



การวิเคราะห์เปรียบเทียบเชิงเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ระหว่างระบบหล่อลื่นจาระบี อัตโนมัต
กับ ระบบหล่อลื่นน้ำมัน อัตโนมติ: กรณีศึกษาในเครื่องกัด CNC สำหรับโรงงานผลิตชิ้นส่วน

ยานยนต์

นายกัณฑ์เอนก บุญอินทร์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา การจัดการงานวิศวกรรม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสยาม

พุทธศักราช 2564

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสยาม



**Technical and Economic Comparative Analysis of Automatic Grease Lubrication System
and Automatic Oil Lubrication System: A Case Study of CNC Milling for an Auto Parts
Factory.**

Mr. Kan-a-nek Boonin

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Engineering Management

Graduate School Siam University

2021



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
 บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสยาม
 หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ปริญญา

การจัดการงานวิศวกรรม
 (สาขาวิชา)

บัณฑิตวิทยาลัย
 (คณะ)

เรื่อง การวิเคราะห์เปรียบเทียบเชิงเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ระหว่างระบบหล่อลื่นจาระบี
 อัตโนมัต กับระบบหล่อลื่นน้ำมันอัตโนมัติ: กรณีศึกษาในเครื่องกัด CNC สำหรับ
 โรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์

Technical and Economic Comparative Analysis of Automatic Grease Lubrication System
 and Automatic Oil Lubrication System: A Case Study of CNC Milling for an Auto Parts
 Factory.

ผู้แต่ง นายกัณฑ์เอนก บุญอินทร์
 Mr. Kan-a-nek Boonin

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.บุทธชัย บรรเทงจิตร)

อาจารย์ที่ปรึกษา/กรรมการ.....

(ดร.วีระกมล คอยจันทน์)

กรรมการ.....

(ศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชูติมา)

กรรมการ.....

(รองศาสตราจารย์ สันสนีย์ สุภาภา)

กรรมการ.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์ ไสตรโยม)

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร. บุทธชัย บรรเทงจิตร)

ผู้อำนวยการหลักสูตร

วันที่ 27 เดือน พ.ย. พ.ศ. 2564

บทคัดย่อ

งานวิจัยเรื่อง : การวิเคราะห์เปรียบเทียบเชิงเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ระหว่างระบบหล่อ
 ลื่นจาระบี อัตโนมัต กับระบบหล่อลื่นน้ำมันอัตโนมัติ: กรณีศึกษาใน
 เครื่องกัด CNC สำหรับโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์

โดย : นาย กัมภักเอนก บุญอินทร์

ชื่อปริญญา : วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา : การจัดการงานวิศวกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา :

(ดร.วีระกาจ คอกจันทร์)

27 / พ.ช. / 2564

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเอาระบบหล่อลื่นจาระบี
 อัตโนมัตมาใช้แทนระบบหล่อลื่นน้ำมันอัตโนมัติ ในเครื่องกัด CNC รุ่น FANUC ROBODRILL α -
 D21MIB เพื่อลดความสิ้นเปลืองของสารหล่อลื่นและสารหล่อเย็นในเครื่องกัด CNC

การปรับปรุงวิธีการหล่อลื่นเครื่องจักร โดยเปลี่ยนมาใช้ระบบหล่อลื่นอัตโนมัติด้วยจาระบี
 เป็นการป้องกันช่วยรักษาระบบน้ำยาหล่อเย็นให้สามารถใช้งานได้นานขึ้น ป้องกันน้ำหล่อเย็นทำงาน
 ไม่เต็มประสิทธิภาพและอาจส่งผลให้ระบบหล่อลื่นของเครื่องกัด CNC เกิดความเสียหายจนไม่
 สามารถแก้ไขได้ทันท่วงที การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ คำนวณหาระยะเวลาการ
 คืนทุน และการวิเคราะห์การลงทุนในส่วนเพิ่ม

ผลการศึกษาในครั้งนี้ สรุปได้ว่า ระบบหล่อลื่นน้ำมันอัตโนมัติแบบเดิม ซึ่งมีค่าใช้จ่ายรวม
 เครื่องละ 56,244 บาท ต่อปี และระบบจาระบีที่ทำมาปรับใช้ลดค่าใช้จ่ายลงเหลือ เครื่องละ 31,143
 บาท หรือลดลงร้อยละ 55.3 จะได้ค่าของอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) อยู่ที่ร้อยละ 41.73 โดยมี
 ระยะเวลาคืนทุน อยู่ที่ 1.67 ปี

คำสำคัญ: ระบบหล่อลื่นน้ำมันอัตโนมัติ ระบบหล่อลื่นจาระบีอัตโนมัติ เครื่องกัด CNC โรงงานผลิต
 ชิ้นส่วนงานยนต์ การวิเคราะห์เปรียบเทียบเชิงเทคนิค


Abstract

Title : Technical and Economic Comparative Analysis of Automatic Grease Lubrication System and Automatic Oil Lubrication System: A Case Study of CNC Milling for an Auto Parts Factory

By : Mr. Kananek Boonin

Degree : Master of Engineering

Major Field : Engineering Management

Thesis Advisor : 

(Dr. Weerakari Dokchan)

27 / Nov / 2021

The objective of this thesis was to study the possibility of using an automatic grease lubrication system instead of an existed automatic oil lubrication system. A FANUC ROBODRILL α -D21MIB CNC milling machine was used as a case study to reduce the consumption of lubricants and coolants in the CNC milling machines.

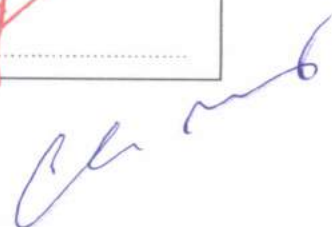
Improving the method of lubrication of the machine was by switching to an automatic grease lubrication system. This system was a protection to help maintain the coolant system to be used for a longer time, and prevented the coolant from not working at full efficiency and can cause damage to the lubrication system of the machine, which cannot be corrected in a timely manner. Economic feasibility analysis was calculated for the payback period and internal rate of return (IRR).

The results of this study could be concluded as follows: The old automatic oil lubrication system had a total running cost of 56,244 Baht per year and the grease system could reduce the cost to 31,143 Baht or 55.3% reduction. The internal rate of return (IRR) for this improvement was 41.73% and the payback period was 1.67 years.

Keywords: Automatic oil lubrication system, Automatic grease lubrication system, CNC milling machine, auto parts factory, technical comparison analysis

Approved by: 

.....



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยการให้คำปรึกษาและแนะนำ พร้อมทั้งได้ช่วยเหลือจาก ดร. วีระกาจ ดอกจันทร์ อาจารย์ที่ปรึกษา รวมถึงคณาจารย์บัณฑิตวิทยาลัย สาขาการจัดการงานวิศวกรรม มหาวิทยาลัยสยามทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำพร้อมทั้งตรวจทานการแก้ไขงานจนทำให้งานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จได้ และผู้วิจัยขอขอบคุณ อาทร ไทยเจริญ อาจารย์ประจำคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมยานยนต์ มหาวิทยาลัยสยาม ที่ได้ให้ความรู้เกี่ยวกับความรู้ทางด้านการทำงานเครื่องกัด CNC พร้อมทั้งการวางแผนทางด้านเทคนิคทางด้านต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการวิจัยในครั้งนี้

ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้บริหารและพนักงานบริษัททุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำการทำวิจัยและการเก็บข้อมูลอันเป็นประโยชน์ต่อการวิจัย จนทำให้การวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้ และสิ่งที่สำคัญที่สุดขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา คุณครู อาจารย์ ที่เคยสั่งสอนทุกๆ ท่านรวมทั้งเพื่อนๆ ทุกคน ที่คอยให้คำปรึกษา คำแนะนำและสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการทำวิจัยทำให้เกิดประโยชน์

กัณฑ์เอนก บุญอินทร์

ตุลาคม 2564

สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของ โครงการงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	4
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	5
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	5
1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 ประวัติ CNC Milling Machining	8
2.2 ระบบ CNC	9
2.3 ระบบหล่อลื่นอัตโนมัติ (Centralized Lubrication system.)	29
2.4 สารหล่อลื่น(Lubricant)	31
2.5 สารหล่อเย็น (Coolant)	41
2.6 แผนผังก้างปลา(Fish Bone Diagram)	44
2.7 ทฤษฎีการวัดคุณค่าในการลงทุน	48
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	50
2.9 สรุปทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	52
บทที่ 3 รายละเอียดการปฏิบัติงาน	53
3.1 ศึกษาสภาพปัญหาทั่วไป	54
3.2 วิเคราะห์สภาพปัญหาด้วยแผนภูมิก้างปลา (Fish born Diagram.)	58
3.3 การพัฒนาปรับปรุงระบบหล่อลื่น	58
3.4 เปรียบเทียบ	59

สารบัญ (ต่อ)

	หน้าที่
บทที่ 4 ผลการดำเนินการ	65
4.1 ผลการศึกษาสภาพปัญหาทั่วไป	65
4.2 ผลการวิเคราะห์สภาพปัญหาโดยใช้เครื่องมือ แผนภูมิแก๊งปลา (Fish born Diagram.)	68
4.3 ผลการพัฒนาปรับปรุงระบบหล่อลื่นจากระบบหล่อลื่นน้ำมันอัตโนมัติเป็นระบบหล่อลื่นจากระบบอัตโนมัติ	70
4.4 ผลการเปรียบเทียบ	85
บทที่ 5 อภิปรายผลการวิจัย	97
5.1 สรุปผลการวิจัย	97
5.2 การอภิปรายผล	103
5.3 ข้อเสนอแนะ	104
บรรณานุกรม	105
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	106



สารบัญรูป

รูปที่	หน้าที่
1.1 แสดงองค์กรขนาดใหญ่และกิจการ SMEs.	1
1.2 แสดงการผลิตรถของประเทศไทยในปี 2019	2
1.3 องค์ประกอบเครื่องกัด CNC	4
2.1 เครื่องจักรกลซีเอ็นซี เครื่องแรกของโลก	8
2.2 CNC Machining ที่ใช้ในปัจุบัน	9
2.3 งานตัดเนื้อผิวโลหะ (Metal Cutting)	11
2.4 งานเจียรระไน (Grinding)	12
2.5 งานกัดโลหะด้วยกระแสไฟฟ้า (EDM)	12
2.6 งานตัดโลหะด้วยเลเซอร์ (Laser Cutting)	13
2.7 งานตัดเจาะและพับขึ้นรูป (Fabrication)	13
2.8 งานตรวจสอบด้วยเครื่องวัดจุด โคออดิเนต (Coordinate Measuring Machine : CMM)	13
2.9 งานประกอบชิ้นส่วน (Assembly)	14
2.10 งานขนถ่ายวัสดุ (Material Handling)	14
2.11 การกำหนดแนวแกนของเครื่องกัดตั้ง	15
2.12 การกำหนดแนวแกนของเครื่องกัดนอน	15
2.13 ชุดควบคุมการทำงานต่าง ๆ	17
2.14 ควบคุมการเคลื่อนที่ของแกนต่างๆ	17
2.15 องค์ประกอบเครื่องกัด CNC	18
2.16 การพัฒนา	19
2.17 การกำหนดขั้นตอนการกัดและเลือกเครื่องมือตัด	19
2.18 จัดเตรียมโปรแกรม CNC ที่จะนำมาใช้งาน	20
2.19 การตรวจสอบโปรแกรม	20
2.20 จัดเตรียมเครื่องมือตัด	21
2.21 บ้อนโปรแกรมเข้าเครื่อง	21
2.22 ปรับตั้งค่าเครื่องมือตัด	21
2.23 การจับยึดชิ้นงานบนโต๊ะงาน	22
2.24 ทดสอบกัดงานอย่างต่อเนื่อง	22
2.25 อธิบายระบบ Coordinate	24

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้าที่
2.26 ตัวอย่างการกำหนดตำแหน่งแบบสัมบูรณ์	26
2.27 ตัวอย่างการกำหนดตำแหน่งแบบต่อเนื่อง	26
2.28 จุดอ้างอิงของการเลื่อนกลับ	27
2.29 ระบบหล่อลื่นแบบท่อเดี่ยว Single line system	29
2.30 ระบบหล่อลื่นแบบท่อคู่ Dual line system	30
2.31 ระบบหล่อลื่นแบบผสม Oil Air system	31
2.32 แสดงผลิตภัณฑ์วัสดุหล่อลื่น	32
2.33 แสดงกระบวนการกลั่นในโรงกลั่นของน้ำมันหล่อลื่น	33
2.34 แสดงการผลิตน้ำมันหล่อลื่น	34
2.35 แสดงดัชนีความหนืดสัมพันธ์กับอุณหภูมิ	35
2.36 แสดงการทดสอบวัดความแข็งแรงของจาระบี	38
2.37 โครงสร้างของแผนผังสาเหตุและผล	45
2.38 ส่วนประกอบของฝังก้างปลา	46
2.39 ตัวอย่างแผนภูมิแท่ง	48
3.1 บริษัท Kawasaki motors enterprise (Thailand)	54
3.2 ผลิตรถจักรยานยนต์ขนาดกลาง 650 ซีซี	54
3.3 เกิดสภาพแวดล้อมที่เป็นมลพิษ บริเวณโรงงาน	55
3.4 เครื่องกัด CNC รุ่น FANUC ROBODRILL α -D21MiB	56
3.5 คู่มือพนักงานเพื่อทำการเก็บรวบรวมข้อมูล	56
3.6 เครื่องกัด CNC ใช้ระบบ SYSTEM: Oil System	56
3.7 เกิดละอองน้ำมันติดที่บริเวณเครื่องกัด CNC	57
3.8 ละอองน้ำมันหล่อลื่น ไปผสมกับน้ำยาหล่อเย็น	57
3.9 เกิดคราบละอองน้ำมันที่บริเวณข้อต่อชุดควาล์วจ่ายระบบหล่อลื่น	58
3.10 น้ำมันหล่อลื่น Mobil Hydraulic AW68	60
3.11 จาระบี Lube Hybrid Lubrication	60
3.12 กราฟแท่งแสดงต้นทุนของสารหล่อลื่นและสารหล่อเย็นของเครื่องจักร	63
3.13 กราฟแสดงค่าใช้จ่ายเครื่องกัด CNC	63

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้าที่	
4.1	ลดการเกิดสภาพแวดล้อมที่เป็นมลพิษ	65
4.2	เตรียมอุปกรณ์ระบบจาระบีอัตโนมัติ	66
4.3	ถอดอุปกรณ์ระบบน้ำมันอัตโนมัติ	66
4.4	ติดตั้งอุปกรณ์ตู้คอนโทรล ระบบน้ำมันอัตโนมัติ	67
4.5	ติดตั้งอุปกรณ์ตู้คอนโทรล ระบบน้ำมันอัตโนมัติเรียบร้อย	67
4.6	ชุดวาล์วจ่ายระบบหล่อลื่นจาระบีอัตโนมัติ	68
4.7	การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาการสิ้นเปลืองระบบหล่อลื่นน้ำมันอัตโนมัติ	69
4.8	การพัฒนาปรับปรุงระบบหล่อลื่นจากระบบหล่อลื่นน้ำมันอัตโนมัติเป็นระบบ หล่อลื่นจาระบีอัตโนมัติ	70
4.9	การพัฒนาจาระบีอัตโนมัติ LHL System chart	71
4.10	FANUC ROBODRILL α -D21MiB ระบบหล่อลื่นแบบจาระบีอัตโนมัติ	72
4.11	FANUC ROBODRILL α -D21MiB ระบบหล่อลื่นแบบน้ำมันอัตโนมัติ (แบบเดิม)	74
4.12	จาระบีของ LUBE รุ่น LHL300-7	76
4.13	รุ่น Model ของ LHL ต่างๆ	77
4.14	Replacement Check Sheet	78
4.15	ELECTRIC PUMP FOR LHL	80
4.16	Nylon tubing	81
4.17	Pressure Gauge	82
4.18	Flexible hose	83
4.19	For MU Valve Junction	83
4.20	MU Metering Valve	84
4.21	GPL Type Grease Pressure Switch	84
4.22	One-Touch Fitting	85
4.23	เก็บค่าพลังงานไฟฟ้าของทั้งสองระบบโดยใช้ Clamp meter	87
4.24	Specification Electric Pump for LHL	88
4.25	ต้นทุนของสารหล่อลื่นและสารหล่อเย็นของเครื่องจักร	91
4.26	ค่าใช้จ่ายระบบหล่อลื่นน้ำมันอัตโนมัติ	91

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้าที่
4.27	ค่าใช้จ่ายระบบหล่อลื่นจากระบบอัตโนมัติ	92
4.28	เปรียบเทียบค่าติดตั้งอุปกรณ์ทั้งสองระบบ	96
5.1	สรุปผลการพัฒนาปรับปรุง ระบบหล่อลื่น	97



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้าที่
1.1	3
2.1	37
2.2	38
2.3	39
3.1	62
4.1	72
4.2	74
4.3	77
4.4	80
4.5	81
4.6	82
4.7	83
4.8	83
4.9	84
4.10	84
4.11	85
4.12	85
4.13	88
4.14	89
4.15	90
4.16	93
4.17	95
5.1	98
5.2	99
5.3	102

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ในปัจจุบันประเทศไทย มีอุตสาหกรรมในหลายๆ ด้านรวมทั้งอุตสาหกรรมยานยนต์ที่มีจำนวนมากไม่ว่าจะในส่วนของการประกอบ การผลิตและการส่งออกรถยนต์ที่สำคัญเป็นอันดับต้นๆ ของภูมิภาคเอเชีย มีทั้งกลุ่มลูกค้าภายในประเทศและต่างประเทศ นอกจากนี้แล้วประเทศไทยยังมีกำลังการผลิตรถยนต์ในอันดับที่ 11 ของโลก และเป็นอันดับ 1 ของกลุ่มอาเซียน โดยปี 2019 ยอดการผลิตรถยนต์ของประเทศไทย 1.99 ล้านคัน โดยเป็นการส่งออก 1.02 ล้านคัน และขายในประเทศ 0.97 ล้านคัน และจักรยานยนต์ในอัตราส่วน 2.2 ล้านคันต่อปีซึ่งพบว่ามี การขยายตัวอย่างต่อเนื่องสำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์ ปัจจุบันอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ในประเทศไทยสร้างงานให้กับแรงงานจำนวนกว่า 450,000 คน และมี โรงงานผู้ผลิตรวม 2,218 แห่งซึ่งส่วนมากผู้ผลิตดังกล่าวจะอยู่ในเขตอุตสาหกรรมในกรุงเทพ และจังหวัดใกล้เคียง รองลงมาคือระยองและจังหวัดอื่นๆ โดยโรงงานดังกล่าวมักตั้งอยู่ใกล้กับ โรงงานผลิตรถยนต์

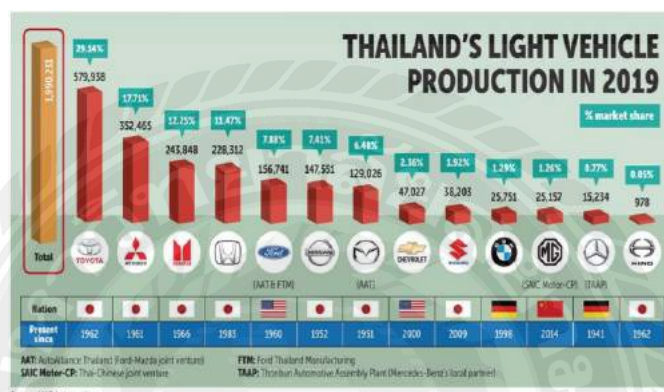


รูปที่ 1.1 แสดงองค์กรขนาดใหญ่และกิจการ SMEs.

นอกจากนั้นในบรรดาอุตสาหกรรมที่สำคัญของโลก อุตสาหกรรมยานยนต์เป็นอุตสาหกรรมที่ค่อนข้างเด่นเป็นอย่างมากในภูมิภาคเอเชียและอาเซียน เนื่องจากมีปริมาณการผลิตรถยนต์ที่มากกว่าครึ่งหนึ่งของปริมาณการผลิตทั่วโลก ซึ่งในส่วนนี้มีประเทศสมาชิกอาเซียนที่เป็นประเทศผู้ผลิตรถยนต์ประกอบด้วย 5 ประเทศ ได้แก่ อินโดนีเซีย มาเลเซีย ฟิลิปปินส์ ไทย และเวียดนาม โดยประเทศสมาชิกอาเซียน มีลักษณะการผลิตยานยนต์ และตลาดในประเทศที่แตกต่าง

กัน ซึ่งสามารถจัดกลุ่มได้เป็น 2 กลุ่ม ดังนี้คือ กลุ่มประเทศที่เป็นฐานการผลิต และกลุ่มประเทศที่ไม่ได้เป็นฐานการผลิต

จากการศึกษาในบริษัทกรณีศึกษา ซึ่งเป็นโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์อยู่ในจังหวัดระยอง ทำการผลิตเกี่ยวกับอะไหล่ยนต์ได้แบ่งออกเป็นส่วนใหญ่ ๆ คือ ส่วนของพลาสติก และ อลูมิเนียม ส่วนของพลาสติกจะเป็นชิ้นส่วนของรถยนต์ที่เป็นชิ้นส่วนฉีดพลาสติก เช่น ช่องระบายลม หม้อน้ำ และส่วนของอลูมิเนียมทำการผลิตชิ้นส่วนอลูมิเนียมภายในเครื่องยนต์ จากเครื่องฉีดอลูมิเนียม และ ทำการ กัด กัด เจาะ โดยเครื่องกัด CNC

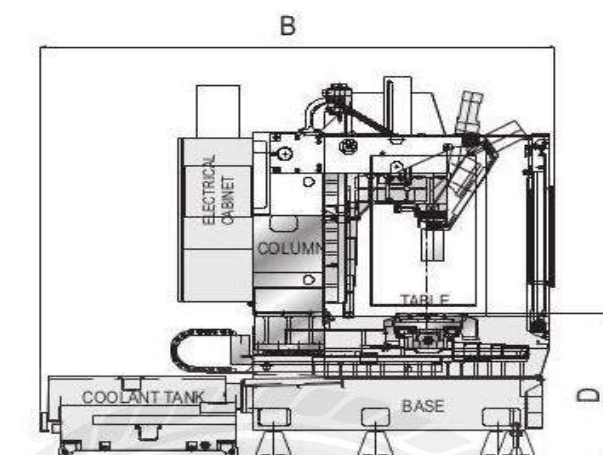


รูปที่ 1.2 แสดงการผลิตรถของประเทศไทยในปี 2019

ใน โรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ดังกล่าวมีเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ต่างๆ ด้วยเครื่องจักรหลายชนิด และในจำนวนนั้นมีเครื่องกัด CNC จำนวน 66 เครื่อง แบ่งเป็นเครื่องกัด CNC ที่มีระบบหล่อลื่นจาระบีอัตโนมัติรุ่นใหม่ จำนวน 46 เครื่อง และมีเครื่องกัด CNC ที่มีระบบหล่อลื่นน้ำมันอัตโนมัติ จำนวน 20 เครื่อง ทางผู้วิจัยและผู้จัดการฝ่ายซ่อมบำรุงเครื่องจักร ได้เก็บข้อมูลการใช้สารหล่อลื่นและสารหล่อเย็น ซึ่งที่มาของปัญหาพบว่าในเครื่องกัด CNC ที่มีระบบหล่อลื่นน้ำมันอัตโนมัติ ได้ใช้สารหล่อลื่นและสารหล่อเย็นมีความสิ้นเปลืองสูง โดยเครื่องกัด CNC ที่มีระบบหล่อลื่นน้ำมันอัตโนมัติ ต่อ 1 เครื่อง ที่มีอัตราการใช้งานเฉลี่ย 8,760 ชั่วโมงต่อปี (24 ชั่วโมงต่อวันx365 วันทำงาน) มีการใช้น้ำมันหล่อลื่น โดยเฉลี่ย 38.8 ลิตรต่อปี อายุของน้ำยาหล่อเย็นในการตัด (Cutting Fluid) โดยเฉลี่ย 12 เดือนต่อปริมาณ 80 ลิตรหรือ 80 ลิตรต่อปี เมื่อจำนวนเครื่องกัด CNC มีจำนวนมากขึ้น ความสิ้นเปลืองของสารหล่อลื่น และสารหล่อเย็นในการตัด ก็จะทำให้ต้นทุนเพิ่มสูงขึ้น ดังตารางที่ 1.1 แสดงต้นทุนของสารหล่อลื่นและสารหล่อเย็นของเครื่องกัด CNC ที่ใช้ระบบน้ำมันเป็นมูลค่า 56,244 บาทต่อปีต่อเครื่อง ซึ่งทำให้มีค่าใช้จ่ายสำหรับ 20 เครื่อง รวมเป็นมูลค่าประมาณ 1,124,880 บาทต่อปี ซึ่งเมื่อเทียบกับต้นทุนของสารหล่อลื่นและสารหล่อเย็นของเครื่องกัด CNC ที่ใช้ระบบจาระบีเป็นมูลค่า 25,101 บาทต่อปีต่อเครื่อง จึงเป็นเหตุผลที่ควร จะเปลี่ยน เพื่อที่จะสามารถลดค่าใช้จ่ายดังกล่าวได้

ตารางที่ 1.1 ต้นทุนของสารหล่อลื่นและสารหล่อเย็นของเครื่องจักร

365 วัน / 24 ชม.	FANUC ROBODRILL α -D21MIB
ระบบหล่อลื่น	Oil/PDI System
จำนวนจุดหล่อลื่น	15
สารหล่อลื่น	น้ำมันหล่อลื่น #68
ชนิดของน้ำหล่อเย็น	Water-Soluble.
ปริมาณการใช้สารหล่อลื่น/ครั้ง (0.1x15)	1.2 ml หรือ 1.2cc
เวลาในการฉีด	15 seconds.
เวลาในการหยุด	16 minutes.
จำนวนการจ่าย ครั้ง / วัน	89 times/day
ประมาณสารหล่อลื่น / ปี	38.81 liter/year.
ความจุ	3,000 ml หรือ 3,000 cc
ราคาสารหล่อลื่น / ปี	4,022 บาท
จำนวนครั้งที่เติม	12.94 times/year
เวลาในการเติม / ครั้ง	10 minutes.
เวลาในการเติม / ปี	129 minutes.
ค่าใช้จ่ายในการเติม	3,351 บาท
ค่าเปลี่ยนกรองน้ำมัน / ปี	888 บาท
ค่าเปลี่ยนน้ำยาหล่อเย็น 80 ลิตร/ปี	1,599 บาท / ปี
เติมน้ำยาปรับสภาพ ลิตร/เดือน	4 ลิตร/เดือน
ค่าเติมน้ำยาปรับสภาพ/ปี	8,792 บาท / ปี
เปลี่ยนแผ่นกรองน้ำยาหล่อเย็น	20,720 บาท / ปี
ค่าใช้จ่ายเครื่องมือตัด	16,872 บาท (2 reamers/year)
ค่าใช้จ่ายรวม ปี	56,244.00 บาท



รูปที่ 1.3 องค์ประกอบเครื่องกัด CNC

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาร่วมกับผู้ประกอบการในโรงงานกรณีศึกษา เพื่อหาวิธีลดความสิ้นเปลืองของสารหล่อลื่น และสารหล่อเย็นในเครื่องกัด CNC โดยการปรับปรุงวิธีการหล่อลื่นเครื่องจักร โดยเปลี่ยนมาใช้ระบบหล่อลื่นอัตโนมัติด้วยจากระบบ โดยทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบเชิงเศรษฐศาสตร์ระหว่างระบบหล่อลื่นจากระบบอัตโนมัติ กับระบบหล่อลื่นน้ำมันอัตโนมัติในเครื่องกัด CNC กรณีศึกษา โรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ เพื่อหาวิธีพัฒนาระบบหล่อลื่นจากระบบอัตโนมัติในเครื่องกัด CNC เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของระบบหล่อลื่นจากระบบอัตโนมัติ เมื่อเปรียบเทียบกับระบบหล่อลื่นน้ำมันอัตโนมัติ ในเครื่องกัด CNC และ เพื่อลดค่าใช้จ่ายของสารหล่อลื่นและสารหล่อเย็นในเครื่องกัด CNC โดยวิเคราะห์ความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ คำนวณหาจุดคุ้มทุนของการลงทุนส่วนเพิ่มและอัตราผลตอบแทนภายในของการเพิ่มทุน IRR (Internal Rate of Return)

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การวิเคราะห์เปรียบเทียบเชิงเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ระหว่างระบบหล่อลื่นจากระบบอัตโนมัติ กับ ระบบหล่อลื่นน้ำมันอัตโนมัติ: กรณีศึกษาในเครื่องกัด CNC สำหรับโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ มีวัตถุประสงค์ดังนี้

1. เพื่อหาวิธีการพัฒนาระบบหล่อลื่นจากระบบอัตโนมัติในเครื่องกัด CNC
2. เพื่อวิเคราะห์ความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ในการเปรียบเทียบระหว่างระบบหล่อลื่นน้ำมันอัตโนมัติกับระบบหล่อลื่นจากระบบอัตโนมัติ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาโรงงานตัวอย่างของการใช้ระบบหล่อลื่นจาระบี อัตโนมติ กับระบบหล่อลื่นน้ำมันอัตโนมัติ ในเครื่องกัด CNC โรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ และศึกษาปริมาณการใช้สารหล่อลื่นและสารหล่อเย็นในเครื่องกัด CNC โดยตรวจวัดปริมาณการใช้น้ำมันต่อหน่วยเวลาก่อนที่จะทำการเปลี่ยนระบบหล่อลื่นน้ำมันอัตโนมัติเป็นระบบหล่อลื่นจาระบีอัตโนมัติ
2. ทดลองในเครื่อง CNC Milling เพียงเครื่องเดียว ที่มีอายุการใช้งาน 10 ปี มีการใช้งานปกติที่ 8,760 ชั่วโมงต่อปี

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในส่วนที่เกี่ยวข้องกับระบบหล่อลื่นน้ำมันอัตโนมัติในเครื่องกัด CNC ในสภาพปัจจุบันภายในโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์
2. ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
3. ศึกษารายละเอียดของระบบหล่อลื่นน้ำมันอัตโนมัติ(แบบเดิม)กับระบบหล่อลื่นจาระบีอัตโนมัติในเครื่องกัด CNC
4. รวบรวมข้อมูลด้านแรงงานและค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในส่วนที่เกี่ยวข้องกับเครื่องจักรกับระบบหล่อลื่นน้ำมันอัตโนมัติในโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์
5. กำหนดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการทำงานซ่อมบำรุงเครื่องกัด CNC ประเภทระบบหล่อลื่นน้ำมันอัตโนมัติ และค่าเสียหายจากการที่เครื่องกัด CNC ไม่สามารถเดินได้ตามความต้องการของหน่วยผลิตใน โรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์
6. วิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนโดยการหาอัตราผลตอบแทนภายในและระยะเวลาคืนทุนของการนำเอาระบบหล่อลื่นจาระบีอัตโนมัติมาใช้งาน
7. สรุปผลการดำเนินงานปรับปรุงและข้อเสนอแนะ

1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ

1. IRR หมายถึง อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR) คือ การประเมินว่า "การลงทุนให้อัตราผลตอบแทนเท่าใด" คือ การสุ่มอัตราคิดลด (Discount Rate) ที่ทำให้ NPV มีค่าเท่ากับศูนย์

2. เครื่องกัด CNC หมายถึง Computerized Numerical Control แปลว่า คอมพิวเตอร์ช่วยในการควบคุมการเคลื่อนที่เชิงตัวเลขของเครื่องจักร

3. Payback Period หมายถึง ระยะเวลาการคืนทุน

4. การหล่อลื่น หมายถึง สารที่ช่วยลดแรงเสียดทานของชิ้นส่วนของเครื่องจักร และช่วยลดการสึกกร่อนสึกหรอ ทำให้เครื่องจักรนั้นทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยยืดระยะเวลาการใช้งานของเครื่องจักร

5. Pump LHL หมายถึง เป็นตัวนำสารหล่อลื่นไปตามจุดหล่อลื่น โดยมีแรงดันจากปั๊มเป็นตัวผลักดันไปตามจุดหล่อลื่นต่างๆ

6. MU Value หมายถึง ตัวควบคุมปริมาณจารบีในแต่ละจุด

7. การหล่อลื่นแบบ Manual หมายถึง การใช้แรงคนเติมสารหล่อลื่น การหล่อลื่นแบบ Auto หมายถึง การเติมสารหล่อลื่นโดยใช้แรงดันปั๊มเป็นตัวผลักดันสารหล่อลื่น สามารถกำหนดเวลาเติมได้ มีความแม่นยำในการเติมมากกว่าคนเติมเอง

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิธีการพัฒนาระบบหล่อลื่นอัตโนมัติในเครื่องกัด CNC เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของระบบหล่อลื่นจากระบบอัตโนมัติ เมื่อเปรียบเทียบกับระบบหล่อลื่นน้ำมันอัตโนมัติ ในเครื่องกัด CNC และ ลดค่าใช้จ่ายของสารหล่อลื่นและสารหล่อเย็นในเครื่องกัด CNC ผู้วิจัยได้ค้นคว้า และรวบรวมข้อมูลจากเอกสาร ตำรา ตลอดจนงานวิจัย และรายงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง และได้นำเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้

- 2.1 ประวัติ CNC Milling Machining
- 2.2 ระบบ CNC
- 2.3 ระบบหล่อลื่นอัตโนมัติ (Centralized Lubrication system)
- 2.4 สารหล่อลื่น (Lubricant)
- 2.5 สารหล่อเย็น (Coolant)
- 2.6 แผนผังก้างปลา(Fish Bone Diagram)
- 2.6 ทฤษฎีการวัดคุณค่าในการลงทุน
- 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 2.8 สรุปทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ประวัติ CNC Milling Machining

ปี พ.ศ. 2491 (ค.ศ. 1948) กองทัพอากาศสหรัฐอเมริกาต้องการใช้ เครื่องกัด (Milling Machine) ชนิด 3 แกน ผลิตชิ้นส่วนเครื่องบินที่มีความแม่นยำ สม่ำเสมอ และรวดเร็ว

ปี พ.ศ. 2495 (ค.ศ. 1952) เครื่องเอ็นซี เครื่องแรกพัฒนาโดยทีมนักวิจัย จากสถาบันเทคโนโลยีแมสซาชูเซต (Massachusetts Institute of Technology หรือ MIT)

ปี พ.ศ. 2498 (ค.ศ.1955) ทดสอบการใช้งาน เครื่องเอ็นซีจำนวน 100 เครื่องแรก ได้รับคำสั่งซื้อและผลิตให้แก่กองทัพอากาศอเมริกา

จากนั้นก็ได้มีการพัฒนาเรื่อยมา ทำให้เครื่องกัดมีความสามารถในการลดเวลาการเปลี่ยนทูลได้เป็นแบบอัตโนมัติ (Automatic Tool Changer, ATC) จากเดิมต้องหยุดเครื่องเพื่อเปลี่ยนทูล ซึ่งเรียกเครื่องกัดนี้ว่า “CNC Machining Center”



รูปที่ 2.1 เครื่องจักรกลซีเอ็นซี เครื่องแรกของโลก



รูปที่ 2.2 CNC Machining ที่ใช้ในปัจจุบัน

2.2 ระบบ CNC

CNC ย่อมาจาก Computer Numeric Control เป็นรหัสคำสั่งที่ใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ โดยชุดคำสั่งนี้มาจากการพัฒนาภาพเสมือนจริงด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ก่อนที่จะแปลงมาเป็นชุดคำสั่งเพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องจักร เครื่อง CNC Milling ที่รวมเอา ระบบ CNC เข้ามาไว้ในเครื่องกั้นนั้น จะมีระบบควบคุมการทำงานของหัวกัดให้ไปในทิศทางที่ต้องการ เพื่อทำการกัดเอาชิ้นส่วนที่ไม่ต้องการบนชิ้นงานออกไป

เครื่องจักร CNC ก็คือ เครื่องจักรที่นำระบบของ CNC เข้ามาควบคุมการทำงานในระบบต่างๆ ทั้งระบบการขับเคลื่อน, ระบบการส่งกำลัง, ระบบการหล่อเย็น เป็นต้น ซึ่งในระบบเดิมจะเป็นการควบคุมแบบ Manual หรือควบคุมการทำงานคนเป็นหลัก โดยจะมีข้อดีดังนี้

2.2.1 ข้อดีของการใช้เครื่องจักร CNC

2.2.1.1 มีความเที่ยงตรงสูงและคุณภาพของชิ้นงานมีความสม่ำเสมอ เนื่องการควบคุมการทำงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยความละเอียดสูงและเหมือนกันในแต่ละรอบการทำงาน

2.2.1.2 อัตราผลผลิตเพิ่มขึ้น หรือ หมายถึง ในระยะเวลาการผลิตที่เท่ากัน เครื่องจักร CNC สามารถผลิตชิ้นงานได้มากกว่าเครื่องจักรในระบบ Manual

2.2.1.3 ต้นทุนการผลิตต่อชิ้นลดลง แต่ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับปริมาณการผลิตด้วย โดยปกติยิ่งผลิตจำนวนมากต้นทุนก็จะยิ่งต่ำลง

2.2.1.4 ลดจำนวนเครื่องมือและอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน เนื่องจากเครื่องจักร CNC สามารถเคลื่อนที่ไปได้ด้วยระบบโคออดิเนตหรือการเคลื่อนที่ไปตามโปรแกรม CNC ทำให้มีความอิสระในการขึ้นรูปสูงกว่าเครื่องจักรแบบ Manual ที่ต้องอาศัยเครื่องมือหรืออุปกรณ์จับยึดเพิ่มขึ้น หากชิ้นงานมีความซับซ้อนมากขึ้น.

2.2.1.5 ไม่จำเป็นต้องใช้คนงานที่มีทักษะและประสบการณ์สูงในการควบคุมเครื่องจักร ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายด้านแรงงาน

2.2.1.6 การตรวจสอบคุณภาพทำได้ง่าย บางครั้งไม่จำเป็นต้องมีการตรวจสอบทุกขั้นตอน ทำให้ลดค่าใช้จ่ายและเวลาในการตรวจสอบคุณภาพได้

2.2.1.7 มีความคล่องตัวและยืดหยุ่นในการทำงานสูง การแก้ไขหรือเปลี่ยนแปลงขนาดของชิ้นงานนั้นทำได้โดยการแก้ไขโปรแกรมสั่งงานเท่านั้น

2.2.1.8 ลดเวลาในการปรับตั้งเครื่องมือหรือการเปลี่ยนเครื่องมือ โดยการปรับตั้งเครื่องมือเมื่อมีการเปลี่ยนรุ่นของชิ้นงานหรือเปลี่ยนโปรแกรมการทำงานเท่านั้น โดยทุกๆ รอบการผลิตชิ้นงานแต่ละรุ่นทำเพียงการป้อนชิ้นงานเข้า-ออกเท่านั้น อาจจะมีปรับเปลี่ยนเมื่อมีการปรับเปลี่ยนเครื่องมือตัด

2.2.2 ข้อจำกัดของการใช้เครื่องจักร CNC

แต่การใช้เครื่องจักร CNC ก็มีข้อจำกัดหลายๆ อย่างเช่นกัน ที่ควรพิจารณาอย่างถี่ถ้วนก่อนเลือกใช้ งาน ดังนี้

2.2.2.1 เครื่องจักร CNC มีราคาสูง ทำให้การลงทุนระยะแรกสูงตามไปด้วย

2.2.2.2 การบำรุงรักษายาก ซับซ้อน อะไหล่ชิ้นส่วนมีราคาแพง ทำให้ต้นทุนในการบำรุงรักษาค่อนข้างสูง

2.2.2.3 จำเป็นต้องใช้พนักงานที่มีความรู้และทักษะสูงในการเขียนโปรแกรม
สั่งงานเครื่องจักร CNC

2.2.2.4 ต้องมีค่าใช้จ่ายในการอบรมให้กับพนักงานเมื่อมีการนำเครื่องจักร CNC
ไปทดแทนเครื่องจักรระบบเดิม

2.2.3 ระบบการทำงานของเครื่องจักร CNC

ระบบการทำงานของเครื่องจักร CNC แบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ

2.2.3.1 ชุดคำสั่ง หรือ โปรแกรม CNC (CNC Program) เป็นชุดคำสั่งเพื่อ
กำหนดให้เครื่องจักร CNC ทำงานตามที่เรต้องการ ประกอบด้วย ตัวเลข, ตัวอักษร และสัญลักษณ์
ต่างๆ

2.2.3.2 หน่วยควบคุมการทำงานของเครื่อง (Machine Control Unit: MCU) เป็น
ส่วนที่ทำหน้าที่อ่าน โปรแกรม CNC และแปลความหมายให้เครื่องจักร CNC เข้าใจเพื่อทำงานตาม
กระบวนการที่กำหนด

2.2.3.3 เครื่องจักร CNC (CNC Machine) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการขึ้นรูปชิ้นงาน
ตามชุดคำสั่งหรือ โปรแกรม CNC ที่เราเขียนขึ้นมา

2.2.4 การประยุกต์ใช้งานเครื่องจักร CNC ในอุตสาหกรรม

2.2.4.1 งานเจียรระไน (Grinding) ประกอบไปด้วยเครื่อง Machining Center,
เครื่องกลึง CNC, เครื่องกัด CNC เครื่อง CNC แบบกลึง-กัด



รูปที่ 2.3 งานตัดเฉือนผิวโลหะ (Metal Cutting)

2.2.4.2 งานเจียรไน (Grinding)



รูปที่ 2.4 งานเจียรไน (Grinding)

2.2.4.3. งานกัดโลหะด้วยกระแสไฟฟ้า (EDM)



รูปที่ 2.5 งานกัดโลหะด้วยกระแสไฟฟ้า (EDM)

2.2.4.4. งานตัดโลหะด้วยเลเซอร์ (Laser Cutting)



รูปที่ 2.6 งานตัดโลหะด้วยเลเซอร์ (Laser Cutting)

2.2.4.5. งานตรวจสอบด้วยเครื่องวัดจุด โคออดิเนต (Coordinate Measuring

Machine : CMM)



รูปที่ 2.7 งานตัดเจาะและพับขึ้นรูป (Fabrication)

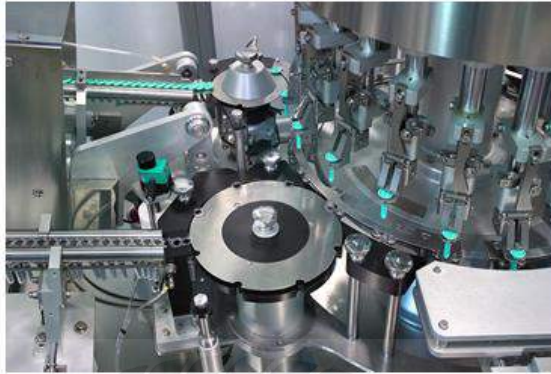
2.2.4.6. งานตรวจสอบด้วยเครื่องวัดจุด โคออดิเนต (Coordinate Measuring

Machine : CMM)



รูปที่ 2.8 งานตรวจสอบด้วยเครื่องวัดจุด โคออดิเนต (Coordinate Measuring Machine : CMM)

2.2.4.7. งานประกอบชิ้นส่วน (Assembly)



รูปที่ 2.9 งานประกอบชิ้นส่วน (Assembly)

2.2.4.8. งานขนถ่ายวัสดุ (Material Handling)



รูปที่ 2.10 งานขนถ่ายวัสดุ (Material Handling)

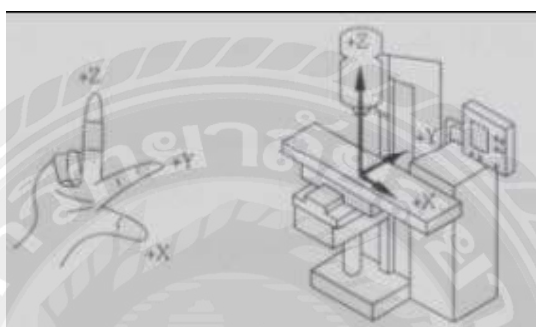
ตัวอย่างการใช้งานระบบ CNC กับเครื่องจักรข้างต้นเป็นเพียงส่วนหนึ่งเท่านั้น ซึ่งสามารถประยุกต์และพัฒนาเครื่องจักร CNC ได้หลากหลายรูปแบบให้เหมาะกับการใช้งาน

2.2.5 การแบ่งชนิดของ Milling machine

Milling machine หรือเครื่องกัดแบ่งออกเป็น 4 ชนิด ได้แก่

2.2.5.1 แนวตั้ง (Vertical Machining Center, VMC)

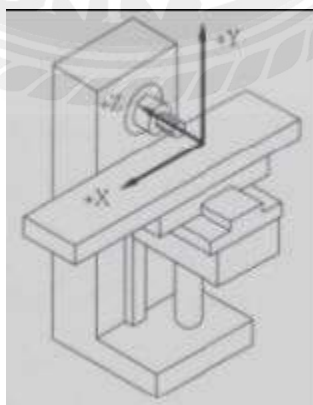
เป็นเครื่องกัดที่มีดกัดจะอยู่ในแนวตั้งตั้งฉากกับโต๊ะจับชิ้นงาน เหมาะกับการกัดผิวหน้าเรียบด้วยมีดกัดหน้า กัดผิวข้างเรียบ กัดแบบร่องตรง ร่องโค้ง ร่องตามขนาดยาว และร่องตลอดชิ้นงาน



รูปที่ 2.11 การกำหนดแนวแกนของเครื่องกัดตั้ง

2.2.5.2 แนวนอน (Horizontal Machining Center, HMC)

เป็นเครื่องที่มีดกัดอยู่ในแนวนอนขนานกับโต๊ะจับชิ้นงาน เหมาะกับงานกัดผิวหน้าขนาน กัดเจาะร่อง และกัดเฟือง



รูปที่ 2.12 การกำหนดแนวแกนของเครื่องกัดนอน

เครื่องกัดแบบแนวตั้งนี้มีจำนวนการใช้งานมากกว่าเครื่องแบบแนวนอนมากกว่าโดยเฉพาะในการนำมาใช้ผลิตชิ้นส่วนขนาดเล็กและกลาง รวมถึงขนาดใหญ่ด้วยเช่นกัน โดยที่ข้อดีของแบบแนวนอน คือ ไม่สะสมความร้อนที่ชิ้นงาน เศษโลหะจะตกลงพื้นไม่สะสมบนผิวของชิ้นงาน ที่อาจทำให้เกิดรอยขีดข่วนบนชิ้นงานได้

2.2.5.3. เครื่องกัดเอนกประสงค์ (Universal Milling Machine)

เป็นเครื่องกัดที่ส่วนมีดกัดมีแกนหมุนทั้งแนวตั้งและแนวนอนในเครื่องเดียวกัน โดยที่โต๊ะจับชิ้นงานยังมีความพิเศษที่สามารถเคลื่อนที่ได้ในสามแนวแกน

2.2.5.4. เครื่องกัด CNC (CNC Milling Machine)

เครื่องกัด CNC เป็นเครื่องกัดที่ถูกพัฒนาเพื่อใช้ในงานผลิตแบบพิเศษ ภายใต้คำสั่งที่เขียนขึ้นด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ทำให้สามารถสร้างชิ้นงานที่มีความเฉพาะได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยระบบ CNC จะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.2.6 องค์ประกอบของเครื่องจักรซีเอ็นซี สามารถแบ่งได้ 3 ส่วนหลัก ได้แก่

- ชุดควบคุมการทำงาน (Controller)
- ระบบกลไกในการเคลื่อนที่ (Drive mechanisms)
- ตัวเครื่องจักร (Machine Body)

2.2.6.1 ชุดควบคุมการทำงาน (Controller)

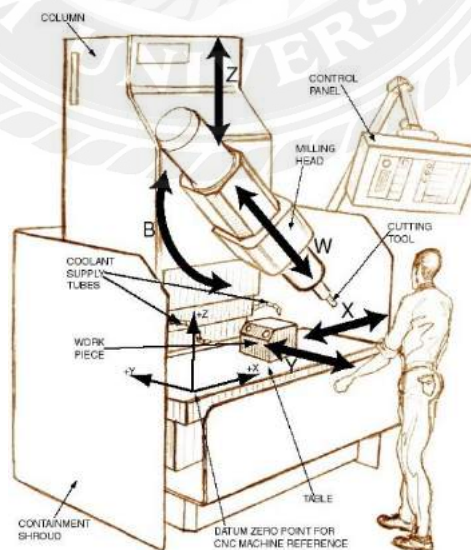
ชุดควบคุมหรือ “คอนโทรลเลอร์” (CNC Controller) หรือ หน่วยควบคุมเครื่องจักร (MCU) ของเครื่องซีเอ็นซี เป็นระบบคอมพิวเตอร์ที่สามารถจัดเก็บโปรแกรม (Store) และแก้ไขตัดแปลงโปรแกรม (Edit) ได้คอมพิวเตอร์เข้าใจโปรแกรมที่ป้อนและทำการควบคุมเครื่องจักรให้ทำงานตามคำสั่งในโปรแกรม เอ็น ซี นอกจากนี้ยังทำการประมวลและคำนวณข้อมูลและโค้ด (Code) และควบคุมการทำงานโดยผ่านระบบเชื่อมโยง (Interface)



รูปที่ 2.13 ชุดควบคุมการทำงานต่าง ๆ

2.2.6.2 ระบบกลไกในการเคลื่อนที่ (Drive Mechanisms)

ได้แก่ ฟีดมอเตอร์ (feed Motor) ซึ่งเป็นเซอร์โวมอเตอร์ (servo motor) ควบคุมการเคลื่อนที่ของแกนต่างๆ ได้โดยใช้ บอลสกรู (ball screw) แปลงการเคลื่อนที่เชิงมุม (angular motion) เป็นการเคลื่อนที่เชิงเส้น (linear motion) โดยมีตำแหน่งหรือระยะทางการเคลื่อนที่และความเร็วถูกควบคุมโดยรับสัญญาณจากคอนโทรลเลอร์ นอกจากนี้จะมีรางนำทาง (guide way) รองรับการเคลื่อนที่ที่แกนต่างๆ เป็นต้น

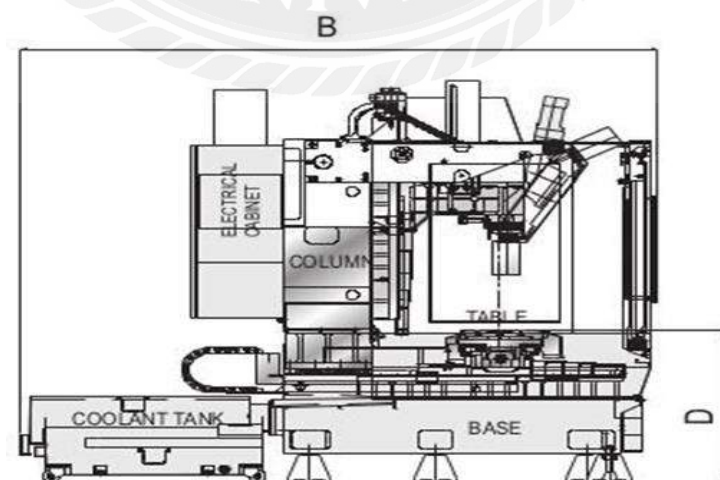


รูปที่ 2.14 ควบคุมการเคลื่อนที่ของแกนต่างๆ

2.2.6.3 ตัวเครื่องจักร

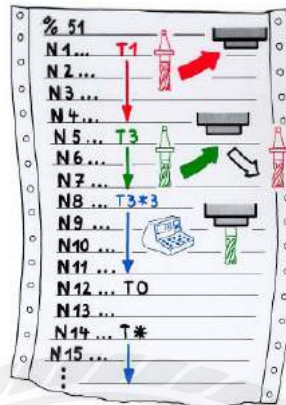
โครงสร้างที่ประกอบเป็นรูปร่างที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานตามประเภทของเครื่องจักรนั้นๆ ตัวเครื่องจักรมีส่วนประกอบหลัก เช่น

- แท่นเครื่อง (machine bed) เป็น โครงสร้างหลักของตัวเครื่องจักร สำหรับรองรับอุปกรณ์และชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องจักร
- หมอนรอง หรือ แสดเดิล (saddle) เคลื่อนที่ได้ 1 แกน บนแท่นเครื่อง เช่น แกน X หรือ แกน Y
- โต๊ะ (table) สำหรับวางชิ้นงาน โดยทั่วไปโต๊ะเคลื่อนที่อยู่บนหมอนรอง มีร่องรูปตัวที (T-slot) สำหรับใช้ในการจับยึดชิ้นงานให้แนบติดกับโต๊ะ มีระนาบโต๊ะตั้งติดกับเสา
- เสา (column) เป็น โครงสร้างสำหรับติดตั้งสปินเดิล เครื่องเมฆซินนิ่งเซนเตอร์แนวตั้งรุ่นใหม่นิยมสร้างเป็นแบบเสาคู่ (double Column) เพราะให้ความแม่นยำที่ดีกว่า
- สปินเดิล (spindle) สำหรับติดตั้งชุดจับทูล แบบเทเปอร์แชนก์ (tapered shank) หรือแบบไฮสปีด (high speed) โดยมีมอเตอร์สปินเดิล (spindle motor) ขับเคลื่อนสปินเดิลผ่านเกียร์หรือสายพานหรือต่อตรงรวมเป็นชุดเดียวกัน



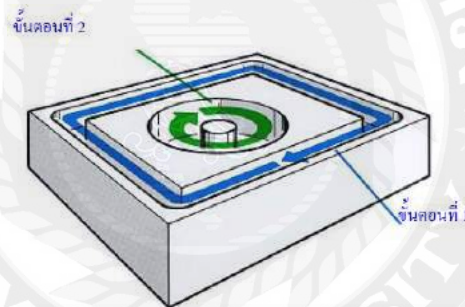
รูปที่ 2.15 องค์ประกอบเครื่องกัด CNC

2.2.7.3 จัดเตรียมโปรแกรม CNC ที่จะนำมาใช้งาน



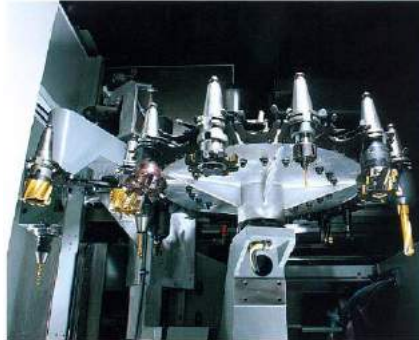
รูปที่ 2.18 จัดเตรียม โปรแกรม CNC ที่จะนำมาใช้งาน

2.2.7.4 การตรวจสอบโปรแกรม



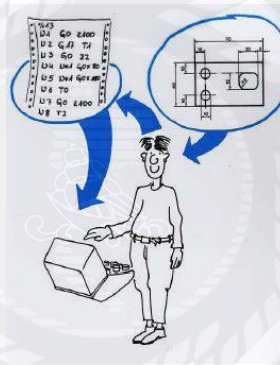
รูปที่ 2.19 การตรวจสอบโปรแกรม

2.2.7.5. จัดเตรียมเครื่องมือตัด



รูปที่ 2.20 จัดเตรียมเครื่องมือตัด

2.2.7.6 ป้อนโปรแกรมเข้าเครื่อง



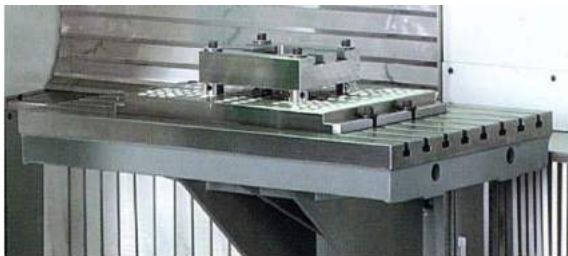
รูปที่ 2.21 ป้อนโปรแกรมเข้าเครื่อง

2.2.7.7 ปรับตั้งค่าเครื่องมือตัด



รูปที่ 2.22 ปรับตั้งค่าเครื่องมือตัด

2.2.7.8 การจับยึดชิ้นงานบนโต๊ะงาน



รูปที่ 2.23 การจับยึดชิ้นงานบนโต๊ะงาน

2.2.7.9 ทดสอบกัณฑ์งานอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 2.24 ทดสอบกัณฑ์งานอย่างต่อเนื่อง

2.2.8 หลักการใช้งานเครื่องกัด CNC

เครื่องกัด CNC ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนสามารถใช้งานได้ง่ายด้วยตัวเอง ไม่ว่าจะ เป็นแบบ 3 แกน หรือ 5 แกน โดยมีวิธีการใช้งานดังนี้

2.2.8.1 ตรวจสอบความเรียบร้อยของเครื่องกัดว่าสามารถใช้งานได้ตามปกติ หรือไม่ ก่อนมีการเดินเครื่อง รวมถึงตรวจสอบ Tools ต่าง ๆ ที่ติดตั้ง

2.2.8.2 เดินเครื่องเพื่อตรวจสอบระบบ เช็คน้ำจ่อต่าง ๆ ว่ามีการทำงานปกติตามที่ ควรหรือไม่

2.2.8.3 วางวัสดุที่ต้องการทำเป็นชิ้นงานลงบนแท่นวาง หรือแท่นจับ เช็คให้ดูว่า แกนต่าง ๆ อยู่ในตำแหน่งเริ่มต้น

2.2.8.4 ดำเนินการใส่ข้อมูล เพื่อให้เครื่องกัดทำงานกัดชิ้นงานที่ได้ตั้งค่าไว้

2.2.8.5 เครื่องก๊ัดจะทำงานอัตโนมัติตามรูปแบบที่ได้ตั้งค่าไว้ โดยที่ผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนหัวตัด หรือเลื่อนแกนจับงาน

2.2.8.6 เครื่องจะทำการหยุดการทำงานด้วยตัวเองตามที่ตั้งค่าไว้

2.2.8.7 ตรวจสอบชิ้นงานว่าออกมาตามค่าที่กำหนดหรือไม่

2.2.9 การบำรุงรักษาเครื่องก๊ัด

2.2.9.1 ในการใช้งานเครื่องก๊ัด CNC ควรทำตามคำแนะนำจากคู่มือหรือผู้เชี่ยวชาญอย่างเคร่งครัด เนื่องจากเป็นเครื่องจักรที่มีความละเอียดอ่อน มีการตรวจสอบว่าสามารถใช้เครื่องก๊ัดได้ในงานประเภทใดๆบ้าง ก่อนเริ่มทำชิ้นงานหากไม่มีการตรวจสอบและใช้งานผิดประเภทตั้งแต่เริ่มแรก อาจทำให้ทั้งเครื่องก๊ัดและตัวชิ้นงานที่ต้องการมีปัญหาอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

2.2.9.2 ตรวจสอบการทำงานของเครื่องก่อนว่าสามารถทำงานได้ตามปกติสภาพ ไม่มีติดขัด หรือมีเสียงผิดปกติใดๆ มาจากเครื่องใช่หรือไม่

2.2.9.3 ตรวจสอบเช็คความสะอาดของเครื่อง รวมถึงดำเนินการทำความสะอาด รักษา ดูแลระบบต่างๆเป็นระยะๆ ภายใต้อุปกรณ์ที่กำหนดอย่างสม่ำเสมอ เพื่อหลีกเลี่ยงความผิดพลาดที่อาจตามมา เช่นความร้อนสูงเนื่องจากส่วนระบายความร้อนตัน เป็นต้น

2.2.9.4 ควรใช้งานเครื่องก๊ัด CNC เป็นระยะๆ เพื่ออายุการใช้งานของเครื่องที่ยาวนาน หากมีการปิดเครื่องจักรเป็นระยะเวลาหลายเดือน ควรตรวจสอบระบบต่างๆก่อนเริ่มการทำงานของเครื่องเพื่อป้องกันความผิดพลาด

2.2.10 กระบวนการทำงานของเครื่องก๊ัด CNC

การทำงานของเครื่องก๊ัด CNC จะทำงานภายใต้การสั่งการของระบบคอมพิวเตอร์ ที่ควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัดให้ก๊ัดหรือสร้างรูปทรงบนชิ้นงานได้ตามความต้องการ โดยมีกระบวนการทำงานดังนี้

พัฒนา CAD Model แปลง CAD Model ด้วยซอฟต์แวร์ CAM ให้เป็นไฟล์ที่พร้อมใช้งานบนเครื่องก๊ัด CNC ป้อนคำสั่งเข้าเครื่องก๊ัด CNC

2.2.11 เริ่มการทำงานของเครื่องกัด

กระบวนการเริ่มจากการสร้างแบบจำลอง(CAD Model) 2 มิติ หรือ 3 มิติขึ้นมาก่อน เมื่อได้แบบจำลองที่ต้องการแล้วจึงนำไฟล์ไปแปลงด้วยโปรแกรม CAM จะได้ไฟล์ที่พร้อมใช้งานกับเครื่อง CNC

ไฟล์ที่ผ่านการแปลงให้ใช้งานกับเครื่องกัด CNC แล้ว จะมีข้อมูลการกำหนดทิศทางของหัวกัดชิ้นงาน และโต๊ะจับชิ้นงานที่ชัดเจน โดยผู้ควบคุมเครื่องสามารถเลือกดอกกัดที่เหมาะสมกับการทำงานได้จากข้อมูลนี้

เมื่อทำการป้อนคำสั่งและเลือกดอกกัดให้กับเครื่องกัด CNC เรียบร้อยแล้ว ผู้ควบคุมเครื่องจึงสั่งการให้เครื่องกัด CNC ทำงานได้ตามระบบที่ตั้งค่าไว้

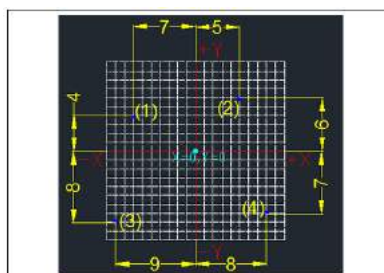
2.2.12 ซอฟต์แวร์ที่สนับสนุนการทำงานเครื่องกัด CNC

ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในกระบวนการแปลงไฟล์ที่เป็น CAD Model ให้เป็นไฟล์ที่ใช้งานกับเครื่องกัด CNC ได้ เรียกว่า ซอฟต์แวร์ CAM โดยหลังจากที่แปลงไฟล์ด้วย CAM แล้ว โปรแกรมของเครื่องกัด CNC จะสามารถโหลดไปใช้สั่งการทำงานของเครื่องกัดได้

2.2.13 ระบบโคออดิเนต (COORDINATE SYSTEMS)

ในการเขียน โปรแกรมเพื่อระบุพิกัดตำแหน่งในการเคลื่อนที่ของเครื่องจักร CNC นั้นเป็นต้องอาศัยระบบโคออดิเนต (Coordinate) เพื่อใช้ในการอ้างอิงตำแหน่ง

คำว่าโคออดิเนต (Coordinate) หมายถึง การกำหนดตำแหน่งบนจุดระนาบโดยอาศัยแกนอ้างอิงเป็นหลักดังรูปด้านล่าง



รูปที่ 2.25 อธิบายระบบ Coordinate

จากรูปในส่วนของแกนเป็นเพียงตัวอย่างเท่านั้นเนื่องจากเครื่อง CNC จริงๆ มีระบบแกนที่ หลากหลายกันออกไป. ตำแหน่งที่ (1), (2), (3) และ (4) มีการอ้างอิงตำแหน่งจากตำแหน่ง $X=0$, $Y=0$ ก็คือจุดตัดตรงกลาง ไปในแนวแกน X และแกน Y ด้วยพิกัดที่แตกต่างกันออกไปทั้งในด้านบวก(+) และด้านลบ(-) โดยสรุปได้ดังนี้

ตำแหน่ง (1) $X=-7.0$, $Y=+4.0$

ตำแหน่ง (2) $X=+5.0$, $Y=+6.0$

ตำแหน่ง (3) $X=-9.0$, $Y=-8.0$

ตำแหน่ง (4) $X=+8.0$, $Y=-7.0$

และถ้าเป็นเครื่องจักรชนิด 3 แกน คือ X, Y และ Z ก็เช่น เดียวกันจุด Origin ก็จะอยู่ที่จุดตัดของทั้ง 3 แกน คือ $X=0$, $Y=0$ และ $Z=0$ ส่วนเครื่องที่มีแกนมากกว่านั้น เช่น 4 แกน 5 แกน จะต่างกันตรงที่ว่าแกนที่เพิ่มขึ้นมาเป็นแกนอะไร และมีความสัมพันธ์กับแกนไหน อย่างไร ซึ่งจะยังไม่นำมาเกี่ยวในหัวข้อนี้ เดี่ยวจะสับสนเสียก่อน.

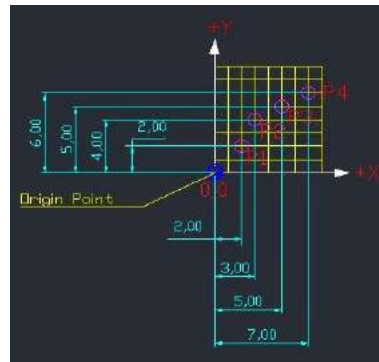
ระบบตำแหน่งของโปรแกรม CNC (CNC POSITIONING SYSTEM)

ในการเขียนโปรแกรม CNC ต้องอาศัยระบบโคออดิเนตในการกำหนดตำแหน่งในการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัด, การเปลี่ยนเครื่องมือตัด, การเคลื่อนที่ของแท่นงาน, การกำหนดตำแหน่งบนอุปกรณ์จับยึด เป็นต้น

ระบบตำแหน่งระบบ CNC แบ่งออกไปเป็น 2 ระบบ คือ

1.การกำหนดตำแหน่งแบบสัมบูรณ์ (Absolute Positioning)

การกำหนดตำแหน่งแบบสัมบูรณ์นี้จะอาศัยการอ้างอิงเพียงจุดเดียวทุกครั้ง ซึ่งจุดอ้างอิงจุดนี้จะเป็นจุดศูนย์ของระบบโคออดิเนต การระบุขนาดของตำแหน่งให้วัดในแนวขนานกับแนวแกน และเริ่มต้นจากจุดอ้างอิงเสมอ ดังรูป



รูปที่ 2.26 ตัวอย่างการกำหนดตำแหน่งแบบสัมบูรณ์

จากตัวอย่างการกำหนดตำแหน่งแบบสัมบูรณ์ กำหนดตำแหน่งโคออดิเนตของจุด P1, P2, P3 และ P4 ได้ดังนี้

P1X2.0Y2.0

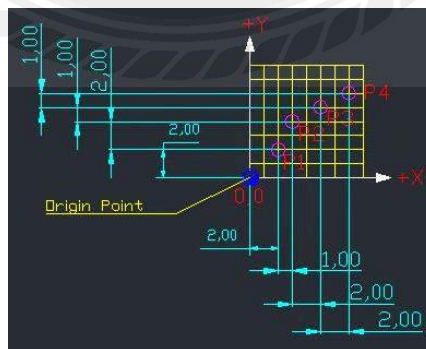
P2X3.0Y4.0

P3X5.0Y5.0

P4X7.0Y6.0

2.การกำหนดตำแหน่งแบบต่อเนื่อง (Incremental Positioning)

การกำหนดตำแหน่งแบบต่อเนื่องนี้จะเปลี่ยนจุดอ้างอิงไปเรื่อยๆ ตามตำแหน่ง ณ ปัจจุบัน การวัดขนาดก็จะวัดจากจุดที่อ้างอิงในแต่ละครั้ง โดยวัดขนานกับแนวแกน ดังรูป



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างการกำหนดตำแหน่งแบบต่อเนื่อง

จากตัวอย่างการกำหนดตำแหน่งแบบสัมบูรณ์ กำหนดตำแหน่งโคออดิเนตของจุด P1, P2, P3 และ P4 ได้ดังนี้

P1X2.0Y2.0

P2X1.0Y2.0

P3X2.0Y1.0

P4X2.0Y1.0

จะสังเกตได้ว่าตำแหน่งในการอ้างอิงจะเปลี่ยนไปทุกครั้ง P1 เปลี่ยนไปที่ P2, P2 เปลี่ยนไปที่ P3 และ P3 เปลี่ยนไปที่ P4 จริงแล้วระบบกำหนดตำแหน่งของ CNC ก็ไม่มีอะไรยาก เพียงแต่การนำไปใช้งานจริงต้องเลือกใช้ให้เหมาะสม สะดวก

โคออร์ดิเนตอ้างอิง (REFERENCE COORDINATE)

โคออร์ดิเนตอ้างอิง เป็นจุดหรือตำแหน่งอ้างอิงต่างๆ เพื่อให้เครื่องจักรและโปรแกรมสามารถอ้างอิงตำแหน่งนั้นๆ ในการทำงาน ประกอบไปด้วย

1. จุดอ้างอิงของเครื่องจักร (Machine Reference Point : M)

จุดอ้างอิงหรือจุดศูนย์ของเครื่องจักร (Machine Zero Point) เป็นจุดที่เป็นตำแหน่งเริ่มของระบบโคออร์ดิเนตของเครื่องจักร CNC ใช้อ้างอิงในการจับยึดชิ้นงาน. ตำแหน่งอ้างอิงของเครื่องจักรนี้ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ โดยจะถูกกำหนดมาจากบริษัทที่ผลิตเครื่องจักร

2. จุดอ้างอิงของการเลื่อนกลับ (Reference Return Point : R)



รูปที่ 2.28 จุดอ้างอิงของการเลื่อนกลับ

3. จุดอ้างอิงของโปรแกรม (Program Reference Point : P)

4. จุดอ้างอิงของชิ้นงาน (Work Reference Point : W)

2.2.14 ความแตกต่างของเครื่องกัด CNC กับเครื่องกัดแบบธรรมดา

การทำงานของเครื่องกัด CNC สามารถหมุนดอกกัดด้วยความเร็วรอบถึง 1,000 รอบต่อ นาที ซึ่งความเร็วรอบขึ้นอยู่กับความต้องการของการทำงาน โดยการเคลื่อนที่ของหัวกัดจะไปใน

แนวแกน X และ Y ตามการสั่งการของระบบ ทำให้ได้ชิ้นงานที่มีรายละเอียดและมีความเฉพาะเจาะจง

ส่วนการทำงานของเครื่องกัดแบบธรรมดา แม้ว่าจะมีการเคลื่อนที่หัวกัดไปในแนวแกน X และ Y เหมือนกับเครื่องกัด CNC แต่การรอบการหมุนของดอกกัดจะมีข้อจำกัดอยู่ ทำให้การเคลื่อนที่ของดอกกัดมีความอิสระน้อยกว่า และควบคุมการทำงานเป็นระบบ Manual จึงทำงานกัดวัสดุที่มีความเฉพาะเจาะจงบนชิ้นงานได้ไม่ดีเท่ากับเครื่องกัด CNC

2.2.15 ความสำคัญของเครื่องกัด CNC ในกระบวนการผลิต

เครื่องกัด CNC ทำงานด้วยระบบดิจิทัล ซึ่งช่วยในการผลิตชิ้นงานที่มีความยากหรือต้องการความละเอียดสูง ด้วยการแก้ไขปัญหาและวางแผนด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ทำให้ชิ้นงานที่ผลิตด้วยเครื่องกัด CNC มีความละเอียด รวมถึงช่วยให้กระบวนการทำงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น หากอุตสาหกรรมการผลิตขนาดใหญ่ เช่น ชิ้นส่วนรถยนต์ หรือส่วนประกอบเครื่องบิน ไม่มีเครื่องกัด CNC ก็จะทำให้ชิ้นส่วนเหล่านี้ไม่มีคุณภาพ เนื่องจากชิ้นส่วนเหล่านี้มีความเฉพาะเจาะจง และต้องการความถูกต้องในการผลิตสูง การผลิตจึงต้องใช้คอมพิวเตอร์ในการควบคุม เพื่อให้ง่ายต่อการพัฒนาชิ้นงาน และการป้อนคำสั่งที่ถูกต้องให้ชิ้นส่วนที่ถูกผลิตด้วยเครื่องกัด CNC แต่ละชิ้นมีความเที่ยงตรงสูง

การใช้งานเครื่องกัด CNC ไม่ได้ถูกจำกัดการใช้งานเพียงในอุตสาหกรรมการผลิตขนาดใหญ่เท่านั้น แต่ยังใช้ในการผลิตอื่น ๆ ได้ เช่น เฟอร์นิเจอร์ เครื่องมือ เครื่องจักร โมเดล การแกะสลัก

2.2.16 งานกัดที่เหมาะสมกับการใช้เครื่องกัด CNC

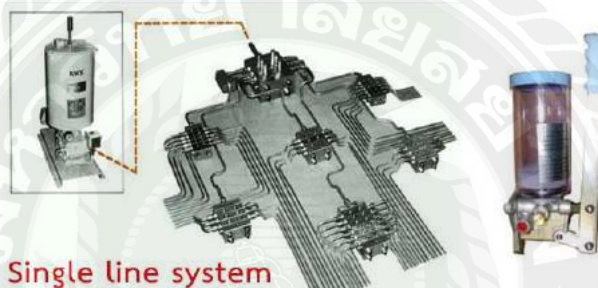
เครื่องกัด CNC เหมาะกับการใช้ในงานกัดชิ้นงานที่ต้องการความแม่นยำสูง และทำงานกัดได้กับวัสดุที่มีความทนทานสูงได้เป็นอย่างดี โดยงานกัดที่นิยมใช้เครื่องกัด CNC ได้แก่

- **งานกัดผิวหน้า (Face Milling)** เป็นการเคลื่อนที่ของดอกกัดไปในมุมตั้งฉากรอบนอกของชิ้นงาน ซึ่งทำให้ผิวของชิ้นงานแบนเรียบ
- **งานกัดเรียบ (Plain Milling)** เป็นการเคลื่อนที่ของดอกกัดไปในทิศทางที่ขนานกับผิวชิ้นงาน ซึ่งการกัดเรียบจะขึ้นอยู่กับทางเลือกดอกกัด โดยดอกกัดแบบหน้าแคบใช้สำหรับงานกัดในแนวลึก ส่วนดอกกัดที่มีหน้ากว้างจะใช้ในการกัดชิ้นงานที่มีผิวน้ำกว้าง
- **งานกัดมุม (Angular Milling)** เป็นการเคลื่อนที่ดอกกัดไปตามมุมของชิ้นงาน เพื่อทำให้มุมมีความมน เป็นพื้นปลา หรือเป็นร่องตามความต้องการ
- **งานกัดขึ้นรูป (Form Milling)** งานกัดขึ้นรูปใช้ในงานกัดที่รวมถึงการขึ้นรูปบนผิววัสดุที่ไม่เรียบ และการสร้างรูปทรงบนผิวชิ้นงานให้โค้งหรือตรงได้ตามความต้องการ

2.3 ระบบหล่อลื่นอัตโนมัติ (Centralized Lubrication system)

เนื่องจากโครงสร้างของเครื่องจักรอุตสาหกรรมกลายเป็นเรื่องซับซ้อนมากขึ้นการจัดการหล่อลื่นจะต้องมีความสำคัญมากขึ้นเพื่อตอบสนองต่อความต้องการเพื่อจัดการหล่อลื่นสำหรับงานพิเศษ KWK Lubrication System มีทั้งระบบหล่อลื่นจากระบบและน้ำมัน ที่สามารถตั้งไว้ล่วงหน้าโดยอัตโนมัติเพื่อจ่ายสารหล่อลื่นไปยังจุดเติมหล่อลื่นต่างๆ ที่สำคัญจำนวนมาก โดยระบบอัตโนมัติเพื่อให้เพิ่มความคล่องตัวในการดูแลรักษา และการประหยัดแรงงานช่วยลดต้นทุนการดำเนินงาน

2.3.1 ระบบหล่อลื่นแบบท่อเดียว Single line system



รูปที่ 2.29 ระบบหล่อลื่นแบบท่อเดียว Single line system

ข้อดีของระบบหล่อลื่นแบบ (Single line system)

- 2.3.1.1 การเติมสารหล่อลื่นได้ง่ายจากท่อเพียงเส้นเดียว
- 2.3.1.2 ป้อนสามารถจ่ายสารหล่อลื่นไปได้ในทุกจุดที่สำคัญ และซับซ้อนยากต่อการเข้าถึง
- 2.3.1.3 วาล์วมีหน้าที่จ่ายปริมาณการไหลของสารหล่อลื่นได้ตามต้องการ
- 2.3.1.4 อุปกรณ์สามารถจัดการรวมจุดหล่อลื่น เป็นจุดเดียวเพื่อให้สะดวกต่อการทำงาน และจ่ายสารหล่อลื่น
- 2.3.1.5 ชุดควบคุมเพื่อตั้งเวลาหรือวางแผนการทำงานของระบบหล่อลื่นเพื่อให้จ่ายสารหล่อลื่นได้ถูกต้องตามเวลาการใช้งานของเครื่องจักร

2.3.2 ระบบหล่อลื่นแบบท่อคู่ Dual line system



รูปที่ 2.30 ระบบหล่อลื่นแบบท่อคู่ Dual line system

ข้อดีของระบบหล่อลื่นแบบ (Dual line system)

2.3.2.1 สามารถเติมน้ำมันเชื้อเพลิงด้วยการหล่อลื่นที่เหมาะสม ไม่มีการสูญเสียการหล่อลื่นและไม่มีข้อผิดพลาด เติมน้ำมันหล่อลื่นที่ได้ง่าย และปลอดภัย สามารถทำได้แม้เครื่องจักรทำงาน

2.3.2.2 วาล์วที่มีประสิทธิภาพสูง ได้รับความมาตรฐานรับรอง สามารถจ่ายสารหล่อลื่นได้เที่ยงตรง และแม่นยำ ผลิตด้วยเครื่องจักรทันสมัย

2.3.2.3 การพัฒนาระบบหล่อลื่น และหล่อลื่นตามแผนงาน สามารถประหยัดรายจ่ายสารหล่อลื่นได้อย่างมาก

2.3.2.4 ลดต้นทุนการผลิตเนื่องจากการหล่อลื่นที่ตีมีผลให้ลูกปืน หรือ ส่วนประกอบของเครื่องจักรต่างๆ ไม่ชำรุดได้อย่างง่ายดาย ทำให้ประหยัดค่าซ่อมบำรุง และประหยัดพลังงาน

2.3.2.5 เป็นระบบปิดไม่ต้องกังวลเรื่องการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอม

2.3.3 ระบบหล่อลื่นแบบผสม Oil Air system



รูปที่ 2.31 ระบบหล่อลื่นแบบผสม Oil Air system

ข้อดีของระบบหล่อลื่นผสม (Oil Air system)

2.3.3.1 ประหยัดน้ำมัน ทำให้ลดรายจ่าย

2.3.3.2 วาล์วผสมคือการทำงานแบบไม่ต่อเนื่อง แต่มีการจัดหาน้ำมัน ไปยังจุดหล่อลื่นอย่างต่อเนื่อง

2.3.3.3 เนื่องจากแรงดันอากาศภายในเครื่องแรงดันภายในลูกปืนจะสูงกว่าด้านนอก ดังนั้นน้ำมันจึงสามารถป้องกันฝุ่นละอองและน้ำ

2.3.3.4 ละอองน้ำไม่เกิดขึ้น น้ำมันหล่อลื่นจะถูกขนส่งผ่านผนังด้านในของท่อส่งน้ำมันดังนั้นจึงเห็นได้จากการหล่อลื่นของน้ำมันหล่อลื่น ไม่มีการปนเปื้อนของชั้นบรรยากาศด้วยละอองน้ำ

2.3.3.5 ใช้งานง่าย ลดการสึกหรอของลูกปืน ลดรายจ่ายการซ่อมบำรุง

2.4 สารหล่อลื่น(Lubricant)

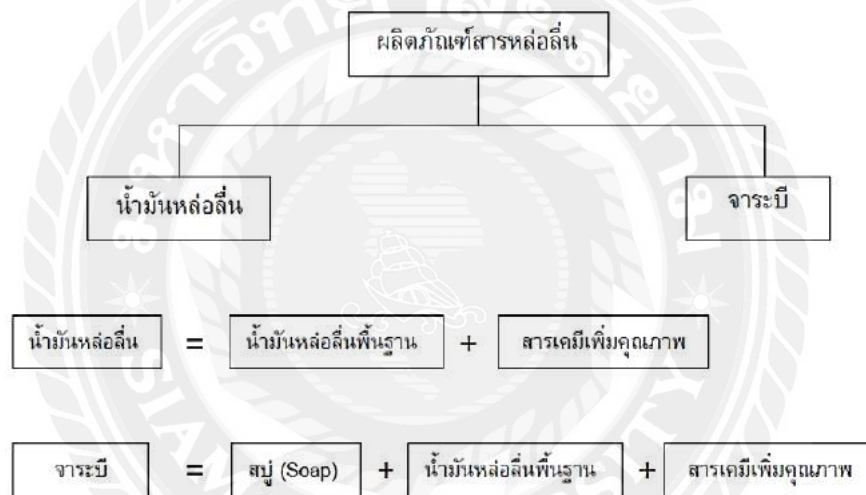
สารหล่อลื่น หมายถึงวัสดุที่ผลิตขึ้นมาเพื่อจุดประสงค์ในการลดความฝืดและการสึกหรอ ทำให้เครื่องมือ เครื่องจักรกล ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนวัตถุประสงค์รองลงมา คือ ช่วยระบายความร้อนและชะล้างสิ่งสกปรกออกจากบริเวณผิวสัมผัสที่ต้องการหล่อลื่น ลักษณะงานของเครื่องมือเครื่องจักรที่ต้องใช้วัสดุหล่อลื่น เช่น แบริ่ง (Bearing) เฟือง (Gears) ชนิดต่าง ๆ ชิ้นส่วนเครื่องจักรที่มีการเคลื่อนที่ต้องมีวัสดุหล่อลื่นบริเวณผิวสัมผัส

2.4.1 ส่วนประกอบผลิตภัณฑ์หล่อลื่น

2.4.1.1 ผลิตภัณฑ์หล่อลื่น คือ สารหล่อลื่นที่เข้าไปแทรกเป็นฟิล์มหรือเยื่อบาง ๆ อยู่ระหว่างผิวของวัสดุที่เสียดสีกัน เพื่อลดความฝืดและลดการสึกหรอให้ได้มากที่สุด

2.4.1.2 สารหล่อลื่นที่เป็นของเหลว ซึ่งเรียกว่า น้ำมันหล่อลื่น (Lubrication Oils or Lube Oils) เช่น น้ำมันเครื่อง น้ำมันเกียร์ และน้ำมันเฟืองท้าย เป็นต้น

2.4.1.3 สารหล่อลื่นที่มีลักษณะกึ่งเหลวกึ่งแข็ง ซึ่งได้แก่ จาระบี (Grease) ใช้หล่อลื่นในจุดหรือบริเวณที่ไม่สามารถกักเก็บน้ำมันไว้ได้ เช่น ตลับลูกปืน ล้อ ลูกหมาก หูแหวนบ หรือ แบริ่งลูกปืนบางชนิด เป็นต้น



รูปที่ 2.32 แสดงผลิตภัณฑ์วัสดุหล่อลื่น

2.4.2 น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน

น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานมี 3 ประเภท คือ น้ำมันพื้นฐานจากปิโตรเลียม น้ำมันพื้นฐานสังเคราะห์ และน้ำมันพืช/สัตว์

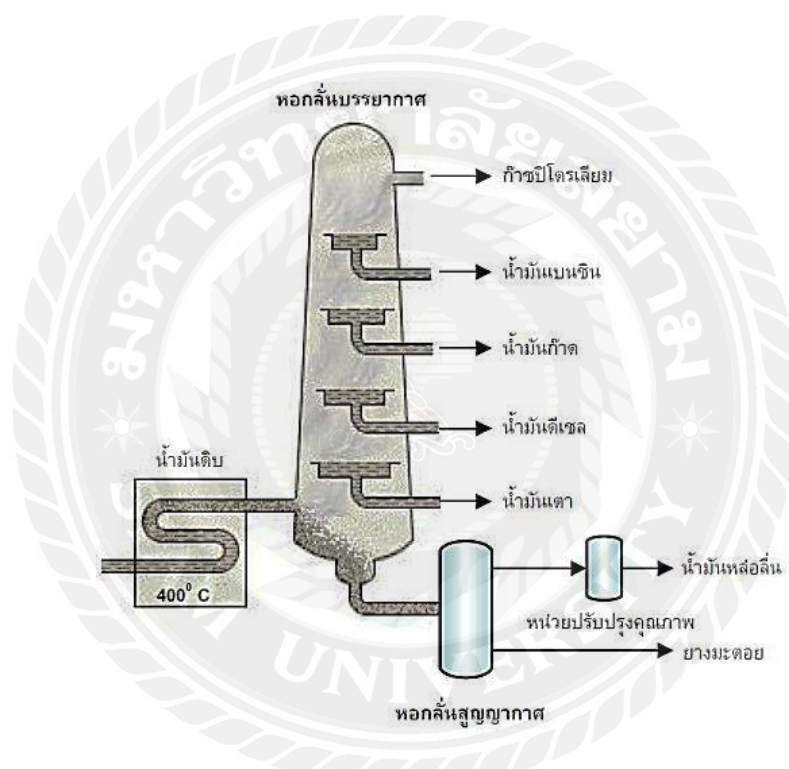
2.4.2.1 น้ำมันพื้นฐานจากปิโตรเลียม (Petroleum Base Oils) เป็นที่นิยมใช้กันมากที่สุดเนื่องจากหาได้ง่าย คุณภาพดี นอกจากนั้นราคายังถูกอีกด้วย

2.4.2.2 น้ำมันพื้นฐานสังเคราะห์ (Synthetic Base Oils) เป็นน้ำมันที่สังเคราะห์ขึ้นโดยกระบวนการทางเคมี

2.4.2.3 น้ำมันพืช/สัตว์ ในสมัยก่อนได้มีการนำน้ำมันพืช/สัตว์มาใช้งานแต่เนื่องจากมีความคงตัวต่ำและเสื่อมสลายง่าย ดังนั้นจึงไม่เป็นที่นิยม

2.4.3 การผลิตน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจากปิโตรเลียม

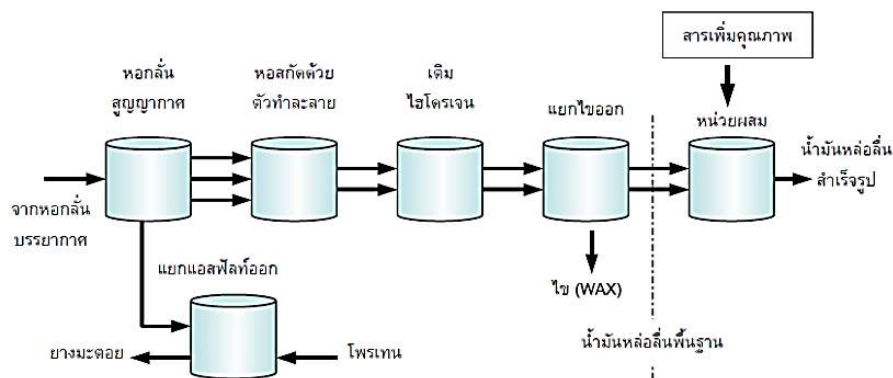
น้ำมันดิบที่ได้จากแหล่งน้ำมันจะถูกส่งเข้าสู่หอกลั่นบรรยากาศ เพื่อแยกเอาส่วนเบาที่เป็นเชื้อเพลิงออกก่อนแล้วจึงถูกส่งมาเข้าสู่หอกลั่นสุญญากาศ ในส่วนของน้ำมันหล่อลื่นจะถูกกลั่นและแยกออกมาด้านล่างของหอกลั่น ซึ่งจะต้องนำมาผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพอีกในขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 2.33 แสดงกระบวนการกลั่นในโรงกลั่นของน้ำมันหล่อลื่น

2.4.4 การผลิตน้ำมันหล่อลื่น (Lubricating Oil Refining Process)

การผลิตน้ำมันหล่อลื่นแยกเป็น 2 ขั้นตอน คือ การผลิตน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน (Base Oil) ในโรงกลั่น และการผสมน้ำมันพื้นฐานกับสารเคมีเพิ่มคุณภาพ (Additive) เพื่อให้ได้น้ำมันหล่อลื่นสำเร็จรูป ซึ่งมีคุณสมบัติตามที่ต้องการ



รูปที่ 2.34 แสดงการผลิตน้ำมันหล่อลื่น

หลังจากนั้นนำมากลั่นอีกครั้งในหอกลั่นสุญญากาศ (Vacuum Tower) ซึ่งจะได้ส่วนที่จะเป็นน้ำมันหล่อลื่น จากนั้นเราจะนำน้ำมันหล่อลื่นมาปรับปรุงคุณภาพโดยการกำจัดสิ่งที่ไม่ต้องการออก โดยผ่านกระบวนการดังต่อไปนี้

2.4.4.1 การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent Extraction)

2.4.4.2 การแยกไขเทียน (Dewaxing)

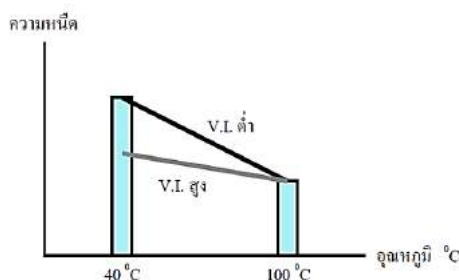
2.4.4.3 การแยกยางมะตอย (DE asphaltting)

2.4.4.4 การเติมไฮโดรเจน (Hydrofining)

2.4.5 คุณสมบัติน้ำมันหล่อลื่น

2.4.5.1 ความหนืด (Viscosity) หมายถึง ความข้นใสของน้ำมัน โดยการวัดจะทำให้ อุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่ง น้ำมันหล่อลื่นที่มีความหนืดต่ำก็จะไหลได้ง่าย

2.4.5.2 ดัชนีความหนืด (Viscosity Index) ดัชนีความหนืด คือ ค่าที่แสดงถึง ความสามารถในการต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืดเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป น้ำมันที่ค่าความหนืดเปลี่ยนแปลงไปมาก เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ แสดงว่าน้ำมันมีค่าดัชนีความหนืดต่ำ (V.I. ต่ำ) น้ำมันที่ค่าความหนืดเปลี่ยนแปลงไปไม่มาก เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ แสดงว่า น้ำมันมีค่าดัชนีความหนืดสูง (V.I. สูง)



รูปที่ 2.35 แสดงดัชนีความหนืดสัมพันธ์กับอุณหภูมิ

2.4.5.3 ความต้านทานการรวมตัวกับออกซิเจน (Oxidation Resistance) น้ำมันเป็นส่วนผสมของสารไฮโดรคาร์บอน ดังนั้นจึงมีโอกาที่จะทำปฏิกิริยารวมตัวกับออกซิเจนในอากาศได้ตลอดเวลา ซึ่งผลก็คือ น้ำมันจะมีลักษณะขุ่นขึ้นเกิด โคลน หรือตะกอนน้ำมัน (Sludge) ซึ่งอาจทำให้ท่อทางและกรองน้ำมันเครื่องอุดตันได้

2.4.5.4 จุดวาบไฟ (Flash Point) หมายถึง อุณหภูมิของน้ำมันที่ได้รับความร้อนจนกลายเป็นไอ และพร้อมที่จะลุกติดไฟได้ เมื่อถูกเปลวไฟ

2.4.5.5 จุดไหลเท (Pour Point) คือ อุณหภูมิต่ำสุดที่น้ำมันสามารถไหลได้ เมื่อน้ำมันมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดไหลเทจะทำให้ น้ำมันไหลได้ยาก ดังนั้นในการใช้น้ำมันในที่ที่มีอุณหภูมิต่ำมาก ๆ ต้องใช้น้ำมันที่มีจุดไหลเทต่ำกว่าอุณหภูมิใช้งานปกติ

2.4.6 หน้าที่ของน้ำมันหล่อลื่น

2.4.6.1 หล่อลื่นป้องกันไม่ให้ผิวของโลหะสัมผัสกัน ซึ่งเป็นหน้าที่ที่สำคัญที่สุดของน้ำมันหล่อลื่น

2.4.6.2 ลดความเสียด

2.4.6.3 ระบายความร้อน

2.4.6.4 ป้องกันการสึกหรอ

2.4.6.5 เป็นซีล

2.4.6.6 ป้องกันสนิมและการกัดกร่อน

2.4.6.7 ขจัดคราบสกปรก

2.4.6.8 กระจายคราบสกปรก และสิ่งเจือปนไม่ให้รวมตัวกัน

2.4.7 คุณสมบัติพิเศษของน้ำมันหล่อลื่น

การที่น้ำมันหล่อลื่นจะทำหน้าที่ต่าง ๆ ดังได้กล่าวมาแล้ว แต่ก็จำเป็นต้องมีคุณสมบัติอื่น ๆ ประกอบด้วยดังต่อไปนี้ คือ

2.4.7.1 มีความข้นใสเหมาะสม คือ ไม่ข้นเกินไป และไม่ใสจนเกินไป

2.4.7.2 ไม่เกิดฟองได้ง่าย

2.4.7.3 คงทนต่อความร้อน และต้านทานต่อปฏิกิริยาการรวมตัวกับออกซิเจน

2.4.7.4 รับแรงกดได้สูง

2.4.7.5 มีคุณสมบัติเป็นด่างอย่างอ่อน สามารถปรับสภาพกรดที่เกิดขึ้นจากการใช้

งาน

2.4.7.6 มีความสามารถในการชะล้าง และกระจายสิ่งสกปรกไม่ให้รวมตัวกัน

ดังนั้น น้ำมันหล่อลื่นที่ดีนั้นจะต้องมีสารเคมีเพิ่มคุณภาพผสมอยู่ด้วย เพื่อเสริมให้น้ำมันมีคุณภาพสูงขึ้น และทำหน้าที่ต่าง ๆ ได้ครบถ้วน ซึ่งจะมีผลทำให้เครื่องจักร เครื่องยนต์สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง มีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น

2.4.8 จาระบี

จาระบี (Grease) คือ ผลิตภัณฑ์หล่อลื่นที่มีลักษณะกึ่งของแข็งและกึ่งของเหลว เป็นส่วนผสมของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน สารเพิ่มคุณภาพทางเคมีและสบู่ น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ใช้ทำจาระบีมักเป็นพวกที่มีดัชนีความหนืดสูง เพื่อให้สามารถใช้ได้ทั้งอุณหภูมิสูงและต่ำในบางที่ที่ไม่สามารถใช้น้ำมันหล่อลื่นได้ เช่น แบริ่งหรือลูกปืนบางชนิด ลูกหมากปีกนก คันชักคันส่ง ฯลฯ

เพราะอาจเกิดปัญหาเรื่องการรั่วไหล ฝุ่นหรือสิ่งสกปรกแทรกเข้าไปเจือปน ฯลฯ ทำให้การหล่อลื่นไม่ได้ผล จึงจำเป็นต้องใช้ผลิตภัณฑ์หล่อลื่นอื่นที่มีสภาพความคงตัว มีคุณสมบัติในการจับติดชิ้นส่วนที่ต้องการได้ดีกว่าน้ำมันหล่อลื่น ซึ่งก็คือ จาระบีจาระบีเป็นสารหล่อลื่นกึ่งแข็ง (Semi Solid) นั่นก็คือสารหล่อลื่นที่ทำให้ข้นขึ้น เพื่อให้มีคุณสมบัติที่ไม่มีในสารหล่อลื่นเหลว ทำให้

จาระบีมีคุณสมบัติเกาะยึดกับผิวโลหะได้ดี อย่างไรก็ตามจาระบีมีลักษณะเป็นสารกึ่งแข็ง จึงไม่สามารถทำหน้าที่ระบายความร้อน และทำความสะอาดชิ้นส่วนได้เหมือนกับสารหล่อลื่นเหลว

2.4.8.1 หลักเกณฑ์การเลือกใช้จาระบี

จาระบีมีคุณสมบัติไม่ไหลหยด เกาะยึดผิวโลหะได้ดี และไม่ถูกสกัดให้กระเด็นออกได้ง่าย ส่วนข้อเสียของจาระบีก็คือ จาระบีเป็นตัวนำหรือถ่ายเทความร้อนที่ไม่ดี ซึ่งอาจจะก่อให้เกิดปัญหาเครื่องร้อนจัดมากเกินไป ดังนั้นจาระบีจะใช้ได้ดีกว่าน้ำมันหล่อลื่นนั้นต้องอยู่ภายใต้สภาวะดังต่อไปนี้

2.4.8.1.1 ในที่ซึ่งน้ำมันหล่อลื่นไม่สามารถเข้าไปทำการหล่อลื่นได้ปกติ

2.4.8.1.2 ในบริเวณที่จาระบีสามารถจับเกาะชิ้นงานได้ดี

2.4.8.1.3 ในบริเวณที่ไม่ต้องการความสะอาดมากนัก เหมาะสำหรับงานที่ไม่ต้องป้องกันสิ่งสกปรกจากภายนอก เช่น ฝุ่นละออง และความชื้น

2.4.8.1.4 เหมาะกับแบริ่งที่รับแรงกดหรือที่รับภาระมาก ๆ

2.4.8.1.5 ความเร็วรอบการหมุนของเพลาช้ามาก

2.4.8.1.6 ไม่ต้องเสียเวลาเติมบ่อยครั้ง ทำให้การบำรุงรักษาทำได้ง่าย

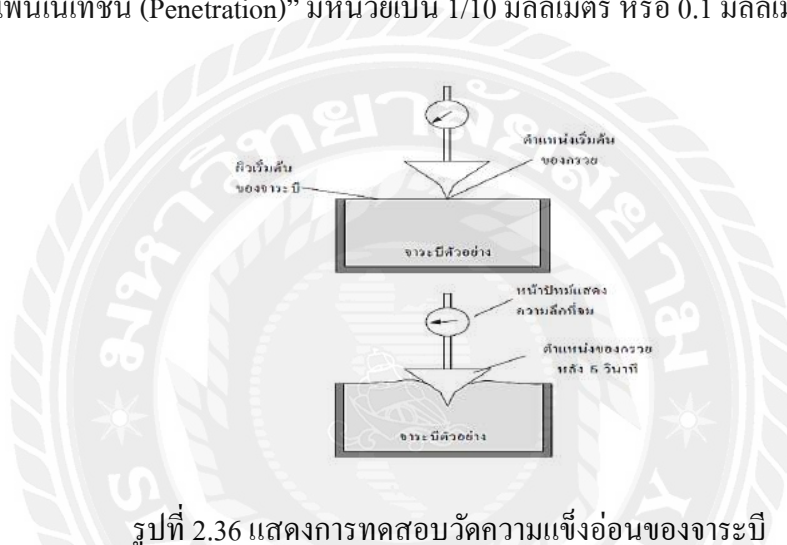
ตารางที่ 2.1 การเลือกใช้ สารหล่อลื่น

สภาพการใช้งาน	การหล่อลื่น	การเลือกใช้
แบริ่งรอบสูง	น้ำมัน	การเลือกใช้จาระบีจะทำให้แบริ่งร้อนจัด
แบริ่งรอบต่ำ	จาระบี	จาระบีเกาะยึดได้ดีกว่า
แบริ่งงานหนัก	จาระบี	จาระบีเกาะยึดได้ดีกว่า
หล่อลื่นตามแนวตั้ง	จาระบี	จาระบีเกาะยึดผนังได้ดีกว่า และไม่ไหลหยดเหมือนน้ำมัน
แบริ่งเปิด	จาระบี	จาระบีจะเคลือบผิว ทำให้การหล่อลื่น สม่ำเสมอ และป้องกันไม่ให้เกิดสนิม
ต้องการความสะอาด	จาระบี	จาระบีจะไม่ไหลหยดง่ายเหมือนน้ำมันทำให้ไม่ก่อให้เกิดการสกปรกโดยรอบ หรือเปื้อนสิ่งของผลิตภัณฑ์

2.4.8.2 คุณสมบัติของจาระบี

2.4.8.2.1 ความอ่อนแข็ง (Consistency) ความแข็งอ่อนเป็นคุณสมบัติที่

สำคัญอย่างหนึ่งของจาระบี ซึ่งสถาบัน NLGI (National Lubricating Grease Institute) ของสหรัฐอเมริกาได้กำหนดมาตรฐานเบอร์ของจาระบีขึ้นเพื่อแสดงความแข็งอ่อนของจาระบี ซึ่งความแข็งอ่อนของจาระบีนี้สามารถวัดได้โดยเครื่องมือวัดที่เรียกว่า “เพนเนโทรมิเตอร์ (Penetrometer)” ซึ่งใช้วัดระยะทางที่กรวยมาตรฐานจมลงในเนื้อจาระบีภายในเวลา 5 วินาที ค่าที่อ่านออกมาได้ เรียกว่า “เพนเนเทชัน (Penetration)” มีหน่วยเป็น 1/10 มิลลิเมตร หรือ 0.1 มิลลิเมตร



รูปที่ 2.36 แสดงการทดสอบวัดความแข็งอ่อนของจาระบี

โดยปกติในการทดสอบจาระบี หรือการวัดค่าความแข็งอ่อน จะต้องทำจาระบีให้มีอุณหภูมิ 25 °C จากนั้นนำจาระบีมาใส่ในภาชนะและนำไปวางใต้กรวยมาตรฐานปลายแหลมหลังจากนั้นปล่อยให้กรวยจมลงในเนื้อจาระบีภายในเวลา 5 วินาที อ่านค่าที่วัดได้จากเกจวัดความลึกระยะที่จม ถ้าระยะที่กรวยทดสอบจมลงไปมากแสดงว่าจาระบีมีความอ่อนตัวมาก

ตารางที่ 2.2 แสดงความแข็งเหลวของจาระบีตามมาตรฐานของ NLGI

NLGI No. เบอร์จาระบี	ระยะจมของกรวยทดสอบที่ 25 °C (ASTM Worked Penetration ที่ 77 °F)
000	445-475
00	400-430
0	355-340

1	310-430
2	265-295
3	220-250
4	175-205
5	130-160
6	85-115

2.4.8.2.2 จุดหยด (Drop point) จุดหยด คือ อุณหภูมิที่จาระบีหมดความคงตัวหรือความเหนียวกลายเป็นของเหลวจนไหลออกมา ซึ่งจุดหยดของจาระบีจะทำให้ทราบว่า จาระบีนี้สามารถทนความร้อนได้สูงสุดเท่าไร ดังนั้นการเลือกใช้จาระบีในที่อุณหภูมิสูง ๆ เราจึงต้องพิจารณาถึงจุดหยดนี้เป็นองค์ประกอบด้วย

2.4.8.3 วิธีเลือกใช้จาระบี

เมื่อเทียบกันระหว่างน้ำมันหล่อลื่นกับจาระบีแล้วนั้น พบว่า จาระบีมีจุดเด่นในด้านการเกาะยึดติดผิวโลหะได้ดีกว่า ไม่หยดไหล หรือถูกสกัดกระเด็นได้ง่าย แต่มีข้อเสียในด้านการระบายความร้อน ซึ่งน้ำมันหล่อลื่นทำหน้าที่ได้ดีกว่ามาก ดังนั้นการเลือกใช้จาระบีจะต้องขึ้นอยู่กับชนิดและความเร็วของชิ้นส่วนของเครื่องจักร อุณหภูมิ ระดับความชื้น สภาพแวดล้อม แลวิธีการใช้งาน

ตารางที่ 2.3 แสดงความเหมาะสมกับการนำจาระบีแต่ละเบอร์ไปใช้งาน

NLGI Number	การใช้งาน
000,00	นิยมนำไปใช้ในเกียร์ที่มีอ่าง หรือภาชนะป้องกันไม่ให้รั่วไหลได้
0	ใช้ในที่อุณหภูมิต่ำ หรือในระบบการหล่อลื่นแบบอัตโนมัติ (Centralized System)
1	ใช้หล่อลื่นในตลับลูกปืนแบบ Needle.
2	ใช้หล่อลื่นในตลับลูกปืนแบบ Ball Bearing และ Roller Bearing โดยใช้ปืนอัดจาระบี (Grease Gun)
3	ใช้หล่อลื่นในตลับลูกปืนแบบรอบเร็ว หรือลูกปืนล้อ
4,5,6	ใช้หล่อลื่นในลักษณะที่รับภาระสูงๆ

สารหล่อลื่น

วัสดุหล่อลื่นเป็นได้ทั้งในสถานะ ก๊าซ ของเหลว กิ่งของแข็ง หรือแม้กระทั่งของแข็ง การหล่อลื่นด้วยก๊าซ เช่น การใช้อากาศเป็นสารหล่อลื่นในระบบที่มีความเร็วรอบสูงมาก ๆ ที่ภาระการใช้งานต่าง ๆ เช่น การเหวี่ยงด้วยความเร็วสูง บีบอัดอากาศในโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ เจ็มหิตแบบไอโร เป็นต้น สารหล่อลื่นแบบของเหลว (น้ำมันหล่อลื่น) ครอบคลุมกว้างขวางมากตั้งแต่ก๊าซเหลว ไปจนถึง น้ำมันหล่อลื่น ที่มีความหนืดสูงมาก ๆ ปัจจุบันวัสดุที่ใช้เป็นพื้นฐานของกระบวนการผลิตสารหล่อลื่นของเหลวคือ น้ำมันหล่อลื่นที่กลั่นได้จากน้ำมันปิโตรเลียม นอกจากนี้ก็ยังมีพวกไฮสแตว์และน้ำมันพืช เป็นต้น

จาระบีเป็นวัสดุหล่อลื่นประเภทกิ่งของแข็ง ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบที่ทำให้ น้ำมันหล่อลื่นเหนียวขึ้น (ตัวทำให้เป็นไข) จาระบีโดยหลักการแล้วก็คือน้ำมันแร่ หรือน้ำมันสังเคราะห์ที่ถูกทำให้ข้นเหนียว โดยการใช้ไขสบู่ ประเภทที่มีองค์ประกอบของ แคลเซียม โซเดียม แบเรียมลิเทียม และ อลูมิเนียม เป็นหลัก หรืออาจจะใช้ บิทูเมนเป็นองค์ประกอบของจาระบี ที่ต้องการความเหนียวเพื่อยึดเกาะผิวคู่วัสดุดีมาก ๆ

วัสดุหล่อลื่นที่เป็นของแข็ง ซึ่งไม่มีสารนำพาไม่ว่าจะเป็นของเหลวหรือสถานะกิ่งของเหลว มักถูกนำมาใช้งานในสถานะที่ผิดปกติเท่านั้น สารหล่อลื่นของแข็งได้แก่ แกรไฟต์ โมลิบดีนัม ไดซัลไฟด์ PTFE (Polytetrafluoroethylene) และอื่น ๆ เช่น เอสเบสตอส ถูกนำมาใช้เป็นเส้นใยเสริมในการหล่อลื่นของวัสดุประเภทคอมโพสิต เป็นต้น

แม้ว่าวัสดุหล่อลื่นอาจจะอยู่ในทุกสถานะ แต่ที่ใช้งานจริง ๆ มี 2 สถานะ คือ ของเหลว และกิ่งของแข็งกิ่งของเหลว โดยปกติในทางปฏิบัติแล้ว ปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติของสารหล่อลื่นจากภายนอกได้แก่ ภาระ (แรงกระทำ) พลังงานความร้อน และปฏิสัมพันธ์กับวัสดุที่เป็นคู่สัมผัส ผลกระทบของแรงกระทำมีผลต่อแรงดัน (ความเค้นอัด) และความเค้นเฉือน ส่วนผลกระทบของพลังงานได้แก่ การเพิ่มขึ้นและลดลงของความร้อนในระบบ และในบางกรณีสารหล่อลื่นต้องมีการสัมผัสกับก๊าซเช่น อากาศ ก๊าซต่าง ๆ หรือสัมผัสกับของเหลว เช่น น้ำ หรือสัมผัสกับของแข็งจำพวก โลหะหรือซิลิโคนต่าง ๆ จากปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้สารหล่อลื่นต้องมีพฤติกรรมที่แตกต่างกัน เพื่อให้ได้สารหล่อลื่นที่มีคุณสมบัติที่ดี จึงควรมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

- ควรมีความหนืดหรือความแข็งอ่อน (ในกรณีของจาระบี) ที่เหมาะสมต่อการใช้งานที่อุณหภูมิห้องและสามารถที่จะคงค่าความหนืดได้อย่างดี เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในระบบ

- ที่ระดับอุณหภูมิสูง สารหล่อลื่นที่ดีไม่ควรที่จะมีการเปลี่ยนแปลงไปของคุณสมบัติต่างๆ ทั้งทางกายภาพและทางเคมี และควรมีอัตราการระเหยในปริมาณต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้
- ที่ระดับอุณหภูมิต่ำ สารหล่อลื่นควรจะยังคงมีความสามารถในการไหลได้อย่างเป็นอิสระ และสารหล่อลื่นดังกล่าวควรมี คุณสมบัติของของไหลแบบนิวโตเนียนอยู่ โดยที่ไม่มีการแยกตัวขององค์ประกอบในสารหล่อลื่นบางส่วนออกไปเป็นของแข็ง
- ในบางลักษณะของการใช้งานต้องมีความสามารถทนทานต่อการแผ่กัมมันตภาพรังสีของรังสีแกมมาพลังงานสูง เช่น ในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์

2.5 สารหล่อเย็น (Coolant)

น้ำมันหล่อเย็น (Cutting Fluid) หรือเรียก น้ำหล่อเย็น เป็นผลิตภัณฑ์สารหล่อเย็นที่ใช้สำหรับระบายความร้อน และลดแรงเสียดทานขณะการตัดเฉือนโลหะ

การตัดโลหะพบมากในภาคอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับเหล็ก ชิ้นส่วนโลหะ โดยการใช้เครื่องมือกลสำหรับตัดชิ้นงานโลหะ ซึ่งจะทำความร้อนจากการตัด แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

- การตัดเฉือน และการเสียดรูปของโลหะ
- แรงเสียดทานระหว่างใบเลื่อยกับผิวโลหะขณะตัดเฉือนโลหะ

ความร้อนที่เกิดขึ้นจะถูกถ่ายเทไปยังส่วนต่างๆ ได้แก่ เศษโลหะ ประมาณ 50% ใบเลื่อย และเครื่องตัด ประมาณ 10% ชิ้นงาน ประมาณ 15% และใช้เป็นพลังงานในการตัด 25% ดังนั้น หากมีสารที่ช่วยลดความร้อน และแรงเสียดทานของการตัดก็จะทำให้เพิ่มประสิทธิภาพการตัดมากยิ่งขึ้น

ประโยชน์น้ำมันหล่อเย็น

1. ลดความร้อนของอุปกรณ์ต่างๆขณะตัดโลหะ
2. ป้องกันรอยที่อาจเกิดขึ้นกับรอยตัดชิ้นงาน

3. ลดค่าใช้จ่ายด้านเครื่องมือกล จากการเสื่อมสภาพ สุกกร่อน และชำรุดของอุปกรณ์
4. เพิ่มความเร็วในการตัด โลหะ ทำให้ประหยัดเวลาในการทำงาน
5. ลดค่าใช้จ่ายในการทำงาน หากใช้วิธีการตัดแบบอื่น

ประเภทน้ำมันหล่อเย็น

1. สารเคมีสังเคราะห์ผสมน้ำ เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนประกอบหลัก 2 ชนิด คือ
 - สารเคมีที่มีคุณสมบัติในการระบายความร้อน และลดแรงเสียดทานผสม เช่น Bromide compounds, Alkanolamine Esters and Reaction Products และ 3,3-Methylenebis (5-Methyloxazol I dyne) เป็นต้น
 - น้ำ ผลิตภัณฑ์นี้มีลักษณะเป็นสารละลาย สีขาวขุ่นคล้ายน้ำนมหรือสีอื่น ๆ ตามชนิดของสารเคมี เหมาะสำหรับงานที่ต้องการความละเอียดสูง เช่น งานเจียรระโน งานตัดเฟืองเกียร์ เป็นต้น
2. น้ำมันผสมน้ำ/โซลูเบิลออยล์ เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนประกอบหลัก คือ น้ำมัน และน้ำ โดยมีอัตราส่วนน้ำมันมากกว่าน้ำ โดยทั่วไปประมาณ 60-90% ด้วยการเติมสารที่ทำให้ไขมันละลายรวมตัวกับน้ำ หรือเรียกว่า อิมัลซิไฟเออร์ เป็นการนำข้อดีของน้ำมัน และน้ำเข้าด้วยกัน เหมาะสำหรับงานเบา และงานปานกลาง มีข้อเสียคือ อายุใช้งานน้อย ง่ายเลียง่าย ชิ้นส่วนโลหะเกิดสนิม
3. น้ำมัน 100% เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำมัน 100% สามารถใช้งานได้เลยโดยไม่ต้องผสมน้ำ มักผลิตจากน้ำมันแร่ ซึ่งน้ำมันนี้มีคุณสมบัติในการลดความร้อน และแรงเสียดทานที่เกิดจากการตัด โลหะ มีราคาถูก เหมาะสำหรับงานตัดที่มีรอบต่ำ งานที่ต้องการความละเอียดสูง มีข้อเสีย คือ มีกลิ่นรุนแรง ใช้งาน และมีวันมาก
4. น้ำมันสังเคราะห์ 100% เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำมันสังเคราะห์ 100% ไม่มีองค์ประกอบของน้ำมันแร่ และน้ำ แต่อาจทำการผสมน้ำเล็กน้อย 1:10-40 ก่อนใช้งาน ซึ่งน้ำมันสังเคราะห์นี้มีคุณสมบัติในการลดความร้อน และแรงเสียดทานที่เกิดจากการตัด โลหะ เช่น น้ำมันแร่ น้ำมันผสมน้ำมันสัตว์

องค์ประกอบทั่วไปน้ำมันหล่อเย็น

1. น้ำ เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งจะมีอัตราส่วนมากกว่าน้ำมันหรือสารอื่นๆ มีคุณสมบัติช่วยระบายความร้อนได้ดี
2. น้ำมันแร่ เป็นน้ำมันที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบหรือน้ำมันที่ใช้แล้ว แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ น้ำมันแร่พาราฟินิก และน้ำมันแร่แนฟทานิก ซึ่งปัจจุบันนิยมใช้น้ำมันแร่พาราฟินิก เพราะมีสารก่อมะเร็งน้อยกว่าแนฟทานิก ซึ่งน้ำมันแร่ที่ใช้มีคุณสมบัติในการหล่อลื่น และระบายความร้อนได้ดี
3. สารเติมแต่งชนิดต่างๆ
 - สารอิมัลซิไฟเออร์ และลดความตึงผิว ทำหน้าที่ผสมน้ำมันให้รวมตัวกับน้ำ และลดแรงตึงผิวทำให้น้ำมันหล่อเย็นแทรกซึมเข้าสู่ผิวโลหะได้ดี
 - สารรับแรงกดสูง ทำหน้าที่หล่อลื่นผิวโลหะทำให้รับแรงกดได้เพิ่มขึ้น สารเหล่านี้ ได้แก่ สารประกอบซัลเฟอร์ ฟอสฟอรัส คลอรีน เป็นต้น
 - สารป้องกันการกัดกร่อน ทำหน้าที่ป้องกันการกัดกร่อนผิวโลหะ วัสดุตัด จากปฏิกิริยาเคมีของกรด สารเปอร์ออกไซด์ และความร้อน ได้แก่ โซเดียมโมลิบเดต เอมีน เอไมด์ เป็นต้น
 - สารลดแรงเสียดทาน ทำหน้าลดแรงเสียดทานผิวโลหะด้วยแผ่นฟิล์มบางๆ ที่จับหน้าผิวโลหะ
 - สารป้องกันการเนาเสีย ทำหน้าที่ฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ ป้องกันไม่ให้น้ำมันหล่อเย็นเสียหายจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ สารเหล่านี้ ได้แก่ สารในกลุ่มอินทรีย์แฮโล
 - สารรักษาความเป็นกรด-ด่าง ทำหน้าที่เป็นตัวบัฟเฟอร์รักษาสภาพความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำมันหล่อเย็นให้คงที่ ซึ่งทั่วไปจะให้ค่าในช่วง 8.5-9.0 นอกจากนั้น ยังด้านการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้อีกทาง สารเหล่านี้ ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และเอทานอลาไมท์
 - สารเพิ่มความเสถียร ทำหน้าที่สร้างความเสถียรให้แก่สารละลายของน้ำมันหล่อเย็น ป้องกันการแยกตัวของน้ำมัน สารเหล่านี้ ได้แก่ แอลกอฮอล์ และไกลคอล
 - สารป้องกันฟอง ทำหน้าที่ลดการเกิดฟองขณะใช้งาน โดยเฉพาะในส่วนผสมที่มีสารลดแรงตึงผิวสูงซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดฟองได้ขณะใช้งาน สารเหล่านี้ ได้แก่ ซิลิกอน

2.6 แผนผังก้างปลา (Fish Bone Diagram)

แผนผังสาเหตุและผลเป็นแผนผังที่แสดงถึงความสัมพันธ์ ระหว่างปัญหา (Problem) กับสาเหตุทั้งหมดที่เป็นไปได้ที่อาจก่อให้เกิดปัญหานั้น (Possible Cause) เราอาจคุ้นเคยกับ แผนผังสาเหตุและผลในชื่อของ "ผังก้างปลา (Fish Bone Diagram)" เนื่องจากหน้าตาแผนภูมิมีลักษณะคล้ายปลาที่เหลือแต่ก้าง หรือหลายๆ คนอาจรู้จัก ในชื่อของแผนผัง อิชิคาว่า (Ishikawa Diagram) ซึ่งได้รับการพัฒนาครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 1943 โดย ศาสตราจารย์คาโอรุ อิชิคาว่า แห่งมหาวิทยาลัย โตเกียว

เมื่อไรจึงจะใช้แผนผังสาเหตุและผล

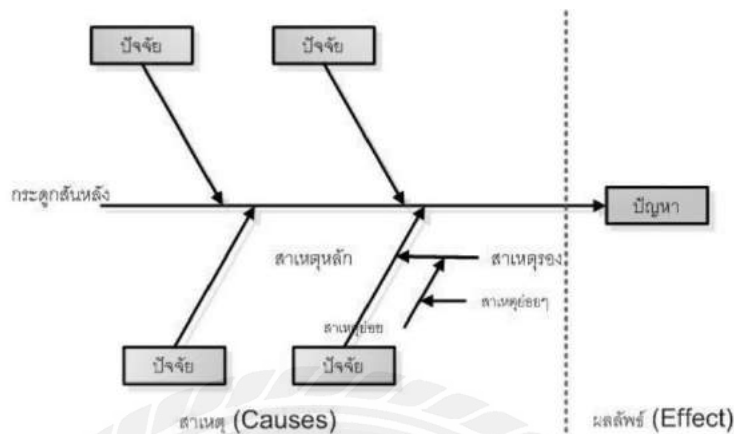
1. เมื่อต้องการค้นหาสาเหตุแห่งปัญหา
2. เมื่อต้องการทำการศึกษา ทำความเข้าใจ หรือทำความรู้จักกับกระบวนการอื่นๆ เพราะว่าเป็นโดยส่วนใหญ่พนักงานจะรู้ปัญหาเฉพาะในพื้นที่ของตนเท่านั้น แต่เมื่อมีการ ทำผังก้างปลาแล้ว จะทำให้เราสามารถรู้กระบวนการของแผนกอื่น ได้ง่ายขึ้น
3. เมื่อต้องการให้เป็นแนวทางในการระดมสมอง ซึ่งจะช่วยให้ทุกๆ คนให้ความสนใจในปัญหาของกลุ่มซึ่งแสดงไว้ที่หัวปลา

วิธีการสร้างแผนผังสาเหตุและผลหรือผังก้างปลา

สิ่งสำคัญในการสร้างแผนผัง คือ ต้องทำเป็นทีม เป็นกลุ่ม โดยใช้ขั้นตอน 6 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. กำหนดประโยชน์ของปัญหาที่หัวปลา
2. กำหนดกลุ่มปัจจัยที่จะทำให้เกิดปัญหานั้นๆ
3. ระดมสมองเพื่อหาสาเหตุในแต่ละปัจจัย
4. หาสาเหตุหลักของปัญหา
5. จัดลำดับความสำคัญของสาเหตุ
6. ใช้แนวทางการปรับปรุงที่จำเป็น

โครงสร้างของแผนผังสาเหตุและผล



รูปที่ 2.37 โครงสร้างของแผนผังสาเหตุและผล

ผังก้างปลาประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

ส่วนปัญหาหรือผลลัพธ์ (Problem or Effect) ซึ่งจะแสดงอยู่ที่หัวปลา

ส่วนสาเหตุ (Causes) จะสามารถแยกย่อยออกได้อีกเป็น

- ปัจจัย (Factors) ที่ส่งผลกระทบต่อปัญหา (หัวปลา)
- สาเหตุหลัก
- สาเหตุย่อย

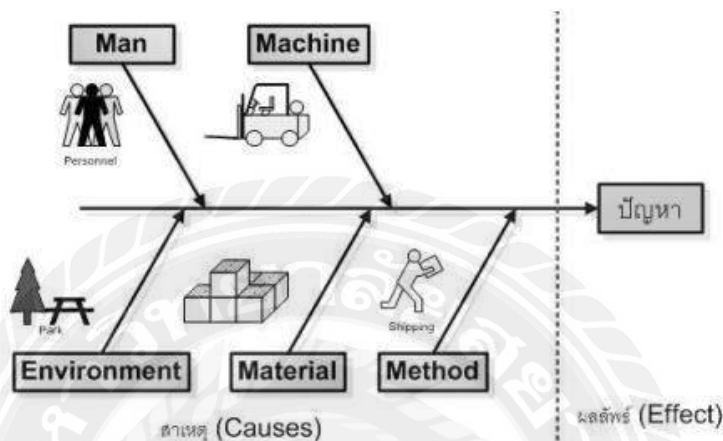
สาเหตุของปัญหาจะเขียนไว้ในก้างปลาแต่ละก้างก้างย่อยเป็นสาเหตุของก้างรองและก้างรองเป็นสาเหตุของก้างหลัก เป็นต้นการกำหนดปัจจัยบนก้างปลาเราสามารถที่จะกำหนดกลุ่มปัจจัยอะไรก็ได้ แต่ต้องมั่นใจว่ากลุ่มที่เรากำหนดไว้เป็นปัจจัยนั้นสามารถที่จะช่วยให้เราแยกแยะและกำหนดสาเหตุต่างๆ ได้อย่างเป็นระบบ และเป็นเหตุเป็นผล

โดยส่วนมากมักจะใช้หลักการ 4M 1E เป็นกลุ่มปัจจัย (Factors) เพื่อจะนำไปสู่การแยกแยะสาเหตุต่างๆ ซึ่ง 4M 1E นี้มาจาก

M Man คนงาน หรือพนักงาน หรือบุคลากร

M Machine เครื่องจักรหรืออุปกรณ์อำนวยความสะดวก

- M Material วัตถุดิบหรืออะไหล่ อุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้ในกระบวนการ
- M Method กระบวนการทำงาน
- E Environment อากาศ สถานที่ ความสว่าง และบรรยากาศการทำงาน



รูปที่ 2.38 ส่วนประกอบของผังก้างปลา

แต่ไม่ได้หมายความว่า การกำหนดก้างปลาจะต้องใช้ 4M 1E เสมอไป เพราะหากเราไม่ได้ อยู่ในกระบวนการผลิตแล้ว ปัจจัยนำเข้า (input) ในกระบวนการก็จะเปลี่ยนไป เช่น ปัจจัยการ นำเข้าเป็น 4P ได้แก่ Place , Procedure, People และ Policy หรือเป็น AS Surrounding, Supplier, System และ Skill ก็ได้ หรืออาจจะเป็น MILK Management, Information, Leadership, Knowledge ก็ได้ นอกจากนี้ หากกลุ่มที่ใช้ก้างปลาไม่ประสบกับปัญหาที่เกิดขึ้นอยู่แล้ว ก็สามารถที่จะ กำหนดกลุ่ม ปัจจัยใหม่ให้เหมาะสมกับปัญหาตั้งแต่แรกเลยก็ได้เช่นกัน

การกำหนดหัวข้อปัญหาที่หัวปลา

การกำหนดหัวข้อปัญหาควรกำหนดให้ชัดเจนและมีความเป็นไปได้ ซึ่งหากเรากำหนด ประโยคปัญหานี้ไม่ชัดเจนตั้งแต่แรกแล้ว จะทำให้เราใช้เวลามากในการค้นหา สาเหตุ และจะใช้ เวลานานในการทำก้างปลา

การกำหนดปัญหาที่หัวปลา เช่น อัตราของเสีย อัตราชั่วโมงการทำงานของคนที่ไม่ มี ประสิทธิภาพ อัตราการเกิดอุบัติเหตุ หรืออัตราต้นทุนต่อสินค้าหนึ่งชิ้น เป็นต้น ซึ่งจะเห็นได้ว่า ควรกำหนดหัวข้อปัญหาในเชิงลบ

เทคนิคการระดมความคิดเพื่อจะได้ก้างปลาที่ละเอียดสวยงาม คือ การถาม ทำไม ทำไม ทำไม ในการเขียนแต่ละก้างย่อย

ข้อดี

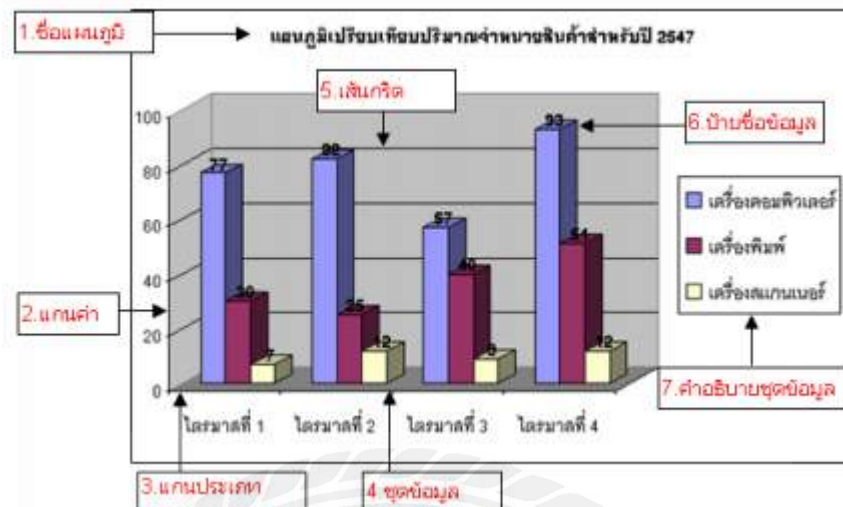
1. ไม่ต้องเสียเวลาแยกความคิดต่างๆ ที่จัดกระจายของแต่ละสมาชิก แผนภูมิ ก้างปลาจะช่วยรวบรวมความคิดของสมาชิกในทีม
2. ทำให้ทราบสาเหตุหลักๆ และสาเหตุย่อยๆ ของปัญหา ทำให้ทราบสาเหตุที่แท้จริง ของปัญหา ซึ่งทำให้เราสามารถแก้ปัญหาได้ถูกวิธี

ข้อเสีย

1. ความคิดไม่อิสระเนื่องจากมีแผนภูมิ ก้างปลาเป็นตัวกำหนดซึ่งความคิดของสมาชิก ในทีมจะมารวมอยู่ที่แผนภูมิ ก้างปลา
2. ต้องอาศัยผู้ที่มีความสามารถสูง จึงจะสามารถใช้แผนภูมิ ก้างปลาในการระดม ความคิด

Chart แผนภูมิแท่ง

แผนภูมิแท่ง คือ แผนภูมิที่ประกอบด้วยแกน สองแกน คือ แกนนอนและแกนตั้ง และรูป สี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความกว้างของแต่ละรูปเท่ากัน ส่วนความยาวจะแปรตามขนาดของข้อมูล เรียกรูป สี่เหลี่ยมแต่ละรูปนี้ว่าแท่ง (Bar) การนำเสนอข้อมูลอาจจัดให้แท่งแต่ละแท่งอยู่ในแนวตั้ง หรือ แนวนอนก็ได้ โดยวางเรียงให้ชิดกันหรือห่างกันเล็กน้อยเท่าๆ กันก็ได้ พร้อมทั้งเขียนรายละเอียด ของแต่ละแท่งกำกับไว้ นอกจากนี้ เพื่อความสวยงาม อาจจะใช้วิธีแรเงาหรือระบายสี เพื่อให้ดู สวยงามและสะดวกในการศึกษาเปรียบเทียบข้อมูลที่เหมาะสำหรับการใช้แผนภูมิแท่งในการ นำเสนอข้อมูล ได้แก่ ข้อมูลที่จำแนกตามคุณภาพ ตามกาลเวลา และตามภูมิศาสตร์ แผนภูมิแท่ง จำแนกได้หลายประเภท ได้แก่ แผนภูมิแท่งเชิงเดียว แผนภูมิแท่งเชิงซ้อน แผนภูมิแท่ง ส่วนประกอบ แผนภูมิแท่งบวก-ลบ แผนภูมิแท่งซ้อนกัน แผนภูมิแท่งปีระมิด ในขั้นนี้จะกล่าวถึง แผนภูมิแท่งเชิงเดียวและแผนภูมิแท่งเชิงซ้อนเท่านั้น



รูปที่ 2.39 ตัวอย่างแผนภูมิแท่ง

2.7 ทฤษฎีการวัดคุณค่าในการลงทุน

2.7.1. ระยะเวลาการคืนทุน (Payback Period)

ในการวิเคราะห์ตัดสินใจเลือกลงทุนนอกจากจะพิจารณาจุดคุ้มทุนแล้ว บางครั้งยังต้องการทราบว่าคืนทุนด้วยระยะเวลาเท่าไร การคำนวณหาจะต้องแปลงมูลค่าของเงินเป็นมูลค่าปัจจุบันรายปีก็ได้ ปีที่ทำให้รายจ่ายเท่ากับรายรับนั้นคือระยะเวลาการจ่ายคืนทุน

ระยะเวลาการจ่ายคืนทุนเป็นวิธีในการหาระยะเวลาที่น้อยที่สุด ที่ทำให้รายรับเท่ากับหรือมากกว่าเงินลงทุน โดยที่อัตราดอกเบี้ยเป็นศูนย์หรืออาจกล่าวได้ว่าถ้าให้ C_0 แทนเงินลงทุนเริ่มต้นที่เวลาศูนย์หรือเวลาปัจจุบันของทางเลือกหนึ่ง R_t แทนรายรับสุทธิ ในคาบที่ t ของการลงทุนทางเลือกนั้นแล้ว m มีค่าน้อยที่สุดของโครงการนั้น ที่ทำให้สมการที่ (2-17) เป็นจริง เรียก m ว่า ระยะเวลาการคืนทุน(Payback Period)

$$\sum_{t=1}^m R_t \geq C_0 \quad (2-17)$$

สำหรับการคิดระยะเวลาคืนทุน โดยการนำดอกเบี้ยมาพิจารณาด้วย นั่นคือมูลค่าของเงินไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ถ้านำดอกเบี้ยจากการลงทุนหรืออัตราผลตอบแทนมาพิจารณาระยะเวลาคืนทุน จะสามารถหาได้ดังสมการที่ (2-18) โดยที่กำหนดตัวแปรดังนี้

F แทนเงินที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลา t

t แทนช่วงเวลาอาจเป็นเดือน, ปี

i แทนอัตราดอกเบี้ย

n' แทนระยะเวลาคืนทุน

$$\sum_{t=1}^m Ft(1+i)^{-1} \geq Co$$

ข้อที่ควรพิจารณาในการใช้ระยะเวลาคืนทุน การวิเคราะห์ตัดสินใจในโครงการต่างๆจะใช้ระยะเวลาคืนทุนพิจารณาอย่างเดียวไม่ได้ควรจะต้องใช้วิธีอื่นๆ เช่น รายจ่ายรายปี อัตราผลตอบแทน เป็นต้น

2.7.2. อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR)

อัตราผลตอบแทนภายในใช้สัญลักษณ์ “IRR” เป็นวิธีที่นิยมใช้กันทั่วไป การนำวิธีนี้มาใช้ควรมีทั้งจำนวนเงินรับและจำนวนเงินจ่าย เพราะวิธีนี้เป็นการคำนวณหาอัตราผลตอบแทนของโครงการ (มีหน่วยเป็นร้อยละต่อช่วงเวลา)

อัตราผลตอบแทนภายใน เป็นอัตราผลตอบแทนที่ทำให้ค่าเทียบเท่าของรายรับสุทธิกับรายจ่ายสุทธิ ณ จุดเวลาใดจุดเวลาหนึ่งมีค่าเท่ากัน โดยทั่วไปมักนิยมที่จะพิจารณาที่จุดศูนย์(ปีปัจจุบัน)

นั่นคือ ให้ PW แทนมูลค่าเทียบเท่าปัจจุบัน

Ft แทนมูลค่าเงินสุทธิในช่วงเวลาที่ t

t แทนคาบระยะเวลา

i แทนอัตราผลตอบแทนภายใน

$$PW = \sum_{t=0}^n Ft(1+i)^{-t} \quad (2-19)$$

มูลค่าปัจจุบัน (PW) จากสมการที่ (2-19) อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) จะเป็นค่าของอัตราดอกเบี้ยที่ทำให้ค่าเทียบเท่าของรายรับสุทธิกับรายจ่ายสุทธิที่มีปีปัจจุบันเท่ากัน เขียนเป็นสมการว่า

$$PW = 0$$

และโครงการที่เราจะเลือกลงทุนคือ โครงการที่มีอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับอัตราผลตอบแทนต่ำสุด (MARR: Minimum Attractive Rate of Return)

$$IRR \geq MARR$$

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ณัฐรินทร์ (2545) โรงงานมีปัญหาในด้านการขาดมาตรฐานในการบำรุงรักษาเครื่องจักรอย่างมีระบบ โดยการบำรุงรักษา ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นเมื่อเครื่องจักรเกิดขัดข้อง มีอุปกรณ์เสียหรือชำรุด (Breakdown Maintenance) อีกทั้งมีเวลาที่ต้องสูญเสียเพราะเครื่องจักรหยุดการผลิต (Downtime) ค่อนข้างสูง และมีความถี่ในการเกิด เครื่องจักรเสียหรือเกิดการขัดข้องอยู่บ่อยครั้ง โดยมีจำนวนครั้งในการเกิดความเสียหายกับเครื่องจักร โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 25.63 ครั้งต่อเครื่อง, เวลาที่ต้องสูญเสียเพราะเครื่องจักรหยุดการผลิต 176.19 ชั่วโมงต่อเครื่อง, ระยะเวลาเฉลี่ย ที่เครื่องจักรเสียหายในแต่ละครั้ง : MTBF (Mean Time between Failures) โดยเฉลี่ยต่อเครื่องเท่ากับ 73.36 ชั่วโมง, ค่าอัตราความพร้อมใช้งานเฉลี่ยของเครื่องจักรอยู่ที่ 76.48% ทั้งนี้ เพื่อเป็นการแก้ไขปัญหา ที่เกิดขึ้นดังกล่าว วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้มุ่งเสนอการจัดตั้งระบบ การบำรุงรักษาเชิงป้องกันให้กับโรงงานกรณีศึกษา โดยกำหนดวัตถุประสงค์ในการเพิ่มอัตราความพร้อมงาน (Availability Rate) ของเครื่องจักรที่ทำการศึกษาจำนวน 8 เครื่อง ให้มีความพร้อมงานมากกว่า 80% หลังการปรับปรุงนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับพบว่า จำนวนครั้งในการเกิดความเสียหายลดลงเหลือเพียง 10 ครั้งต่อเครื่อง (ลดลง 60.98%) เวลาที่ต้องสูญเสียเพราะเครื่องจักร หยุดการผลิตลดลงเหลือ 12.81 ชั่วโมงต่อเครื่อง (ลดลง 95.73%) ระยะเวลาเฉลี่ยที่เครื่องจักรเสียหายในแต่ละครั้งเพิ่มขึ้นเป็น 196.32 ชั่วโมง(เพิ่มขึ้น 167.61%) และอัตราความพร้อมใช้งานของเครื่องจักร โดยเฉลี่ยเท่ากับ 95.08% ต่อเครื่อง(เพิ่มขึ้น 24.32%)

กษิรัช สนธิเปล่งศรี (2555) ศึกษาเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพด้วยการลดอัตราการเสียหายของเครื่องฆ่าเชื้อของบริษัทฟริสแลนด์แคมพิน่า และทำแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันเพื่อป้องกันปัญหาที่จะเกิดขึ้นกับระบบควบคุมแรงดันหล่อเย็น โดยใช้หลักการพาเรโตในการจำแนกปัญหา และใช้การถามคำถามทำไม 5 ครั้ง (5 Whys) เพื่อหาต้นเหตุของปัญหาจากการวิเคราะห์ถึงต้นเหตุที่แท้จริง พบว่ามาจากแรงดันระบบหล่อเย็น มีแรงดันไม่เป็นไปตามมาตรฐานของเครื่องจักร จึงทำการปรับปรุงกระบวนการควบคุมแรงดันของระบบหล่อเย็นให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยการเปลี่ยนระบบควบคุมแรงดันระบบหล่อเย็นแบบอัตโนมัติและทำแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันระบบควบคุมหล่อเย็นเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาซ้ำผลจากการปรับปรุงทำให้การเสียหายของเครื่องฆ่าเชื้อที่มีประวัติการเสียหายตั้งแต่เดือนมกราคม ถึงเดือนพฤศจิกายน 2555 มีอัตราเสียหายเฉลี่ยร้อยละ 1.45 ของเวลาการผลิต ลดลงเหลือร้อยละ 0 ในเดือนธันวาคม 2555 และจากผลการศึกษา นำไปสร้างเชิงป้องกันของอุปกรณ์ควบคุมแรงดันระบบหล่อเย็น

วีระกาส ดอกจันทร์ (2538) เพื่อหาวิธีการพัฒนาระบบบูชเตอร์ปั๊ม ชนิดถังไดอะแฟรม เพื่อใช้ทดแทนปั๊มถึงความดันที่ใช้อยู่เดิมการศึกษานี้ได้ครอบคลุมความเป็นไปได้ในการประหยัดพลังงาน โดยวิเคราะห์ ความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ คำนวณหาจุดคุ้มทุนของการลงทุน ส่วนเพิ่มของปริมาณการใช้น้ำสูงสุดในส่วนของการผลิตประมาณ 170 ลิตร/นาที่ และต่ำสุด 11 ลิตร/นาที่ แรงดันโดยเฉลี่ยประมาณ 3.8 บาร์ จากนั้นหาประสิทธิภาพของระบบปั๊มถึงความดันเปรียบเทียบกับระบบบูชเตอร์ปั๊ม จากการวิเคราะห์ข้อมูลชี้ให้เห็นว่าระบบบูชเตอร์ปั๊มกับระบบปั๊มถึงความดันมีอัตราการใช้น้ำต่อหน่วยของสินค้าที่ผลิต ไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ สำหรับอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า นั้น ระบบบูชเตอร์ปั๊มมีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานน้อยกว่าระบบแมถถึงความดันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$) โดยมีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานลดลง 23% ทำให้ค่าใช้จ่ายลดลงปีละ 37,508 บาท สำหรับผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบเชิงเศรษฐศาสตร์ ปรากฏว่า ในระบบที่ศึกษาเมื่อเปลี่ยนจากระบบปั๊มถึงความดันมาเป็นระบบบูชเตอร์ปั๊ม จะมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนเพิ่มขึ้น 31,800 บาท โดยมีจุดคุ้มทุนของการเพิ่มขึ้นนี้เท่ากับจำนวนล้างไก่ 20,345,489 ตัวหรือประมาณ 10 เดือน และอัตราผลตอบแทนภายในของเงินทุนเท่ากับ 116%

2.9 สรุปทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

จากทฤษฎีที่กล่าวถึงทั้งหมดเป็นทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการทำวิจัย ซึ่งจะเริ่มจากการรวบรวมค่าใช้จ่ายและปัญหาที่เกิดขึ้นในการซ่อมบำรุงดูแลในระบบหล่อลื่นเครื่องกัด CNC ของโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลในการพิจารณาเรื่องค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงดูแลในระบบหล่อลื่น และความสูญเสียจากระบบหล่อลื่นในกรณีที่เครื่องกัด CNC ไม่สามารถใช้งานได้ตามความต้องการ โดยนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณที่ได้มาคำนวณหาต้นทุนค่าใช้จ่ายทางด้านงานซ่อมบำรุงระบบหล่อลื่น เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้เป็นข้อมูลสำหรับเปรียบเทียบกับระบบหล่อลื่นแบบใหม่ หลังจากนั้นจะดำเนินการศึกษาถึงเรื่องระบบการหล่อลื่นของเครื่องกัด CNC แบบเดิมคือระบบหล่อลื่นน้ำมันอัตโนมัติ และแบบหล่อลื่นจาระบีอัตโนมัติ โดยนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษา ระบบทั้ง 2 แบบมาทำการวิเคราะห์เรื่อง ผลที่จะได้จากการติดตั้งระบบหล่อลื่นจาระบีอัตโนมัติ และทำการคำนวณเพื่อวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุนรวมทั้งระยะเวลาคืนทุนของระบบหล่อลื่นจาระบีอัตโนมัติ ซึ่งในบทที่ 3 จะเป็นการรวบรวมเรื่องการทำงานและค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนระบบหล่อลื่นที่ใช้แบบเดิม ส่วนกระบวนการถัดไปจะแสดงในบทที่ 4 ตามลำดับ

บทที่ 3

รายละเอียดการปฏิบัติงาน

การวิจัยเรื่องการวิเคราะห์เปรียบเทียบเชิงเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ระหว่างระบบหล่อลื่นจาระบี อัดโนมัติ กับ ระบบหล่อลื่นน้ำมัน อัดโนมัติ: กรณีศึกษาในเครื่องกัด CNC สำหรับโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ โดยมีวัตถุประสงค์ในการดำเนินการวิจัยเพื่อหาวิธีการพัฒนาระบบหล่อลื่นจาระบีอัดโนมัติในเครื่องกัด CNC และ เพื่อวิเคราะห์ความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ในการเปรียบเทียบระหว่างระบบหล่อลื่นน้ำมันอัดโนมัติกับระบบหล่อลื่นจาระบีอัดโนมัติ

วิธีดำเนินการวิจัยเรื่องการวิเคราะห์เปรียบเทียบเชิงเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ระหว่างระบบหล่อลื่นจาระบี อัดโนมัติ กับ ระบบหล่อลื่นน้ำมัน อัดโนมัติ: กรณีศึกษาในเครื่องกัด CNC สำหรับโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ใช้วิธีดำเนินการวิจัยแบบผสม (Mixed Methodology) ประกอบด้วย วิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative Research) และ วิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative Research) โดยระเบียบวิธีการวิจัยแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ

3.1 ศึกษาสภาพทั่วไป

3.1.1 ศึกษาสภาพทั่วไปของโรงงาน

3.1.2 ศึกษาสภาพทั่วไปของเครื่องจักร

3.1.3 ศึกษาสภาพทั่วไปของปัญหาในระบบหล่อลื่น

3.2 วิเคราะห์สภาพปัญหาโดยใช้เครื่องมือ แผนภูมิก้างปลา (Fish born Diagram.)

3.3 การพัฒนาปรับปรุงระบบหล่อลื่น

3.4 การเปรียบเทียบ

3.4.1 เปรียบเทียบเชิงเทคนิค

3.4.2 เปรียบเทียบเชิงเศรษฐศาสตร์

โดยรายละเอียดในวิธีการวิจัยแต่ละขั้นตอน มีดังนี้

3.1 ศึกษาสภาพปัญหาทั่วไป

ข้อมูลโรงงาน : Kawasaki motors enterprise (Thailand) co. ltd
 ที่อยู่บริษัท : หมู่ที่ 4 119 /10 ตำบล ปลวกแดง อำเภอปลวกแดง ระยอง 21140
 บริษัท Kawasaki motors enterprise (Thailand) ประกอบกิจการเกี่ยวกับการผลิตและจำหน่ายรถจักรยานยนต์แบบครบครัน สปอร์ต และออฟโรด ยี่ห้อคาวาซากิ, ซีเคดี, ชิ้นส่วน, อะไหล่ และบริการซ่อม 96.36% ขายหุ่นยนต์, อะไหล่ และบริการซ่อม 1.38% บริการวิจัยและพัฒนาจักรยานยนต์ 1.22% โดยจักรยานยนต์ส่วนใหญ่ที่ผลิตในประเทศไทยส่วนใหญ่จะถูกส่งออกขายภายนอกประเทศ ในปี พ.ศ.2551 ทำพิธีเปิดอาคารผลิตหลังใหม่ ณ โรงงานคาวาซากิ จังหวัดระยอง เพื่อรองรับการผลิตรถจักรยานยนต์ขนาดกลาง 650 ซีซี เพื่อการส่งออกไปยังต่างประเทศ ภายใต้โครงการ EEE Project



รูปที่ 3.1 บริษัท Kawasaki motors enterprise (Thailand)



รูปที่ 3.2 ผลิตรถจักรยานยนต์ขนาดกลาง 650 ซีซี

3.1.1 ศึกษาสภาพปัญหาทั่วไปของโรงงาน

สภาพทั่วไปของโรงงานมีปัญหาดังนี้

3.1.1.1 เกิดสภาพแวดล้อมที่เป็นมลพิษ บริเวณโรงงานที่เครื่องกัด CNC ทำงาน เนื่องจากละอองน้ำมันที่กระเด็นโดนบริเวณรอบๆ



รูปที่ 3.3 เกิดสภาพแวดล้อมที่เป็นมลพิษ บริเวณ โรงงาน

3.1.2 ศึกษาสภาพปัญหาทั่วไปของเครื่องจักร

รุ่นเครื่องจักร : FANUC ROBODRILL α -D21MiB

SYSTEM : Oil System

สารหล่อลื่นที่ใช้ : Mobil Hydraulic AW68

สภาพปัญหาทั่วไปของเครื่องจักรมีปัญหาดังนี้

3.1.1.2 เกิดละอองน้ำมันติดที่บริเวณเครื่องกัด CNC ทำให้สีที่ติดเครื่องกัด CNC หลุดลอก และปนเปื้อนเวลาปฏิบัติงาน



รูปที่ 3.4 เครื่องกัด CNC รุ่น FANUC ROBOTDRILL α-D21MiB



รูปที่ 3.5 คุณภาพหน้าจอเพื่อทำการเก็บรวบรวมข้อมูล



รูปที่ 3.6 เครื่องกัด CNC ใช้ระบบ SYSTEM: Oil System



รูปที่ 3.7 เกิดละอองน้ำมันติดที่บริเวณเครื่องกัด CNC

3.1.3 ศึกษาสภาพทั่วไปของปัญหาในระบบหล่อลื่น

สภาพปัญหาทั่วไปของระบบหล่อลื่น มีปัญหาดังนี้

3.1.3.1 ลื่นเปลือยน้ำมันหล่อลื่นและน้ำยาหล่อลื่น

3.1.3.2 ใช้พลังงานไฟฟ้าที่มากกว่า

3.1.3.3 สภาพแวดล้อมที่เปื้อนละอองน้ำมันหล่อลื่น

3.1.3.4 เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมในการทำงาน

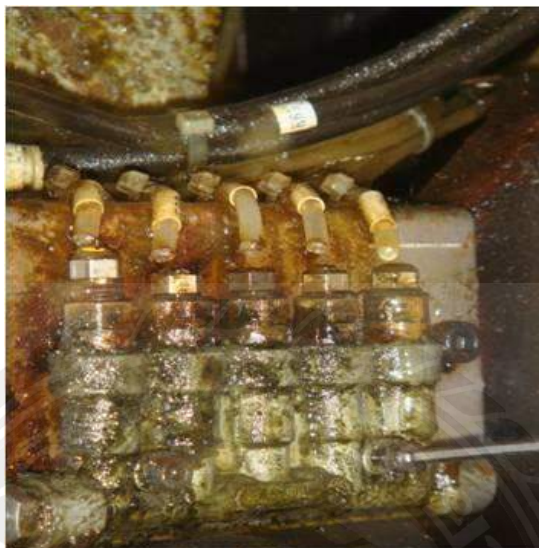
3.1.3.5 ละอองน้ำมันหล่อลื่น ไปผสมกับน้ำยาหล่อเย็นทำให้น้ำยาหล่อเย็น มีอายุ

การใช้งานที่สั้นลง



รูปที่ 3.8 ละอองน้ำมันหล่อลื่นไปผสมกับน้ำยาหล่อเย็น

3.1.3.6 เกิดคราบตะกอนน้ำมันที่บริเวณข้อต่อชุดวาล์วจ่ายระบบหล่อลื่น ทำให้อายุชุดวาล์วจ่ายระบบหล่อลื่นสั้นลง



รูปที่ 3.9 เกิดคราบตะกอนน้ำมันที่บริเวณข้อต่อชุดวาล์วจ่ายระบบหล่อลื่น

3.2 วิเคราะห์สภาพปัญหาด้วยแผนภูมิก้างปลา (Fish born Diagram.)

นำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา โดยใช้เครื่องมือ แผนภูมิก้างปลา (Fish born Diagram.) แสดงเหตุและผลในการวิเคราะห์(Cause-and-Effect.) ปัญหา ซึ่งมี 4 สาเหตุหลัก ผู้ปฏิบัติงาน เครื่องจักร ระบบและวิธีปฏิบัติงาน และ วัสดุและอุปกรณ์ เพื่อที่จะสร้างเครื่องมือเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น

3.3 การพัฒนาปรับปรุงระบบหล่อลื่น

ระบบหล่อลื่นอัตโนมัติเป็นระบบต้นของเหลวเข้าไปในจุดหมุนต่างๆของเครื่องจักร โดยใช้ปั๊มเป็นตัวขับเคลื่อนของเหลว ดังนั้น สารหล่อลื่นจึงแยกเป็น 2 แบบ

3.3.1 แบบน้ำมัน

3.3.2 แบบจาระบี

ซึ่งในระบบหล่อลื่นของเครื่องจักร ได้รับการออกแบบตามคุณลักษณะของเครื่องหลายแบบดังนี้

- CNC เครื่องกลึง
- INJECTION เครื่องฉีดพลาสติก
- DIECASTING เครื่องหล่อหลอมโลหะ
- MILLING MACHINE เครื่องขัดเจียสไลด์

โดยคุณลักษณะของแต่ละชนิดซึ่งทำงานแตกต่างกันและจุดหล่อลื่นแต่ละจุดมีความสำคัญในการหล่อลื่นเท่าๆกัน ดังนั้นการหล่อลื่นจึงขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ การรับแรงบีบอัดของน้ำหนักรเคลื่อนที่หรือรับแรงจากการทำงานของชิ้นส่วนต่างๆของเครื่องจักร ผู้ผลิตเครื่องจักรจึงออกแบบการหล่อลื่นด้วยน้ำมันหรือจาระบี

ดังนั้นความสำคัญของการหล่อลื่นอัตโนมัติจึงมีความสำคัญในการหล่อลื่นที่แม่นยำในแต่ละจุด เท่าๆกัน และสม่ำเสมอ

เมื่อผู้วิจัยได้ทราบถึงปัญหาต่างๆ อาทิเช่นการสิ้นเปลืองสารหล่อลื่น สารหล่อเย็น สภาพแวดล้อมที่เปื้อนละอองน้ำมันหล่อลื่น ที่เกิดจากการใช้ระบบหล่อลื่นน้ำมันอัตโนมัติ ซึ่งการทำงานของ Oil Pumps ระบบปั๊มเดิมเป็นระบบน้ำมัน มีการสิ้นเปลืองเนื่องจากต้องคอนเติมน้ำมันเสมอ ส่วนการทำงานของระบบหล่อจาระบีอัตโนมัติ เป็นระบบจาระบีที่มีนวัตกรรมใหม่ ประหยัดและรักษาสภาพแวดล้อมดังนั้น ผู้วิจัยจึงทำการพัฒนาจากระบบหล่อลื่นน้ำมันอัตโนมัติเป็นระบบหล่อลื่นจาระบีอัตโนมัติ

3.4 เปรียบเทียบ

3.4.1 เปรียบเทียบเชิงเทคนิค

3.4.1.1 ระบบหล่อลื่นแบบน้ำมันอัตโนมัติ

ระบบการหล่อลื่นแบบน้ำมันอัตโนมัติที่ใช้ในเครื่องกัด CNC โดยระบบนี้จะมีหน้าที่งานหลักของระบบหล่อลื่นคือการจัดหา น้ำมันเพื่อสร้างฟิล์มน้ำมันระหว่างคู่แรงเสียดทาน (พื้นผิวแรงเสียดทาน) ซึ่งจะช่วยลดการสึกหรอของชิ้นส่วนที่ไหลลด ลดความเสียดทานของชิ้นส่วน อีกหนึ่งหน้าที่สำคัญของระบบหล่อลื่นคือการระบายความร้อนของพื้นผิวที่ถูสัมผัส
ในรายการองค์ประกอบหลักของระบบหล่อลื่นเครื่องกัด CNC ได้แก่ :

- ป้อนน้ำมันเครื่องกัด CNC ซึ่งทำหน้าที่เป็นอ่างเก็บน้ำสำหรับน้ำมัน
- ป้อนน้ำมันฉีดน้ำมันหล่อลื่น
- ตัวกรองน้ำมันทำความสะอาดน้ำมันเครื่อง

ซึ่งระบบหล่อลื่นของเครื่องกัด FANUC ROBODRILL α -D21 MIB ที่ใช้คือน้ำมันหล่อลื่น Mobil Hydraulic AW68



รูปที่ 3.10 น้ำมันหล่อลื่น Mobil Hydraulic AW68

3.4.1.2 ระบบหล่อลื่นแบบจาระบีอัตโนมัติ

ระบบ LHL (Lube Hybrid Lubrication.) การหล่อลื่นอัตโนมัติในระบบ LHL โดยมีแนวคิดของสารหล่อลื่น LHL ดังนี้

- สารของเหลวคงรักษาเป็นฟิล์มน้ำมันบนผิวของโลหะ
- ขับแรงต้านทาน แรงเสียดทาน การสึกกร่อนเพื่อคงประสิทธิภาพ ชิ้นส่วนของเครื่องจักร
- สารของเหลวจาระบี LHL ไม่แข็งตัว
- สารของเหลวจาระบี LHL ไม่ก่อมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมและผู้ปฏิบัติงานในพื้นที่



รูปที่ 3.11 จาระบี Lube Hybrid Lubrication

ในโครงสร้างระบบของ LHL SYSTEM ประกอบด้วย ดังนี้

- PUMP ตัวนำสารหล่อลื่นไปตามจุดหล่อลื่น มีรุ่น P102/107/202/207 ความแตกต่างในแต่ละรุ่นขึ้นอยู่กับขนาดและปริมาณของจุดหล่อลื่นดังนี้

P102 แรงดัน 5 MPA ปริมาณจาระบี 200 cc

P107 แรงดัน 5 MPA ปริมาณจาระบี 700 cc

P202 แรงดัน 8 MPA ปริมาณจาระบี 200 cc

P207 แรงดัน 8 MPA ปริมาณจาระบี 200 cc

- Controller แยกเป็น 2 ส่วน

1. ควบคุมจากระบบ PLC ของเครื่อง

2. ควบคุมจาก POWER BOX เพิ่มมาจากภายนอก ซึ่งเป็นการใช้งานเหมือนกันในการควบคุมการทำงานของปั๊ม ให้ทำงานเป็นเวลาการจ่ายสารหล่อลื่นให้สม่ำเสมอ

- MU VALVE เป็นตัวควบคุมปริมาณของจาระบีในแต่ละจุดเท่ากัน โดยแยกเป็นตัวเลขดังนี้

MU-5 ปริมาณ 0.05CC

MU-10 ปริมาณ 0.1CC

MU-20 ปริมาณ 0.2CC

MU-30 ปริมาณ 0.3CC

MU-50 ปริมาณ 0.5CC

และ MU VALVE มี 3 แบบ

MU-10 ใช้กับ Bushing

MU-10N ใช้กับ Compression nut

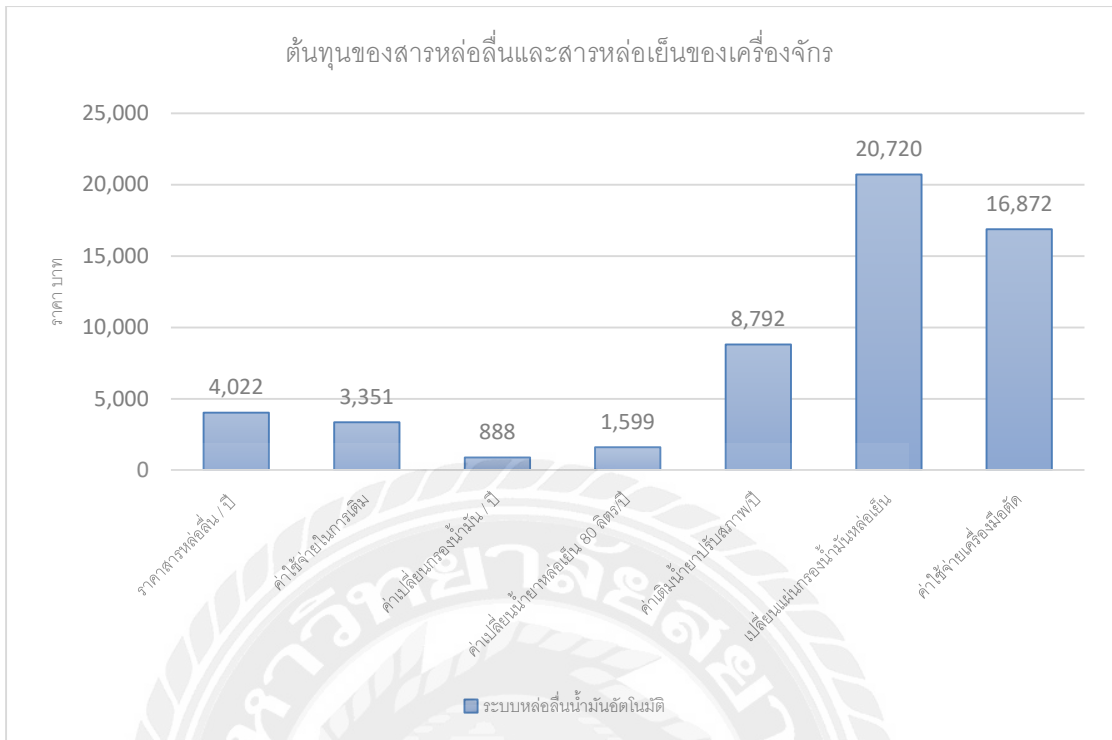
MU-10C ใช้กับ Push in Fitting

3.4.2 เปรียบเทียบเชิงเศรษฐศาสตร์

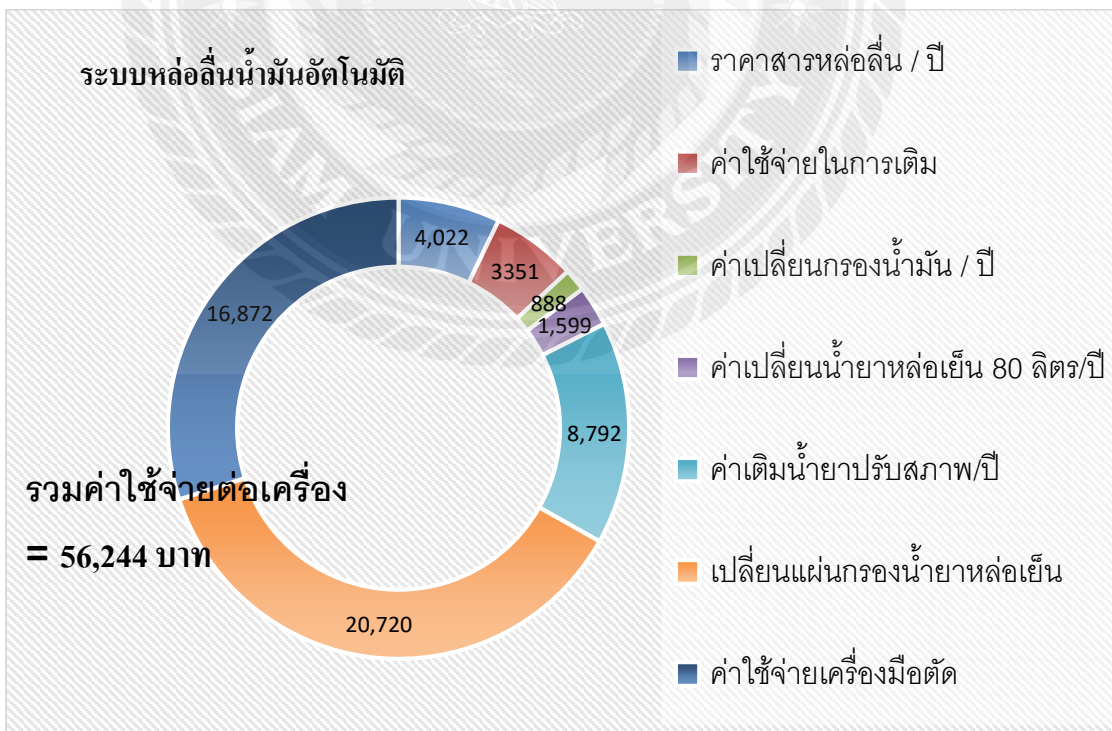
จากการและเปรียบเทียบเชิงเศรษฐศาสตร์ของปัญหาการบำรุงรักษาเครื่องกัด CNC ทั้งสองระบบพบว่า เครื่องกัด CNC ระบบหล่อลื่นแบบน้ำมันอัตโนมัติ มีค่าใช้จ่ายที่สิ้นเปลืองของสารหล่อลื่น สารหล่อเย็นในการตัด ก็จะทำให้ต้นทุนเพิ่มสูงขึ้น อีกทั้งยังก่อให้เกิดมลภาวะแก่โรงงาน ค่าใช้จ่ายดังตารางที่ 3.1 ดังนี้

ตารางที่ 3.1 ต้นทุนของสารหล่อลื่นและสารหล่อเย็นของเครื่องจักร

365 วัน / 24 ชม.	FANUC ROBODRILL α -D21MiB	ระบบหล่อลื่นจากระบบอัตโนมัติ
ระบบหล่อลื่น	Oil/PDI System	
จำนวนจุดหล่อลื่น	15	
สารหล่อลื่น	น้ำมันหล่อลื่น #68	
ชนิดของน้ำหล่อเย็น	Water-Soluble.	
ปริมาณการใช้สารหล่อลื่น/ครั้ง	0.9 ml หรือ 0.9cc	
เวลาในการฉีด	15 seconds.	
เวลาในการหยุด	16 minutes.	
จำนวนการจ่าย ครั้ง / วัน	89 times/day	
ประมาณสารหล่อลื่น / ปี	38.81 liter/year.	
ความจุ	3,000 ml หรือ 3,000 cc	
ราคาสารหล่อลื่น / ปี	4,022 บาท	
จำนวนครั้งที่เติม	12.94 times/year	
เวลาในการเติม / ครั้ง	10 minutes.	
เวลาในการเติม / ปี	129 minutes.	
ค่าใช้จ่ายในการเติม	3,351 บาท	
ค่าเปลี่ยนกรองน้ำมัน / ปี	888 บาท	
ค่าเปลี่ยนน้ำยาหล่อเย็น 80 ลิตร/ปี	1,599 บาท / ปี	
เติมน้ำยาปรับสภาพ	4 ลิตร/ เดือน	
ค่าเติมน้ำยาปรับสภาพ/ปี	8,792 บาท / ปี	
เปลี่ยนแผ่นกรองน้ำยาหล่อเย็น	20,720 บาท / ปี	
ค่าใช้จ่ายเครื่องมือตัด	16,872 บาท (2 reamers/year)	
ค่าใช้จ่ายรวม ปี	56,244.00 บาท	
ค่าใช้จ่ายที่ต่างกัน ปี		



รูปที่ 3.12 กราฟแท่งแสดงต้นทุนของสารหล่อลื่นและสารหล่อเย็นของเครื่องจักร



รูปที่ 3.13 กราฟแสดงค่าใช้จ่ายเครื่องกัด CNC

รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมดและค่าวัสดุเท่ากับ 56,244 บาท (ต่อเครื่องกัด CNC ระบบหล่อลื่น
น้ำมันจำนวน 1 ตัว)

เมื่อได้ทำการศึกษาและเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องของระบบการหล่อลื่นแบบเดิมคือแบบระบบ
หล่อลื่นน้ำมันอัตโนมัติครบทั้งหมดแล้ว ลำดับถัดไปทางผู้วิจัยจะดำเนินการศึกษาระบบการหล่อ
ลื่นแบบใหม่ที่เป็นการหล่อลื่นแบบ ระบบหล่อลื่นจากระบบอัตโนมัติ โดยทำการศึกษาถึงประโยชน์
ต่างๆที่จะได้รับจากการนำระบบการหล่อลื่นแบบใหม่มาใช้งาน และการนำผลการใช้งานของ
โรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์มาเป็นตัวเปรียบเทียบผลการใช้งานรวมถึงการคำนวณเรื่องประ โยชน์
ต่างๆที่จะได้รับจากการติดตั้งระบบการหล่อลื่นจากระบบอัตโนมัติแบบใหม่ที่นำมาใช้ทดแทนระบบ
เดิมในบทความต่อไป



บทที่ 4

ผลการดำเนินการ

การวิจัยเรื่องการวิเคราะห์เปรียบเทียบเชิงเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ระหว่างระบบหล่อลื่นจาระบี อัตโนมัต กับ ระบบหล่อลื่นน้ำมัน อัตโนมัต: กรณีศึกษาในเครื่องกัด CNC สำหรับโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ โดยมีวัตถุประสงค์ในการดำเนินการวิจัยเพื่อหาวิธีการพัฒนาระบบหล่อลื่นจาระบีอัตโนมัติในเครื่องกัด CNC และ เพื่อวิเคราะห์ความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ในการเปรียบเทียบระหว่างระบบหล่อลื่นน้ำมันอัตโนมัติกับระบบหล่อลื่นจาระบีอัตโนมัติ

ผู้วิจัยนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยแบ่งเป็น 4 หัวข้อดังต่อไปนี้

4.1 ผลการศึกษาสภาพปัญหาทั่วไป

4.1.1 ผลการศึกษาสภาพปัญหาทั่วไปของโรงงาน พบว่า

1. ลดการเกิดสภาพแวดล้อมที่เป็นมลพิษ บริเวณ โรงงานที่เครื่องกัด CNC ทำงาน เนื่องจากไม่มีละอองน้ำมันที่กระเด็น โคนบริเวณรอบๆ



รูปที่ 4.1 ลดการเกิดสภาพแวดล้อมที่เป็นมลพิษ

4.1.2 ผลการศึกษาสภาพปัญหาทั่วไปของเครื่องจักร

พบว่า

รุ่นเครื่องจักร : FANUC ROBODRILL α -D21MiB

SYSTEM : Lube Hybrid Lubrication

สารหล่อลื่นที่ใช้ : LHL 300-7 700ml

ผลการศึกษาสภาพปัญหาทั่วไปของเครื่องจักร โดยผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาจากระบบหล่อลื่นน้ำมันอัตโนมัติเป็นการติดตั้งระบบหล่อลื่นจากระบบอัตโนมัติดังนี้

1. เตรียมอุปกรณ์ระบบจากระบบอัตโนมัติ ที่จะนำมาติดตั้งแทนระบบหล่อลื่นน้ำมันอัตโนมัติในเครื่องกัด CNC ดังรูป 4.1



รูปที่ 4.2 เตรียมอุปกรณ์ระบบจากระบบอัตโนมัติ

2. ถอดอุปกรณ์ชุดควบคุมระบบน้ำมันอัตโนมัติที่เครื่องกัด CNC



รูปที่ 4.3 ถอดอุปกรณ์ระบบน้ำมันอัตโนมัติ

3. ติดตั้งอุปกรณ์ตู้คอนโทรล ระบบจาระบีอัตโนมัติที่เครื่องกัด CNC ที่จุดเดิม



รูปที่ 4.4 ติดตั้งอุปกรณ์ตู้คอนโทรล ระบบน้ำมันอัตโนมัติ

4. ติดตั้งอุปกรณ์ตู้คอนโทรล ระบบหล่อลื่นจาระบีอัตโนมัติเรียบร้อยแล้ว



รูปที่ 4.5 ติดตั้งอุปกรณ์ตู้คอนโทรล ระบบน้ำมันอัตโนมัติเรียบร้อยแล้ว

4.1.3 ผลการศึกษาสภาพปัญหาทั่วไปของปัญหาาระบบหล่อลื่น

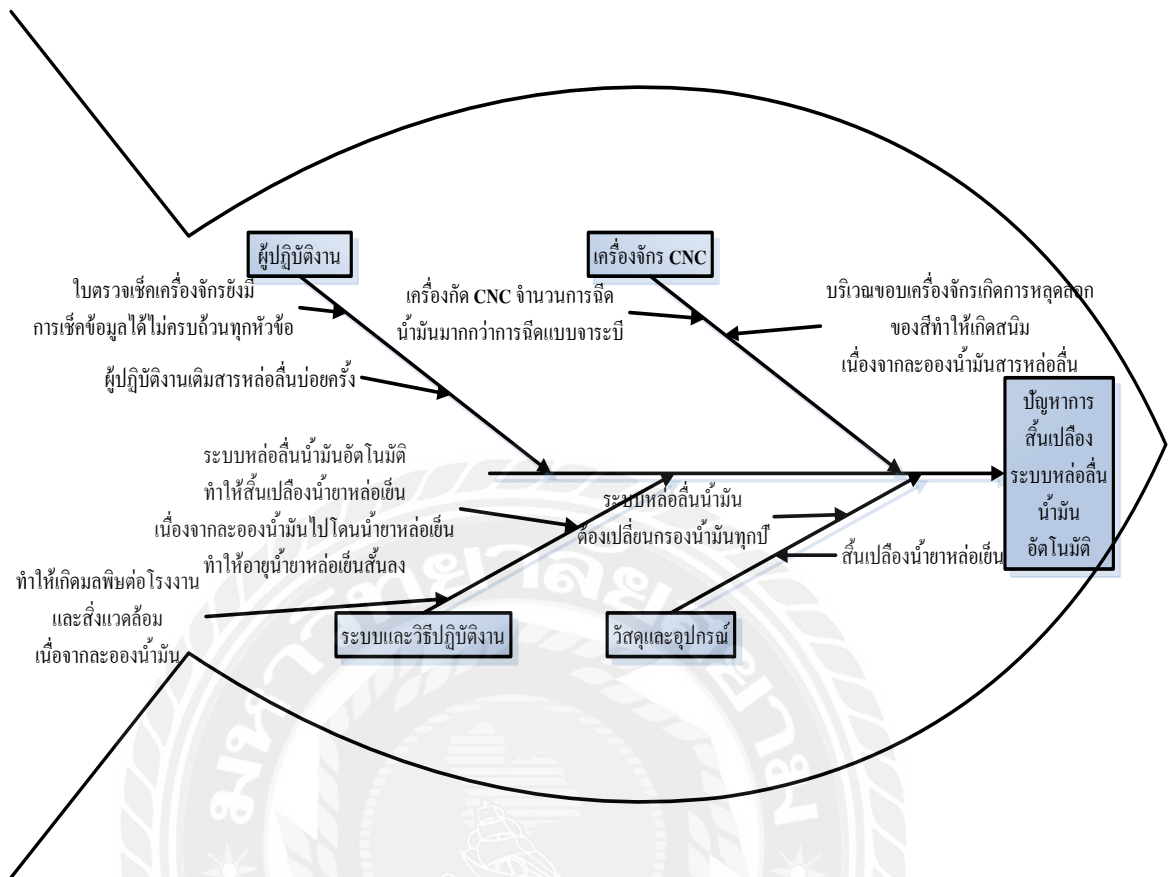
หลังจากติดตั้งชุดอุปกรณ์ตู้คอนโทรล ระบบหล่อลื่นจากระบบอัตโนมัติเรียบร้อยแล้ว ก็เป็นการติดตั้งชุดวาล์วจ่ายระบบหล่อลื่นจากระบบอัตโนมัติ เพื่อแก้ไขปัญหาการเกิดคราบตะกอน น้ำมันที่บริเวณข้อต่อชุดวาล์วจ่ายระบบหล่อลื่น เพื่อเพิ่มอายุการใช้งานชุดวาล์วจ่ายระบบหล่อลื่น ลดการสิ้นเปลืองน้ำมันหล่อลื่นและน้ำยาหล่อลื่น ลดการเกิดสภาพแวดล้อมที่เปื้อนละออง น้ำมันหล่อลื่น ซึ่งเป็นต้นเหตุเกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมในการทำงาน ลดการเกิดละออง น้ำมันหล่อลื่น ไปผสมกับน้ำยาหล่อเย็นทำให้น้ำยาหล่อเย็น ทำให้อายุงานของน้ำยาหล่อเย็นเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.6 ชุดวาล์วจ่ายระบบหล่อลื่นจากระบบอัตโนมัติ

4.2 ผลการวิเคราะห์สภาพปัญหาโดยใช้เครื่องมือ แผนภูมิก้างปลา (Fish born Diagram.)

พบว่านำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา โดยใช้เครื่องมือ แผนภูมิ ก้างปลา (Fish born Diagram.) แสดงเหตุและผลในการวิเคราะห์ (Cause and Effect) ปัญหา ซึ่งมี 4 สาเหตุหลัก คือ ผู้ปฏิบัติงาน เครื่องจักร ระบบและวิธีปฏิบัติงาน และ วัสดุและอุปกรณ์ เพื่อที่จะสร้างเครื่องมือเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นตาม ดังรูปที่ 4.7 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาการสิ้นเปลืองระบบหล่อลื่นน้ำมันอัตโนมัติ



รูปที่ 4.7 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาการสิ้นเปลืองระบบหล่อลื่นน้ำมันอัตโนมัติ

จากการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาการสิ้นเปลืองระบบหล่อลื่นน้ำมันอัตโนมัติ สามารถจำแนกสาเหตุหลักและสาเหตุย่อยได้ดังนี้

ผู้ปฏิบัติงาน : ผู้ปฏิบัติงานเดิมสารหล่อลื่นบ่อยครั้ง และใบตรวจเช็คเครื่องจักรยังมีการเช็คข้อมูลได้ไม่ครบถ้วนทุกข้อ

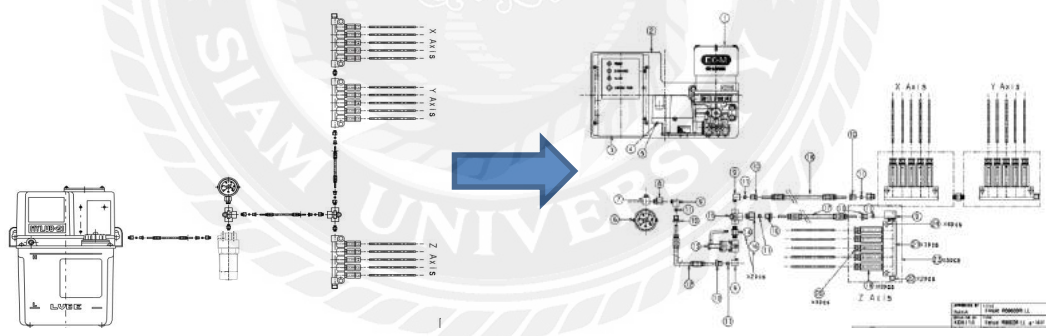
เครื่องจักร CNC : เครื่องกัด CNC มีจำนวนครั้งในการจ่ายน้ำมันหล่อลื่นอัตโนมัติมากกว่าจำนวนครั้งในการจ่ายจาระบีอัตโนมัติ และบริเวณขอบเครื่องกัด CNC มีรอยสนิมเกิดขึ้นเนื่องจากโดนละอองน้ำมันที่กระเด็นออกมาจากการกัดน้ำมันอัตโนมัติ ทำให้สีของเครื่องกัด CNC เกิดการหลุดลอก

ระบบและวิธีปฏิบัติงาน : ระบบหล่อลื่นน้ำมันอัตโนมัติทำให้สิ้นเปลืองน้ำยาหล่อเย็น เนื่องจากละอองน้ำมันไปโดนน้ำยาหล่อเย็น ทำให้อายุน้ำยาหล่อเย็นสั้นลง ระบบหล่อลื่นน้ำมันอัตโนมัติทำให้เกิดมลพิษต่อโรงงานและสิ่งแวดล้อม

วัสดุและอุปกรณ์ : ระบบหล่อลื่นน้ำมันอัตโนมัติต้องเปลี่ยนกรองน้ำมันทุกปี และทำให้สิ้นเปลืองน้ำยาหล่อเย็น

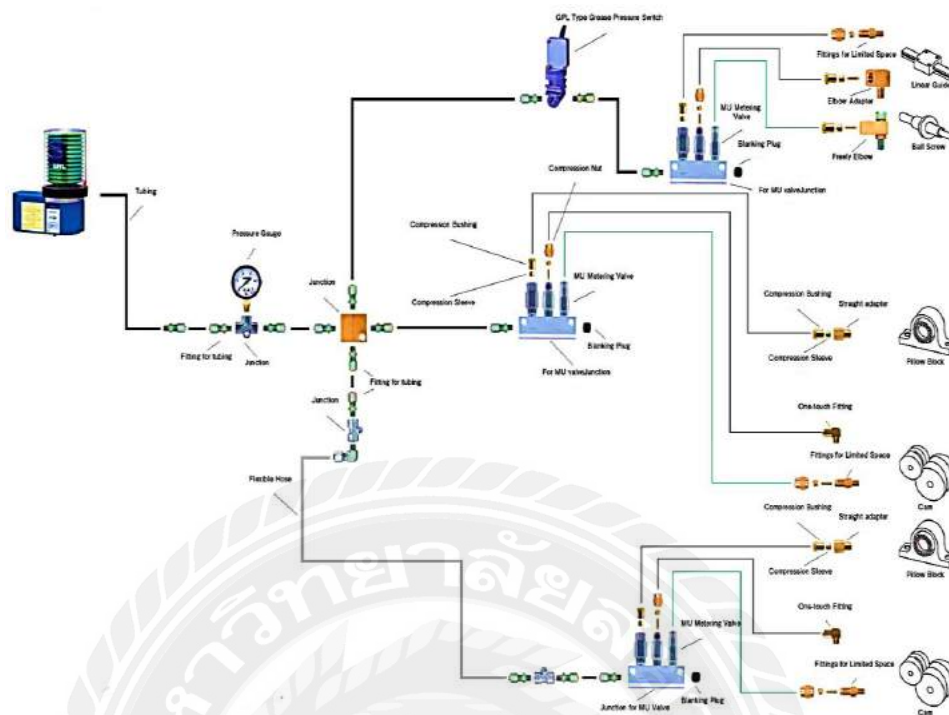
โดยปัจจัยทั้งหมดที่กล่าวมานั้นทำให้ทราบถึงปัญหาการสิ้นเปลืองของระบบหล่อลื่นน้ำมันอัตโนมัติ เมื่อทราบถึงปัญหาการสิ้นเปลืองระบบหล่อลื่นน้ำมันอัตโนมัติแล้วก็ได้ทำการวิเคราะห์สาเหตุและเปรียบเทียบ ของปัญหาการบำรุงรักษาเครื่องกัด CNC ทั้งสองระบบ

4.3 ผลการพัฒนาปรับปรุงระบบหล่อลื่นจากระบบหล่อลื่นน้ำมันอัตโนมัติเป็นระบบหล่อลื่นจากระบบอัตโนมัติ
มีผลดังนี้



รูปที่ 4.8 การพัฒนาปรับปรุงระบบหล่อลื่นจากระบบหล่อลื่นน้ำมันอัตโนมัติเป็นระบบหล่อลื่นจากระบบอัตโนมัติ

ผู้วิจัยได้พัฒนาจากอุปกรณ์เดิม(ระบบน้ำมัน)มาเป็นอุปกรณ์ใหม่(ระบบจากระบบอัตโนมัติ)ที่ติดตั้งแทนระบบเดิมตามแบบการติดตั้งดังรูปที่ 4.9 LHL System chart



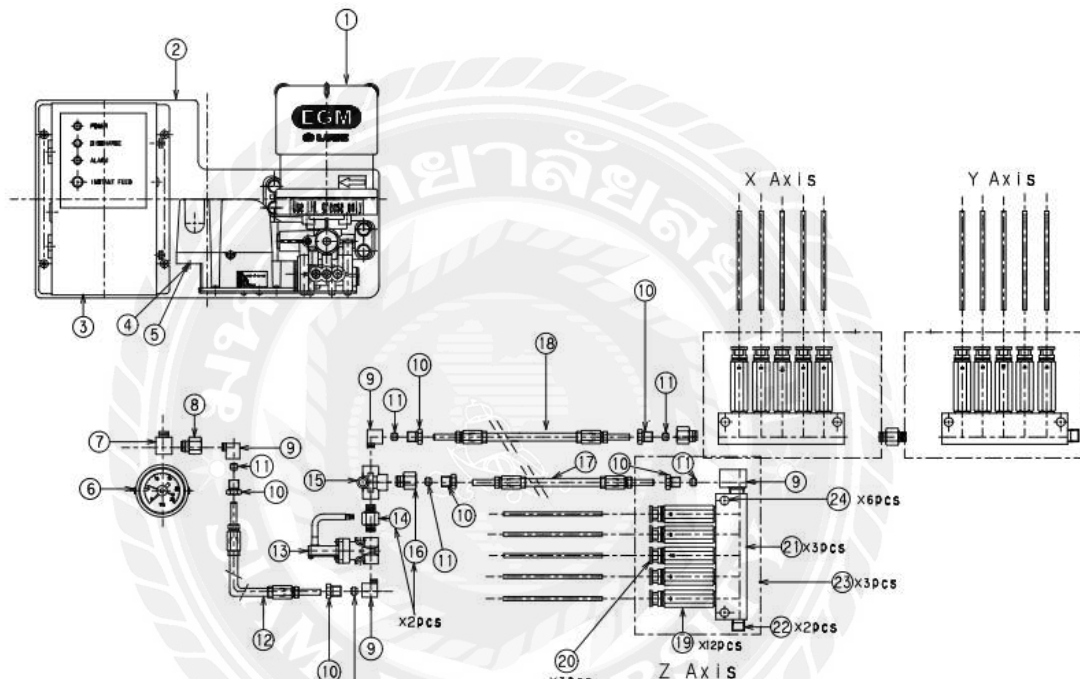
รูปที่ 4.9 การพัฒนาระบบจ่ายจาระบีอัตโนมัติ LHL System chart

โดยผู้วิจัยได้เปลี่ยนอุปกรณ์ติดตั้งใหม่ทั้งหมด โดยจะเหมือนกันแต่อย่างเดียวนั้นคือขนาดของวาล์ว ซึ่งอุปกรณ์ที่ติดตั้งเพิ่มตามรูปที่ 4.10 มีดังนี้

1. เปลี่ยนปั๊มจาก Oil Pump เป็น LHL Grease Pump
2. ติดตั้งแผ่น Plate เพิ่ม เพื่อยึดกับตัวอุปกรณ์ โดยใช้เฉพาะรุ่น Robodrill
3. ติดตั้ง Controller ไว้ควบคุมการจ่ายจาระบีแต่ละจุด
4. เดินท่อจาก LHL Grease Pump เข้ากับ Controller
5. ติดตั้ง Pressure gauge เพื่อที่จะดูความดันหน่วยเป็น MPa
6. นำ T-Connector ต่อกับ Straight connector
7. นำ Straight connector ต่อกับ Elbow adapter
8. นำ Compression bushing ต่อกับ Compression Sleeve
9. เดิน Flexible hose เข้ากับ Pressure switch

10. ผ่าน Straight connector เชื่อมต่อกับ Junction
11. จาก Junction เข้า Straight adapter
12. เดินท่อ Flexible hose เข้า Metering valve 12 ตัว (วาล์วเบอร์ 5)
13. เดินท่อ Flexible hose เข้า Metering valve 3 ตัว (วาล์วเบอร์ 10) ดังรูปที่ 4.22

ระบบหล่อลื่นแบบน้ำมันอัตโนมัติ(แบบเดิม) ก่อนที่จะทำการพัฒนาเป็นระบบหล่อลื่นจากระบบ



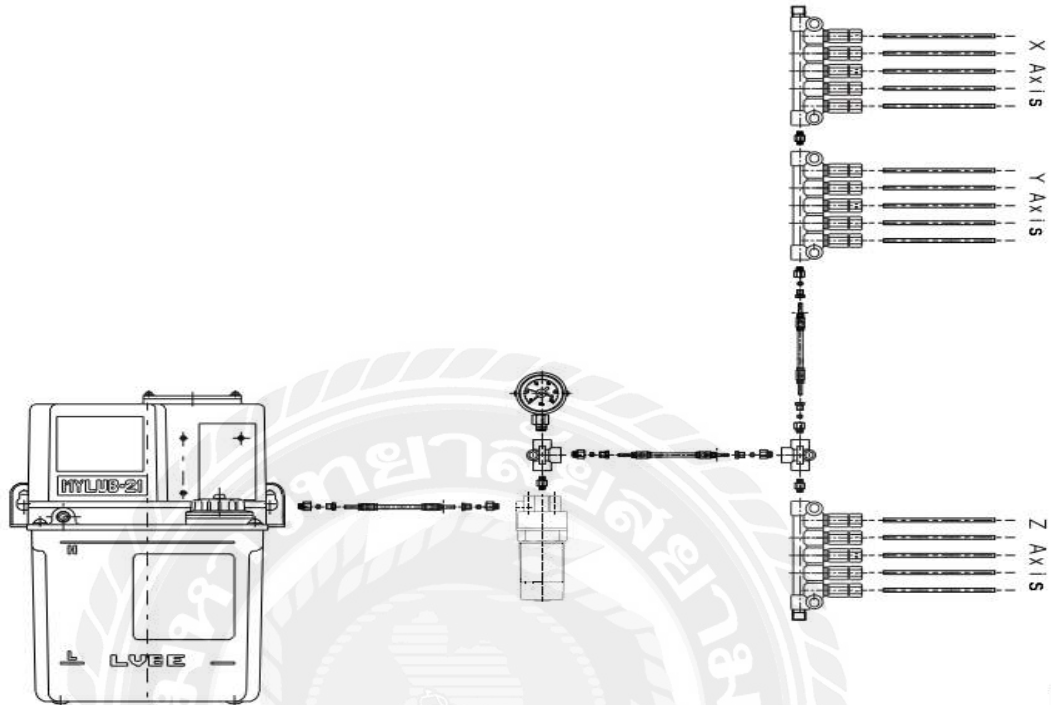
รูปที่ 4.10 FANUC ROBODRILL α-D21MiB ระบบหล่อลื่นแบบจากระบบอัตโนมัติ

ตารางที่ 4.1 Parts list for FANUC ROBODRILL α-D21MiB ระบบหล่อลื่นแบบจากระบบ

No.	Description	Model	QTY.
1	LHL Grease Pump	EGME2-4S-4-7CL-LHL	1
2	Plate for EGM2	Plate for Robodrill	1
3	Controller	GMC-S200 (oil level B, pressure SW A)	1
4	Conduit	LAPPKABEL 53111210	2
5	Nut	SM-M16*1.5	2

6	Pressure gauge	PB 25MPA	1
7	T-Connector	Male R1/8*Female RC1/8* FemaleRC1/8	1
8	Straight connector	SC1-20	1
9	Elbow adapter	EA6-22	4
10	Compression bushing	CB-6	6
11	Compression Sleeve	CS-6	6
12	Flexible hose	SS1000	1
13	Pressure switch	GPL-30 3 M code	1
14	Straight connector	SCR	2
15	Junction	JV-3	1
16	Straight adapter	SA6-20	2
17	Flexible hose	SL2000	1
18	Flexible hose	SS2800	1
19	Metering valve	MG2C-5	12
20	Metering valve	MG2C-10	3
21	Junction	JVPA-5S	3
No.	Description	Model	QTY.
22	Blanking plug	BP-1	2
23	Plate for Metering valve	A290-6099-X631	3
24	Bolt	M6*25	6
25	LHL-300 Cartridge Grease	LHL-300 700cc	1

ระบบหล่อลื่นแบบน้ำมันอัตโนมัติ(แบบเดิม) ก่อนที่จะทำการพัฒนาเป็นระบบหล่อลื่นจากระบบ



รูปที่ 4.11 FANUC ROBODRILL α-D21MiB ระบบหล่อลื่นแบบน้ำมันอัตโนมัติ(แบบเดิม)

ตารางที่ 4.2 Parts list for Oil System ระบบหล่อลื่นแบบน้ำมัน

No.	Description	Model	QTY.
1	Oil Pump	AMO	1
2	Junction	PV-5	3
3	Metering valve	MO-5	12
4	Metering valve	MO-10	3
5	Steel Tubing	ST-4	20 m
6	Steel Tubing	ST-6	4 m

7	Elbow adapter	EA4-20	15
8	Compression bushing	CB-4	40
9	Compression Sleeve	CS-4	40
10	Compression bushing	CB-6	10
12	Compression Sleeve	CB-6	10
12	Filter	F-3D	1
13	Pressure Gauge	PB-35	1
14	Junction	PV-1	1
15	Junction	PJ-6-3	2
16	Junction	PC-4-2	10
17	Tube Clips	PC-4-3	10
18	Tube Clips	PC-6-1	10
19	Tube Clips	PC-4-4	10

การเลือกใช้จาระบีของเครื่องกัด CNC

โดยจะเลือกใช้จาระบีของ LUBE รุ่น LHL ซึ่งเป็นจาระบี NLGI Number 000 (จาระบีประสิทธิภาพสูงสำหรับการใช้งานที่มีโหลดสูง) ความสามารถในการรับโหลดในการต้านทานการสึกหรอที่ดี เสถียรภาพ การเกิดออกซิเดชัน ความต้านทานต่อน้ำ และป้องกันสนิม โดยจะมีคุณสมบัติดังนี้

Service temperature range LHL -20 °C ถึง +130 °C จาระบีหล่อลื่นก่อให้เกิดการรักษา
สิ่งแวดลอม ลดการใช้ น้ำมันหล่อลื่น ป้องกันการเสื่อมสภาพและการสลายตัวของกรดของเหลว
ลดการทิ้งขยะอันตรายอย่างมาก ลดการขัดถูชิ้นส่วนเครื่องจักร

โดย LHL (Lube Hybrid Lubricant.) เป็นการรวมข้อดีของน้ำมันและจาระบี

ข้อดีของน้ำมัน:สภาพคล่องคุณสมบัติการ โยกย้ายที่ดีเยี่ยม,สมบัติการขนส่งไม่มีการแข็งตัว

ข้อดีของจาระบี:ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกและการสึกหรอสูง ความต้านทานการยึด
เกาะฟิล์มน้ำมันที่ดีเยี่ยม และสมบัติการยึดเกาะตามรูปที่ 4.19 และตารางที่ 4.12



รูปที่ 4.12 จาระบีของ LUBE รุ่น LHL300-7





รูปที่ 4.13 รุ่น Model ของ LHL ต่างๆ

ตารางที่ 4.3 แสดงความเหมาะสมกับการนำจาระบีแต่ละเบอร์ไปใช้งาน

NLGI Number	การใช้งาน
000,00	นิยมนำไปใช้ในเกียร์ที่มีอ่าง หรือภาชนะป้องกันไม่ให้รั่วไหลได้
0	ใช้ในที่อุณหภูมิต่ำ หรือในระบบการหล่อลื่นแบบอัตโนมัติ (Centralized System)
1	ใช้หล่อลื่นในตลับลูกปืนแบบ Needle.
2	ใช้หล่อลื่นในตลับลูกปืนแบบ Ball Bearing และ Roller Bearing โดยใช้ปืนอัดจาระบี (Grease Gun)
3	ใช้หล่อลื่นในตลับลูกปืนแบบรอบเร็ว หรือลูกปืนล้อ
4,5,6	ใช้หล่อลื่นในลักษณะที่รับภาระสูงๆ

หลังจากพัฒนาจากระบบหล่อลื่นน้ำมัน เป็นระบบหล่อลื่นจาระบีอัตโนมัติเสร็จสิ้นก็ทำการตรวจสอบหลังการติดตั้งตามรูปที่ 4.14 Replacement Check Sheet โดยมีรายละเอียดดังนี้

Replacement Check Sheet

เลขตัวเลขที่: Sheet No.:	122	วันที่: Date:	25-2-21	ชื่อคนทำงาน: Person in Charge:		
ลูกค้าชื่อ: Customer Name:	KAWASAKI			โทร: TEL:	038-955-040	
ที่อยู่: Address:	110/10 Moo 4 T.Pluak Daeng A.Pluak Daeng Rayong 31140					
รุ่นเครื่องจักร: Machine Model:	FANUC ROBODRILL d-P21MiB	หมายเลขเครื่องจักร: Machine Number:				
เปลี่ยนวาล์วถูกต้อง Replaced all valve with the correct valves ?	OK	<input checked="" type="checkbox"/>	จำนวนค่าสเตรอร์ Record Counter	5000		
จาระบีเต็ม Grease Left	เต็ม Full	<input checked="" type="checkbox"/>	ต้องเปลี่ยน Need to be replaced	<input type="checkbox"/>	แรงดันปั๊ม Pump Pressure	8 Mpa
จาระบีไหลไปจุดที่ไกลสุด Is grease discharged from the valve at the furthest point from the pump ?	OK	<input checked="" type="checkbox"/>				
ท่อท่อในคอนดักต้องตรงกับวาล์ว Each tail tubing has been connected to designated valve ?	OK	<input checked="" type="checkbox"/>				
รัดท่อในคอนดักด้วยเทปใส Have fastened the tubing, leads and so on with plastic bands as they were before ?	OK	<input checked="" type="checkbox"/>				
แน่ใจว่าจาระบีไม่รั่วที่สายในคอน I have ensured that there is no grease leak from the tubing ?	OK	<input checked="" type="checkbox"/>				
สายในคอนไม่ขวางการขยับของเครื่อง Have ensured with M/s. Toyokikaikinzoku that tubing does not interfere the machine movement ?	OK	<input checked="" type="checkbox"/>				
เช็ดทำความสะอาดเครื่องจักร Have wiped off the machine cover and cleaned up around the machine ?	OK	<input checked="" type="checkbox"/>				
ลายเซ็นลูกทำ Signature of the person in charge						

รูปที่ 4.14 Replacement Check Sheet

1. เปลี่ยนวาล์วถูกต้องหรือไม่ (Replaced all valve with the correct valves?)
2. เช็คแรงดันปั๊ม มีกี่ MPa (Pump Pressure)
3. จาระบีที่เหลือ (Grease Left) เต็ม 100 % (Full) หรือไม่ ถึงเวลาต้องเปลี่ยนหรือยัง (Need to be replaced?)
4. จาระบีไหลไปจุดที่ไกลสุด (Is grease discharged from the valve at the furthest point from the pump?)
5. ต่อท่อในลอนถูกต้องตรงกับวาล์วหรือไม่ (Each tail tubing has been connected to designated valve?)
6. รัดท่อในลอนด้วยเคเบิลไทร์หรือไม่ (Have fastened the tubing, leads and so on with plastic bands as they were before?)
7. แน่ใจว่าจาระบีไม่รั่วที่สายในลอน (Have ensured that there is no grease leak from the tubing?)
8. สายในลอนไม่ขวางการทำงานของเครื่อง (Have ensured with M's Toyokikaikinzoku that tubing does not interface the machine movement?)
9. เช็ดทำความสะอาดเครื่องจักร (Have wiped off the machine cover and cleaned up around the machine?)

เมื่อทำการตรวจเช็คเรียบร้อยแล้วโดยต้องผ่าน (OK) ทุกข้อ ซึ่งถ้าไม่ผ่านก็ต้องปรับแก้ไขให้ผ่านทั้งหมดจึงจะถึงการติดตั้งเสร็จสมบูรณ์ โดยในส่วนถัดไปจะเป็นการอธิบาย Specifications ของแต่ละอุปกรณ์ ที่นำมาติดตั้งในการพัฒนาระบบ LHL System

Specifications ของแต่ละอุปกรณ์ ที่นำมาติดตั้งในการพัฒนาระบบ LHL System

1. ELECTRIC PUMP FOR LHL



รูปที่ 4.15 ELECTRIC PUMP FOR LHL

ตารางที่ 4.4 Specifications ELECTRIC PUMP FOR LHL

Power	DC24V
Power Consumption	24W
Discharging pressure	5MPa/8MPa
Discharging time	No restriction
Minimum interval time	10 seconds
Wiring method	Terminal connection
Manual override switch	Yes (Optional)
Grease level switch	Yes
Cover	Non combustible plastic (UL94-VO)
NEMA rating	IP54
CE approval	Yes
Pump air bleeding valve	Yes
Weight	P-102:1.2kg, 107:1.6kg, 202:1.2kg, 207:1.6kg

2. Nylon tubing



รูปที่ 4.16 Nylon tubing

ตารางที่ 4.5 Specifications Nylon tubing

Model	Outer diameter (φ)	Inner Diameter (φ)	Standard length (m)	Working pressure (MPa)	Burst Pressure (MPa)	Working temperature range	Minimum bending radius (R)mm	Color
NT-4H				4.4	17.6	+70 C	16	White

3. Pressure Gauge.



รูปที่ 4.17 Pressure Gauge.

ตารางที่ 4.6 Specifications Pressure Gauge.

Operating pressure	3.0MPa±20%	
Reset pressure	2.5MPa±20%	
Max. working pressure	25MPa	
Micro switch spec	Rated voltage	AC250V , DC30V
	Resistance load	2A(AC250V , DC30V)
	Service life:	200,000 switching's (loaded)
	Structural protection:	JIS moisture-tight, conforming to IEC IP67

4. Flexible hose



รูปที่ 4.18 Flexible hose

Outer diameter (φ)	4	6
Working pressure (MPa)	3	4
Working temperature range	-20°C - +90°C	
Minimum bending radius (R)	40	120
d1(φ)	4	6
d2(φ)	8	10
d3(φ)	10	13.5

ตารางที่ 4.7 Specifications Flexible hose.

5. For MU Valve Junction



รูปที่ 4.19 MU Valve Junction

ตารางที่ 4.8 Specifications For MU Valve Junction

Model	Specifications	L ¹	L ²
MUJ-4S	Single type for 4 ports	79	68

6. MU Metering Valve.



รูปที่ 4.20 MU Metering Valve

ตารางที่ 4.9 Specifications MU Metering Valve

Operating pressure	0.9MPa
Reset pressure	0.4MPa

7. GPL Type Grease Pressure Switch.



รูปที่ 4.21 GPL Type Grease Pressure Switch

ตารางที่ 4.10 Specifications GPL Type Grease Pressure Switch

Operating pressure	3.0MPa±20%	
Reset pressure	2.5MPa±20%	
Max. working pressure	10MPa	
Micro switch spec	Rated voltage	AC250V , DC30V
	Resistance load	2A(AC250V , DC30V)
	Service life:	200,000 switching's (loaded)

8. One-Touch Fitting.



รูปที่ 4.22 One-Touch Fitting

ตารางที่ 4.11 Specifications One-Touch Fitting

Operating pressure	Oil: Under 3MPa Grease: Under 4MPa	Oil: Under 3MPa
Life	Oil: Under 1,000,000 times Grease: Under 100,000 times	Oil: 1,000,000 times
Working viscosity range	2	
Ambient temperature range	0-60C	
Vibration resistance	4.5G 10-55Hz,9G55Hz(Fixed)	

4.4 ผลการเปรียบเทียบ

4.4.1 ผลการเปรียบเทียบเชิงเทคนิค

ทำให้สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.12 ผลการเปรียบเทียบเชิงเทคนิคของทั้งสองระบบดังนี้

ตารางที่ 4.12 ผลการเปรียบเทียบเชิงเทคนิคของทั้งสองระบบ

รายการ	ระบบหล่อลื่นน้ำมันอัตโนมัติ	ระบบหล่อลื่นจาระบีอัตโนมัติ
1.เวลาในการฉีดสารหล่อลื่น	เวลาในการฉีดของระบบหล่อลื่นน้ำมันอัตโนมัติ จะใช้เวลาเพียง 15 วินาที ซึ่งน้อยกว่าจาระบี	เวลาในการฉีดของระบบหล่อลื่นจาระบีอัตโนมัติ จะใช้เวลา 60 วินาที ซึ่งมากกว่าน้ำมัน
2.เวลาในการหยุดฉีดแต่ละครั้ง จำนวนการจ่าย/จำนวนครั้งในแต่ละวัน	เวลาในการหยุดฉีด จะฉีดทุก 16 นาที ซึ่งจะฉีดน้ำมัน 89 ครั้งต่อวัน	เวลาในการหยุดฉีด จะฉีดทุก 300 นาที หรือทุก 5 ชั่วโมง ซึ่งจะฉีดจาระบี 5 ครั้งต่อวัน

รายการ	ระบบหล่อลื่นน้ำมันอัตโนมัติ	ระบบหล่อลื่นจาระบีอัตโนมัติ
3.ประมาณสารหล่อลื่นต่อปี	39 ลิตรต่อปี	3.15 ลิตรต่อปี
4.ความจุ ของสารหล่อลื่น	#68 (3,000 ml) 	LHL-300(700ml) 
5.จำนวนครั้งที่เติมสารหล่อลื่น	13 ครั้งต่อปี ซึ่งจะเปลี่ยนบ่อยกว่าระบบจาระบี เนื่องจากการสิ้นเปลืองของน้ำมันหล่อลื่น	5 ครั้งต่อปี จะเปลี่ยนน้อยกว่า เนื่องจากการใช้จาระบีจะไม่สิ้นเปลืองระบบน้ำมัน
6.เวลาในการเติมแต่ละครั้ง	10 นาทีต่อการเติมหนึ่งครั้ง	1 นาทีต่อการเติมหนึ่งครั้ง (ระบบจาระบีจะเปลี่ยนได้ง่าย โดยการเปลี่ยนกระปุกใหม่ได้เลยทำให้ไม่เสียเวลา)
7.เปลี่ยนกรองน้ำมัน	กรองน้ำมันจะต้องเปลี่ยนทุกๆ 1 ปี เมื่อใช้น้ำมันหล่อลื่น	ระบบจาระบี จะไม่ต้องเปลี่ยนกรองน้ำมัน เพราะไม่ต้องใช้
8.เปลี่ยนน้ำยาหล่อเย็น 80 ลิตรต่อปี	จะเปลี่ยน 2 ครั้ง ต่อปี เพราะว่าละอองน้ำมันของระบบหล่อลื่น กระเด็น ไปโดนกับบ่อน้ำยาหล่อเย็น ทำให้อายุของน้ำยาหล่อเย็นใช้งานได้สั้นลง	จะเปลี่ยน 2 ปี ต่อครั้ง เพราะว่า จาระบีจะไม่มีละอองกระเด็นลงไปผสมกับน้ำยาหล่อเย็นทำให้อายุของน้ำยาหล่อเย็นใช้งานได้นานขึ้น
รายการ	ระบบหล่อลื่นน้ำมันอัตโนมัติ	ระบบหล่อลื่นจาระบีอัตโนมัติ

9.เติมน้ำยาปรับสภาพ ลิตรต่อเดือน	เติม 4 ลิตรต่อเดือน เนื่องจาก น้ำมันหล่อลื่นจะถูกแยกออกจากน้ำยาหล่อเย็นและน้ำมันหล่อลื่นจะถูกกักอยู่ในถัง ทำให้ต้องเติมน้ำยาหล่อเย็นบ่อยครั้ง	เติม 2 ลิตรต่อเดือน จะประหยัดกว่าระบบหล่อลื่นแบบน้ำมัน เนื่องจากไม่มีน้ำมันหล่อลื่นที่ถูกกักอยู่ในถัง ทำให้ไม่ต้องเติมน้ำยาหล่อเย็นบ่อยครั้ง
10.เปลี่ยนแผ่นกรองน้ำยาหล่อเย็น	แผ่นกรองของน้ำยาหล่อเย็นจะเปลี่ยนทุกๆ 1 ปี เมื่อใช้น้ำมันหล่อลื่น	แผ่นกรองของน้ำยาหล่อเย็นจะเปลี่ยนทุกๆ 3 ปี เมื่อใช้จาระบีหล่อลื่น
11.เปลี่ยนเครื่องมือตัด	เครื่องมือตัด จะเปลี่ยน ปีละ 2 ครั้ง เมื่อใช้น้ำมันหล่อลื่น	เครื่องมือตัด จะเปลี่ยน ปีละ 1 ครั้ง เมื่อใช้จาระบีหล่อลื่น 1. อายุของ Cutting tool จะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า เนื่องจากน้ำยาหล่อเย็นมีอายุการใช้งานเพิ่มขึ้น

หลังจากที่ติดตั้งตามการพัฒนาเรียบร้อยแล้ว ทำงานของเครื่องกัด CNC ของทั้งสองระบบแล้ว ผู้วิจัยทำการเก็บค่าพลังงานไฟฟ้าของทั้งสองระบบ ระบบน้ำมันอัตโนมัติและระบบจาระบีอัตโนมัติโดยใช้ Clamp meter ดังรูปที่ 4.23 และตารางเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าทั้งสองระบบในตารางที่ 4.13



รูปที่ 4.23 เก็บค่าพลังงานไฟฟ้าของทั้งสองระบบโดยใช้ Clamp meter



รูปที่ 4.24 Specification Electric Pump for LHL.

ตารางที่ 4.13 ตารางเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าทั้งสองระบบ

	ระบบหล่อลื่นน้ำมันอัด โนมติ	ระบบหล่อลื่นจาระบีอัด โนมติ
Voltage	200 V	24V
กำลังไฟฟ้า	0.27 A	1.2 A
การใช้พลังงานไฟฟ้า	54 W	28.8 W

จากตารางที่ 4.13 จะเห็นได้ว่าระบบหล่อลื่นจาระบีอัด โนมติใช้พลังงานไฟฟ้าที่น้อยกว่าระบบหล่อลื่นน้ำมันอัด โนมติซึ่งส่งผลให้ลดค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ได้ด้วย

ต่อไปจะทำการเปรียบเทียบเชิงเทคนิคข้อดี ข้อเสีย ของทั้งสองระบบดังตารางที่ 4.14 ข้อดี และ ข้อเสีย ของระบบหล่อลื่นทั้งสองระบบ

ตารางที่ 4.14 ข้อดี และ ข้อเสีย ของระบบหล่อลื่นทั้งสองระบบ

	ระบบหล่อลื่นน้ำมันอัตโนมัติ	ระบบหล่อลื่นจาระบีอัตโนมัติ
ข้อดี	<ul style="list-style-type: none"> - แผ่นกรองของน้ำยาหล่อเย็นจะเปลี่ยนทุก 1 ปี - ช่วยลดการสึกหรอของชิ้นส่วน - ลดความเสียหายของชิ้นส่วน - คือการระบายความร้อนของพื้นผิวที่ถูกต้องที่สุด 	<ul style="list-style-type: none"> - ต้นทุนสารหล่อลื่นที่ลดลง - การใช้งานหล่อลื่นน้อยลง - รักษาการเชื่อมต่อสภาพของน้ำมันหล่อเย็นให้มีอายุการใช้งานที่นานขึ้น - การป้องกันการเชื่อมต่อและการตกตะกอน - ใช้พลังงานไฟฟ้าที่ต่ำกว่า - แผ่นกรองของน้ำยาหล่อเย็นจะเปลี่ยนทุก 3 ปี - ช่วยรักษาสภาพแวดล้อมจากการทำงาน - ไม่ต้องเสียเวลาเติมบ่อยครั้ง ทำให้การบำรุงรักษาทำได้ง่าย
ข้อเสีย	<ul style="list-style-type: none"> - ลื่นเปลี่ยนน้ำมันหล่อเย็นที่ต้องทิ้ง - ใช้พลังงานไฟฟ้าที่มากกว่า - สภาพแวดล้อมที่เป็นอันตราย - น้ำมันหล่อลื่น - เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมในการทำงาน 	<ul style="list-style-type: none"> - เสียค่าติดตั้งระบบที่แพงกว่าระบบหล่อลื่นแบบน้ำมัน - ถ้ำกรองควบคุมฟอง จะไม่สามารถส่งแรงดันบีบในการจับจาระบีไปตามจุดข้อต่อต่างๆ

ขั้นตอนต่อไปเป็นการเปรียบเทียบเชิงเศรษฐศาสตร์ เก็บค่าก่อนและหลังจากการติดตั้งระบบจาระบีอัตโนมัติ ตามตารางที่ 4.15 ตารางเปรียบเทียบต้นทุนการทำงานของเครื่องกัด CNC

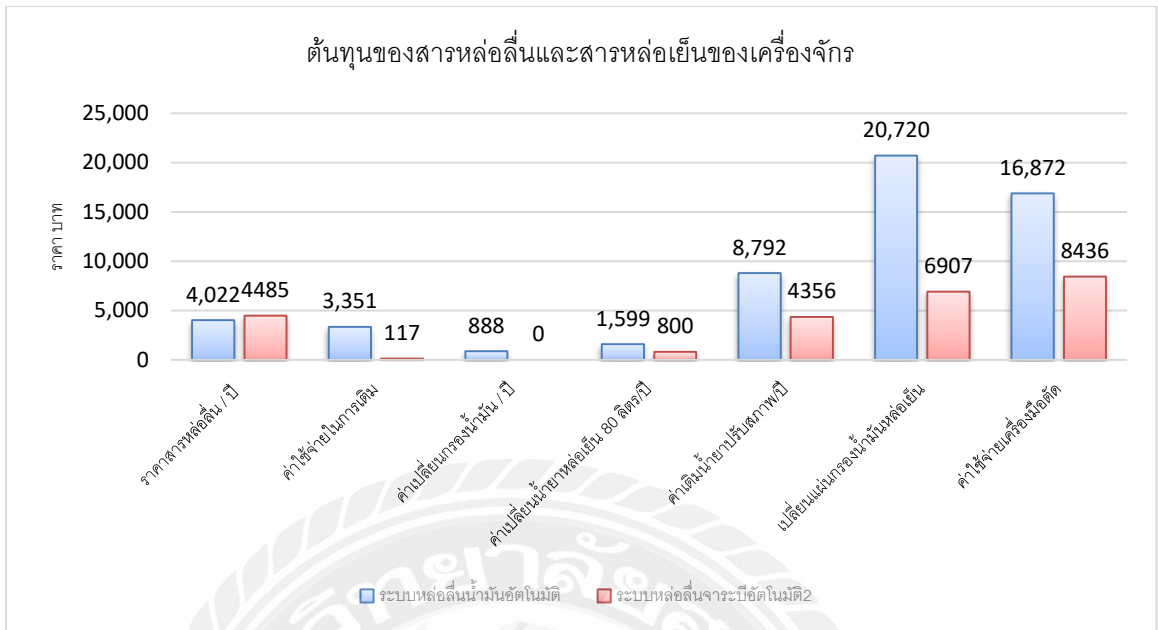
4.4.2 ผลการเปรียบเทียบเชิงเศรษฐศาสตร์ พบว่า

เมื่อพัฒนาระบบจาระบีเสร็จสิ้นต่อไปเป็นการเก็บค่าเปรียบเทียบต้นทุนและค่าใช้จ่ายการทำงานของเครื่องกัด CNC ของทั้งสองระบบ โดยค่าที่ได้จะได้ตามตารางที่ 4.15

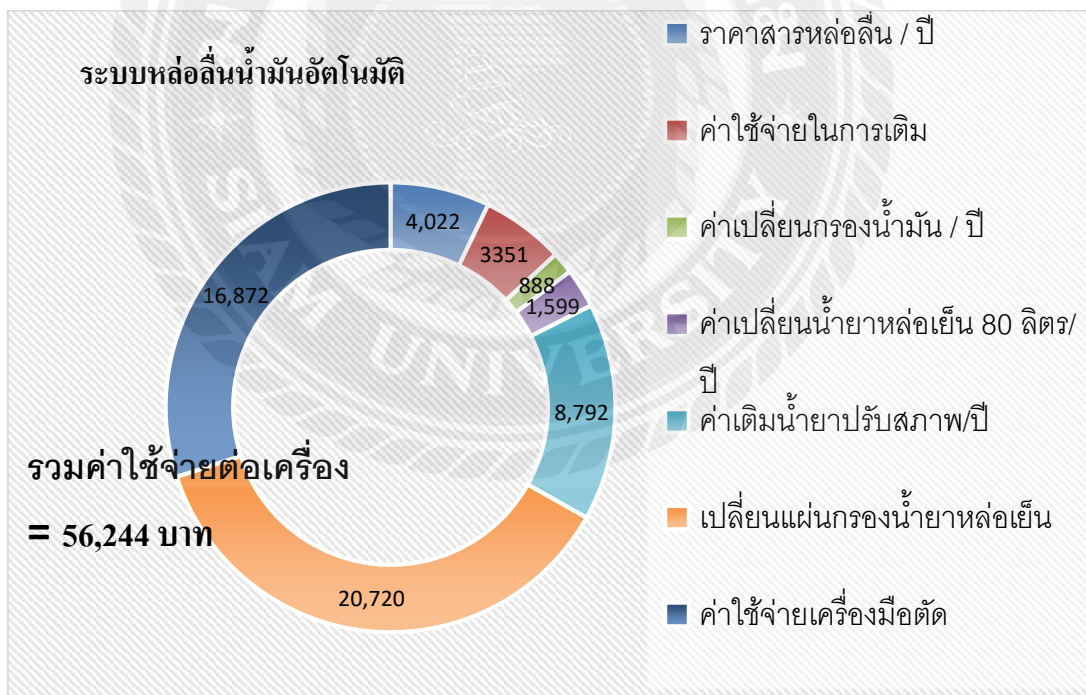
ตารางที่ 4.15 ตารางเปรียบเทียบต้นทุนและค่าใช้จ่ายการทำงานของเครื่องกัด CNC

365 วัน / 24 ชม.	FANUC ROBODRILL α - D21MIB	ระบบหล่อลื่นจากระบบ อัตโนมัติ
ระบบหล่อลื่น	Oil/PDI System	LHL System
จำนวนจุดหล่อลื่น	15	15
สารหล่อลื่น	น้ำมันหล่อลื่น #68	LHL-300
ชนิดของน้ำหล่อเย็น	Water-Soluble.	
ปริมาณการใช้สารหล่อลื่น/ครั้ง	0.9 ml หรือ 0.9cc	0.9 ml หรือ 0.9cc
เวลาในการฉีด	15 seconds.	60 seconds.
เวลาในการหยุด	16 minutes.	300 minutes.
จำนวนการจ่าย ครั้ง / วัน	89 times/day	5 times/day
ประมาณสารหล่อลื่น / ปี	38.81 liter/year.	3.14 liter/year.
ความจุ	3,000 ml หรือ 3,000 cc	700 ml หรือ 700 cc
ราคาสารหล่อลื่น / ปี	4,022 บาท	4,485 บาท
จำนวนครั้งที่เติม	12.94 times/year	4.5 times/year
เวลาในการเติม / ครั้ง	10 minutes.	1 minutes.
เวลาในการเติม / ปี	129 minutes.	4 minutes.
ค่าใช้จ่ายในการเติม	3,351 บาท	117 บาท
ค่าเปลี่ยนกรองน้ำมัน / ปี	888 บาท	-
ค่าเปลี่ยนน้ำยาหล่อเย็น 80 ลิตร/ปี	1,599 บาท / ปี	800 บาท / 2 ปี
เติมน้ำยาปรับสภาพ	4 ลิตร/เดือน	2 ลิตร/เดือน
ค่าเติมน้ำยาปรับสภาพ/ปี	8,792 บาท / ปี	4,356 บาท / ปี
เปลี่ยนแผ่นกรองน้ำยาหล่อเย็น	20,720 บาท / ปี	6,907 บาท / ปี
ค่าใช้จ่ายเครื่องมือตัด	16,872 บาท (2 reamers/year)	8,436 (1 reamers/year)
ค่าใช้จ่ายรวม ปี	56,244.00 บาท	25,101.00 บาท
ค่าใช้จ่ายที่ต่างกัน ปี		31,143.00 บาท

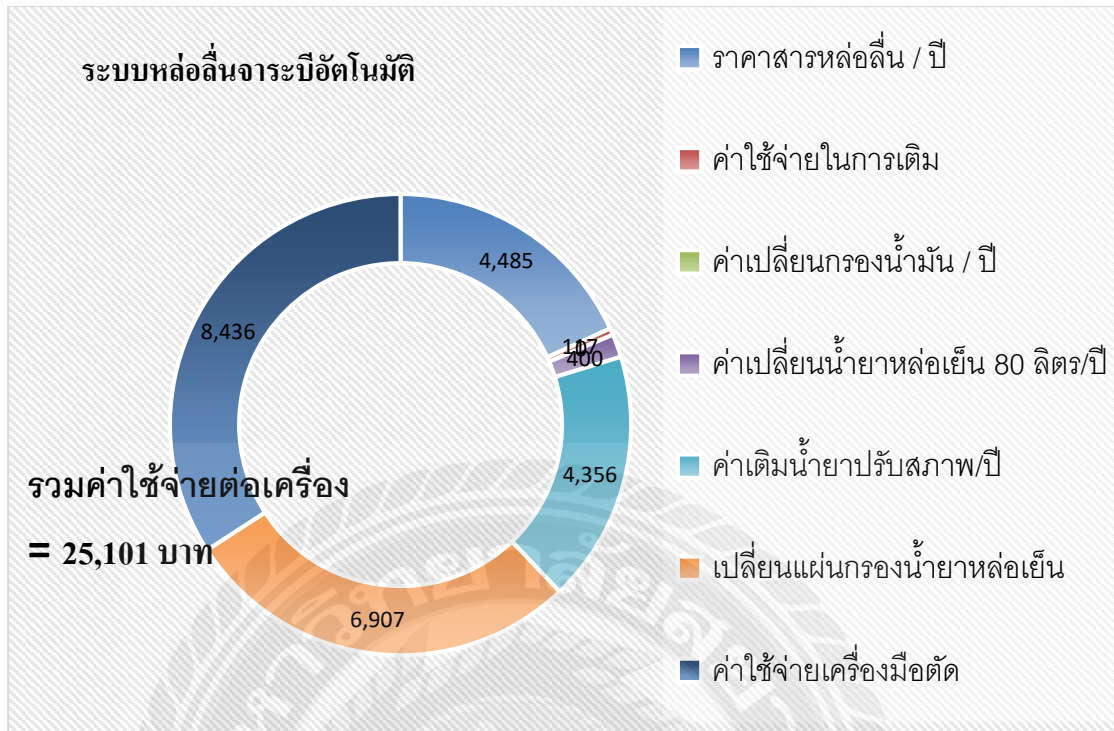
จากตาราง ที่ 4.15 จะสรุปได้ว่า



รูปที่ 4.25 ต้นทุนของสารหล่อลื่นและสารหล่อเย็นของเครื่องจักร



รูปที่ 4.26 ค่าใช้จ่ายระบบหล่อลื่นน้ำมันอัตโนมัติ



รูปที่ 4.27 ค่าใช้จ่ายระบบหล่อลื่นจาระบีอัตโนมัติ

ต้นทุนและค่าวัสดุรวม 56,244 บาท (ต่อ 1 เครื่องกัดซีเอ็นซีระบบหล่อลื่นน้ำมัน) ลดต้นทุนเครื่องละ 31,143 บาท ลดค่าใช้จ่ายได้ 55.3 เปอร์เซ็นต์ โดยต่อไปจะการเป็นเปรียบเทียบรายละเอียดและการต้นทุนการติดตั้งของทั้งสองระบบ

4.3.1 รายละเอียดและการต้นทุนการติดตั้งระบบหล่อลื่นจาระบีอัตโนมัติ

4.3.1.1 ค่าใช้จ่ายการต้นทุนการติดตั้งระบบหล่อลื่นจาระบีอัตโนมัติ

การติดตั้งระบบหล่อลื่นจาระบีอัตโนมัติจะมีข้อมูลรายการและค่าใช้จ่ายตามตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 ตารางแสดงรายละเอียดและต้นทุนการติดตั้งระบบหล่อลื่นจากระบบอัตโนมัติ

Item.	Description.	Price per unit.	QTY.	Total Amount.
	LHL SYSTEM			
1.	INSTALLATION LHL SYSTEM	51,000.00	1	51,000.00
	PUMP MODEL : LHL		1	
2.	Cartridge Grease : LHL300-7		1	
3.	GPL-55D, Pressure Switch,209392		1	
4.	MG2C 10 Metering Valve (Discharge volume 0.1 ml)		3	
5.	MG2C 5 Metering Valve (Discharge volume 0.05 ml)		12	
6.	JVPA-6S: Junction, 216006		1	
7.	JVPA-5S: Junction, 216005		2	
8.	JV-3 Junctions for MG valve 1 Ports,206471		1	
9.	JV-7S Junctions for MG valve 5 Ports,206475		1	
10.	Pressure Gauge, PB,24.5MPa(250kg),109147		1	
11.	Elbow ConnectorRc1/8R1/8,106105		1	
12.	Elbow AdapterM8x14mm 106076		3	
13.	Straight Adaptor SAG4-6B (M6x0.75) for End point (Guide),106366		13	
14.	Straight Connectors2-R1/8(SCR),106151		2	
15.	CB-4(8), Compression Bushing4mm M8x1, HEX8,106253		16	
16.	CS-4, Compression Sleeve4mm., 106254		16	
17.	Adapter Assemblies6mm., for Copper Tubing.250111		7	

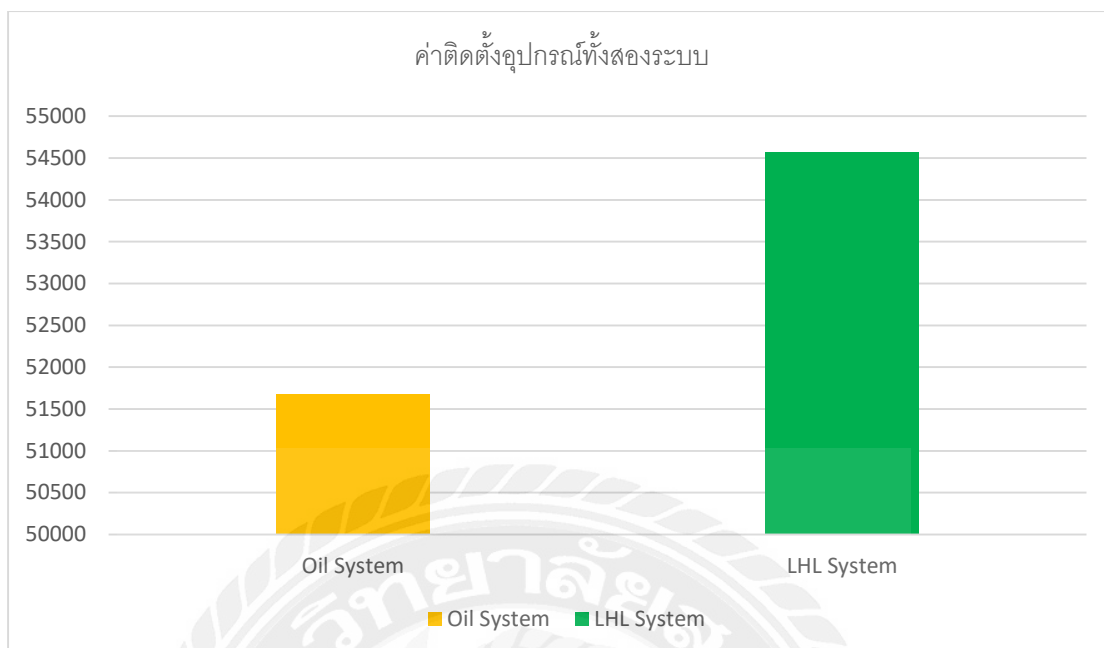
18.	Adapter Assemblies 6mm., for Steel Tubing, 250113		1	
19.	Flexible Hose for High Pressure., 403010		12	
20.	Hose Sleeve, 403001		8	
21.	Hose Stud, 403002		8	
22.	Nylon Tubing 4 mm., 106801		6	
23.	Plug, 540170		3	
24.	PC-4-1, Tube Clips, 106301		18	
25.	Basket (เล็ก 3, ใหญ่ 1)		1	
26.	สายไฟ(PVC CONTROL CABLE 0.5mm 600V ROHS)		4	
27.	เคเบิลไทร์		1	
28.	ตู้คอนโทรล		1	
29.	ค่าแรงติดตั้ง		1	
		ราคาสูทธิไม่รวมภาษี		51,000.00
		ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7%		3,570.00
		ราคารวมทั้งสิ้น		54,570.00

4.3.1.2 ค่าใช้จ่ายการต้นทุนการติดตั้งระบบหล่อลื่นน้ำมันอัตโนมัติ

การติดตั้งระบบหล่อลื่นน้ำมันอัตโนมัติจะมีข้อมูลรายการและค่าใช้จ่ายตามตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 ตารางแสดงรายละเอียดและการต้นทุนการติดตั้งระบบหล่อลื่นน้ำมันอัตโนมัติ

Item.	Description.	Price per unit.	QTY.	Total Amount.
	Oil SYSTEM			
	INSTALLATION OIL SYSTEM	48,300.00	1	48,300.00
1.	OIL MODEL : AMO		1	
2.	PV-5 Junction for MO Valve 5 Ports		3	
3.	MO-5, MO Valve		5	
4.	MO-10, MO Valve		10	
5.	Steel Tubing4mm. (1 line=2m.)		20m	
6.	Steel Tubing4mm. (1 line=2m.)		4 m	
7.	Elbow Adaper4mm., M8x1, R1/8		15	
8.	CB-4(10), Compression Bushing4mm.		40	
9.	CB-4, Compression Sleeve4mm.		40	
10.	CB-6, Compression Bushing6mm.		10	
11.	CS-6, Compression Sleeve6mm.		10	
12.	F-3D, Filter, M10		1	
13.	Pressure Gauge PB,0-3.5MPa(35kg), R1/8		1	
14.	PV-1, Junctions for MO Valve		1	
15.	PJ-6-3, Junction for 6mm./8mm.		2	
16.	PC-4-2, Tube Clips		10	
17.	PC-4-3, Tube Clips		10	
18.	PC-6-1, Tube Clips		10	
19.	PC-4-4, Tube Clips		10	
	ราคาสุทธิไม่รวมภาษี			48,300.00
	ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7%			3,381.00
	ราคารวมทั้งสิ้น			51,681.00



รูปที่ 4.28 เปรียบเทียบค่าติดตั้งอุปกรณ์ทั้งสองระบบ

จากตารางค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบหล่อลื่นทั้งสองระบบ จะเห็นได้ว่า ระบบหล่อลื่นน้ำมันอัตโนมัติมีค่าใช้จ่ายในต้นทุนการติดตั้ง น้อยกว่าแบบระบบหล่อลื่นจากระบบอัตโนมัติ ไม่ต่างกันมาก แต่ผลลัพธ์ที่ได้คือ ระบบหล่อลื่นจากระบบอัตโนมัติสามารถลดค่าใช้จ่ายสำหรับการบำรุงรักษาและลดค่าใช้จ่ายของสารหล่อลื่น สารหล่อเย็น ได้มากกว่าระบบหล่อลื่นน้ำมันอัตโนมัติ จึงสรุปได้ว่าระบบหล่อลื่นจากระบบอัตโนมัติเหมาะสมแก่การติดตั้งแทนระบบแบบเดิม

เมื่อได้ทำการศึกษาและเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องของระบบการหล่อลื่นทั้ง 2 แบบคือ ระบบหล่อลื่นน้ำมันอัตโนมัติ กับ ระบบหล่อลื่นจากระบบอัตโนมัติ ครบทั้งหมดแล้ว ลำดับถัดไปทางผู้วิจัย จะดำเนินการคำนวณเรื่องประโยชน์ต่างๆที่จะได้รับจากการติดตั้งระบบการหล่อลื่นจากระบบอัตโนมัติแบบใหม่มาทดแทนระบบเดิม และวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนโดยการหาอัตราผลตอบแทนภายในและระยะเวลาคืนทุนในบทความต่อไป

ลื่นแบบน้ำมันอัตโนมัติ มาเป็นระบบการหล่อลื่นแบบจาระบีอัตโนมัติ โดยผู้วิจัยได้เปลี่ยนอุปกรณ์ติดตั้งใหม่ทั้งหมด โดยจะเหมือนกันแต่อย่างเดียวนั้นคือขนาดของวาล์ว ซึ่งอุปกรณ์ที่ติดตั้งเพิ่มตามรูปที่ 5.1 หรืออยู่ในบทที่ 4 หัวข้อการพัฒนาปรับปรุงระบบหล่อลื่นจากระบบหล่อลื่นน้ำมันอัตโนมัติเป็นระบบหล่อลื่นจาระบีอัตโนมัติ ที่กล่าวมาข้างต้น แล้วหลังจากได้ติดตั้งแล้วเสร็จ ก็ได้ทำงานทดสอบตรวจสอบอีกรอบซึ่งจะอยู่ในบทที่ 4 หัวข้อ Replacement Check Sheet. ซึ่งทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายต้นทุนในส่วนของน้ำมันหล่อลื่น และน้ำยาหล่อเย็นลงหากดำเนินการติดตั้งระบบการหล่อลื่นแบบใหม่เข้าไปแทนแบบเดิม ซึ่งในลำดับถัดไป ผู้วิจัยจะอธิบายสรุปผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบเชิงเทคนิคและทางเชิงเศรษฐศาสตร์

5.1.2 สรุปผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบ

5.1.2.1 สรุปผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบเชิงเทคนิค

5.1.2.1.1 รายละเอียดการดูแลรักษาเครื่องกัด CNC ที่ใช้ระบบหล่อจาระบีอัตโนมัติ เปรียบเทียบกับการระบบหล่อลื่นน้ำมันอัตโนมัติแบบเดิม

การดูแลรักษาเครื่องกัด CNC และอุปกรณ์ที่ใช้ระบบหล่อลื่นจาระบีอัตโนมัติ เปรียบเทียบกับเครื่องกัด CNC และอุปกรณ์ที่ใช้ระบบหล่อลื่นน้ำมันอัตโนมัติ จะพบว่าเวลาที่ใช้ในการดูแลรักษาระบบหล่อลื่นจาระบีอัตโนมัติมีขั้นตอนในการ บำรุงรักษาที่น้อยกว่า ดังแสดงในตารางที่ 5-1 ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงเปรียบเทียบงานบำรุงรักษาที่ต้องทำของทั้ง 2 ระบบ

งานที่ต้องดำเนินการ	ระบบหล่อลื่นน้ำมัน อัตโนมัติ ระบบเดิม	ระบบหล่อลื่นจาระบี อัตโนมัติ ระบบใหม่
จำนวนครั้งที่เติมสารหล่อลื่น	13 ครั้ง/ปี	5 ครั้ง/ปี
เปลี่ยนกรองน้ำมัน/ปี	Yes	No
จำนวนครั้งเปลี่ยนน้ำยาหล่อเย็น	1 ครั้ง/ปี	1 ครั้ง/ 2 ปี
เติมน้ำยาปรับสภาพ	2 ครั้ง/ปี	1 ครั้ง/ปี
เปลี่ยนแผ่นกรองน้ำยาหล่อเย็น	3 ครั้ง/ปี	1 ครั้ง/ปี
เปลี่ยนเครื่องมือตัด (Reamers)	2 ครั้ง/ปี	1 ครั้ง/ปี

ระบบหล่อลื่นจาระบีอัตโนมัติ เป็นระบบที่ถูกพัฒนาให้ง่ายกับผู้ใช้งานทั้ง Operator และ Maintenance การดูแลรักษาประจำวันใช้เวลาตรวจเช็คระบบหล่อลื่นจาระบีอัตโนมัติและน้ำยาหล่อเย็น Coolant ทั้งหมดน้อยกว่า 30 นาที ใน 1 วัน รายละเอียดงานที่ต้องตรวจสอบระบบหล่อลื่นจาระบีอัตโนมัติ แสดงในตารางที่ 5-2

ตารางที่ 5.2 ตารางแสดงเปรียบเทียบงานตรวจสอบที่ต้องทำของระบบหล่อลื่นจาระบีอัตโนมัติ

งานตรวจสอบที่ต้องดำเนินการ	Frequency
ตรวจเช็คระดับสารหล่อลื่น LHL และเช็คน้ำยาหล่อเย็น Coolant	ทุกวัน

5.1.2.1.2 สรุปค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงสำหรับระบบการหล่อลื่นจาระบีอัตโนมัติเทียบกับระบบการหล่อลื่นน้ำมันอัตโนมัติแบบเดิม โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมดทั้งแรงงานและค่าวัสดุในการเปลี่ยนระบบหล่อลื่นน้ำมันอัตโนมัติเป็นระบบหล่อลื่นจาระบีอัตโนมัติ ที่สามารถลดลงได้จากการนำระบบการหล่อลื่นแบบจาระบีอัตโนมัติมาใช้แทนระบบหล่อลื่นแบบเดิมในระยะเวลา 1 ปี จะลดลงได้เท่ากับ 31,143 บาทต่อ 1 เครื่อง Cost Saving ต่อปีจากการเปลี่ยนระบบหล่อลื่นมาใช้ระบบหล่อลื่นจาระบีอัตโนมัติ

= 31,143 บาท

2. สามารถยืดระยะเวลาในการเปลี่ยนแผ่นกรองน้ำยาหล่อเย็นจะเปลี่ยนทุก 1 ปี เมื่อใช้น้ำมันหล่อลื่น ซึ่งเปลี่ยนเป็นทุกๆ 3 ปี เมื่อใช้ระบบหล่อลื่นจาระบีอัตโนมัติ ซึ่งเมื่อใช้ระบบหล่อลื่นจาระบีอัตโนมัติ ตัวจาระบีจะถูกแยกออกจากน้ำยาหล่อเย็น ซึ่งส่งผลให้น้ำยาหล่อเย็นมีอายุการใช้งานที่ยาวนานมากขึ้น และ อายุของ Cutting tool จะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าเนื่องจากน้ำยาหล่อเย็นมีอายุการใช้งานเพิ่มมากขึ้น

3. สามารถลดโอกาสของการเสียหายของเครื่องกัด CNC ลงได้ ก็จะส่งผลโดยตรงให้สามารถลดจำนวนที่ชั่วโมงรวมที่เครื่องกัด CNC เสียหาย ไม่สามารถใช้งานเครื่องกัด CNC ได้

5.1.2.2 สรุปผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบเชิงเศรษฐศาสตร์

วิเคราะห์ผลด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมจากการทำกรณีศึกษา

5.1.2.2.1 การหาระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)

สมการในการหา Payback Period $\sum_{t=1}^m Rt \geq Co$ (5-3)

เงินลงทุนเริ่มต้นในการติดตั้งระบบหล่อลื่นจาระบีอัตโนมัติ = 51,000 บาท

Co = 51,000 บาท

1. Cost Saving ต่อปีของค่าต้นทุนและค่าใช้จ่ายต่างๆ = 31,143 บาท

ค่าใช้จ่ายที่สามารถลดลงได้จากการนำเอาระบบหล่อลื่นจาระบีอัตโนมัติมาใช้งานในระยะเวลา 1 ปี = 31,064 บาท

$$\begin{aligned} \sum_{t=1}^2 Rt \geq Co &= 31,143 \times 2 \\ &= 62,286 > Co \end{aligned}$$

ระยะเวลาคืนทุนภายในระยะเวลา (Payback Period) = 5 ปี

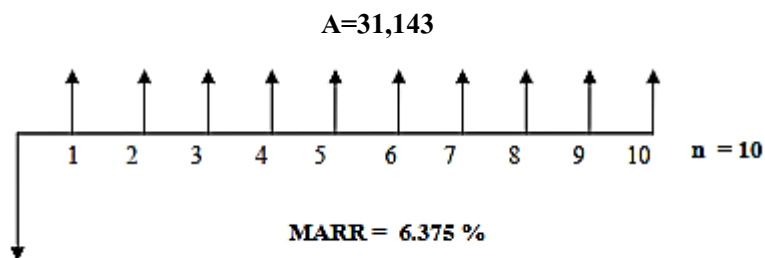
ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) = 51,000/31,143 = 1.6 ปี

ดังนั้นระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) จากการนำเอาระบบหล่อลื่นจาระบีอัตโนมัติ เข้ามาใช้งานแทนระบบการหล่อลื่นแบบเดิมเท่ากับ 1.6 ปี

5.1.2.2.2 การหาอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR)

เงินลงทุนเริ่มต้นในการติดตั้งระบบการหล่อลื่นแบบจาระบีอัตโนมัติ = 51,000 บาท

Co = 51,000 บาท



P = - 51,000

$$\sum_{t=0}^n Ft(1 + i)^{-t}$$

พิจารณากำหนดให้อายุของโครงการมาตรฐานการคิดอายุอุปกรณ์เครื่องจักรกลของ
โรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์เท่ากับ 10 ปี ($n = 10$)

คำนวณมูลค่าเทียบเท่าปัจจุบัน (PW) โดยการหาค่าอัตราดอกเบี้ย $i\%$ ที่ทำให้ค่าของ PW
มีค่าเท่ากับ 0 จะได้ดังนี้

$$NPW = -51,000 + 31,143 (P/A, i\%, 10) = 0$$

$$(P/A, i\%, 10) = 51,000 / 31,143$$

$$(P/A, i\%, 10) = 1.64$$

ทำการคำนวณหาค่า Factor ($P/A, i\%, 10$) จากตารางดอกเบี้ยทบต้นที่มีค่าเท่ากับ 1.64 โดย
ค่าของ $i\%$ ที่ได้จะเท่ากับค่า IRR

จากตารางดอกเบี้ยทบต้นค่าของ ($P/A, i\%, 10$) ที่มีค่าใกล้เคียงกับ 1.64 และทำให้ค่า PW
ได้เท่ากับ 0 อยู่ในช่วงระหว่างอัตราดอกเบี้ย 41.73 %

ทำการ Interpolate หาค่า $i\%$ ที่มีค่า $P/A = 1.64$ จะได้ค่า $i\%$ เท่ากับ 41.73% ที่จะทำให้ค่า
ของ ($P/A, i\%, 10$) = 1.64

ดังนั้นสามารถสรุปค่าของ IRR ได้เท่ากับ 41.73%

เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่า MARR (Minimum Attractive Rate of Return) ของ
โรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ตัวอย่างที่มีค่าเท่ากับ 6.375 % สามารถทำการสรุปได้ว่า

$$IRR = 41.73\% > MARR = 6.375\%$$

ดังนั้นโครงการนำเอาระบบหล่อลื่นจาระบีอัตโนมัติมาใช้แทนระบบการหล่อลื่นแบบ
น้ำมันอัตโนมัติ สามารถสรุปได้ว่ามีความคุ้มค่าและเหมาะสมในการลงทุนเนื่องจากมีค่า IRR
มากกว่า MARR

5.1.2.2.3 สรุปเปรียบเทียบต้นทุนการใช้งานของระบบหล่อลื่นจาระบี
อัตโนมัติกับระบบหล่อลื่นน้ำมันอัตโนมัติ

ตารางที่ 5.3 ตารางเปรียบเทียบต้นทุนการทำงานของเครื่องกัด CNC

365 วัน / 24 ชม.	FANUC ROBODRILL α - D21MIB	ระบบหล่อลื่นจากระบบ อัตโนมัติ
ระบบหล่อลื่น	Oil/PDI System	LHL System
จำนวนจุดหล่อลื่น	15	15
สารหล่อลื่น	น้ำมันหล่อลื่น #68	LHL-300
ชนิดของน้ำหล่อเย็น	Water-Soluble.	
ปริมาณการใช้สารหล่อลื่น/ ครั้ง (0.05x12)และ(0.1x3)	0.9 ml หรือ 0.9cc	0.9 ml หรือ 0.9cc
เวลาในการฉีด	15 seconds.	60 seconds.
เวลาในการหยุด	16 minutes.	300 minutes.
จำนวนการจ่าย ครั้ง / วัน	89 times/day	5 times/day
ประมาณสารหล่อลื่น / ปี	38.81 liter/year.	3.14 liter/year.
ความจุ	3,000 ml หรือ 3,000 cc	700 ml หรือ 700 cc
ราคาสารหล่อลื่น / ปี	4,022 บาท	4,485 บาท
จำนวนครั้งที่เติม	12.94 times/year	4.5 times/year
เวลาในการเติม / ครั้ง	10 minutes.	1 minutes.
เวลาในการเติม / ปี	129 minutes.	4 minutes.
ค่าใช้จ่ายในการเติม	3,351 บาท	117 บาท
ค่าเปลี่ยนกรองน้ำมัน / ปี	888 บาท	-
ค่าเปลี่ยนน้ำยาหล่อเย็น 80 ลิตร/ปี	1,599 บาท / ปี	800 บาท / 2 ปี
เติมน้ำยาปรับสภาพ	4 ลิตร/ เดือน	2 ลิตร/ เดือน
ค่าเติมน้ำยาปรับสภาพ/ปี	8,792 บาท / ปี	4,356 บาท / ปี
เปลี่ยนแผ่นกรองน้ำยาหล่อ เย็น	20,720 บาท / ปี	6,907 บาท / ปี
ค่าใช้จ่ายเครื่องมือตัด	16,872 บาท (2 reamers/year)	8,436 (1 reamers/year)
ค่าใช้จ่ายรวม ปี	56,244.00 บาท	25,101.00 บาท
ค่าใช้จ่ายที่ต่างกัน ปี		31,143.00 บาท

เมื่อพิจารณาในด้านของเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมแล้วพบว่าในการลงทุนเพื่อนำเอาระบบการหล่อขึ้นแบบใหม่มาใช้งานต้องลงทุนเป็นเงินเท่ากับ 51,000 บาท จะสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงต่อปีลงได้เท่ากับ 31,143 บาท เมื่อนำมาคำนวณทางด้านของเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมจะได้ค่าของอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) อยู่ที่ 41.73% ซึ่งมากกว่าค่าของอัตราผลตอบแทนต่ำสุด (MARR) ของบริษัทที่ 6.375 % โดยมีระยะเวลาก่อนทุน (Payback Period) อยู่ที่ 1.67 ปี โดยเกณฑ์ของโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ Kawasaki motors enterprise กำหนดค่าของ Payback Period ไว้ที่ภายในระยะเวลา 5 ปี ดังนั้นจึงสามารถสรุปผลได้ว่าระบบหล่อขึ้นจาระบีอัตโนมัติ ในเครื่องกัด CNC เป็นระบบที่มีความน่าสนใจในการลงทุนเป็นอย่างยิ่ง

5.2 การอภิปรายผล

จากผลการทำงานวิจัยการวิเคราะห์เปรียบเทียบเชิงเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ ระหว่างระบบหล่อขึ้นจาระบี อัตโนมัติ กับ ระบบหล่อขึ้นน้ำมัน อัตโนมัติ: กรณีศึกษาในเครื่องกัด CNC สำหรับโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ได้สอดคล้องกับงานวิจัยท่านอื่นดังนี้

5.2.1 วีระกาจ ดอกจันทร์ (2538) ได้ทำการวิจัยโรงงานอาหารสัตว์ได้สอดคล้อง เพื่อหาวิธีการพัฒนาระบบปั๊มไฮดรอลิกชนิดถังไดอะแฟรม เพื่อใช้ทดแทนปั๊มถังความดันที่ใช้อยู่เดิม การศึกษานี้ได้ครอบคลุมความเป็นไปได้ในการประหยัดพลังงาน โดยวิเคราะห์ ความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ โดยมีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานลดลง 23% ทำให้ค่าใช้จ่ายลดลงปีละ 37,508 บาท โดยมีจุดคุ้มทุนของการเพิ่มขึ้นนี้เท่ากับจำนวนล้างไก่ 20,345,489 ตัวหรือประมาณ 10 เดือน และอัตราผลตอบแทนภายในของเงินทุนเท่ากับ 116% ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย โดยสามารถลดค่าใช้จ่ายโดยการเปลี่ยนระบบหล่อขึ้นน้ำมันอัตโนมัติเป็นระบบจาระบีอัตโนมัติทำให้ลดค่าใช้จ่ายลงปีละ 31,143 บาทและได้ค่าของอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) อยู่ที่ 41.73%

5.2.2 กษิรัช สนธิเปล่งศรี (2555) ศึกษาเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพด้วยการลดอัตราการเสียหายของเครื่องฆ่าเชื้อของบริษัทฟริสแลนด์คัมพิน่า โดยการเปลี่ยนระบบควบคุมแรงดันระบบหล่อเย็นแบบอัตโนมัติ การปรับปรุงทำให้การเสียหายของเครื่องฆ่าเชื้อที่มีประวัติการเสียหายตั้งแต่เดือนมกราคม ถึงเดือนพฤศจิกายน 2555 มีอัตราเสียหายเฉลี่ยร้อยละ 1.45 ของเวลาการผลิต ลดลง

เหลือร้อยละ 0 ในเดือนธันวาคม 2555 และจากผลการศึกษานี้นำไปสร้างเชิงป้องกันของอุปกรณ์ควบคุมแรงดันระบบหล่อเย็น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย โดยการพัฒนาปรับปรุงประสิทธิภาพด้วยการเปลี่ยนระบบหล่อลื่นน้ำมันอัด โนมติเป็นระบบหล่อลื่นจาระบีอัด โนมติ ทำให้ลดอัตราการเสียหายของเครื่องกัด CNC เนื่องจากน้ำยาหล่อเย็นมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น ทำให้ไม่ต้องคอยเปลี่ยนน้ำยาหล่อเย็นบ่อยครั้ง ส่งผลให้ไม่ต้องหยุดการทำงานของเครื่องจักรด้วยเช่นกัน

5.3 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาหลักการทำงานและการดำเนินการติดตามข้อมูลต่างๆ ระหว่างระบบหล่อลื่นจาระบี อัด โนมติ กับ ระบบหล่อลื่นน้ำมัน อัด โนมติในเครื่องกัด CNC สำหรับโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ควรศึกษาเพิ่มเติมได้ดังนี้

1. ควรทำการศึกษาเปรียบเทียบระบบหล่อลื่นจาระบี อัด โนมติ กับ ระบบหล่อลื่นน้ำมัน อัด โนมติ ในโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ประเภทอื่นหลายๆที่ ที่มีอัตราการใช้เครื่องกัด CNC ที่แตกต่างกัน และนำผลมาสรูปรวมกันอีกครั้ง
2. ควรหาวิธีการพัฒนาการพัฒนาระบบหล่อลื่นจาระบีอัด โนมติ ให้สัมพันธ์กับการใช้น้ำมันหล่อลื่น เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

- กษิรัช สนธิเปล่งศรี.(2555). การปรับปรุงประสิทธิภาพการบำรุงรักษาเครื่องฆ่าเชื้อ กรณีศึกษา บริษัทพี สแตนดาร์ดคัมพิน่า. (การค้นคว้าอิสระ บท.ม.(บริหารธุรกิจ)). ปทุมธานี: บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- ชาติชาย อัครศักดิ์, พัทธาภรณ์ เนียมมณี. (2550). *เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม*. กรุงเทพฯ: ศูนย์ผลิตตำราเรียน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ถาวร สุทธิสัตยาทร. (2552). การศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมการสูญเสียจากปั๊มโดยการนำระบบการหล่อลื่นแบบ *Centralized Oil Mist Lubrication System* มาใช้งานฝน โรงกลั่นน้ำมันเชื้อเพลิง. (สารนิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- บริษัท เซ็นทรัล-ลูบ เทคโนโลยี จำกัด. (2558). *ประเภทของระบบหล่อลื่น*. เข้าถึงได้จาก <http://www.centrollube.co.th/2017/main/content.php.page=grid3&category=38/>
- วันชัย ริจิรวนิช. (2547). *เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วีระกาจ ดอกจันทร์. (2538). การวิเคราะห์เปรียบเทียบเชิงเศรษฐศาสตร์ระหว่างระบบบู๊สเตอร์ปั๊มชนิดถัง ไดอะแฟรมกับระบบปั๊มถึงความดัน: กรณีศึกษาโรงงานแปรรูปเนื้อสัตว์เพื่อการส่งออก. (สารนิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). หนองคาย: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ สถาบันการอาชีวศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ.
- สุพร อัสวินนิมิตร, ชีรพร พัดภู. (2548). *วิศวกรรมบำรุงรักษา (Maintenance Engineering)*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุรพล ราษฎร์นุ้ย. (2550). *ฐานข้อมูลสภาพสารหล่อลื่นของเครื่องจักรกลหนักในประเทศไทยเพื่อการวินิจฉัยสาเหตุขัดข้องโดยการประยุกต์ใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญ*. (รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ นาย กัมภ์เอนก บุญอินทร์

วัน เดือน ปี เกิด 04 ตุลาคม 2539

ที่อยู่ 79/236 หมู่ 5 ตำบลบางใหญ่ อำเภอบางใหญ่ จังหวัดนนทบุรี 11140

ประวัติการศึกษา สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สาขาวิชา วิศวกรรมยานยนต์
มหาวิทยาลัยสยาม ปีการศึกษา 2562

ประวัติการทำงาน บริษัท โซติจินดา คอนซัลแตนท์ จำกัด
ตำแหน่ง วิศวกรเครื่องกล

