER	DESCRIPTION	MATERIAL	VENDOR	NOTES

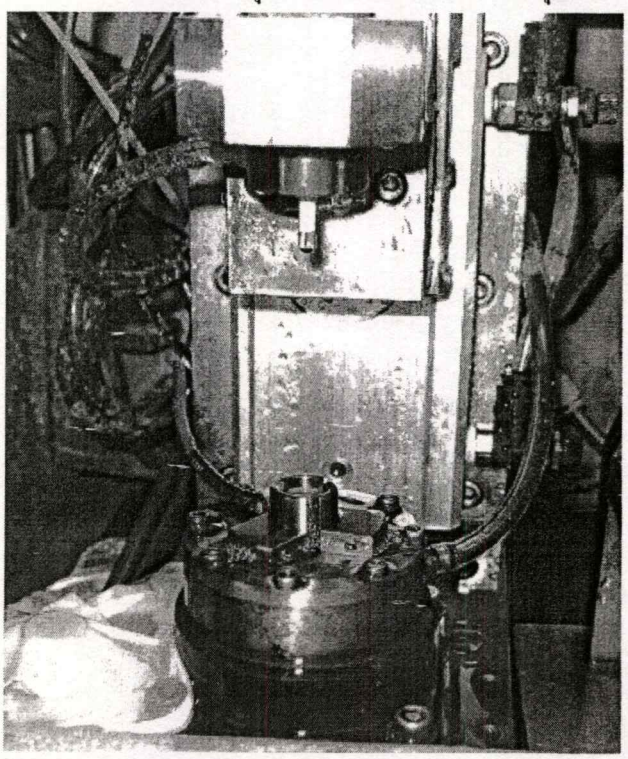
TITLE: FIXTURE ECH. LOWER CONE

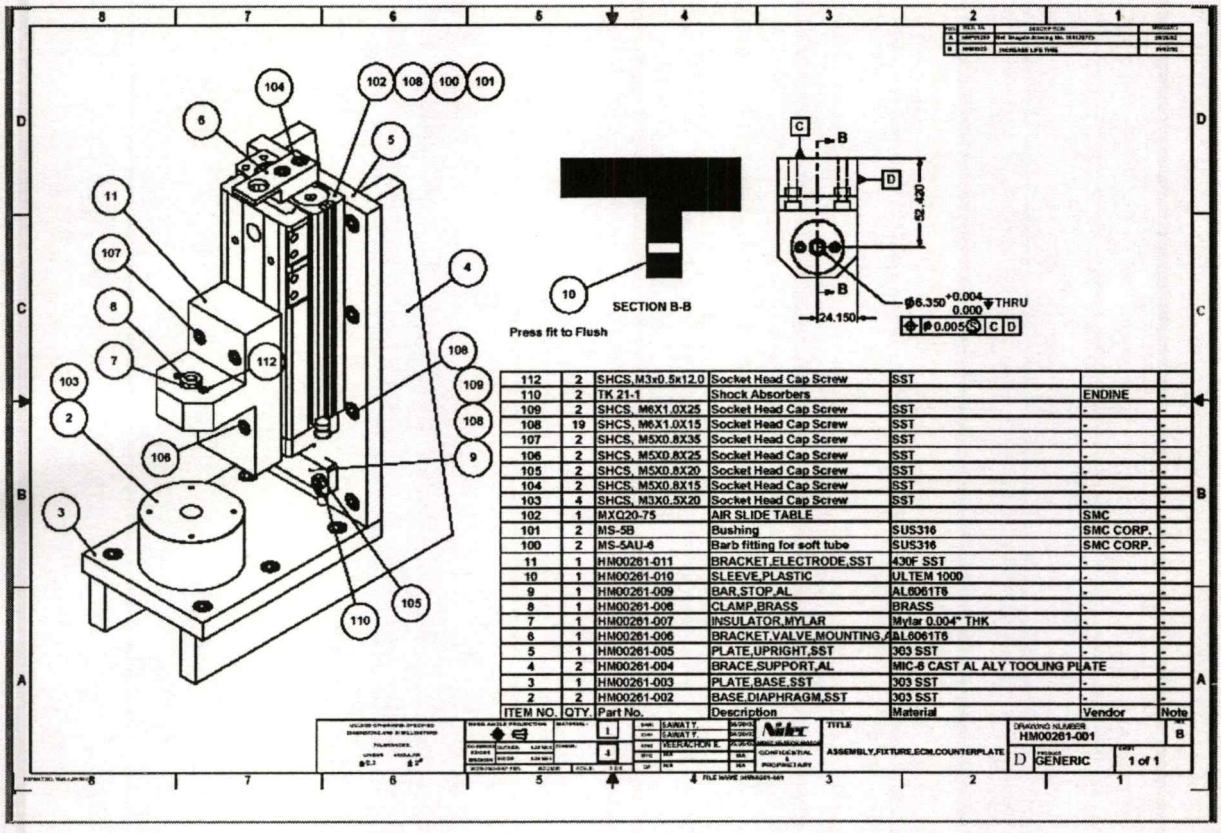
DRAWING NUMBER: ECM000-00-001 REV: A

PRODUCT: CHX15-73LP SHEET: 1 of 5



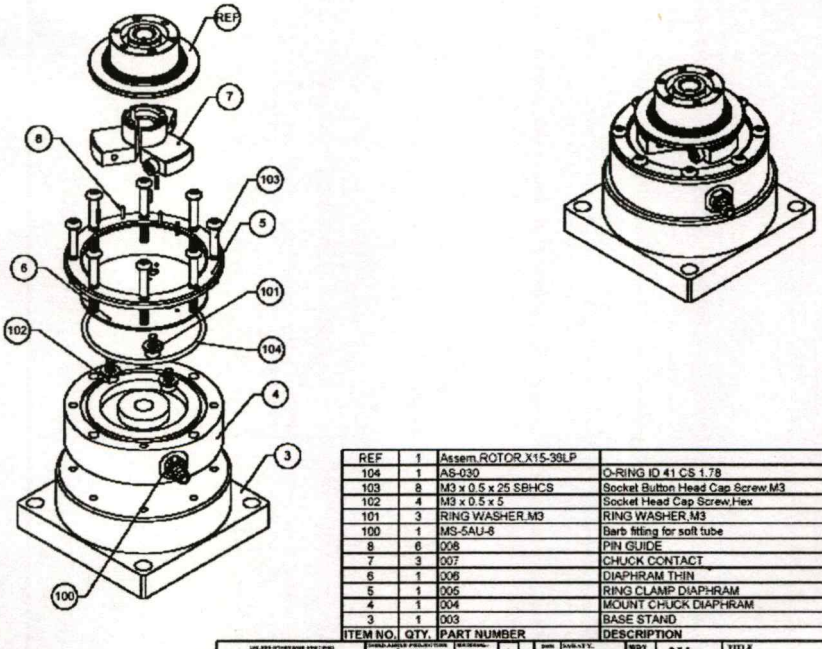
ภาพที่ จ.11 แบบแปลนการออกแบบอุปกรณ์จับยึดแบบใหม่ของชุดอีเล็กโตรดปั้มป์ชิล





ITEM NO.	QTY.	Part No.	Description	Material	Vendor	Note
112	2	SHCS,M3x0.5x12.0	Socket Head Cap Screw	SST		
110	2	TK 21-1	Shock Absorbers		ENDINE	-
109	2	SHCS, M6X1.0X25	Socket Head Cap Screw	SST	-	-
108	19	SHCS, M6X1.0X15	Socket Head Cap Screw	SST	-	-
107	2	SHCS, M5X0.8X35	Socket Head Cap Screw	SST	-	-
106	2	SHCS, M5X0.8X25	Socket Head Cap Screw	SST	-	-
105	2	SHCS, M5X0.8X20	Socket Head Cap Screw	SST	-	-
104	2	SHCS, M5X0.8X15	Socket Head Cap Screw	SST	-	-
103	4	SHCS, M3X0.5X20	Socket Head Cap Screw	SST	-	-
102	1	MXQ20-75	AIR SLIDE TABLE		SMC	-
101	2	MS-5B	Bushing	SUS316	SMC CORP.	-
100	2	MS-5AU-6	Barb fitting for soft tube	SUS316	SMC CORP.	-
11	1	HM00261-011	BRACKET,ELECTRODE,SST	430F SST	-	-
10	1	HM00261-010	SLEEVE,PLASTIC	ULTEM 1000	-	-
9	1	HM00261-009	BAR,STOP,AL	AL6061T6	-	-
8	1	HM00261-008	CLAMP,BRASS	BRASS	-	-
7	1	HM00261-007	INSULATOR,MYLAR	Mylar 0.004" THK	-	-
6	1	HM00261-006	BRACKET,VALVE,MOUNTING,AL	AL6061T6	-	-
5	1	HM00261-005	PLATE,UPRIGHT,SST	303 SST	-	-
4	2	HM00261-004	BRACE,SUPPORT,AL	MIC-6 CAST AL ALY TOOLING PLATE		-
3	1	HM00261-003	PLATE,BASE,SST	303 SST	-	-
2	2	HM00261-002	BASE,DIAPHRAGM,SST	303 SST	-	-

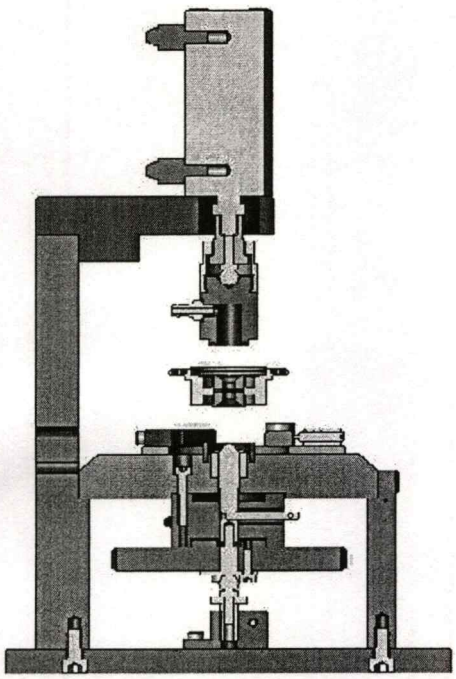
TITLE: ASSEMBLY,FIXTURE,ECM,COUNTERPLATE
DRAWING NUMBER: HM00261-001 B
SIZE: D | FINISH: GENERIC | SHT: 1 of 1

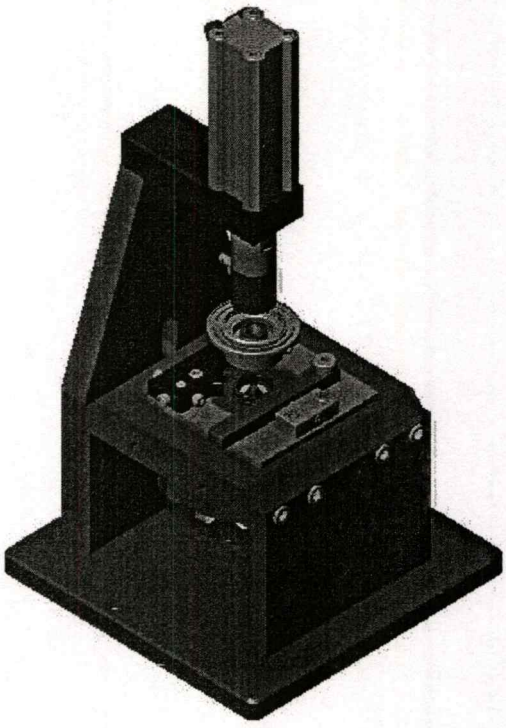


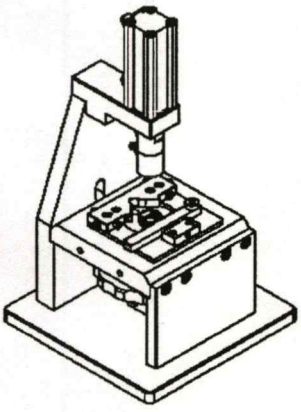
REF	1	Assem,ROTOR,X15-38LP				
104	1	AS-030	O-RING ID 41 CS 1.78	NBR-50A	APPLE	/
103	8	M3 x 0.5 x 25 SBHCS	Socket Button Head Cap Screw,M3			
102	4	M3 x 0.5 x 5	Socket Head Cap Screw,Hex			
101	3	RING WASHER,M3	RING WASHER,M3	SST		
100	1	MS-5AU-6	Barb fitting for soft tube	SUS316	SMC CORP.	-
8	6	008	PIN GUIDE	304 SST	/	/
7	3	007	CHUCK CONTACT	TITANIUM CP1	/	/
6	1	006	DIAPHRAM THIN	TITANIUM CP1	/	/
5	1	005	RING CLAMP DIAPHRAM	304 SST	/	/
4	1	004	MOUNT CHUCK DIAPHRAM	304 SST	/	/
3	1	003	BASE STAND	ULTEM 1000	/	/
ITEM NO.	QTY.	PART NUMBER	DESCRIPTION	MATERIAL	VENDOR	NOTES

TITLE: CHUCK NEST ECM PUMPING SEAL
FIXTURE ECM PUMPING SEAL
DRAWING NUMBER: PUMP001-001 /
SIZE: D | FINISH: CHX15-73LP | SHT: 1 of 2

ภาพที่ จ.12 แบบแปลนการออกแบบอุปกรณ์การจับยึดแบบใหม่ของชุดอีเล็กโตรดอัปเปอร์โคน





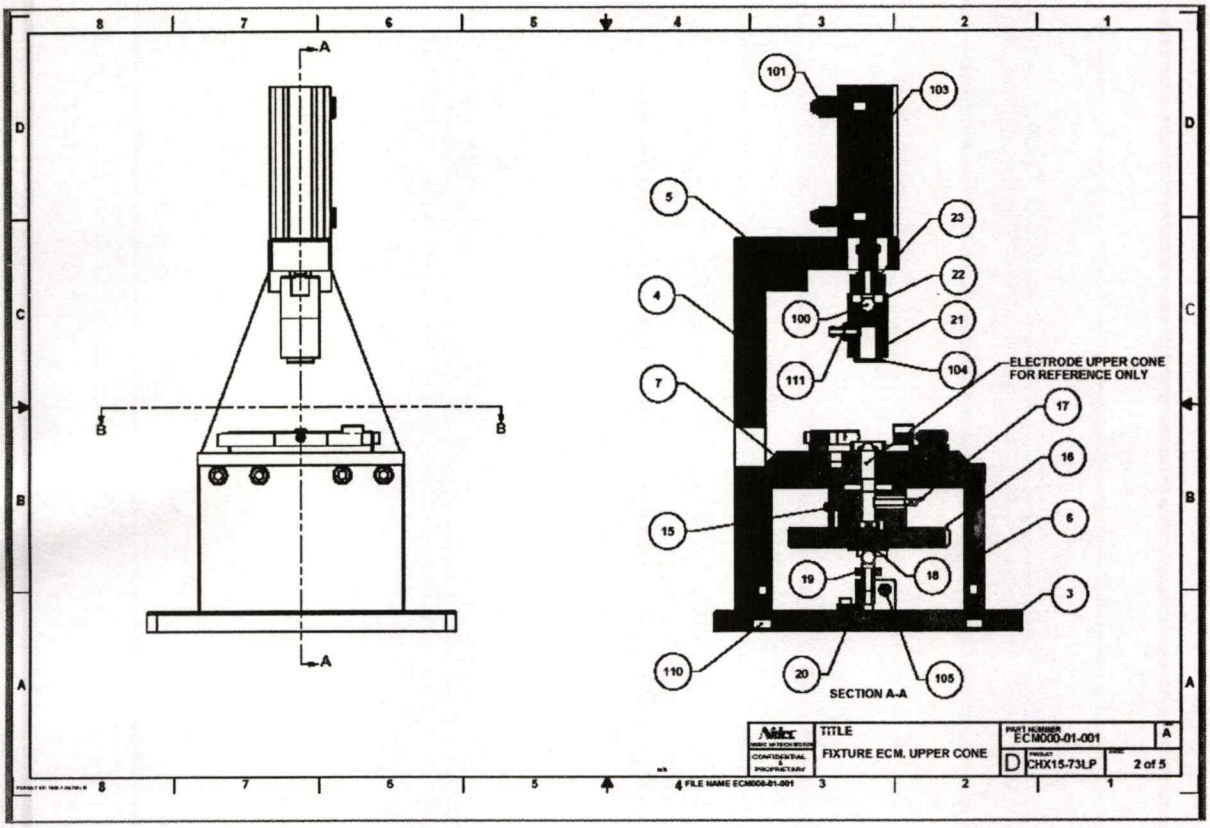


REF	1	REFERENCE	ELECTRODE UPPER CONE	/	/	/
115	12	HLTS5-10	SPURE(HERICOIL)	SST	MISUMI	/
114	2	HLTS4-8	SPURE(HERICOIL)	SST	MISUMI	/
113	7	HLTS3-6	SPURE(HERICOIL)	SST	MISUMI	/
112	1	PJHW 4-2	SPRING PLUNGER,M4	SST	MISUMI	/
111	2	MS-5AU-6	BARB FITTING FOR SOFT TUBE	SST	SMC	/
110	16	M5 x 0.8 x 12 SHCS	SOCKET HEAD CAP SCREW,M5	SST	/	/
109	4	M3 x 0.5 x 80 SHCS	SOCKET HEAD CAP SCREW,M3	SST	/	/
108	4	M3 x 0.5 x 8 SHCS	SOCKET HEAD CAP SCREW,M3	SST	/	/
107	3	M3 x 0.5 x 20 SHCS	SOCKET HEAD CAP SREW,M3	SST	/	/
106	4	M3 x 0.5 x 12,SHCS	SOCKET HEAD CAP SREW,M3	SST	/	/
105	8	M3 x 0.5 x 10 SHCS	SOCKET HEAD CAP SREW,M3	SST	/	/
104	1	ID.359"xCS.059"	O-RING ID.359"xCS.059" 60SL	RUBBER	APPLE RUBBER	SOFT
103	1	CQ2B16-35DM-X439	COMPACT CYLINDER BORE 16	/	SMC	/
102	1	CBDR 6-6	STEP SCREW,M4	SST	MISUMI	/
101	2	AS1201FG-M5-04S	SPEED CONTROL	/	SMC	/
100	2	448-4	BALL TOOLING	SST	INDUS.TECHTONIC	/
24	1	ECM000-01-024	SPACER PLATE UPPER	ACRYLIC (GLASS)	/	/
23	1	ECM000-01-023	HANCER CLAMP TOP	ULTEM 1000	/	/
22	1	ECM000-01-022	RETAINER CLAMP TOP	304 SST	/	/
21	1	ECM000-01-021	CLAMP TOP UPPER	CP GRADE 2 TITANIUM	/	/
20	1	ECM000-01-020	CLAMP SUPPORT	AL6061T6	/	/
19	1	ECM000-01-019	SUPPORT WHEEL	ULTEM 1000	/	/
18	1	ECM000-01-018	ACTUATOR ELECTRODE	440C SST	/	/
17	1	ECM000-01-017	PIN ELECTRODE	BRASS	/	/
16	1	ECM000-01-016	WHEEL ADJUST	DELRIN (W)	/	/
15	1	ECM000-01-015	MANIFOLD UPPER	ULTEM 1000	/	/
14	1	ECM000-01-014	BLOCK PLUNGER	ULTEM 1000	/	/
13	1	ECM000-01-013	LEVER CLAMP	ULTEM 1000	/	/
12	2	ECM000-01-012	PIN GUIDE V-BLOCK	440C SST	/	/
11	2	ECM000-01-011	PAD CERAMIC	CERAMIC TOUGHENED ZIRCONIA	/	/
10	1	ECM000-01-010	V-BLOCK	304 SST	/	/
9	1	ECM000-01-009	GUIDE HUB	ULTEM1000	/	/
8	1	ECM000-01-008	INSERT CERAMIC	CERAMIC TOUGHENED ZIRCONIA	/	/
7	1	ECM000-01-007	BASE NEST UPPER	ACRYLIC GLASS	/	/
6	1	ECM000-01-006	PLATE SIDE RIGHT	AL6061T6	/	/
5	1	ECM000-01-005	BEAM CYLINDER	304 SST	/	/
4	1	ECM000-01-004	PLATE SIDE LEFT	304 SST	/	/
3	1	ECM000-01-003	PLAT BASE LOWER	AL6061T6	/	/
ITEM NO.	QTY.	PART NUMBER	DESCRIPTION	MATERIAL	VENDOR	NOTES

FIXTURE ECM. UPPER CONE

DRAWING NUMBER ECM000-01-001 A

D CHX15-73LP 1 of 5


A
B
B
A
101
103
5
23
4
22
100
21
111
104
ELECTRODE UPPER CONE
FOR REFERENCE ONLY
7
17
16
15
6
19
18
3
110
20
105
SECTION A-A
TITLE
FIXTURE ECM, UPPER CONE
PART NUMBER
ECM000-01-001
REV
A
SIZE
D
SCALE
CHX15-73LP
SHEET
2 of 5
CONFIDENTIAL & PROPRIETARY
FILE NAME ECM000-01-001

ประวัติผู้เขียน

ชื่อผู้วิจัย ประไพร รักไท้

สถานที่เกิด นครราชสีมา

ภูมิลำเนาเดิม 123 หมู่ 1 ตำบลกลางดง อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา 30320

ที่อยู่ปัจจุบัน 125/101 หมู่ 5 ตำบลบางกรวย อำเภอบางกรวย จังหวัดนนทบุรี 11130

ประวัติการศึกษา

ปริญญาตรี พ.ศ. 2533 สำเร็จการศึกษาหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญาโท พ.ศ. 2548 สำเร็จการศึกษาหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร
ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประวัติการทำงาน พ.ศ. 2533-2540 บริษัท ทอมสันเทเลวิชั่น (ประเทศไทย) จำกัด
พ.ศ. 2540-2543 บริษัท ซีเกทเทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด
พ.ศ. 2543-2548 บริษัท นิเด็คไฮเทคมอเตอร์ (ประเทศไทย) จำกัด