



# การศึกษาการใช้น้ำมันปาล์มแทนน้ำมันไฮดรอลิก

## STUDY ON USING PALM OLEIN AS AN ALTERNATIVE HYDRAULIC FLUID



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
ปีการศึกษา 2556

การศึกษาการใช้น้ำมันปาล์มแทนน้ำมันไฮดรอลิก

STUDY ON USING PALM OLEIN AS AN ALTERNATIVE HYDRAULIC FLUID



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อปีการศึกษา 2556 ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# STUDY ON USING PALM OLEIN AS AN ALTERNATIVE HYDRAULIC FLUID



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2013

ปริญญาโทปีการศึกษา 2556

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาการใช้น้ำมันปาล์มแทนน้ำมันไฮดรอลิก

STUDY ON USING PALM OLEIN AS AN ALTERNATIVE HYDRAULIC FLUID

ผู้จัดทำ

1. นายกฤษฎาพงษ์ มิ่งเชื้อ รหัสประจำตัว 53010057
2. นายเฉลิมพล โพธิ์สี รหัสประจำตัว 53010277
3. นายทักษ์ดนัย เทพสาธิต รหัสประจำตัว 53010581

 ..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผศ.ดร.อนันต์ พิณโสภณ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การศึกษาการใช้น้ำมันปาล์มแทนน้ำมันไฮดรอลิก

นายกฤษฎาพงษ์ มิ่งเชื้อ 53010057  
 นายเฉลิมพล โพธิ์สี 53010277  
 นายทักษ์คนัย เทพสง 53010581  
 ผศ.ดร.อนุนต์ พิณโสภณ อาจารย์ที่ปรึกษา  
 ปีการศึกษา 2556

## บทคัดย่อ

โครงการนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับสมรรถนะของปั๊มไฮดรอลิกเมื่อใช้น้ำมันปาล์มเป็นตัวกลางในการส่งถ่ายกำลังแทนน้ำมันไฮดรอลิกเบอร์ VG 46 โดยการทดสอบเทียบคุณภาพน้ำมันปาล์มกับน้ำมันไฮดรอลิกวัดค่าความหนืดและค่าความหนาแน่นตามมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก. 977-2551 น้ำมันไฮดรอลิก-พื้นฐานน้ำมันแร่) และทดสอบประสิทธิภาพปั๊มไฮดรอลิกตามชุดทดลองที่สร้างขึ้นตามมาตรฐาน ISO 4409 Hydraulic Fluid Power เมื่อใช้น้ำมันปาล์มเปรียบเทียบกับน้ำมันไฮดรอลิกเบอร์ VG 46 ที่สภาวะต่างกันสองสภาวะ สภาวะแรกคือที่ความดันต่างกันซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0-120 บาร์ ที่อุณหภูมิคงที่ 40°C โดยทำการศึกษาที่ความเร็วรอบต่างกันของปั๊มที่ 600, 1000, 1400 รอบ/นาที และสภาวะที่สองคือศึกษาในช่วงอุณหภูมิ 40-70°C ที่ความดันคงที่ 60 บาร์ ในการทดสอบทั้งสองสภาวะนี้เพื่อมาศึกษาผลกระทบต่อสมรรถนะของปั๊มไฮดรอลิกประสิทธิภาพรวม, กำลังที่ใช้, กำลังที่ได้ และอัตราการไหลเชิงปริมาตร ผลจากสภาวะแรกความดันต่างกันซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0-120 บาร์ ที่อุณหภูมิคงที่ 40°C นั้นทั้งน้ำมันไฮดรอลิกและน้ำมันปาล์มมีค่าสมรรถนะของปั๊มไฮดรอลิกประสิทธิภาพรวม, กำลังที่ใช้, กำลังที่ได้และอัตราการไหลเชิงปริมาตรใกล้เคียงกันมาก อีกผลสรุปในการทดสอบอีกสภาวะหนึ่งคือช่วงอุณหภูมิ 40-70°C ที่ความดันคงที่ 60 บาร์ โดยที่ช่วงอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 55°C ความหนืดของน้ำมันไฮดรอลิกจะสูงกว่าน้ำมันปาล์ม โดยที่ช่วงอุณหภูมิ 55-70°C ความหนืดของน้ำมันไฮดรอลิกจะมีค่าต่ำกว่าน้ำมันปาล์ม ส่งผลให้น้ำมันปาล์มมีประสิทธิภาพรวม, กำลังที่ได้ และอัตราการไหลเชิงปริมาตรสูงกว่าน้ำมันไฮดรอลิก ในช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่า 55°C จากผลการทดสอบสรุปได้ว่าน้ำมันปาล์มสามารถใช้ทดแทนน้ำมันไฮดรอลิกได้

**คำหลัก:** น้ำมันปาล์ม, น้ำมันไฮดรอลิก, สมรรถนะ, ประสิทธิภาพ, อัตราการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## STUDY ON USING PLAM OIL AS AN ALTERNATIVE HYDRAULIC FLUID

Kridsadapong Mingchuea 53010057  
 Chalernpol Pholee 53010277  
 Thakdanai Tepsang 53010581  
 Asst.Prof.Dr.Unnat Pinsopon Advisor  
 Year 2013

**ABSTRACT**

This project study on the performance of the hydraulic pump when palm olein is used instead of the VG 46 hydraulic oil. The properties of palm olein and hydraulic oil were tested to obtain the viscosity and the density according to TIS 977-2551 (hydraulic oil based on mineral oil). The performance of the hydraulic pump was also tested by the hydraulic testing apparatus following ISO 4409 (Hydraulic Fluid Power) when using palm olein and hydraulic oil VG 46 at two different conditions. The first condition, the hydraulic pump was tested at the various pressures between 0-120 bar and the motor speeds of 600, 1000, and 1400 rev/min, all under a constant temperature of 40°C. The second condition, the hydraulic pump was tested at the temperature between 40-70°C and a constant pressure 60 bar. In both of this two conditions, we study on the impact of the performance of the hydraulic pump, the overall efficiency, input power, output power, and the volumetric flow rate. The first manifestation of the test under various pressures and at constant temperature 40°C illustrates that the performance of the hydraulic pump, overall efficiency, input power, output power and volumetric flow rate are very similar for both oils. The tests under various temperatures show that the overall efficiency, output power and volumetric flow rate of the conventional hydraulic oil are higher than those of palm olein at the temperature below 55 °C. However, at the temperature above 55 °C, all the performance index of hydraulic oil are lower than those of palm olein. This is because of the lower value of viscosity index of hydraulic oil compared with palm olein. It is confirmed from the study that palm olein could be used as an alternative hydraulic oil.

**Keywords:** palm olein, hydraulic oil, performance, efficiency, flow rate.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ก็เพราะด้วยความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ เสมอมาจาก ผศ.ดร.อุนนต์ พิณโสภณ ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่เอื้อเพื่อให้ยืมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการนี้ และขอบคุณพี่วีระพงษ์ จัทรบัวที่ให้ความช่วยเหลือด้านต่างๆในการทำโครงการนี้ไม่ว่าจะเป็นแนวทางหรือคำชี้แนะต่างๆจนทำให้โครงการเสร็จลุล่วงได้ด้วยดี

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักรยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา ในทุก ๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นายกฤษฎาพงษ์

นายเฉลิมพล

นายทักษ์ดนัย

มิ่งเชื้อ

โพธิ์ลี

เทพสา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูปภาพ	VIII
สารบัญกราฟ	IX
รายการสัญลักษณ์	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.4 ขอบเขตการศึกษา	2
1.5 วิธีการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ของไหลส่งกำลัง	4
2.2 ส่วนประกอบเบื้องต้นของระบบไฮดรอลิก	4
2.2.1 ถังเก็บน้ำมันไฮดรอลิก	4
2.2.2 ปัมป์ให้กำเนิดกำลังของไหล	5
2.2.3 มอเตอร์หรือต้นกำลังเพื่อขับปัมป์	5
2.2.4 วาล์วควบคุมทิศทาง, ความดัน, และอัตราการไหล	5
2.2.5 มอเตอร์ไฮดรอลิกหรือลูกสูบเพื่อให้กำลังทางกล	6
2.2.6 ระบบท่อและสายน้ำมันไฮดรอลิก	6
2.3 เกี่ยวกับน้ำมันปาล์ม	6
2.4 มาตรฐานของน้ำมันไฮดรอลิก	8
2.5 ลักษณะจำเพาะของน้ำมันไฮดรอลิก	9
2.5.1 ความหนาแน่น (Density)	9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่น การค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ จะถือว่าผิดกฎหมายและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.5.2 ค่าบัลค์โมดูลัส (Bulk Modulus)	9
2.5.3 ความหนืด (Viscosity)	10
2.5.4 ความหนืดสัมบูรณ์ (Absolute Viscosity)	10
2.5.5 ความหนืดไคเนมาติก (Kinematic Viscosity)	11
2.5.6 ความหนืดไคเนมาติกกับอุณหภูมิ (Kinematic Viscosity and Temperature)	11
2.5.7 ดัชนีความหนืด (Viscosity Index)	13
2.6 พลังงานและกำลังในระบบไฮดรอลิก	14
2.6.1 กำลังเชิงกล (Mechanical Power)	14
2.6.2 สมการความต่อเนื่องใช้กับอัตราการไหลเชิงปริมาตร (Volume Flow Rate)	15
2.6.3 กำลังของระบบไฮดรอลิก (Hydraulic Power)	15
2.7 ทฤษฎีของปั๊มไฮดรอลิก	16
2.7.1 เกียร์ปั๊ม (Gear Pump)	17
2.8 สมรรถนะของปั๊ม (Pump Performance)	18
2.8.1 ประสิทธิภาพของปั๊ม (Pump Efficiencies)	18
2.8.2 กราฟสมรรถนะของปั๊ม (Pump Performance Curves)	19
บทที่ 3 อุปกรณ์การทดลองและวิธีการทดลอง	21
3.1 อุปกรณ์การทดลอง	21
3.1.1 อุปกรณ์ชุดต้นกำลัง	21
3.1.2) อุปกรณ์วัดอัตราการไหล	22
3.1.3) เพสเซอร์ทรานสดิวเซอร์	23
3.1.4) เครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้า	23
3.1.5) วาล์วควบคุมการไหล	24
3.1.6) อินเวอร์เตอร์	24
3.1.7) น้ำมันไฮดรอลิกและน้ำมันปาล์มที่ใช้ทดสอบ	25
3.1.8) ภาพรวมของระบบทดสอบ	25
3.2 การทดสอบ	26
3.2.1 วิธีการทดสอบคุณสมบัติของน้ำมัน	26
3.2.2 วิธีการทดสอบหาประสิทธิภาพของไฮดรอลิกปั๊ม	27
บทที่ 4 ผลการทดลอง	29
4.1 การทดสอบคุณสมบัติของน้ำมันปาล์มและน้ำมันไฮดรอลิก	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 3.2.2 วิธีการทดสอบหาประสิทธิภาพของไฮดรอลิกปั๊ม อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ 27 ในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ขอสงวนสิทธิ์ในสิ่งที่ปรากฏและไม่ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำ 29 ใช้

## สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.2 การทดสอบน้ำมันไฮดรอลิก VG 46 และน้ำมันปาล์มที่สภาวะความดัน 0-120 bar อุณหภูมิคงที่ 40°C โดยทำการศึกษาที่ความเร็วรอบต่างกันของปั๊มที่ 600, 1000 และ 1400 รอบ/นาที	31
4.3 การทดสอบน้ำมันไฮดรอลิกและน้ำมันปาล์มที่สภาวะอุณหภูมิ 40-70 °C ความดันคงที่ 60 bar	34
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	38
5.1 สรุปผลการทดสอบ	38
5.1.1 สรุปผลการทดสอบน้ำมันไฮดรอลิก VG 46 และน้ำมันปาล์มที่สภาวะความดัน 0-120 bar อุณหภูมิคงที่ 40°C โดยทำการศึกษาที่ความเร็วรอบต่างกันของปั๊มที่ 600, 1000 และ 1400 รอบ/นาที	38
5.1.2) สรุปผลการทดสอบน้ำมันไฮดรอลิกและน้ำมันปาล์มที่สภาวะอุณหภูมิ 40-70 °C ความดันคงที่ 60 bar	39
5.1.3) ข้อเสนอแนะ	39
เอกสารอ้างอิง	40
ภาคผนวก	41
ภาคผนวก ก	42
ภาคผนวก ข	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติของน้ำมันปาล์มและน้ำมันไฮดรอลิก	29
4.2 แสดงผลการทดสอบน้ำมันไฮดรอลิก VG 46 และน้ำมันปาล์มที่สภาวะความดัน 0-120 bar อุณหภูมิคงที่ 40°C โดยทำการศึกษาที่ความเร็วรอบต่างกันของปั๊มที่ 600, 1000 และ 1400รอบ/นาที	31
4.3 แสดงผลการทดสอบน้ำมันไฮดรอลิกและน้ำมันปาล์มที่สภาวะอุณหภูมิ 40-70 °C ความดันคงที่ 60 bar	34
1.ก การทดสอบที่สภาวะความดันเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิคงที่ครั้งที่ 1	42
2.ก การทดสอบที่สภาวะความดันเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิคงที่ครั้งที่ 2	44
3.ก การทดสอบที่สภาวะความดันเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิคงที่ครั้งที่ 3	46
4.ก การทดสอบที่สภาวะความดันเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิคงที่ครั้งที่ 4	48
5.ก การทดสอบที่สภาวะความดันเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิคงที่ครั้งที่ 5	50
1.ข การทดสอบที่สภาวะอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงความดันคงที่ครั้งที่ 1	52
2.ข การทดสอบที่สภาวะอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงความดันคงที่ครั้งที่ 2	52
3.ข การทดสอบที่สภาวะอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงความดันคงที่ครั้งที่ 3	53
4.ข การทดสอบที่สภาวะอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงความดันคงที่ครั้งที่ 4	53
5.ข การทดสอบที่สภาวะอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงความดันคงที่ครั้งที่ 5	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ

ตารางที่	หน้า
2.1 วงจรเบื้องต้นสำหรับการใช้งานไฮดรอลิก	6
2.2 ภาพแสดงแผนภาพความเร็วระหว่างแผ่นเรียบขนานสองแผ่น	11
2.3 ภาพแสดงการหาดัชนีความหนืด	13
2.4 แผนภาพในระบบไฮดรอลิกแสดงพลังงานเข้าและพลังงานออกจากระบบ	14
2.5 แผนภาพการเปลี่ยนแปลงพลังงานในระบบไฮดรอลิกจากพลังงานไฟฟ้าไปสู่พลังงานทางกล	16
2.6 ภาพปั๊มลูกสูบอธิบายหลักการพื้นฐานการปัมน้ำมัน	17
2.7 ภาพแสดงการขับเคลื่อนในเกียร์ปั๊ม	17
3.1 มอเตอร์	21
3.2 ปั๊มไฮดรอลิกชนิดเกียร์ปั๊ม	22
3.3 เครื่องวัดอัตราการไหล	22
3.4 เซนเซอร์ทรานสดิวเซอร์	23
3.5 เครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้า	23
3.6 วาล์วควบคุมอัตราการไหล	24
3.7 อินเวอร์เตอร์	24
3.8 ซ้ายน้ำมันไฮดรอลิก และกลาง, ขวาน้ำมันปาล์มที่ใช้ทดสอบ	25
3.9 ชุดทดสอบสมรรถนะน้ำมันปาล์มและประสิทธิภาพของปั๊มไฮดรอลิก	25
3.10 วงจรทดสอบสมรรถนะน้ำมันปาล์มและประสิทธิภาพของปั๊มไฮดรอลิก	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญกราฟ

กราฟที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดโคเนมาติกกับอุณหภูมิ	12
2.2 กราฟแสดงสมรรถนะของปั๊มลูกสูบ	20
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดโคเนมาติกกับอุณหภูมิ	30
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพรวมกับความดันที่อุณหภูมิคงที่ 40°C	32
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับความดันที่อุณหภูมิคงที่ 40°C	32
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังที่ได้จากปั๊มกับความดันที่อุณหภูมิคงที่ 40°C	33
4.5 กราฟแสดงสมรรถนะปั๊มกับความดันที่อุณหภูมิคงที่ 40°C	33
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพรวมกับอุณหภูมิที่ความดันคงที่ 60 bar	34
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับอุณหภูมิที่ความดันคงที่ 60 bar	35
4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังที่ได้จากปั๊มกับอุณหภูมิที่ความดันคงที่ 60 bar	36
4.9 กราฟแสดงสมรรถนะของปั๊มกับอุณหภูมิที่ความดันคงที่ 60 bar	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## รายการสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ชื่อ/ความหมาย
$\rho$	ความหนาแน่น ( $\text{kg/m}^3$ )
$m$	มวล ( $\text{kg}$ )
$V$	ปริมาตร ( $\text{m}^3$ )
$\beta$	บัลค์โมดูลัส ( $\text{kPa}$ )
$\Delta p$	การเปลี่ยนแปลงความดัน ( $\text{kPa}$ )
$\Delta V$	การเปลี่ยนแปลงปริมาตร ( $\text{m}^3$ )
$\mu$	ความหนืดสมบูรณ์ ( $\text{kg}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ )
$\tau$	ความเค้นเฉือนของของไหลในรูปของแรงต่อพื้นที่หน้าตัด ( $\text{N}/\text{m}^2$ )
$v$	ความเร็วแผ่นเรียบเคลื่อนที่ ( $\text{m}/\text{s}$ )
$y$	ความหนาของชั้นแผ่นฟิล์มน้ำมัน ( $\text{m}$ )
$\nu$	ความหนืดไคเนมาติก ( $\text{cm}^2/\text{s}$ or $\text{cSt}$ )
$T$	อุณหภูมิ ( $^{\circ}\text{K}$ )
$VI$	ดัชนีความหนืด (Viscosity Index)
$L$	ค่าความหนืดของดัชนี 0 ที่ $40^{\circ}\text{C}$
$U$	ค่าความหนืดของน้ำมันที่ทดสอบ ที่ $100^{\circ}\text{C}$
$H$	ค่าความหนืดของดัชนี 100 ที่ $40^{\circ}\text{C}$
$F$	แรง ( $\text{N}$ )
$T_A$	แรงบิดจริง ( $\text{N}\cdot\text{m}$ )
$\omega$	ความเร็วเชิงมุม ( $\text{rad}/\text{s}$ )
$N$	ความเร็วรอบ ( $\text{rps}$ )
$Q$	อัตราการไหลเชิงปริมาตร ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
$A$	พื้นที่หน้าตัดของท่อ ( $\text{m}^2$ )
$p$	ความดัน ( $\text{Pa}$ )
$Q_T$	อัตราการไหลเชิงทฤษฎี ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
$V_D$	ปริมาตรความจุของเกียร์บีม ( $\text{m}^3/\text{rev}$ )
$\eta_v$	ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร
$\eta_m$	ประสิทธิภาพเชิงกล
$\eta_o$	ประสิทธิภาพรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมมีการใช้ระบบไฮดรอลิกกันอย่างกว้างขวางเนื่องจากความง่ายต่อการควบคุมไม่ว่าจะเป็นในส่วนของการผลิต การขึ้นรูปชิ้นงาน การประกอบ อุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะมีระบบไฮดรอลิกเป็นระบบส่งกำลังอย่างหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ในระบบไฮดรอลิกนั้นส่งกำลังได้ทั้งในเชิงเส้น (กระบอกสูบส่งกำลัง) และเชิงมุม (มอเตอร์ไฮดรอลิก) และอีกมากมายในระบบต่างๆ ซึ่งตัวแปรที่สำคัญที่จะบอกวาระบบไฮดรอลิกทำงานได้ดีหรือไม่นั้นคือของเหลวที่ใช้ส่งกำลัง “น้ำมันไฮดรอลิก”

น้ำมันไฮดรอลิกเป็นตัวกลางในการส่งกำลังทำให้เกิดการเคลื่อนไหวหรือเคลื่อนที่ในรูปแบบต่างๆและน้ำมันไฮดรอลิกในปัจจุบันมาจากการกลั่นน้ำมันดิบจากธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการต่างๆโดยมีอยู่อย่างจำกัด ซึ่งสวนทางกับความต้องการของโรงงานอุตสาหกรรมที่มีความต้องการสูงมากขึ้นรวมทั้งปัจจุบันราคาน้ำมันไฮดรอลิกต่อถังมีราคาค่อนข้างสูง จึงคิดว่าถ้ามีน้ำมันทดแทนจากพืชต้นทุนการผลิตราคาถูกและสามารถผลิตใช้ได้เองภายในประเทศมาใช้ในระบบไฮดรอลิก โรงงานอุตสาหกรรมก็จะสามารถลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ได้

เนื่องจากทางภาคใต้ของประเทศไทยนั้นสามารถเพาะปลูกต้นปาล์มได้เอง ทำให้สามารถผลิตน้ำมันปาล์มขึ้นมาใช้ได้เองภายในประเทศ ซึ่งถือว่ามีปริมาณการผลิตสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันจากพืชชนิดอื่นที่ผลิตได้ภายในประเทศ ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาสมรรถนะของระบบไฮดรอลิกเมื่อใช้น้ำมันปาล์มซึ่งหาได้ง่ายในประเทศไทยนำมาทดแทนน้ำมันไฮดรอลิก โดยการทดลองจะทำให้ทราบได้ว่าน้ำมันปาล์มมีคุณสมบัติเหมาะสมหรือไม่ที่จะนำมาแทนน้ำมันไฮดรอลิก

### 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อทดสอบค่าคุณสมบัติของของน้ำมันปาล์ม (Palm Olein) กับน้ำมันไฮดรอลิก (Hydraulic Oil VG 46) ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมน้ำมันไฮดรอลิก ( มอก.977-2551 น้ำมันไฮดรอลิก-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส พื้นฐานน้ำมันแร่ ) [7]งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. สร้างชุดทดสอบทางด้านสมรรถนะของระบบไฮดรอลิกตามมาตรฐาน ( ISO 4409 Hydraulic Fluid Power Pump Test – Open Circuit Test ) [3]
3. เพื่อศึกษาสมรรถนะของน้ำมันปาล์ม (Palm Olein) เปรียบเทียบกับน้ำมันไฮดรอลิก VG 46 (Hydraulic Oil VG 46) เมื่อนำมาใช้เป็นตัวกลางเพื่อการส่งถ่ายกำลังในระบบไฮดรอลิก

### 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงค่าคุณสมบัติของน้ำมันปาล์ม (Palm Olein) กับน้ำมันไฮดรอลิก (Hydraulic Oil VG 46)
2. มีความรู้และความเข้าใจในระบบไฮดรอลิก หลักการทำงาน หลักการการทดสอบตามมาตรฐาน ISO 4409
3. ทราบถึงผลกระทบต่อสมรรถนะไฮดรอลิกเมื่อใช้น้ำมันปาล์มเป็นตัวกลางส่งถ่ายกำลังแทนน้ำมันไฮดรอลิก

### 1.4 ขอบเขตการศึกษา

1. เลือกทดสอบค่าคุณสมบัติของทั้งสองน้ำมัน โดยมีค่าความหนืดที่ 40 องศาเซลเซียส และ 100 องศาเซลเซียส ค่าดัชนีความหนืด ค่าความหนาแน่นที่ 15 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิ วาบไฟ
2. ทดสอบน้ำมันปาล์มเปรียบเทียบกับน้ำมันไฮดรอลิกเบอร์ VG 46 ที่สภาวะความดันเปลี่ยนแปลง 0-120 บาร์ ที่อุณหภูมิคงที่ 40 องศาเซลเซียส โดยทำการศึกษาที่ความเร็วรอบต่างกันของปั๊มที่ 600, 1000 และ 1400 รอบต่อนาที
3. ทดสอบน้ำมันปาล์มเปรียบเทียบกับน้ำมันไฮดรอลิกเบอร์ VG 46 สภาวะอุณหภูมิเปลี่ยนแปลง 40-70 องศาเซลเซียส ที่ความดันคงที่ 60 บาร์

### 1.5 วิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาและทำความเข้าใจทฤษฎีที่เกี่ยวข้องของหลักการทำงานในระบบไฮดรอลิก
2. ศึกษาหลักการการทดสอบปั๊มไฮดรอลิกตามมาตรฐาน ISO 4409

3. ปรีกษาอาจารย์เกี่ยวกับแนวทางการดำเนินการทดสอบน้ำมัน
4. ออกแบบชุดทดลองตามมาตรฐานโดยใช้อุปกรณ์บางตัวที่มีอยู่ และต้องซื้อเพิ่มใหม่
5. ติดตั้งอุปกรณ์และทดสอบเดินระบบ
6. ปรับปรุงแก้ไขชุดทดสอบ
7. เริ่มทำการทดสอบโดยใช้น้ำมันไฮดรอลิกเป็นตัวกลางก่อนและใช้น้ำมันปาล์มทดสอบในภายหลัง
8. เก็บข้อมูลผลการทดสอบ และนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อสรุปผล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ของไหลส่งกำลัง [1]

กำลังของไหลคือเทคโนโลยีอย่างหนึ่งที่กำหนดพลังงานอยู่ในรูปของของไหล โดยมีการควบคุมระบบส่งผ่านกำลัง และส่งกำลังโดยใช้ของไหลเป็นตัวกลางในการส่งถ่ายกำลังซึ่งเราเรียกว่า "ไฮดรอลิก" ในอุปกรณ์เครื่องมือต่างๆในโรงงานอุตสาหกรรมมีการใช้ระบบกำลังของไหลกันอย่างแพร่หลาย ตัวอย่างเช่นในระบบเลี้ยวและเบรกในรถยนต์, ขับเคลื่อนเครื่องมือกลไกระบบทางกล, ควบคุมเครื่องบิน, กระบวนการผลิตอาหารและการเจาะในงานต่างๆ

#### หน้าที่หลักของระบบไฮดรอลิก

1. ถ่ายส่งกำลัง
2. หักผ่อนชิ้นส่วนเคลื่อนที่ต่างๆ
3. แทรกตัวอุดตามช่องว่างเล็กๆในชิ้นส่วนต่างๆ
4. ระบายความร้อนในระบบ

### 2.2 ส่วนประกอบเบื้องต้นของระบบไฮดรอลิก [1]

#### 2.2.1 ถังเก็บน้ำมันไฮดรอลิก

1. เป็นที่พักน้ำมัน โดยจะต้องมีขนาดใหญ่พอที่จะเก็บและสำรองปริมาณน้ำมันให้พอเพียงที่จะจ่ายให้แก่ระบบทั้งหมด
2. เป็นที่ขจัดสิ่งสกปรกต่างๆ และน้ำที่ปนมากับน้ำมัน
3. เป็นที่ระบายความร้อนของน้ำมันในระบบ เมื่อน้ำมันถูกใช้ไปเพื่อถ่ายเทกำลังงานจะเกิดความร้อนขึ้น ความร้อนที่เกิดขึ้นจะถูกถ่ายเทออกที่ถังพักน้ำมัน โดยต้องรักษาอุณหภูมิของน้ำมันไว้ที่ประมาณ 50 องศาเซลเซียส
4. เป็นที่ขจัดฟองอากาศ เมื่อน้ำมันไหลกลับสู่ถังพักจะเกิดฟองอากาศผสมกับน้ำมัน ดังนั้นในถังพักน้ำมันจะต้องมีเนื้อที่สำหรับอากาศเหนือน้ำมัน เพื่อให้อากาศแยกตัวกลับสู่บรรยากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ทำประโยชน์ใด ๆ ได้  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
บรรยากาศ

## 2.2.2 บี้มให้กำเนิดกำลังของไหล

บี้มไฮดรอลิกใช้สำหรับเปลี่ยนพลังงานกลให้เป็นพลังงานของไหลหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า บี้มคืออุปกรณ์ที่สร้างการไหลของน้ำมัน เมื่อน้ำมันไหลแล้วมีสิ่งกีดขวางทำให้เกิดความกดดัน โดยบี้มแบบเกียร์ มีลักษณะเป็นแบบเฟืองหมุนขบกัน และขับเคลื่อนน้ำมันไฮดรอลิกให้เกิดความดันที่สูงขึ้น ข้อเสียก็คือ แรงดันขึ้นอยู่กับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ และวิธีเดียวที่จะได้แรงดันสูงสุด คือ เร่งเครื่องยนต์ให้กำลังที่ได้มากที่สุด

## 2.2.3 มอเตอร์หรือต้นกำลังเพื่อขับบี้ม

มอเตอร์คือเครื่องกลไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกลในรูปของการหมุนเคลื่อนที่ นำไปใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ไฟฟ้า เครื่องมือไฟฟ้าและเครื่องใช้ไฟฟ้ามากมายประมาณ 80-90 เปอร์เซ็นต์

## 2.2.4 วาล์วควบคุมทิศทาง, ความดัน, และอัตราการไหล

### 1. วาล์วควบคุมทิศทาง

มีหน้าที่เลือกทิศทางการไหลของลมอัดให้ไปตามทิศทางที่ต้องการ ทั้งนี้เพื่อให้อุปกรณ์ทำงาน เช่นกระบอกสูบลม มอเตอร์ลม สามารถทำงานได้ และเคลื่อนที่ในทิศทางที่ต้องการ โดยใช้หลักการเปิด - ปิดลมอัดจากรูลมหนึ่งไปยังรูลมอีกรูหนึ่ง จำนวนรูลมอัดของวาล์วควบคุมทิศทางมีอยู่หลายแบบ เช่น 2รู, 3รู, 4รู, 5รู สัญลักษณ์ของวาล์วจะแสดงให้เห็นหน้าที่การทำงาน ไม่ได้แสดงถึงโครงสร้างภายใน โดยเขียนแทนด้วยรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ภายในจะมีเส้นและลูกศรแสดงทิศทางการไหล และกำหนดสัญลักษณ์ของรูที่ตัววาล์วด้วย

### 2. วาล์วควบคุมความดัน

เราสามารถทำให้ระบบมีความดันสูงสุดได้โดยการใช้วาล์วควบคุมความดันซึ่งปกติมีตำแหน่งปิด โดยใช้รู P ต่อกับความดันในระบบส่วนรูน้ำมันไหลออกจากวาล์วให้ต่อจากรู T ของวาล์วกับถังน้ำมันและให้สปูลของวาล์วทำงานด้วยความดันภายในระบบเอง หมายถึงเมื่อมีความดันสูงกว่าแรงสปริงภายในวาล์วจะทำให้วาล์วตัวเปิดให้น้ำมันไหลจากรู P ไปยังรู T

### 3. วาล์วควบคุมอัตราการไหล

วาล์วควบคุมอัตราการไหลจะใช้ควบคุมความเร็วของลูกสูบโดยการปรับเปลี่ยนขนาดของช่องทางของวาล์วที่ให้น้ำมันไหลผ่าน โดยในการทำงาน เมื่อเราคลายสกรูออกไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกฟังก์ชันที่คิดเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ช่องทางน้ำมันจะเปิดกว้างส่งผลให้อัตราการไหลมาก แต่เมื่อหมุนสกรูเข้า ช่องทางน้ำมันจะ

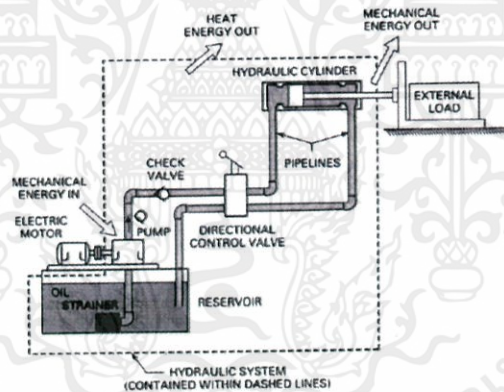
แคบเข้า อัตราการไหลจะน้อยลงในการนำวาล์วนี้ไปใช้งานในการควบคุมความเร็วลูกสูบ ความเร็วลูกสูบจะไม่คงที่ ซึ่งเป็นเพราะความดันในระบบไม่คงที่ทำให้อัตราการไหลของน้ำมันผ่านวาล์วไม่คงที่

### 2.2.5 มอเตอร์ไฮดรอลิกหรือลูกสูบเพื่อให้กำลังทางกล

อุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานของไหลให้เป็นพลังงานกลในแนวหมุน (Rotary) เพื่อให้เกิดแรงบิด (Torque) และอัตราการไหล (Flow) มอเตอร์ไฮดรอลิกทำงานได้จากการไม่สมดุลของชุดหมุนซึ่ง แต่ละชนิดจะแตกต่างกัน

### 2.2.6 ระบบท่อและสายน้ำมันไฮดรอลิก

โดยท่อและสายน้ำมันจะต้องมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูท่อที่เหมาะสมต่อการทดลองเพื่อให้ได้ผลที่ออกมามีค่าที่แม่นยำแน่นอนมากขึ้น และวัสดุที่ใช้จะต้องมีความทนต่อสภาวะความดันและอุณหภูมิสูงได้ และป้องกันการรั่วของน้ำมันได้ดี



รูปที่ 2.1 วงจรเบื้องต้นสำหรับการใช้งานไฮดรอลิก

## 2.3 เกี่ยวกับน้ำมันปาล์ม [8]

น้ำมันปาล์ม (Palm oil) สกัดจาก ปาล์มน้ำมัน เป็นพืชน้ำมันที่ให้ปริมาณน้ำมันสูงถึง 0.6 - 0.8 ตันต่อไร่ต่อปี เมื่อเปรียบเทียบกับพืชน้ำมันชนิดอื่น สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์อาหารและใช้ในการประกอบอาหารเนื่องจากมีคุณสมบัติทนความร้อนได้สูง ไม่ทำให้เกิดสารก่อมะเร็ง น้ำมันปาล์มมีราคาต่ำกว่าเอกลาน้ำมันพืชชนิดอื่น นอกจากนี้ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่ปลอดจากสารตัดแต่งพันธุกรรม (GMOs) น้ำมันปาล์มผลิตไม่ผ่านการฉีดยาฆ่าแมลง อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้เองในประเทศการใช้ประโยชน์จากปาล์มน้ำมันจะก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มและรายได้โดยรวมของประเทศน้ำมันปาล์ม

แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่

- 1.) น้ำมันปาล์มดิบ (Crude Palm Oil) สกัดได้จากส่วนเปลือกสดของผลปาล์มน้ำมัน
  - 2.) น้ำมันเมล็ดในปาล์ม (Crude Palm Kernel Oil) สกัดได้จากเมล็ดในของผลปาล์มน้ำมัน
- น้ำมันปาล์มสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย และแบ่งกลุ่มการนำไปใช้ประโยชน์ได้ดังนี้

#### 1. อุตสาหกรรมด้านอาหาร

น้ำมันปาล์มและน้ำมันเมล็ดในปาล์ม ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ นำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารหลายประเภท เช่น น้ำมันทอด น้ำมันปรุงอาหาร มาการีน วานาสปาดิ ไอศกรีม ครีมเทียม นมเทียม เนยขาว เนยโกโก้ ขนมหั้ว ขนมหัง ฯลฯ รวมถึงผลิตภัณฑ์อาหารเสริมเพื่อสุขภาพ เช่น วิตามินอี วิตามินเอ

#### 2. อุตสาหกรรมโพลิโอเคมีคอล

น้ำมันปาล์มและน้ำมันเมล็ดในปาล์ม ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ นำไปใช้ประโยชน์ในการผลิตสินค้าอุปโภค โดยผ่านกระบวนการทางเคมี ดังนี้

2.1 การผลิตกรดไขมันประเภทต่างๆ ทั้งกรดไขมันอิ่มตัว และกรดไขมันไม่อิ่มตัว เพื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น

- กรดลอริก ใช้ทำเป็นเรซินในอุตสาหกรรมสี
- กรดปาล์มมิติก ใช้ในการเลี้ยงเชื้อราเพื่อสกัดเป็นยาปฏิชีวนะ ผสมกับกรดสเตียริกเพื่อทำเทียนไข
- กรดโอเลอิก ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ
- กรดสเตียริก ใช้ในการผลิตเครื่องสำอาง สบู่เด็ก ผสมกับกรดปาล์มมิติกเพื่อทำเทียนไข
- กรดลิโนเลอิก ใช้เป็นยาฉีดยาสำหรับลดไขมันในเส้นเลือด

2.2 การผลิตเมทิลเอสเทอร์ เป็นสารที่ได้จากการทำปฏิกิริยาเคมี ระหว่างน้ำมันปาล์ม และเมทิลอัลกอฮอล์ โดยใช้โซเดียม ไฮดรอกไซด์ หรือโซดาไฟเป็นสารเร่งปฏิกิริยา และมีผลพลอยได้ที่สำคัญและมีมูลค่าสูงคือ กลีเซอรอล เมทิลเอสเทอร์ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย ทั้งในด้านพลังงาน (ไบโอดีเซล) หรือใช้เป็นสารสำหรับผลิตอนุพันธ์ของกรดไขมันประเภทต่างๆ

- แพลตตี แอลกอฮอล์ (Fatty Alcohol) ใช้ประโยชน์ในการผลิตโซเดียม อัลคิล (Sodium Alkyl Sulphates) และ เซอร์แฟคแทนต์ (Surfactant) ที่ใช้ผลิตผงซักฟอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แพตตี เอซิด เอมาйд (Fatty Acid Amides) มีคุณสมบัติช่วยกันน้ำ นิยมใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ การผลิตกระดาษ ไม้อัด โลหะ ยางฯ
- แพตตี เอมาйд (Fatty Amines) ที่มีความสำคัญนิยมใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ การผลิตพลาสติก น้ำมันหล่อลื่น สารควบคุมเชื้อราและ แบคทีเรียฯ

### 3. กระบวนการกลั่นน้ำมันปาล์ม (Refine Processing)

การกลั่นบริสุทธิ์น้ำมันปาล์ม เป็นกระบวนการทำให้น้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบ เป็นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และน้ำมันเมล็ดในปาล์มบริสุทธิ์ พร้อมสำหรับการบริโภค โดยวิธีทางเคมี (Chemical refining) เป็นกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระโดยใช้สารเคมี ที่นิยมคือ ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโซเดียมคาร์บอเนต ทำปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระในน้ำมันให้เกิดเป็นสบู่ จากนั้นแยกสบู่ออก โดยวิธีการหมุนเหวี่ยง สำหรับความเข้มข้นของต่างที่ใช้มากน้อยแปรผันตามปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์ม การกลั่นน้ำมันปาล์มด้วยสารละลายต่าง เริ่มด้วยการให้ความร้อนแก่น้ำมันปาล์มดิบที่อุณหภูมิ 80 – 90 องศาเซลเซียส แล้วเติมกรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 80 – 85 เปอร์เซ็นต์ ในปริมาณ 0.05 – 0.2 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นเติมสารละลายต่างซึ่งจะทำให้เกิดสบู่ แยกสบู่ออกด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง และล้างสบู่ด้วยน้ำ จากนั้นให้ความร้อนแก่น้ำมันเพื่อไล่น้ำให้ระเหยออก นำน้ำมันมาฟอกสี และกำจัดกลิ่นด้วยไอน้ำ จะได้น้ำมันปาล์มที่เรียกว่า Neutralized Bleached and Deodorized Palm Oil น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์แล้ว จะแยกเป็นสองส่วนคือ ส่วนล่างมีลักษณะเป็นไขและส่วนบนเป็นน้ำมันมีสีเหลืองอ่อนถึงเข้ม เนื่องจากน้ำมันที่ได้มีคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพบางประการที่ไม่เหมาะสมสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์บางชนิด จึงได้มีการศึกษาการดัดแปรคุณสมบัติของน้ำมันปาล์มโดยใช้กระบวนการต่างๆ เพื่อให้สามารถนำไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายมากขึ้น ผลผลิตพลอยได้ที่สำคัญ จากการกลั่นบริสุทธิ์น้ำมันปาล์ม คือ กรดไขมันปาล์ม หรือ Palm Fatty Acid Distillated (PFAD) ซึ่งนิยมใช้เป็นวัตถุดิบในการทำสบู่ อาหารสัตว์ ใช้เป็นสารตั้งต้นในการสกัดกรดไขมันชนิดต่าง ๆ หรือการสกัดวิตามินอีในอุตสาหกรรมอริโอเคมีคอล

## 2.4 มาตรฐานของน้ำมันไฮดรอลิก [1]

เพื่อความปลอดภัยในการทำงานน้ำมันไฮดรอลิกที่ให้อาจต้องมีคุณสมบัติดังนี้

### 1. มีค่าหล่อลื่นที่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

### 2. มีความหนืดใกล้เคียงอุดมคติ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกฟังก์ชันมีเหตุผลเบื้องหลังนี้ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เสถียรภาพต่อปฏิกิริยาเคมี
4. ไม่กัดกร่อนวัสดุอุปกรณ์
5. ทนต่อการอัดตัวสูง
6. มีความหนไฟสูง
7. มีความจุความร้อนสูง
8. มีความหนาแน่นต่ำ
9. ป้องกันการเกิดฟอง
10. ไม่เป็นพิษ
11. มีค่าการระเหยต่ำ

## 2.5 ลักษณะจำเพาะของน้ำมันไฮดรอลิก [1]

2.5.1) ความหนาแน่น (Density) คือมวลของของไหลส่วนด้วยปริมาตรของของไหลหรือมวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.1)$$

เมื่อ  $\rho$  = ความหนาแน่น ( $\text{kg/m}^3$ )

$m$  = มวล (kg)

$V$  = ปริมาตร ( $\text{m}^3$ )

2.5.2) ค่าบัสค์โมดูลัส (Bulk Modulus) คือเป็นค่าที่วัดการยุบตัวของน้ำมันไฮดรอลิก ยิ่งมีค่าสูงทำให้การยุบตัวของน้ำมันต่ำเมื่อมีภาระมากกระทำในระบบ โดยดูจากค่าติดลบของการเปลี่ยนแปลงของความดันที่เพิ่มขึ้นส่วนด้วยค่าปริมาตรของน้ำมันที่ลดลงตามสมการ

$$\beta = \frac{-\Delta p}{\frac{\Delta V}{V}} \quad (2.2)$$

เมื่อ  $\beta$  = บัสค์โมดูลัส (kPa)

$\Delta p$  = การเปลี่ยนแปลงความดัน (kPa)

เอกสารนี้  $\Delta V$  = การเปลี่ยนแปลงปริมาตร ( $\text{m}^3$ ) เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ก็ตาม บริษัทผู้จัดทำเอกสารนี้ ขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.5.3) ความหนืด (Viscosity)** คือการวัดความต้านทานในการเคลื่อนที่ของของไหล เมื่อค่าความหนืดต่ำของไหลจะง่ายต่อการเคลื่อนที่ถ้าความหนืดสูงของไหลก็จะเคลื่อนที่ยากเช่นเดียวกัน

ถ้าระบบไฮดรอลิกมีความหนืดที่สูงส่งผลให้เกิดดังนี้

- 1) มีความต้านทานในการไหลสูง
- 2) เพิ่มความร้อนสูญเสียในระบบ
- 3) เกิดความดันลดลงในระบบเมื่อผ่านวาล์ว
- 4) เกิดอุณหภูมิสูงในระบบเนื่องจากแรงเสียดทาน

ในทางกลับกันถ้ามีความหนืดต่ำในระบบไฮดรอลิกก็จะส่งผลดังนี้

- 1) เพิ่มการรั่วในระบบ
- 2) เกิดการสึกหรอในระบบสูงเพราะแผ่นฟิล์มของการหล่อลื่นมีความหนาค่อนข้างน้อย

**2.5.4) ความหนืดสัมบูรณ์ (Absolute Viscosity)** คือค่าความหนืดที่ได้การจากทดลองระหว่างแผ่นเรียบสองแผ่นมีน้ำมันแทรกตัวอยู่ตรงกลางระหว่างช่องเล็กๆ  $y$ , เพื่อแยกแผ่นออกจากกันโดยแผ่นหนึ่งอยู่กับที่อีกแผ่นหนึ่งเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว  $v$ , เมื่อถูกออกแรงผลัก  $F$ , ผลของความหนืดจะทำให้ความเร็วของของไหลมีค่าไม่เท่ากันโดยแบ่งความเร็วของของไหลออกเป็นชั้นๆได้ ซึ่งของไหลที่ติดกับแผ่นด้านล่างที่อยู่นิ่งนั้นจะมีค่าความเร็วของของไหลเป็นศูนย์และแผ่นที่ออกแรงผลักของไหลที่ติดกับแผ่นก็จะมีความเร็วเท่ากับแผ่นที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว  $v$ , ดังนั้นเราจะได้ผลของความเร็วเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นระหว่างความเร็วกับระยะห่างระหว่างช่องว่างของแผ่นฟิล์มน้ำมันโดยมีความชันเป็น  $v/y$ , ความหนืดสัมบูรณ์จึงอธิบายได้จากสมการนี้

$$\mu = \frac{\tau}{v/y} = \frac{F/A}{v/y} = \frac{\text{shear stress in oil}}{\text{slope of velocity profile}} \quad (2.3)$$

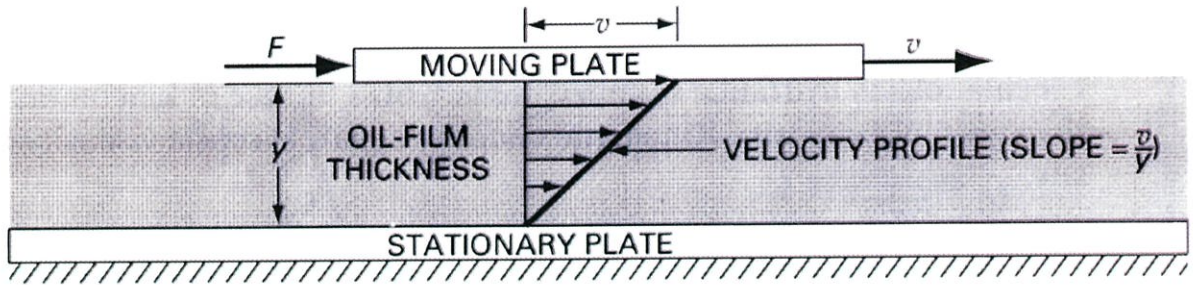
เมื่อ  $\mu$  = ความหนืดสัมบูรณ์ ( $kg.s/m^2$ )

$\tau$  = ความเค้นเฉือนของของไหลในรูปของแรงต่อพื้นที่หน้าตัด ( $N/m^2$ )

$v$  = ความเร็วแผ่นเรียบเคลื่อนที่ ( $m/s$ )

$y$  = ความหนาของชั้นแผ่นฟิล์มน้ำมัน ( $m$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ภาพแสดงแผนภาพความเร็วระหว่างแผ่นเรียบขนานสองแผ่น

2.5.5) ความหนืดไคเนมาติก (Kinematic Viscosity) คือความหนืดสัมบูรณ์หารด้วยค่าความหนาแน่นโดยส่วนใหญ่แล้วในระบบไฮดรอลิกจะใช้ความหนืดนี้มากกว่าความหนืดสัมบูรณ์

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.4)$$

เมื่อ  $\nu$  = ความหนืดไคเนมาติก ( $cm^2/s$ )

หน่วย  $cm^2/s$  เรียกว่า "สต็อกส์" แต่หน่วยนี้เป็นขนาดหน่วยที่ใหญ่ไปจึงนิยมเรียกอีกในหน่วยหนึ่งว่า "เซนติสต็อกส์ (cSt)"

#### 2.5.6) ความหนืดไคเนมาติกกับอุณหภูมิ (Kinematic Viscosity and Temperature) [2]

ในของไหลค่าความหนืดไคเนมาติกจะมีค่าลดลงเรื่อยๆเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งค่าความหนืดได้จากการทดลองที่อุณหภูมิต่างๆก็สามารถทราบถึงค่าความหนืดไคเนมาติกได้ แต่ก็มี การหาสมการมาอธิบายแนวโน้มของความหนืดเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิได้จากมาตรฐานความหนืดของน้ำมันปิโตรเลียมกับอุณหภูมิ โดยเราแค่ทราบค่าความหนืดที่อุณหภูมิต่างกันก็จะสามารถนำมาสร้างกราฟระหว่างค่าความหนืดไคเนมาติกกับอุณหภูมิได้สมการดังนี้

$$\log \cdot \log (\nu + 0.7) = A - B \log T \quad (2.5)$$

เมื่อ  $\nu$  = ความหนืดไคเนมาติกที่อุณหภูมิใดๆ (cS)

A, B = ค่าคงที่

T = อุณหภูมิ ( $^{\circ}K$ )

จากสมการแล้วเราทราบค่าความหนืดไคเนมาติกสองค่าที่อุณหภูมิต่างกันก็จะสามารถสร้างสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษายาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ใดๆ  
ความหนืดเปรียบอุณหภูมิสำหรับน้ำมันไฮดรอลิกได้แล้ว ตัวอย่างเช่น มีค่าความหนืดของน้ำมันไฮดรอลิกชนิด  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนึ่งมีค่าทดลองที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และ 100 องศาเซลเซียส มีความหนืดไคเนมาติก 128.58 cS และ 15 cS ตามลำดับ

$$\log.\log (v + 0.7) = A-B \log T \quad \dots (1)$$

เมื่อ  $v = 128.58 \text{cst at } 40^\circ\text{C}$

$$\log.\log (129.28) = A-B \log (313) \quad \dots (2)$$

เมื่อ  $v = 15.00 \text{cst at } 100^\circ\text{C}$

$$\log.\log (15.70) = A-B \log (373) \quad \dots (3)$$

$$(2) - (3) \text{ หาค่าได้ } B: B=3.24$$

แทนค่า B ลงใน (2) and เพื่อหาค่า A

$$\log.\log (15.70) = A-3.24 \log (373) \quad \dots (4)$$

แทนค่า A และ B ลงใน (1)

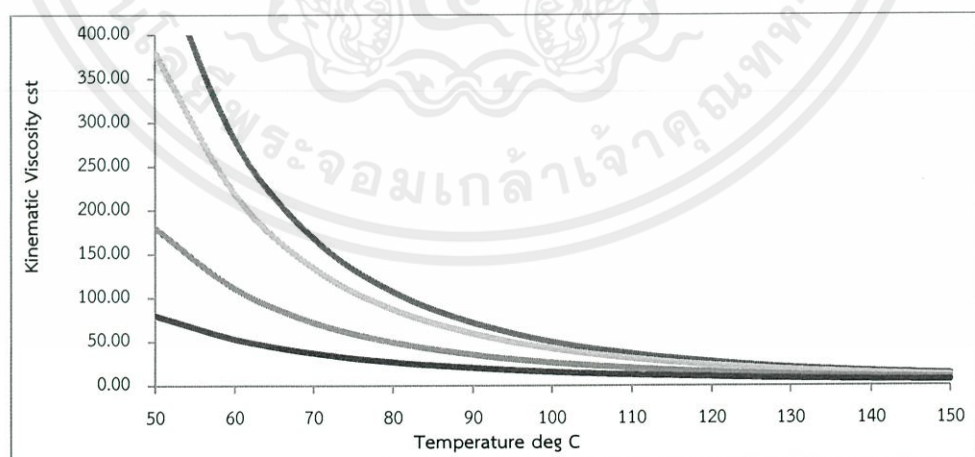
$$\log.\log (v + 0.7) = 8.41-3.24 \log T \quad \dots (5)$$

ก็จะได้สมการความหนืดที่อุณหภูมิต่างๆ ถ้าอยากรู้ความหนืดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส หาได้ดังนี้

$$\log.\log (v + 0.7) = 8.41-3.24 \log (323)$$

$$v = 80.0 \text{cst at } 50^\circ\text{C}$$

ส่วนมากแล้วความหนืดไคเนมาติกที่แปรเปลี่ยนตามอุณหภูมิจะลดลงแบบไม่เป็นเชิงเส้น ดังกราฟ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 2.1 ตัวอย่างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดไคเนมาติกกับอุณหภูมิ ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.7) ดัชนีความหนืด (Viscosity Index) [4]

คือดัชนีบ่งชี้วัดการเปลี่ยนแปลงของน้ำมันเมื่อเทียบกับอุณหภูมิ ถ้าค่าดัชนีต่ำหมายความว่า การเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำมันสูงเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ แต่ถ้าค่าดัชนีสูงการเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำมันจะมีค่าต่ำเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง น้ำมันค่อนข้างที่จะมีความเสถียรภาพของความหนืดต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนไป โดยปกติแล้วดัชนีจะมีสเกล 0-100 เพื่อแสดงให้เห็นถึงน้ำมันไฮดรอลิกที่ไม่ดีและน้ำมันไฮดรอลิกที่ดี ในปัจจุบันนี้มีการเติมแต่งสารเคมีให้กับน้ำมันเพื่อทำให้น้ำมันทนต่อการเปลี่ยนแปลงของความหนืดเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นซึ่งอาจจะมีค่าดัชนีมากกว่า 100 น้ำมันที่มีค่าดัชนีสูงจะสามารถทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนไป

ค่าดัชนีของน้ำมันไฮดรอลิกหาได้จากสมการนี้

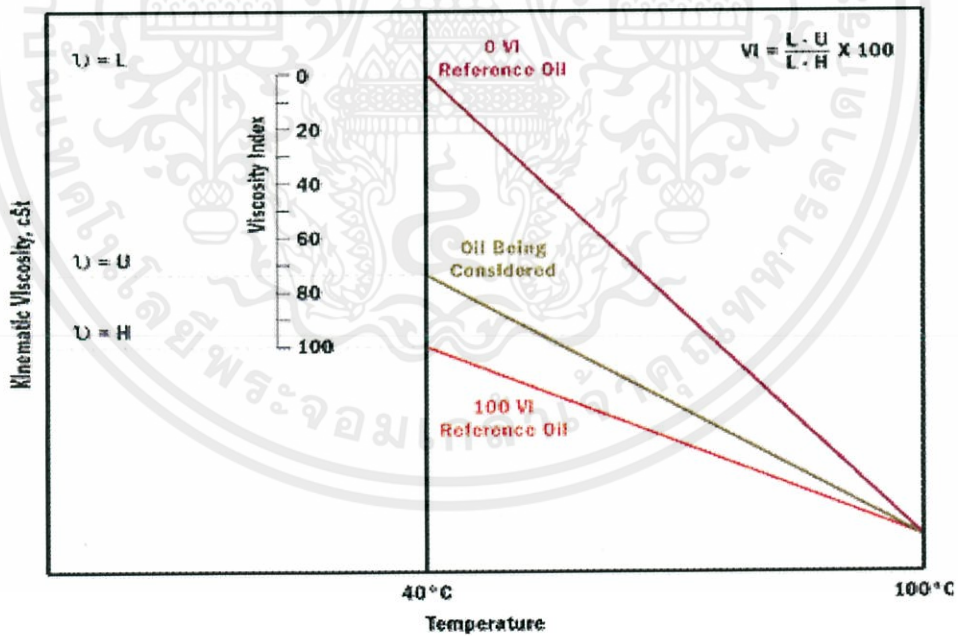
$$VI = \frac{L-U}{L-H} \times 100 \tag{2.6}$$

เมื่อ VI = ดัชนีความหนืด (Viscosity Index)

L = ค่าความหนืดของดัชนี 0 ที่ 40 องศาเซลเซียส

U = ค่าความหนืดของน้ำมันที่ทดสอบ ที่ 100 องศาเซลเซียส

H = ค่าความหนืดของดัชนี 100 ที่ 40 องศาเซลเซียส

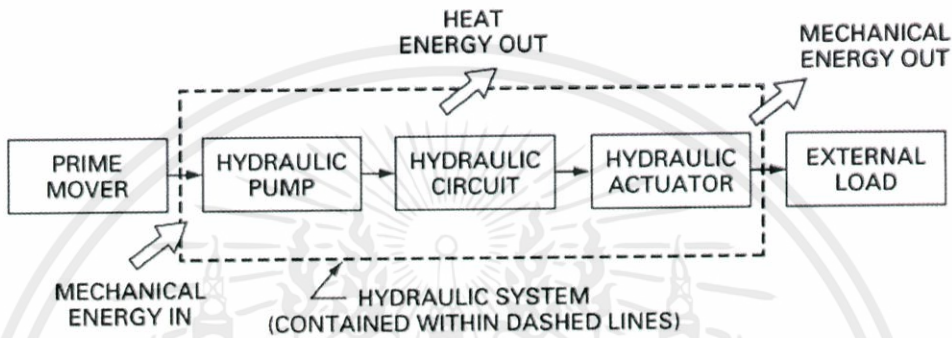


รูปที่ 2.3 ภาพแสดงการหาดัชนีความหนืด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.6 พลังงานและกำลังในระบบไฮดรอลิก [1]

พลังงานคือความสามารถในการให้งานและสามารถเปลี่ยนแปลงไปในรูปแบบต่างๆได้ของระบบไฮดรอลิก ก็เช่นเดียวกันพลังงานสามารถถ่ายโอนผ่านระบบไฮดรอลิกโดยมีตัวแหล่งจ่ายจากมอเตอร์หรือเครื่องยนต์เพื่อให้เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานในระบบเข้าสู่ปั๊มไฮดรอลิกเพื่อนำไปเป็นพลังงานที่ใช้ในระบบต่อไป



รูปที่ 2.4 แผนภาพในระบบไฮดรอลิกแสดงพลังงานเข้าและพลังงานออกจากระบบ

พลังงานที่ออกจากปั๊มนั้นเป็นพลังงานทางกลที่ถูกขับเคลื่อนจากแหล่งจ่ายกำลังโดยเปลี่ยนไปเป็นพลังงานของไหลคือความดันและความเร็วของของไหลในระบบไฮดรอลิกผ่านไปยังส่วนควบคุมต่างๆลำเลียงผ่านระบบท่อสุดท้ายแล้วพลังงานของไหลก็จะกลับมาเป็นพลังงานกลอีกครั้งเพื่อที่จะนำมาขับเคลื่อนภาระให้เกิดแรงหรือทอร์กได้

แต่พลังงานที่ถูกส่งผ่านในระบบไฮดรอลิกจะมีการสูญเสียพลังงานบางส่วนไปในระบบอันเนื่องมาจากแรงเสียดทานที่อยู่ภายในระบบและการที่ของไหลผ่านอุปกรณ์ทำงานต่างๆ เช่น ท่อ, วาล์ว, ช่องอ-ข้อต่อ, และอุปกรณ์ที่ควบคุมระบบโดยการสูญเสียพลังงานที่สูญเสียจะออกมาอยู่ในรูปของพลังงานความร้อน

$$\text{Input Mechanical Energy} - \text{Heat Energy Lost} = \text{Output Mechanical Energy}$$

#### 2.6.1) กำลังเชิงกล (Mechanical Power)

2.6.1.1) กำลังกลเชิงเส้นคือความสามารถการให้งานต่อหน่วยเวลาอยู่ในรูปของแรงกระทำกับวัตถุให้เคลื่อนที่ไปด้วยความเร็วค่ากำลังที่ได้จะเป็นผลคูณระหว่างแรงที่กระทำกับความเร็วที่เกิดขึ้นตาม

สมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องขออนุญาตก่อนทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ (2.7)

$$\text{Power} = Fv$$

เมื่อ  $F =$  แรง (N)

$v =$  ความเร็ว (m/s)

กำลัง (Power) มีหน่วยเป็นวัตต์ (w) กำลังในทั่วไปแล้วเราจะใช้ในรูปของแรงม้าโดยค่า 1 แรงม้า (HP) เท่ากับ 746 วัตต์

### 2.6.1.2) กำลังกลเชิงมุม

กำลังกลเชิงมุม คือความสามารถในการทำงานต่อหน่วยเวลาอยู่ในรูปของแรงบิดขนาดหนึ่งและหมุนด้วยความเร็วรอบค่าหนึ่งกำลังที่ออกมาจะเป็นผลคูณระหว่างแรงบิดและความเร็วรอบดังสมการ

$$Power = T\omega = 2\pi NT \quad (2.8)$$

เมื่อ  $T =$  แรงบิด (N.m)

$\omega =$  ความเร็วเชิงมุม (rad/s)

$N =$  ความเร็วรอบ (rps)

### 2.6.2) สมการความต่อเนื่องใช้กับอัตราการไหลเชิงปริมาตร (Volume Flow Rate)

ถ้าของไหลอยู่ในรูปของของเหลวจะทำให้ค่าความหนาแน่นเท่ากันทั้งระบบเพราะว่าของเหลวเป็นของไหลที่อัดตัวไม่ได้ดังนั้นระบบไฮดรอลิกส่วนใหญ่แล้วจึงใช้อัตราการไหลเชิงปริมาตรดังสมการ

$$Q_1 = A_1 v_1 = A_2 v_2 = Q_2 \quad (2.9)$$

เมื่อ  $Q =$  อัตราการไหลเชิงปริมาตร ( $m^3/s$ )

$A =$  พื้นที่หน้าตัดของท่อ ( $m^2$ )

$v =$  ความเร็วของของไหล (m/s)

### 2.6.3) กำลังของระบบไฮดรอลิก (Hydraulic Power)

กำลังไฮดรอลิก คือกำลังที่ก่อให้เกิดอัตราการไหลในระบบที่อยู่ภายใต้สภาวะความดันในระบบเพื่อไปขับเคลื่อนภาระอาจจะเป็นกระบอกสูบ(กำลังกลเชิงเส้น) หรือมอเตอร์ไฮดรอลิก(กำลังกลเชิงมุม) โดยกำลัง ไฮดรอลิกมีค่าเท่ากับผลคูณระหว่างอัตราการไหลเชิงปริมาตรและความดันของระบบดังสมการ

$$Hydraulic\ power = p \times Q \quad (2.10)$$

เมื่อ  $p =$  ความดัน (Pa)

$Q =$  อัตราการไหลเชิงปริมาตร ( $m^3/s$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น, ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นอย่างอื่น  
เราจะเห็นได้ว่ากำลังในงานไฮดรอลิกนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงไปในรูปแบบต่างๆดังนี้ กำลังกล, ไม่จำกัดใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ทดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
กำลังไฟฟ้า, และกำลังไฮดรอลิก

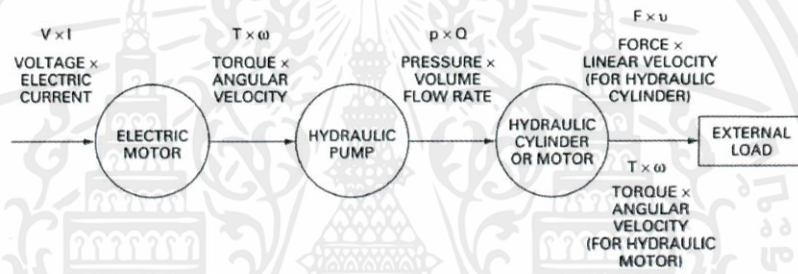
mechanical power = force x linear velocity

= torque x angular velocity

electrical power = voltage x electric current

hydraulic power = pressure x volume flow rate

กำลังในสามรูปแบบนี้(กำลังกล, กำลังไฟฟ้า, และกำลังไฮดรอลิก)จะอยู่ในระบบไฮดรอลิกโดยมีมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นตัวจ่ายกำลังเริ่มต้นเพื่อเปลี่ยนแปลงรูปพลังงานจากพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลเชิงมุมไปขับเคลื่อนปั๊มเพื่อเปลี่ยนกำลังกลเชิงมุมเป็นกำลังไฮดรอลิกและสุดท้ายมีกำลังไฮดรอลิกไปขับเคลื่อนหรือทำงานจากภาระภายนอกโดยมีแผนภาพการเปลี่ยนแปลงรูปของพลังงานดังนี้

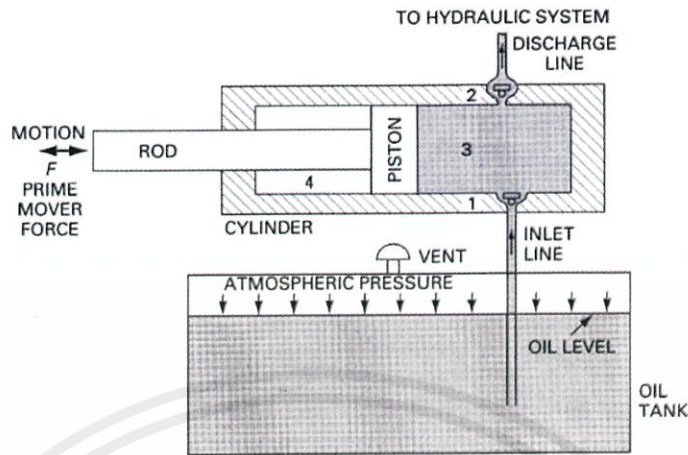


รูปที่ 2.5 แผนภาพการเปลี่ยนแปลงพลังงานในระบบไฮดรอลิกจากพลังงานไฟฟ้าไปสู่พลังงานทางกล

## 2.7 ทฤษฎีของปั๊มไฮดรอลิก [1]

ปั๊มมีหลักการทำหน้าที่โดยสร้างสุญญากาศเพื่อให้ความดันบรรยากาศดันน้ำมันจากถังเข้าสู่ตัวปั๊มในด้านดูดของตัวปั๊มและให้อัตราการไหลในทางออกของปั๊มดังกล่าวอย่างจงจรพื้นฐานที่ดึงลูกสูบเคลื่อนที่ไปทางซ้ายมือเพื่อให้เกิดสุญญากาศทำให้ความดันบรรยากาศดันน้ำมันขึ้นมาในลูกสูบเพื่อดันก้านสูบกลับไปทางขวาแล้วระบบจะให้น้ำมันดังกล่าวโดยทางเข้าและทางออกลูกสูบลูกสูบมีวาล์วควบคุมการไหลทางเดียว

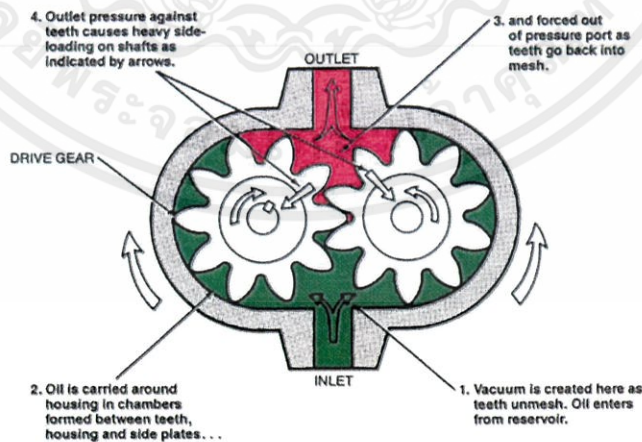
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ภาพปั๊มลูกสูบอธิบายหลักการพื้นฐานการปัมน้ำมัน

### 2.7.1) เกียร์ปั๊ม (Gear Pump)

เกียร์ปั๊มเป็นปั๊มชนิดฟันเฟืองภายในมีการจ่ายของไหลโดยผ่านช่องว่างของฟันเกียร์สองอันที่สัมผัสกันโดยเกียร์ชุดหนึ่งจะมีเพลาเดียวกับแกนขับเคลื่อนของมอเตอร์เพื่อเป็นตัวขับเคลื่อนและเกียร์ชุดที่สองจะขับเคลื่อนตามโดยฟันเกียร์ชุดที่หนึ่งน้ำมันจึงไหลผ่านช่องฟันเฟือง จึงก่อให้เกิดสุญญากาศในส่วนของด้านดูดจะมีความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศของไหลจึงถูกดันจากความดันบรรยากาศเข้าไปในตัวเรือนปั๊มไปยังด้านจ่ายน้ำมัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 2.7 ภาพแสดงการขับเคลื่อนในเกียร์ปั๊มหน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.7.1.1) อัตราการไหลเชิงทฤษฎี (Flow Rate of Theory)

$$Q_T = V_D \times N \quad (2.11)$$

เมื่อ  $Q_T$  = อัตราการไหลเชิงทฤษฎี ( $m^3/s$ )

$V_D$  = ปริมาตรความจุของเกียร์ปั๊ม ( $m^3/rev$ )

$N$  = ความเร็วรอบปั๊ม (rps)

## 2.8 สมรรถนะของปั๊ม (Pump Performance)

สมรรถนะของปั๊มปัจจัยเบื้องต้นแล้วขึ้นอยู่กับความแม่นยำของกระบวนการผลิตจากโรงงานอุตสาหกรรม อาจจะมีชิ้นส่วนต่างๆที่มีการผลิตผิดพลาดไปจากการออกแบบเล็กน้อย ในอุดมคติแล้วปั๊มควรจะผลิตออกมาจากที่ออกแบบไว้ร้อยเปอร์เซ็นต์แต่เครื่องมือหรือเครื่องจักรในการผลิตชิ้นส่วนต่างๆต้องมีค่าความเผื่อจึงทำให้สมรรถนะของปั๊มมีค่าต่ำลงไปจากความเป็นจริง

### 2.8.1) ประสิทธิภาพของปั๊ม (Pump Efficiencies)

ผู้ผลิตหากผลิตปั๊มออกมาแล้วจะต้องนำปั๊มไปทดสอบสมรรถนะโดยการปรับค่าเชื่อมโยงการทดสอบตามลักษณะจำเพาะของปั๊มแต่ละชนิด โดยมีประสิทธิภาพรวมที่ต้องคำนึงถึงปั๊มเป็นอย่างแรกซึ่งคำนวณค่าได้จากการเปรียบเทียบกำลังไฮดรอลิกที่ออกกับกำลังเชิงกลที่ให้แก่ปั๊มหรือหาได้จากผลคูณระหว่างประสิทธิภาพเชิงกลและประสิทธิภาพเชิงปริมาตรโดยประสิทธิภาพทั้งสามอย่างนี้อธิบายได้ดังสมการ

#### 2.8.1.1) ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร (Volumetric Efficiency, $\eta_v$ )

ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรคือค่าบ่งบอกถึงปริมาณการรั่วของน้ำมันที่เกิดขึ้นภายในปั๊มเกิดจากค่าความเผื่อที่เกิดจากโรงงาน ระบบกันรั่ว และอยู่ในภายใต้ความดันสูงๆก็เป็นผลทำให้เกิดการรั่วได้

$$\eta_v = \frac{\text{actual flow-rate produced by pump}}{\text{theoretical flow-rate pump should produce}} = Q_A/Q_T \quad (2.12)$$

ปกติแล้วประสิทธิภาพเชิงปริมาตรจะมีค่าอยู่ระหว่าง 80-90% สำหรับในเกียร์ปั๊ม ในเวนปั๊มจะมีถึง 82-92% และปั๊มลูกสูบสูงถึง 90-98% ค่าประสิทธิภาพเชิงปริมาตรนั้นบอกเป็นเปอร์เซ็นต์แต่ถ้านำไปใช้ในสมการแล้วเราจะใช้ค่าเป็นเฟกเตอร์ในการคิดแทน เช่น ปั๊มมีประสิทธิภาพ 90% จะนำค่า 0.9 ไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.8.1.2) ประสิทธิภาพเชิงกล (Mechanical Efficiency, $\eta_m$ )

ประสิทธิภาพเชิงกลคือค่าพลังงานที่บ่งบอกถึงค่าพลังงานสูญเสียในระบบซึ่งเกิดจากแรงเสียดทานในระบบอันเนื่องมาจากลูกปืน และอุปกรณ์ต่างๆรวมไปถึงค่าความปั่นป่วนของน้ำมันไฮดรอลิกในระบบ ส่วนใหญ่แล้วประสิทธิภาพเชิงกลจะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 90-95%

$$\eta_m = \frac{\text{pump output power assuming no leakage}}{\text{actual power delivered to pump}} = pQ_T/T_A N \quad (2.13)$$

เมื่อ  $p$  = ความดันทางออกปั๊ม (Pa)

$Q_T$  = อัตราการไหลเชิงทฤษฎี ( $m^3/s$ )

$T_A$  = แรงบิดจริงที่ให้แก่ปั๊ม (N.m)

$N$  = ความเร็วรอบ (rpm)

$$\text{การหาแรงบิดจริง (} T_A \text{)} : T_A = \frac{\text{actual power delivered to pump (W)}}{2\pi N(\text{rpm})} \quad (2.14)$$

### 2.8.1.3) ประสิทธิภาพรวม (Overall Efficiency, $\eta_o$ )

ประสิทธิภาพรวมคือพิจารณาพลังงานที่สูญเสียในรูปของปริมาตรและแรงเสียดทานหรือนำประสิทธิภาพเชิงปริมาตรมาคูณกับประสิทธิภาพเชิงกลนั่นเอง

$$\text{overall efficiency} = \frac{\text{actual power delivered by pump}}{\text{actual power delivered to pump}} = \eta_o = \eta_v \times \eta_m \quad (2.15)$$

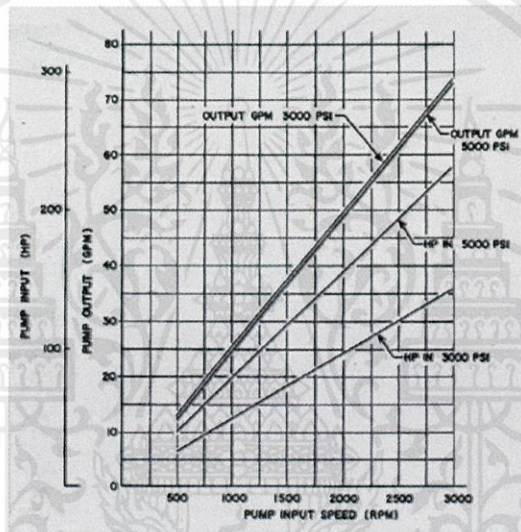
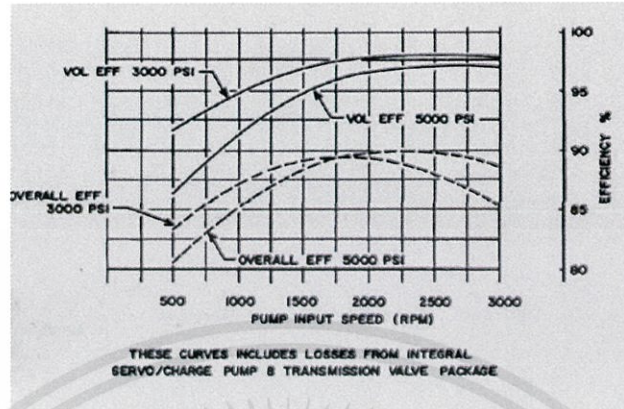
$$\eta_o = \eta_v \times \eta_m = pQ_A/T_A 2\pi N \quad (2.16)$$

กำลังที่ให้แก่ปั๊มจะให้โดยแหล่งจ่ายต้นกำลังออกมาเป็นกำลังเพลลาหรือเราเรียกว่า "กำลังเบรก" ส่วนกำลังที่ปั๊มให้ออกมานั้นเราเรียกว่า "กำลังไฮดรอลิก"

### 2.8.2) กราฟสมรรถนะของปั๊ม (Pump Performance Curves)

ปั๊มที่ผลิตออกมาส่วนใหญ่แล้วจะมีลักษณะจำเพาะสำหรับใช้งานแตกต่างกันออกไปตามที่บริษัทผู้ผลิตได้ทดสอบและออกแบบไว้ ผลการทดสอบทางผู้ผลิตจะเก็บค่าข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวกับการนำไปออกแบบของผู้ใช้งานที่จำเป็นต้องทราบซึ่งแสดงออกมาในรูปของกราฟสมรรถนะของปั๊มเพื่อจะบ่งบอกถึงความสามารถในการทำงานของปั๊มตามที่ได้ทดสอบไว้เพื่อนำไปออกแบบตามลักษณะงานของลูกค้า กราฟสมรรถนะจะระบุค่าต่างๆเช่นประสิทธิภาพรวม, ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร, กำลังไฮดรอลิกที่ให้, และอัตราการไหล ค่าเหล่านี้จะเทียบกับการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบบนเส้นความดันคงที่ดังแสดงไว้ในตัวอย่างกราฟสมรรถนะเป็นปั๊มลูกสูบตั้งรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 2.2 กราฟแสดงสมรรถนะของปั๊มลูกสูบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

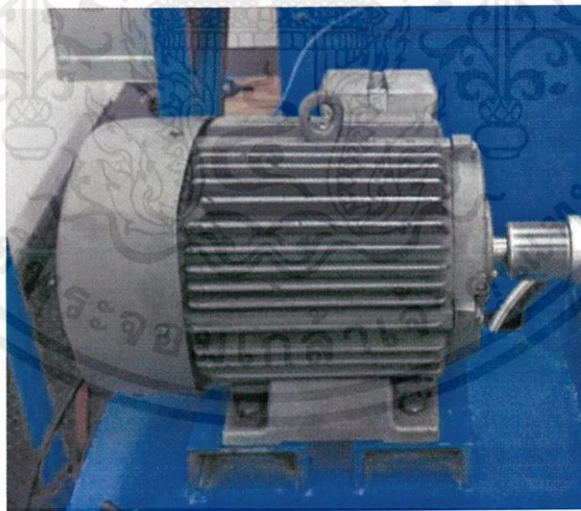
### อุปกรณ์การทดลองและวิธีการทดลอง

ในบทนี้แสดงอุปกรณ์สำหรับการทดลองรวมทั้งวิธีการทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของปั๊ม ตามมาตรฐาน ISO 4409 [3] เมื่อใช้น้ำมันปาล์มโดยการทดสอบเปรียบเทียบกับน้ำมันไฮดรอลิกภายใต้สภาวะเดียวกัน

#### 3.1 อุปกรณ์การทดลอง

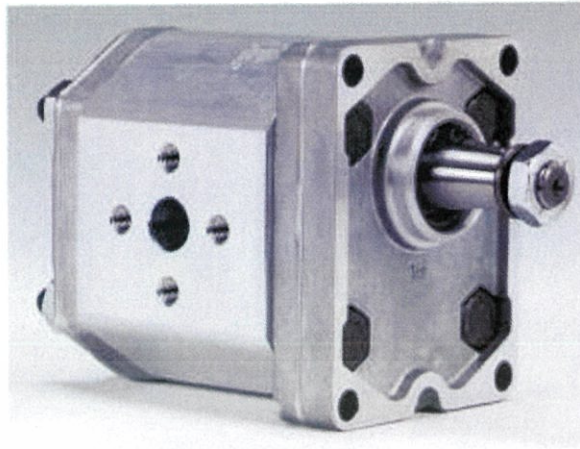
##### 3.1.1) อุปกรณ์ชุดต้นกำลัง

การเลือกประเภทและอุปกรณ์จำเป็นต้องให้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งาน การทดลองนี้เราได้เลือกใช้ชุดต้นกำลังซึ่งประกอบไปด้วยมอเตอร์ ยี่ห้อ Mez Mohelnice AP112M-4 4 กิโลวัตต์ 5.5 แรงม้า สามเฟส 50 เฮิร์ต  $\cos\phi = 0.83$  และเกียร์ปั๊ม ยี่ห้อ Marzocchi APL2D-20 ความจุปั๊มต่อรอบ 14.1 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อรอบ อัตราการไหลที่ 1500 รอบต่อนาที เท่ากับ 20.1 ลิตรต่อนาที ความเร็วรอบสูงสุดเท่ากับ 4000 ทนความดันได้สูงสุด 270 บาร์



รูปที่ 3.1 มอเตอร์

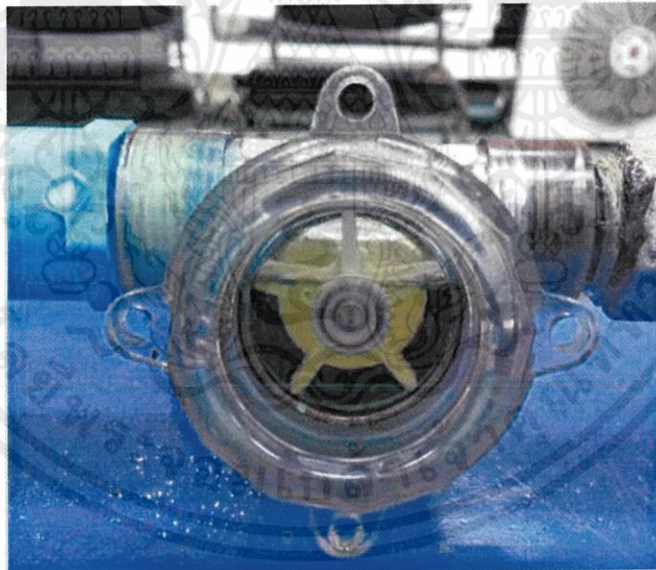
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 ปัมป์ไฮดรอลิกชนิดเกียร์บีบ

### 3.1.2) อุปกรณ์วัดอัตราการไหล

การวัดอัตราการไหลของของไหลในระบบไฮดรอลิกนั้นมีหลายวิธี ซึ่งการทดลองนี้ได้เลือกใช้เครื่องมือวัดอัตราการไหลและมีการสอบเทียบกับการตวงน้ำมันไฮดรอลิกและน้ำมันปาล์มโดยการวัดปริมาตรเทียบต่อเวลา



รูปที่ 3.3 เครื่องวัดอัตราการไหล

$$Q_a = \frac{\text{Volume}}{\text{time}} = \frac{V}{t} \quad (3.1)$$

เมื่อ V คือ ปริมาตรของของน้ำมันไฮดรอลิกและน้ำมันปาล์ม (L)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

t คือ เวลา (sec)

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งหากมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.3) เซนเซอร์ทรานสดิวเซอร์

เป็นอุปกรณ์วัดความดัน มีเซนเซอร์เซรามิกทำมาจากวัสดุยืดหยุ่นได้ซึ่งจะตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงความดันโดยการยืดหรือหดตัวจากจุดสมดุลเดิม ทำหน้าที่แปลงสัญญาณที่ได้รับจากเซนเซอร์ไปเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า โดยเลือกใช้ยี่ห้อ Bourdon Haenni E913 ช่วงความดันที่วัดได้ 0-400 บาร์ ความต่างศักย์ไฟฟ้ากระแสตรงเข้าเท่ากับ 11-40 VDC กระแสไฟฟ้าออกเท่ากับ 4-20 มิลลิแอมแปร์



รูปที่ 3.4 เซนเซอร์ทรานสดิวเซอร์

### 3.1.4) เครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้า

เป็นอุปกรณ์สำหรับวัดกำลังไฟฟ้าที่ให้แก่มอเตอร์ โดยนำค่าที่ได้นั้นไปใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพรวม

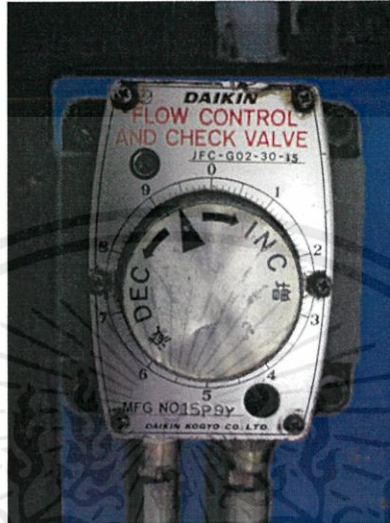


รูปที่ 3.5 เครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.5) วาล์วควบคุมการไหล

อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของของไหลในระบบไฮดรอลิคต้องเลือกให้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งาน การทดลองนี้ได้เลือกใช้วาล์วควบคุมการไหลแบบปรับค่าได้



รูปที่ 3.6 วาล์วควบคุมอัตราการไหล

### 3.1.6) อินเวอร์เตอร์

เป็นอุปกรณ์ชุดควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ ยี่ห้อ โตชิบ้า VFS11-4055PL-WN(R5) 3 เฟส 5.5 กิโลวัตต์ 11 กิโลวา 7.5 แรงม้า ความต่างศักย์ไฟฟ้าเข้า 380/500 โวลต์ ความต่างศักย์ไฟฟ้าออก 380/500 โวลต์ ความถี่เข้า 50/60 เฮิร์ต ความถี่ออก 0.5/500 กระแสไฟฟ้าเข้า 21.9/16.5 แอมแปร์ กระแสไฟฟ้าออก 14.3 แอมแปร์ โดยจะทำการปรับความเร็วรอบที่ 600, 1000, และ 1400 รอบต่อนาที



รูปที่ 3.7 อินเวอร์เตอร์

### 3.1.7) น้ำมันไฮดรอลิกและน้ำมันปาล์มที่ใช้ทดสอบ

การทดสอบสมรรถนะของปั๊มไฮดรอลิกครั้งนี้ใช้น้ำมันไฮดรอลิก VG 46 Shell Tellas และน้ำมันปาล์มตามท้องตลาดทั่วไปยี่ห้อโบนัส ดังรูปภาพ



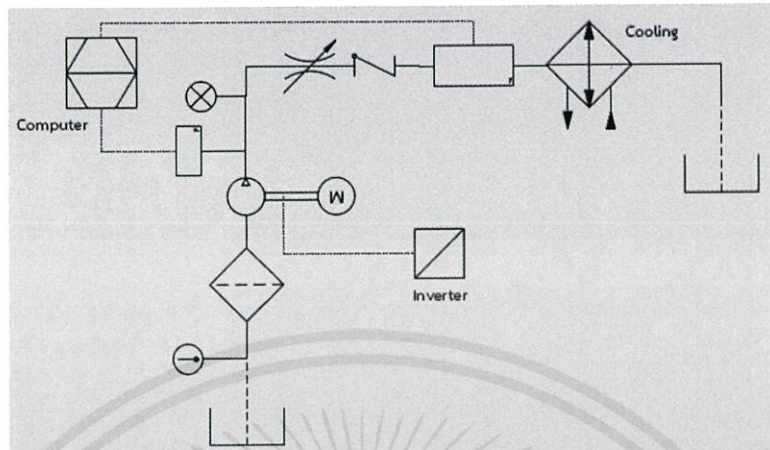
รูปที่ 3.8 ข้ายน้ำมันไฮดรอลิก และกลาง, ขวาน้ำมันปาล์มที่ใช้ทดสอบ

### 3.1.8) ภาพรวมของระบบทดสอบ

การทดสอบประสิทธิภาพของปั๊มไฮดรอลิกและการทดสอบคุณสมบัติของน้ำมันปาล์ม โดยอุปกรณ์ต่างๆได้ถูกแสดงในรูปที่ 3.9 และ 3.10 ประกอบด้วย มอเตอร์ไฟฟ้าสามเฟส, ปั๊มไฮดรอลิกชนิดเกียร์ปั๊ม, อินเวอร์เตอร์, เกจวัดความดัน, เพสเซอร์ทรานสดิวเซอร์, วาล์วควบคุมอัตราการไหล, อุปกรณ์วัดอัตราการไหล, พัดลมระบายความร้อน, เครื่องมือวัดรอบ โดยจะทดสอบประสิทธิภาพปั๊มไฮดรอลิกในช่วงความดัน 0-120 บาร์ ที่อุณหภูมิคงที่ 40 องศาเซลเซียส และทดสอบที่ความดันคงที่ 60 บาร์ ในช่วงอุณหภูมิ 40-70 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.9 ชุดทดสอบสมรรถนะน้ำมันปาล์มและประสิทธิภาพของปั๊มไฮดรอลิก



รูปที่ 3.10 วงจรทดสอบสมรรถนะน้ำมันปาล์มและประสิทธิภาพของปั๊มไฮดรอลิก

## 3.2 การทดสอบ

### 3.2.1) วิธีการทดสอบคุณสมบัติของน้ำมัน

1. ทำการติดตั้งและจัดเตรียมอุปกรณ์ และวัดค่าความหนาแน่น[5]ของน้ำมันที่อุณหภูมิ 40-70 องศาเซลเซียส
2. ตรวจสอบตาชั่งอิเล็กทรอนิกส์ ให้ค่าเริ่มต้นของระบบอยู่ที่ 0 กิโลกรัม
3. เปิดวาล์วควบคุมการไหลจนสุด ให้ความดันในระบบเป็น 0 บาร์
4. เปิดสวิตช์ให้มอเตอร์ไฟฟ้าทำงาน จากนั้นหมุนปรับวาล์วให้ได้ความดันในระบบสูง 80-100 บาร์ เพื่อให้ของไหลที่ผ่านวาล์วมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นจากการสูญเสียกำลัง
5. เมื่ออุณหภูมิของน้ำมันในระบบ เท่ากับ 40 องศาเซลเซียส หมุนวาล์วเปลี่ยนทิศทางการไหลให้น้ำมันไหลเข้าสู่ถังตวง ทำการจับเวลาตั้งแต่ น้ำมันไหลเข้าถังตวง จนกระทั่งน้ำมันในถังตวงครบ 5 ลิตร จึงหยุดเวลา และหมุนวาล์วเปลี่ยนทิศทางการไหลของน้ำมันให้กลับเข้าสู่ระบบ
6. จดบันทึกค่าน้ำหนักที่ชั่งได้ ในหน่วยกิโลกรัม จากน้ำมัน 5 ลิตร และบันทึกเวลา
7. ทำการทดลองเช่นนี้ 3 ครั้งเพื่อนำค่าความหนาแน่นที่ได้มาเฉลี่ย
8. ทำการทดสอบค่าความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 40, 45, 50, 55, 60, 65, และ 70 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในประโยชน์ด้านการค้า  
เซลเซียส และนำผลการทดสอบความหนาแน่นมากับอุณหภูมิเก็บบันทึกกลางตาราง  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.2) วิธีการทดสอบหาประสิทธิภาพของไฮดรอลิคปั๊ม

#### 3.2.2.1) ทดสอบที่สภาวะความดัน 0-120 บาร์ ที่อุณหภูมิคงที่ 40 องศาเซลเซียส

1. เปิดวาล์วควบคุมการไหลจนสุด ให้ความดันในระบบเป็น 0 บาร์
2. เปิดสวิทซ์ให้มอเตอร์ไฟฟ้าทำงาน และหมุนปรับอินเวอร์เตอร์ให้ความเร็วรอบของมอเตอร์อยู่ที่ 600 รอบต่อนาที ทำการเซทโปรแกรม Lab View และเครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้า
3. เมื่อน้ำมันในระบบ มีอุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส แล้วจึงทำการเก็บค่ากำลังไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์ไฟฟ้า จากเครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้า
4. ทำการหมุนปรับวาล์วควบคุมการไหลลงให้มีค่าความดันในระบบเท่ากับ 20, 40, 60, 80, 100, และ 120 บาร์ ตามลำดับเพื่อทำการเก็บผลตามความดันต่างๆ
5. เปลี่ยนความเร็วรอบ โดยหมุนปรับที่อินเวอร์เตอร์ ทำเช่นเดียวกับข้อที่ 2 และ 3 ให้ได้ ความเร็วรอบเท่ากับ 1000 รอบต่อนาที และ 1400 รอบต่อนาทีตามลำดับ
6. ทำการทดลองเช่นนี้จำนวน 5 ครั้ง เพื่อนำผลทดสอบมาเฉลี่ยกัน
7. นำผลการทดสอบที่ได้มาบันทึกในตาราง คำนวณสมรรถนะ และเขียนกราฟ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถนะของน้ำมันไฮดรอลิคและน้ำมันปาล์มกับความดันที่อุณหภูมิคงที่ 40 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วรอบ 600, 1000 และ 1400 รอบต่อนาที

#### 3.2.2.2) ทดสอบในสภาวะอุณหภูมิ 40-70 องศาเซลเซียส ที่ความดันคงที่ 60 บาร์

1. เปิดวาล์วควบคุมการไหลจนสุด ให้ความดันในระบบเป็น 0 บาร์
2. เปิดสวิทซ์ให้มอเตอร์ไฟฟ้าทำงาน และหมุนปรับอินเวอร์เตอร์ให้ความเร็วรอบของมอเตอร์อยู่ที่ 1400 รอบต่อนาที และทำการเซทโปรแกรม Lab View และเครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้า
3. ทำการหมุนปรับวาล์วควบคุมการไหลลง ให้มีค่าความดันในระบบเท่ากับ 60 บาร์
4. เมื่ออุณหภูมิของน้ำมันภายในระบบ มีอุณหภูมิเท่ากับ 40 องศาเซลเซียส แล้วจึงทำการเก็บค่ากำลังไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์ไฟฟ้า จากเครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 4 ปรับเปลี่ยนอุณหภูมิของน้ำมันภายในระบบจากอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็น 45, 50, 55, 60, 65 และ 70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ
6. ทำการทดลองเช่นนี้ 5 ครั้ง เพื่อนำผลทดสอบมาเฉลี่ยกัน
7. นำผลการทดสอบที่ได้มาบันทึกในตาราง คำนวณสมรรถนะ และเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถนะของน้ำมันไฮดรอลิกและน้ำมันปาล์มกับอุณหภูมิที่ความดันคงที่ 60 บาร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

จากการทดสอบเก็บผลข้อมูลของน้ำมันปาล์มและน้ำมันไฮดรอลิกเอามาเปรียบเทียบกันโดยแบ่งเป็น 3 ส่วนของการทดสอบคือ

1. ทดสอบค่าคุณสมบัติของแต่ละน้ำมันตามมาตรฐานอุตสาหกรรมน้ำมันไฮดรอลิก
2. ทดสอบสมรรถนะของน้ำมันโดยเปลี่ยนแปลงสภาวะความดัน 0-120 บาร์ อุณหภูมิคงที่ 40 องศาเซลเซียส โดยทำการศึกษาที่ความเร็วรอบต่างกันของปั๊มที่ 600, 1000 และ 1400 รอบ/นาที
3. ทดสอบสมรรถนะของน้ำมันโดยเปลี่ยนแปลงสภาวะอุณหภูมิ 40-70 องศาเซลเซียสที่ความดันคงที่ 60 บาร์

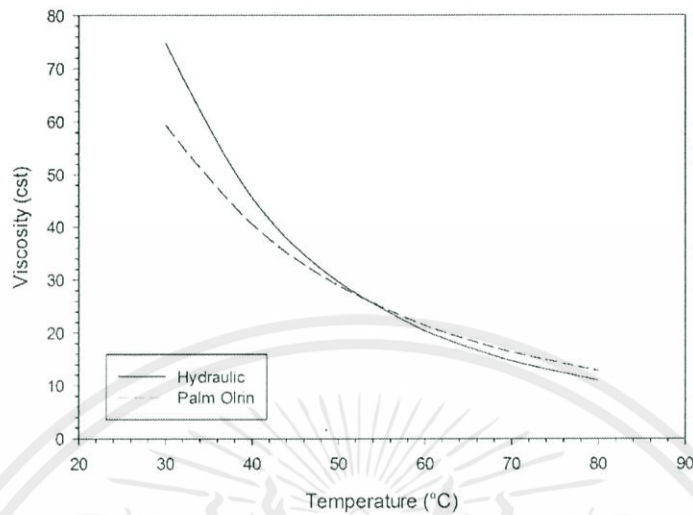
#### 4.1 การทดสอบคุณสมบัติของน้ำมันปาล์มและน้ำมันไฮดรอลิก

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติของน้ำมันปาล์มและน้ำมันไฮดรอลิก [6]

Type/Property	Palm olein	Hydraulic oil VG 46
Density at 15 °c	0.9154	0.879
*Kinematic Viscosity at 40 °c (cSt)	40.58	46
*Kinematic Viscosity at 100 °c (cSt)	8.41	6.7
Viscosity Index	191	98
*Flash point (°c)	322	225

\*ทำการทดสอบที่กรมวิทยาศาสตร์บริการ ราชเทวี กรุงเทพมหานคร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดโคเนมาติกกับอุณหภูมิ

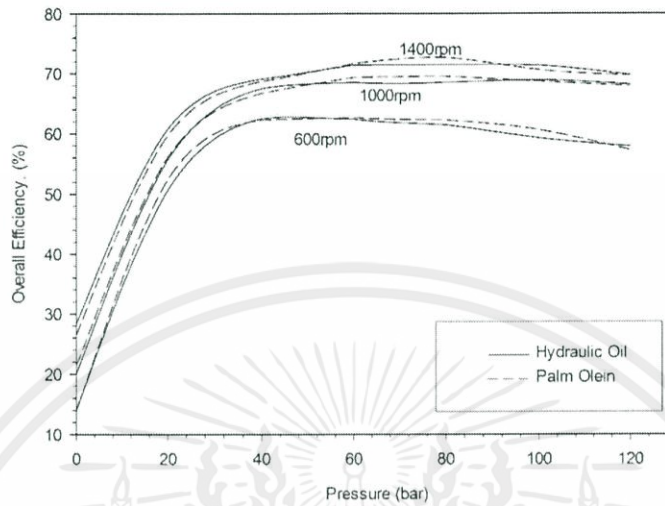
จากรูปกราฟที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าความหนืดของน้ำมันปาล์มและน้ำมันไฮดรอลิกลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นโดยน้ำมันทั้งสองชนิดมีค่าความหนืดเท่ากันที่ อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส โดยช่วงอุณหภูมิ 40-55 องศาเซลเซียส ความหนืดของน้ำมันไฮดรอลิกจะสูงกว่าน้ำมันปาล์ม แต่ช่วงอุณหภูมิ 55-70 องศาเซลเซียส ความหนืดของน้ำมันไฮดรอลิกจะมีค่าต่ำกว่าน้ำมันปาล์ม เนื่องมาจากค่าดัชนีความหนืด (Viscosity Index) ของน้ำมันปาล์มสูงกว่าน้ำมันไฮดรอลิก ดังนั้นความหนืดของน้ำมันปาล์มจะมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากอุณหภูมिन้อยกว่าน้ำมันไฮดรอลิก จึงทำให้การเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำมันทั้งสองต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดสอบน้ำมันไฮดรอลิก VG 46 และน้ำมันปาล์มที่สภาวะความดัน 0-120 บาร์ อุณหภูมิคงที่ 40 องศาเซลเซียส โดยทำการศึกษาที่ความเร็วรอบต่างกันของปั๊มที่ 600, 1000 และ1400 รอบ/นาที

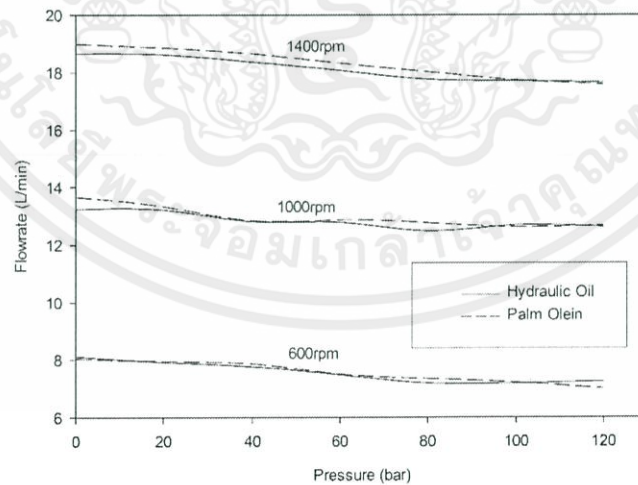
ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบน้ำมันไฮดรอลิก VG 46 และน้ำมันปาล์มที่สภาวะความดัน 0-120 บาร์ อุณหภูมิคงที่ 40 องศาเซลเซียส โดยทำการศึกษาที่ความเร็วรอบต่างกันของปั๊มที่ 600, 1000 และ1400 รอบ/นาที

Pressure(bar)		Flow (L/min)		Power in (kW)		Power out (kW)		Overall Eff. (%)	
		Hydraulic	Palm	Hydraulic	Palm	Hydraulic	Palm	Hydraulic	Palm
0	600	8.12	8.03	0.26	0.26	0.04	0.04	14.05	13.90
	1000	13.24	13.66	0.41	0.42	0.08	0.09	20.03	21.41
	1400	18.66	18.99	0.60	0.62	0.17	0.16	28.30	26.50
20	600	7.92	7.95	0.56	0.54	0.28	0.28	50.70	52.49
	1000	13.22	13.34	0.89	0.88	0.50	0.49	55.71	56.20
	1400	18.63	18.87	1.20	1.21	0.73	0.72	60.82	59.77
40	600	7.76	7.86	0.89	0.90	0.56	0.56	62.48	62.26
	1000	12.81	12.85	1.36	1.38	0.92	0.92	67.49	66.73
	1400	18.38	18.66	1.95	1.96	1.35	1.35	69.11	68.71
60	600	7.48	7.51	1.24	1.25	0.77	0.78	62.36	62.67
	1000	12.79	12.88	1.93	1.91	1.32	1.32	68.50	69.32
	1400	18.09	18.34	2.66	2.57	1.90	1.84	71.41	71.73
80	600	7.19	7.34	1.64	1.62	1.01	1.01	61.42	62.22
	1000	12.79	12.77	2.55	2.51	1.75	1.75	68.53	69.53
	1400	17.78	18.04	3.44	3.35	2.46	2.44	71.50	72.70
100	600	7.18	7.21	2.12	2.05	1.26	1.24	59.24	60.61
	1000	12.69	12.62	3.18	3.20	2.19	2.20	68.90	68.67
	1400	17.73	17.75	4.24	4.29	3.03	3.03	71.37	70.62
120	600	7.25	7.00	2.61	2.55	1.51	1.46	57.84	57.23
	1000	12.63	12.69	3.88	3.82	2.68	2.59	69.16	67.91
	1400	17.87	17.60	5.16	5.20	3.60	3.62	69.78	69.69



กราฟที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพรวมกับความดันที่อุณหภูมิคงที่ 40°C

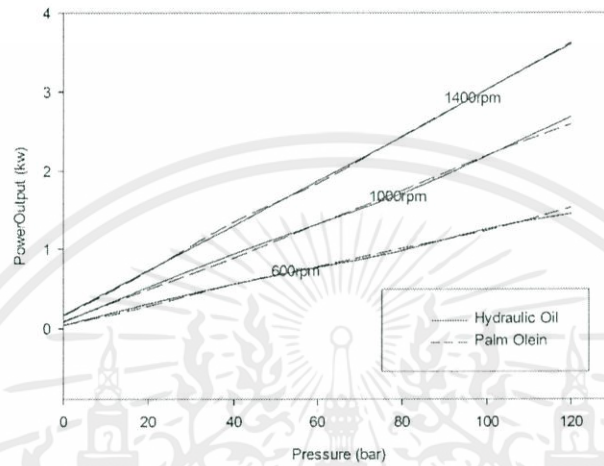
จากรูปกราฟที่ 4.2 ประสิทธิภาพรวมเมื่อสภาวะความดันเปลี่ยนแปลงของน้ำมันปาล์มและน้ำมันไฮดรอลิก เห็นได้ว่าแนวโน้มมีค่าที่ใกล้เคียงกันระหว่างน้ำมันปาล์มและน้ำมันไฮดรอลิก โดยที่ 600 rpm มีประสิทธิภาพสูงสุดที่ 40 bar, 1000 rpm อยู่ที่ 60 bar , และ 1400 rpm อยู่ที่ 80 bar



กราฟที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับความดันที่อุณหภูมิคงที่ 40°C

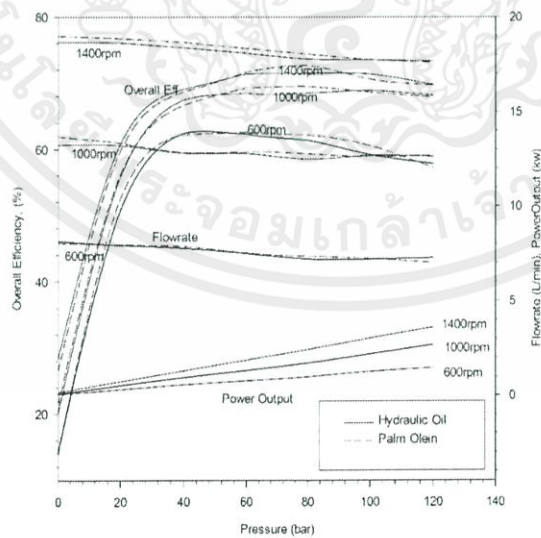
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปกราฟที่ 4.3 แสดงอัตราการไหลของน้ำมันปาล์มและน้ำมันไฮดรอลิก มีแนวโน้มลดลงเป็นเชิงเส้นเท่าๆกันเมื่อความดันเพิ่มขึ้น เมื่อมีความเร็วรอบที่สูงก็จะทำให้อัตราการไหลสูงขึ้นไปด้วย



กราฟที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังที่ได้จากปั๊มกับความดันที่อุณหภูมิคงที่ 40°C

จากรูปกราฟที่ 4.4 แสดงการให้กำลังที่ได้จากปั๊มโดยมีแนวโน้มสูงขึ้นเป็นเชิงเส้น เมื่อความดันการทำงานสูงขึ้นและกำลังที่ได้จากปั๊มสูง เมื่อความเร็วน้ำมันสูงขึ้นด้วย



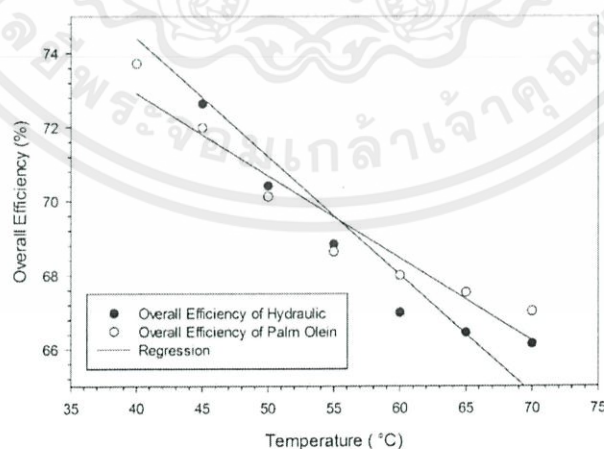
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่มอบไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น การตีพิมพ์ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปกราฟที่ 4.5 แสดงสมรรถนะปั๊มไฮดรอลิก ประสิทธิภาพเชิงรวม อัตราการไหล และกำลังได้จากปั๊ม เพื่อดูสมรรถนะของปั๊มไฮดรอลิกเมื่อนำน้ำมันปาล์มและน้ำมันไฮดรอลิกตามมาตรฐานการทดสอบปั๊ม [5]

#### 4.3 การทดสอบน้ำมันไฮดรอลิกและน้ำมันปาล์มที่สภาวะอุณหภูมิ 40-70 °C ความดันคงที่ 60 bar

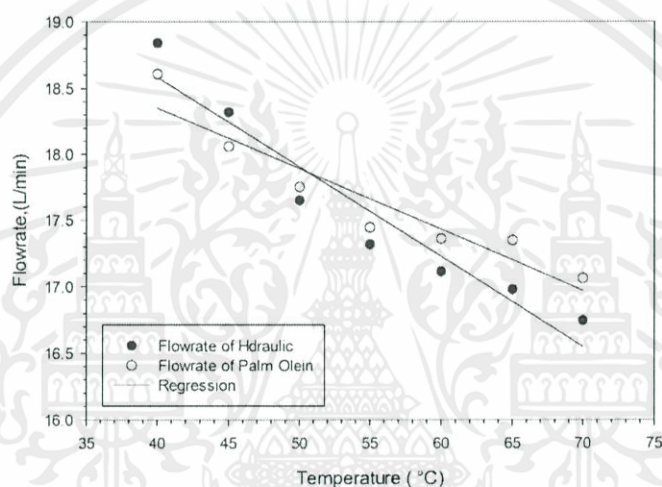
ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบน้ำมันไฮดรอลิกและน้ำมันปาล์มที่สภาวะอุณหภูมิ 40-70 °C ความดันคงที่ 60 bar

Temp.(°C)	Density (10 <sup>3</sup> kg/m <sup>3</sup> )		Flow rate (L/min)		Power input (kw)		Power Output (kw)		Overall Eff. (%)	
	Hydraulic	Palm	Hydraulic	Palm	Hydraulic	Palm	Hydraulic	Palm	Hydraulic	Palm
40	0.8748	0.9156	18.37	18.61	2.66	2.54	1.91	1.87	71.67	73.72
45	0.8702	0.9128	18.32	18.06	2.57	2.59	1.87	1.86	72.64	72.00
50	0.8662	0.9084	17.65	17.75	2.59	2.57	1.82	1.80	70.42	70.13
55	0.8632	0.9058	17.12	17.77	2.50	2.62	1.70	1.83	68.05	69.90
60	0.8568	0.9046	17.02	17.36	2.51	2.62	1.71	1.78	67.94	68.00
65	0.8518	0.9030	16.69	17.35	2.49	2.63	1.65	1.78	66.39	67.54
70	0.8494	0.9002	16.19	17.06	2.53	2.62	1.64	1.74	64.70	66.51



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับความลับ ซึ่งการเปิดเผยข้อมูลนี้ไปอาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อผลประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปกราฟที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพรวมของน้ำมันปาล์มและน้ำมันไฮดรอลิกมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยที่ช่วงอุณหภูมิ 40-55°C ความหนืดของน้ำมันไฮดรอลิกจะสูงกว่าน้ำมันปาล์ม แต่ที่ช่วงอุณหภูมิ 55-70°C ความหนืดของน้ำมันไฮดรอลิกจะมีค่าต่ำกว่าน้ำมันปาล์ม เนื่องจากค่าดัชนีความหนืด (Viscosity Index) ของน้ำมันปาล์มสูงกว่าน้ำมันไฮดรอลิกส่งผลทำให้ความหนืดเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิของน้ำมันปาล์มและน้ำมันไฮดรอลิกไม่เท่ากัน โดยของไหลที่มีค่าความหนืดต่ำจะเกิดการรั่วภายในของปั๊มได้มากกว่า เพราะฉะนั้นส่งผลให้น้ำมันปาล์มมีประสิทธิภาพรวมสูงกว่าน้ำมันไฮดรอลิกในช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่า 55°C



กราฟที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับอุณหภูมิที่ความดันคงที่ 60 bar

จากรูปกราฟที่ 4.7 แสดงอัตราการไหลของน้ำมันปาล์มและน้ำมันไฮดรอลิก มีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยที่ช่วงอุณหภูมิ 40-55°C ความหนืดของน้ำมันไฮดรอลิกจะสูงกว่าน้ำมันปาล์ม แต่ที่ช่วงอุณหภูมิ 55-70°C ความหนืดของน้ำมันไฮดรอลิกจะมีค่าต่ำกว่าน้ำมันปาล์ม เนื่องมาจากค่าดัชนีความหนืด (Viscosity Index) ของน้ำมันปาล์มสูงกว่าน้ำมันไฮดรอลิกส่งผลทำให้ความหนืดเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิทั้งสองน้ำมันต่างกัน โดยของไหลที่มีค่าความหนืดต่ำจะเกิดการรั่วภายในของปั๊มได้มากกว่า เพราะฉะนั้นส่งผลให้น้ำมันปาล์มมีอัตราการไหลเชิงปริมาตรสูงกว่าน้ำมันไฮดรอลิกในช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่า 55°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



จากรูปกราฟที่ 4.9 แสดงสมรรถนะทั้งสองน้ำมันประสิทธิภาพรวม กำลังที่ได้จากปั๊ม พบว่า ประสิทธิภาพรวมของปั๊มไฮดรอลิกมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น โดยในช่วงอุณหภูมิ 40-55°C ความหนืดของน้ำมันไฮดรอลิกสูงกว่าน้ำมันปาล์ม แต่ในช่วงอุณหภูมิ 55-70°C ความหนืดของน้ำมันไฮดรอลิกมีค่าต่ำกว่าน้ำมันปาล์ม เนื่องจากค่าดัชนีความหนืด (Viscosity Index) ของน้ำมันปาล์มสูงกว่าน้ำมันไฮดรอลิกส่งผลทำให้ความหนืดที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิทั้งสองน้ำมันต่างกัน โดยของไหลที่มีค่าความหนืดต่ำจะเกิดการรั่วภายในของปั๊มได้มากกว่า เพราะฉะนั้นส่งผลให้น้ำมันปาล์มมีประสิทธิภาพรวม, กำลังที่ได้ และอัตราการไหลเชิงปริมาตรสูงกว่าน้ำมันไฮดรอลิก ในช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่า 55°C และความหนาแน่นของทั้งสองมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นแต่ความหนาแน่นของน้ำมันปาล์มก็ยังคงมีความหนาแน่นที่สูงกว่าน้ำมันไฮดรอลิก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบคุณสมบัติน้ำมันทั้งสองชนิดละเอียดเปรียบเทียบกับตามตารางที่ 4.1 พบว่าคุณสมบัติของทั้งสองน้ำมันนี้มีค่าความหนืดที่แตกต่างกันเล็กน้อยที่ 40 °C ซึ่งน้ำมันไฮดรอลิกมีค่า 46 cSt น้ำมันปาล์มมีค่าอยู่ที่ 40.58 cSt และค่าดัชนีความหนืด (Viscosity Index) ที่แตกต่างกันเป็นสองเท่า โดยน้ำมันไฮดรอลิกมีค่า 98 น้ำมันปาล์มมีค่า 191 จึงทำให้เราศึกษาผลกระทบเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงด้วยในสภาวะแรกเราจะทดสอบน้ำมันให้อยู่ภายใต้การเปลี่ยนแปลงของความดันซึ่งเป็นหลักการทั่วไปตามมาตรฐานการทดสอบสมรรถนะปั๊ม และศึกษาอีกในสภาวะของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเพื่อที่จะทดสอบว่าดัชนีความหนืดที่ต่างกันของทั้งสองน้ำมันนั้นจะส่งผลต่อสมรรถนะอย่างไร

5.1.1) สรุปผลการทดสอบน้ำมันไฮดรอลิก VG 46 และน้ำมันปาล์มที่สภาวะความดัน 0-120 bar อุณหภูมิคงที่ 40°C โดยทำการศึกษาที่ความเร็วรอบต่างกันของปั๊มที่ 600, 1000 และ 1400 รอบ/นาที

จากการทดสอบกราฟที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถนะของน้ำมันไฮดรอลิกและน้ำมันปาล์มกับความดัน 0-120 bar ที่อุณหภูมิคงที่ 40°C เปลี่ยนแปลงความเร็วรอบที่ 600, 1000 และ 1400 รอบ/นาทีพบว่าแนวโน้มของทั้งสองน้ำมันมีค่าสมรรถนะใกล้เคียงกันอาจจะเห็นความแตกต่างเล็กน้อยเนื่องมาจากค่าความคลานเคลื่อนของการทดลองและการใช้เครื่องมือวัด ประสิทธิภาพรวมนั้นจะเห็นจากกราฟได้ว่าการทดลองที่ความเร็วรอบ 600 rpm จะมีค่าต่ำกว่า 1000 rpm ถึง 7% และที่ความเร็วรอบ 1000 rpm จะมีค่าต่ำกว่า 1400 rpm ถึง 3.5% โดยเนื่องมาจากความสามารถหรือลักษณะจำเพาะของปั๊มแต่ละปั๊มอยู่ที่ผู้ผลิตจะออกแบบมาเพื่อลักษณะงาน ในปั๊มนี้มีจุดทำงานที่ประสิทธิภาพรวมสูงสุดอยู่ที่ 1400 rpm ที่ความดัน 80 bar ผลจากสภาวะแรกความดันต่างกันซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0-120 บาร์ ที่อุณหภูมิคงที่ 40°C นั้นทั้งน้ำมันไฮดรอลิกและน้ำมันปาล์มมีค่าสมรรถนะของปั๊มไฮดรอลิกประสิทธิภาพรวม, กำลังที่ใช้, กำลังที่ได้และอัตราการไหลเชิงปริมาตรใกล้เคียงกันมากจึงสามารถใช้น้ำมันปาล์มแทนน้ำมันไฮดรอลิกได้แต่ก็ต้องเป็นน้ำมันปาล์มที่ใหม่เพราะระยะเวลาานานจะทำให้ น้ำมันปาล์มเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันอาจจะมีผลทำให้ น้ำมันเสียคุณสมบัติไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.1.2) สรุปผลการทดสอบน้ำมันไฮดรอลิกและน้ำมันปาล์มที่สภาวะอุณหภูมิ 40-70 °C ความดันคงที่ 60 bar

จากการทดสอบกราฟที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดของน้ำมันไฮดรอลิกและน้ำมันปาล์มกับอุณหภูมิ เราพบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าความหนืด (Viscosity) ของน้ำมันทั้งสองจะลดลง โดยในช่วงอุณหภูมิ 40-55°C ความหนืดของน้ำมันไฮดรอลิกจะสูงกว่าน้ำมันปาล์ม แต่ในช่วงอุณหภูมิ 55-70°C ความหนืดของน้ำมันไฮดรอลิกจะมีค่าต่ำกว่าน้ำมันปาล์ม เนื่องจากค่าของดัชนีความหนืดแตกต่างกันของน้ำมันปาล์มสูงกว่าน้ำมันไฮดรอลิกส่งผลทำให้ความหนืดที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิทั้งสองน้ำมันไม่เท่ากัน ของไหลที่มีค่าความหนืดต่ำจะเกิดการรั่วภายในของปั๊มได้มากกว่า พบว่าความหนืดของน้ำมันทั้งสองมีผลทำให้ประสิทธิภาพรวมของทั้งสองน้ำมันมีแนวโน้มลดลง 10% เป็นเชิงเส้นเท่ากันเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจาก 40°C เป็น 70°C จากค่าความหนืดที่ลดลงตามอุณหภูมิที่สูงขึ้นเพราะเกิดจากค่าประสิทธิภาพเชิงปริมาตรที่ต่ำลงเพราะเกิดการรั่วภายในของตัวปั๊มซึ่งทำให้ค่าสมรรถนะก็เป็นไปตามค่าความหนืดของทั้งสองน้ำมันที่เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิด้วยโดยที่ 55°C ของน้ำมันไฮดรอลิกจะมีค่าประสิทธิภาพรวมสูงกว่าน้ำมันปาล์ม และที่อุณหภูมิสูงกว่า 55°C น้ำมันไฮดรอลิกจะมีค่าต่ำกว่าน้ำมันปาล์มเช่นกันดังกราฟที่ 4.9 แสดงสมรรถนะเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง

### 5.1.3) ข้อเสนอแนะ

อุปกรณ์การวัดผลทดสอบต่างๆในระบบอาจจะมีการคลานเคลื่อนไปบ้างเนื่องจากความแม่นยำของอุปกรณ์การวัดเองและความผิดพลาดที่เกิดจากผู้ทดสอบเองเราจึงต้องทำการทดสอบหลายๆครั้งจนมีแนวโน้มของผลที่เพียงพอ โดยดูจากการวิเคราะห์หากเป็นไปตามทฤษฎีและสรุปผลได้ชัดเจน ในการทดสอบครั้งนี้ทำให้ประสิทธิภาพรวมของปั๊มยังไม่เป็นที่ถูกต้อง 100% เพราะว่าจากการวัดพลังงานที่เข้าปั๊มนั้นที่จริงแล้วต้องเป็นพลังงานทางกลคือต้องมีเครื่องมือวัดทอร์คจึงจะทำให้เราทราบพลังงานกลที่เข้าอย่างจริงจังนั้นทำให้เราหาประสิทธิภาพของปั๊มได้อย่างถูกต้อง และข้อที่ทำให้เป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อารทดสอบคือการควบคุมอุณหภูมิซึ่งในการทดสอบครั้งนี้เป็นไปอย่างยากลำบากเพราะควบคุมจากการคุมอเตอร์อุณหภูมิ หลีวารวัลเพื่อให้อุณหภูมิสูงขึ้น และเปิด-ปิดพัดลมเพื่อลดอุณหภูมิ เพื่อให้คงที่ต่อการวัดแต่ถ้ามีชุดควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติก็จะทำให้ผลทดสอบแม่นยำยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Anthony Esposito. (2003). FLUID POWER WITH APPLICATIONS 6TH Edition. MIAMI UNIVERSITY.
- [2] ASTM D341 - 09 Standard Practice for Viscosity-Temperature Charts for Liquid Petroleum Products.
- [3] ISO 4409 HYDRAULIC FLUID POWER INTERNATIONAL STANDARD Second edition 2007-04-01.
- [4] Standard Practice for Calculating Viscosity Index from Kinematic Viscosity at 40°C and 100°C.
- [5] Standard Test Method for Density and Relative Density of Liquids by Digital Density Meter.
- [6] Technical Data Sheet Shell Tellus S2 VG46.
- [7] THAI INDUSTRIAL STANDARD มอก.977-2551 HYDRAULIC FLUID-MINERAL OIL BASE.
- [8] <http://www.doa.go.th/palm/linkTechnical/oil%20palm%20processing.html>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก.

ตารางที่ 1.ก การทดสอบที่สภาวะความดันเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิคงที่ครั้งที่ 1

Pressure(bar)		Mass(kg)		Time(s)		Input Power (kW)	
		Hydraulic	Palm	Hydraulic	Palm	Hydraulic	Palm
0	600	4.43	4.65	37.2	38.3	0.26	0.26
	800	4.4	4.62	28.4	27.8	0.32	0.32
	1000	4.29	4.56	21.9	22.3	0.41	0.42
	1200	4.41	4.42	18.3	18.2	0.5	0.5
	1400	4.29	4.44	16.2	15.3	0.6	0.62
20	600	4.32	4.63	36.9	38.3	0.56	0.54
	800	4.53	4.75	29.6	28.9	0.73	0.69
	1000	4.35	4.6	22.6	22.6	0.89	0.88
	1200	4.4	4.44	18.8	18.2	1.03	1
	1400	4.38	4.56	16.2	15.8	1.2	1.21
40	600	4.5	4.62	39.7	38.6	0.89	0.9
	800	4.42	4.56	28.6	28.3	1.13	1.11
	1000	4.37	4.43	22.9	22.6	1.36	1.38
	1200	4.31	4.32	18.5	18.3	1.7	1.63
	1400	4.33	4.59	16.3	16	1.95	1.96
60	600	4.45	4.6	40.5	39.7	1.24	1.25
	800	4.23	4.43	28.8	28.2	1.6	1.55
	1000	4.36	4.68	23.5	23.3	1.93	1.91
	1200	4.3	4.62	19.4	19.5	2.3	2.29
	1400	4.38	4.54	16.6	16.7	2.66	2.57
80	600	4.54	4.61	43.4	41.5	1.64	1.62
	800	4.24	4.49	29.4	29.3	2.08	2.04
	1000	4.23	4.59	23.5	23.6	2.55	2.51
	1200	4.42	4.53	19.6	19.3	2.96	3.01
	1400	4.49	4.49	17.4	16.5	3.44	3.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อใช้สำหรับการวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.ก การทดสอบที่สภาวะความดันเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิคงที่ครั้งที่ 1 (ต่อ)

Pressure(bar)		Mass(kg)		Time(s)		Input Power (kW)	
		Hydraulic	Palm	Hydraulic	Palm	Hydraulic	Palm
100	600	4.34	4.62	41.4	41.6	2.12	2.08
	800	4.27	4.48	30.4	29.9	2.58	2.61
	1000	4.28	4.65	23.1	23.7	3.18	3.2
	1200	4.18	4.48	19.2	18.9	3.69	3.74
	1400	4.36	4.6	16.7	16.8	4.24	4.29
120	600	4.66	4.51	45.6	40.3	2.61	2.55
	800	4.32	4.5	30.1	29.4	3.19	3.12
	1000	4.26	4.58	23.2	23.5	3.88	3.82
	1200	4.43	4.53	20.5	19.5	4.52	4.46
	1400	4.54	4.59	17.4	17.1	5.16	5.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.ก การทดสอบที่สภาวะความดันเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิคงที่ครั้งที่ 2

Pressure(bar)		Mass(kg)		Time(s)		Input Power (kW)	
		Hydraulic	Palm	Hydraulic	Palm	Hydraulic	Palm
0	600	4.41	4.73	37.4	38	0.26	0.26
	800	4.37	4.69	28.9	27.9	0.32	0.32
	1000	4.22	4.53	22.3	21.7	0.42	0.42
	1200	4.28	4.49	18.9	18.3	0.5	0.5
	1400	4.38	4.53	15.6	15.9	0.6	0.62
20	600	4.36	4.59	37.8	38.2	0.56	0.54
	800	4.48	4.72	29.1	28.6	0.73	0.69
	1000	4.29	4.57	22.2	22.4	0.89	0.88
	1200	4.45	4.41	19	17.9	1.03	1
	1400	4.36	4.49	15.8	15.6	1.2	1.21
40	600	4.48	4.53	39.5	38.5	0.89	0.9
	800	4.45	4.49	29.2	28.5	1.13	1.11
	1000	4.34	4.52	22.7	23.1	1.36	1.38
	1200	4.33	4.38	19.3	18.4	1.7	1.63
	1400	4.3	4.62	15.9	16.2	1.95	1.96
60	600	4.42	4.56	40.6	39.8	1.24	1.25
	800	4.25	4.49	29.2	28.4	1.6	1.55
	1000	4.37	4.62	23.2	23.6	1.93	1.91
	1200	4.36	4.68	19.1	19.4	2.3	2.29
	1400	4.36	4.5	16.4	16.1	2.66	2.57
80	600	4.5	4.61	43.2	41.3	1.64	1.62
	800	4.32	4.43	29.2	29.3	2.08	2.04
	1000	4.27	4.53	23.1	23.3	2.55	2.51
	1200	4.34	4.56	19.3	19.6	2.96	3.01
	1400	4.45	4.49	17.2	16.3	3.44	3.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.ก การทดสอบที่สภาวะความดันเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิครั้งที่ 2 (ต่อ)

Pressure(bar)		Mass(kg)		Time(s)		Input Power (kW)	
		Hydraulic	Palm	Hydraulic	Palm	Hydraulic	Palm
100	600	4.29	4.59	41.3	41.7	2.12	2.05
	800	4.25	4.55	31.2	29.3	2.58	2.61
	1000	4.27	4.64	23.4	23.8	3.18	3.2
	1200	4.19	4.48	18.9	19.2	3.69	3.74
	1400	4.3	4.56	16.9	16.6	4.24	4.29
120	600	4.61	4.49	45.9	39.9	2.61	2.55
	800	4.29	4.53	29.8	28.8	3.19	3.12
	1000	4.29	4.53	23.5	23.3	3.88	3.82
	1200	4.42	4.47	19.5	19.5	4.52	4.46
	1400	4.52	4.6	17.3	17.4	5.16	5.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.ก การทดสอบที่สภาวะความดันเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิคงที่ครั้งที่ 3

Pressure(bar)		Mass(kg)		Time(s)		Input Power (kW)	
		Hydraulic	Palm	Hydraulic	Palm	Hydraulic	Palm
0	600	4.4	4.69	37.4	37.8	0.26	0.26
	800	4.36	4.74	29	28.2	0.32	0.32
	1000	4.21	4.46	21.8	21.3	0.41	0.42
	1200	4.36	4.62	18.6	18.9	0.5	0.5
	1400	4.32	4.46	15.9	15.3	0.6	0.62
20	600	4.42	4.58	38.5	37.8	0.56	0.54
	800	4.54	4.73	29.5	28.8	0.73	0.69
	1000	4.32	4.58	22.5	22.5	0.89	0.88
	1200	4.36	4.43	18.7	18.1	1.03	1.01
	1400	4.4	4.48	16.3	15.7	1.2	1.21
40	600	4.42	4.68	39.1	38.7	0.89	0.9
	800	4.5	4.44	29.5	27.8	1.13	1.11
	1000	4.32	4.49	22.6	22.8	1.36	1.38
	1200	4.35	4.43	19.1	18.9	1.7	1.63
	1400	4.34	4.52	16.6	15.9	1.95	1.96
60	600	4.41	4.55	40.2	39.9	1.24	1.25
	800	4.27	4.5	29.1	28.3	1.6	1.55
	1000	4.34	4.65	23.1	23.7	1.93	1.91
	1200	4.28	4.64	18.9	19.2	2.3	2.29
	1400	4.3	4.55	16.7	16.2	2.66	2.57
80	600	4.58	4.64	43.3	41.1	1.64	1.62
	800	4.28	4.48	29.1	29.2	2.08	2.04
	1000	4.25	4.56	23.4	23.4	2.55	2.51
	1200	4.36	4.49	19.2	19.4	2.96	3.01
	1400	4.46	4.46	17.1	15.9	3.44	3.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.ก การทดสอบที่สภาวะความดันเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิครั้งที่ 3 (ต่อ)

Pressure(bar)		Mass(kg)		Time(s)		Input Power (kW)	
		Hydraulic	Palm	Hydraulic	Palm	Hydraulic	Palm
100	600	4.3	4.56	41	41.8	2.12	2.05
	800	4.26	4.53	30.5	29.5	2.59	2.61
	1000	4.3	4.6	22.9	24.2	3.19	3.19
	1200	4.16	4.47	18.5	18.7	3.69	3.74
	1400	4.32	4.57	16.5	17.2	4.24	4.29
120	600	4.64	4.51	45.3	40.4	2.61	2.55
	800	4.24	4.55	29.6	28.6	3.19	3.14
	1000	4.32	4.57	23.1	23.3	3.88	3.82
	1200	4.45	4.56	20.3	20.1	4.52	4.46
	1400	4.48	4.54	17.5	16.7	5.16	5.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.ก การทดสอบที่สภาวะความดันเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิคงที่ครั้งที่ 4

Pressure(bar)		Mass(kg)		Time(s)		Input Power (kW)	
		Hydraulic	Palm	Hydraulic	Palm	Hydraulic	Palm
0	600	4.45	4.72	36.9	38.5	0.26	0.26
	800	4.4	4.56	28.4	27.3	0.32	0.32
	1000	4.28	4.68	22	22.4	0.42	0.42
	1200	4.52	4.58	18.8	18.6	0.5	0.51
	1400	4.35	4.48	16	15.3	0.61	0.62
20	600	4.4	4.62	37.9	37.7	0.56	0.54
	800	4.53	4.69	29.3	29	0.73	0.69
	1000	4.34	4.59	22.3	22.4	0.89	0.88
	1200	4.41	4.46	19.1	17.8	1.03	1
	1400	4.37	4.56	16.3	15.8	1.2	1.21
40	600	4.45	4.56	39.3	38.2	0.89	0.9
	800	4.4	4.59	28.8	27.5	1.13	1.12
	1000	4.29	4.45	22.2	22.7	1.36	1.38
	1200	4.32	4.41	19	18.8	1.71	1.63
	1400	4.33	4.58	16.5	16.2	1.95	1.96
60	600	4.43	4.57	40.9	40.4	1.24	1.25
	800	4.21	4.45	28.9	28.5	1.59	1.55
	1000	4.32	4.64	23.4	23.5	1.93	1.91
	1200	4.32	4.67	18.7	19.6	2.3	2.29
	1400	4.32	4.47	16.5	15.8	2.66	2.58
80	600	4.49	4.58	42.9	40.9	1.64	1.62
	800	4.3	4.52	29.3	28.9	2.08	2.05
	1000	4.21	4.6	23.3	23.2	2.55	2.51
	1200	4.38	4.57	19.5	19.2	2.96	3.01
	1400	4.51	4.46	17.6	15.8	3.44	3.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.ก การทดสอบที่สภาวะความดันเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิครั้งที่ 4 (ต่อ)

Pressure(bar)		Mass(kg)		Time(s)		Input Power (kW)	
		Hydraulic	Palm	Hydraulic	Palm	Hydraulic	Palm
100	600	4.35	4.6	41.2	41.5	2.12	2.05
	800	4.32	4.49	30.6	29.7	2.59	2.61
	1000	4.29	4.62	23.4	23.9	3.18	3.2
	1200	4.17	4.45	18.7	19.2	3.69	3.74
	1400	4.37	4.59	17	16.9	4.24	4.29
120	600	4.65	4.53	45	40.6	2.61	2.55
	800	4.28	4.5	29.6	29.1	3.19	3.12
	1000	4.31	4.52	23.1	23.7	3.88	3.82
	1200	4.47	4.52	19.7	19.6	4.52	4.46
	1400	4.49	4.54	16.8	17.3	5.16	5.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.ก การทดสอบที่สภาวะความดันเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิครั้งที่ 5

Pressure(bar)		Mass(kg)		Time(s)		Input Power (kW)	
		Hydraulic	Palm	Hydraulic	Palm	Hydraulic	Palm
0	600	4.4	4.66	37.5	38.4	0.26	0.26
	800	4.41	4.69	27.8	27.8	0.32	0.32
	1000	4.25	4.52	23	22.3	0.41	0.42
	1200	4.39	4.53	18.4	18.5	0.5	0.5
	1400	4.31	4.43	15.8	15.2	0.6	0.61
20	600	4.35	4.63	37.9	38	0.56	0.54
	800	4.43	4.76	29	28.7	0.73	0.69
	1000	4.3	4.56	22.4	22.6	0.89	0.88
	1200	4.38	4.48	18.9	18	1.03	1.01
	1400	4.34	4.51	15.9	15.6	1.2	1.21
40	600	4.4	4.67	38.9	38.5	0.89	0.9
	800	4.48	4.62	29.4	27.9	1.13	1.11
	1000	4.33	4.56	22.6	23.3	1.36	1.38
	1200	4.29	4.36	19.1	18.6	1.69	1.63
	1400	4.35	4.49	16.7	15.7	1.95	1.96
60	600	4.44	4.62	40.8	40.2	1.24	1.25
	800	4.24	4.43	28.5	28.6	1.59	1.55
	1000	4.36	4.61	23.3	23.9	1.93	1.91
	1200	4.34	4.69	19.4	19.3	2.3	2.29
	1400	4.39	4.49	16.3	15.7	2.66	2.57
80	600	4.49	4.63	42.7	41.2	1.64	1.62
	800	4.26	4.48	29.5	29.3	2.08	2.04
	1000	4.24	4.52	23.2	23.5	2.55	2.51
	1200	4.4	4.6	19.4	19	2.96	3
	1400	4.48	4.42	17.6	16.5	3.44	3.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้วยวิธีการ  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.ก การทดสอบที่สภาวะความดันเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิคงที่ครั้งที่ 5 (ต่อ)

Pressure(bar)		Mass(kg)		Time(s)		Input Power (kW)	
		Hydraulic	Palm	Hydraulic	Palm	Hydraulic	Palm
100	600	4.32	4.58	41.6	41.9	2.12	2.08
	800	4.3	4.55	30.8	29.6	2.58	2.61
	1000	4.31	4.64	23.2	24.4	3.18	3.2
	1200	4.15	4.51	18.7	19.5	3.69	3.74
	1400	4.35	4.58	16.9	17	4.24	4.29
120	600	4.64	4.56	45.2	40.3	2.61	2.55
	800	4.31	4.47	29.9	29.6	3.19	3.12
	1000	4.27	4.5	23.6	23.2	3.88	3.82
	1200	4.43	4.57	20.2	19.7	4.52	4.46
	1400	4.53	4.58	17.5	16.7	5.16	5.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข.

ตารางที่ 1.ข การทดสอบที่สภาวะอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงความดันคงที่ครั้งที่ 1

Temp.(°C)	Mass(kg)		Time(s)		Power input (kW)	
	Hydraulic	Palm	Hydraulic	Palm	Hydraulic	Palm
40	4.264	4.497	15.90	15.91	2.66	2.53
45	4.297	4.485	16.09	16.39	2.58	2.59
50	4.079	4.439	15.95	16.53	2.59	2.57
55	4.279	4.372	17.42	16.29	2.50	2.62
60	4.245	4.321	17.43	16.55	2.50	2.62
65	4.197	4.552	17.78	17.23	2.49	2.63
70	4.102	4.498	17.94	17.52	2.53	2.62

ตารางที่ 2.ข การทดสอบที่สภาวะอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงความดันคงที่ครั้งที่ 2

Temp.(°C)	Mass(kg)		Time(s)		Power input (kW)	
	Hydraulic	Palm	Hydraulic	Palm	Hydraulic	Palm
40	4.235	4.485	15.79	15.88	2.66	2.54
45	4.356	4.412	16.42	16.01	2.57	2.59
50	4.085	4.425	16.01	16.49	2.59	2.57
55	4.278	4.379	17.39	16.42	2.50	2.62
60	4.195	4.382	17.33	16.66	2.51	2.62
65	4.242	4.453	17.86	17.18	2.49	2.64
70	4.121	4.519	17.96	17.59	2.53	2.62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.ข การทดสอบที่สภาวะอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงความดันครั้งที่ 3

Temp.(°C)	Mass(kg)		Time(s)		Power input (kW)	
	Hydraulic	Palm	Hydraulic	Palm	Hydraulic	Palm
40	4.324	4.624	16.12	16.19	2.67	2.55
45	4.185	4.382	15.89	15.90	2.56	2.59
50	4.015	4.473	15.77	16.58	2.59	2.57
55	4.276	4.365	17.36	16.18	2.49	2.62
60	4.269	4.349	17.57	16.63	2.52	2.62
65	4.245	4.498	17.85	17.19	2.49	2.63
70	4.146	4.452	18.02	17.45	2.53	2.62

ตารางที่ 4.ข การทดสอบที่สภาวะอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงความดันครั้งที่ 4

Temp.(°C)	Mass(kg)		Time(s)		Power input (kW)	
	Hydraulic	Palm	Hydraulic	Palm	Hydraulic	Palm
40	4.256	4.456	15.84	15.81	2.66	2.55
45	4.326	4.523	16.13	16.56	2.56	2.59
50	4.029	4.425	15.87	16.48	2.59	2.57
55	4.264	4.376	17.27	16.35	2.50	2.62
60	4.248	4.328	17.51	16.56	2.52	2.62
65	4.193	4.552	17.74	17.23	2.49	2.62
70	4.123	4.442	17.97	17.42	2.53	2.62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.ข การทดสอบที่สภาวะอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงความดันครั้งที่ 5

Temp.(°C)	Mass(kg)		Time(s)		Power input (kW)	
	Hydraulic	Palm	Hydraulic	Palm	Hydraulic	Palm
40	4.156	4.513	15.65	15.71	2.65	2.53
45	4.226	4.453	15.97	16.14	2.58	2.59
50	4.112	4.413	16.15	16.42	2.59	2.57
55	4.268	4.368	17.31	16.26	2.51	2.62
60	4.243	4.345	17.41	16.60	2.50	2.62
65	4.228	4.453	17.82	17.17	2.49	2.63
70	4.088	4.489	17.91	17.49	2.53	2.62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้