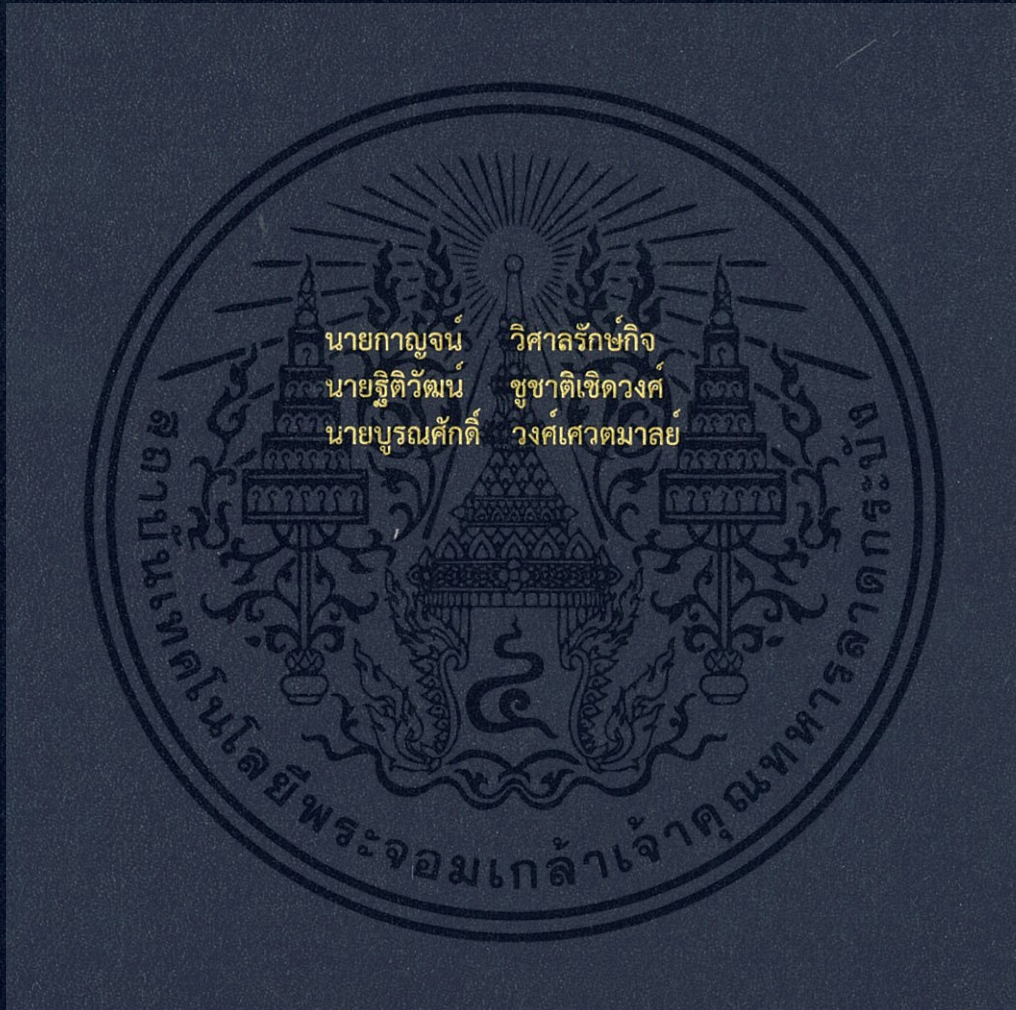


การศึกษาสมรรถนะของปั๊มแรงเหวี่ยงเมื่อใช้กับของไหลนอนนิวโทเนียน

A PERFORMANCE STUDY OF A CENTIFUGAL PUMP
WITH NON-NEWTRONIAN FLUID



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

การศึกษาสมรรถนะของปั๊มแรงเหวี่ยงเมื่อใช้กับของไหลนอนนิวโทเนียน

A PERFORMANCE STUDY OF A CENTIFUGAL PUMP
WITH NON-NEWTRONIAN FLUID



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**A PERFORMANCE STUDY OF A CENTIFUGAL PUMP
WITH NON-NEWTRONIAN 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
2017**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2017

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2560

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาสมรรถนะของปั๊มแรงเหวี่ยงเมื่อใช้กับของไหลนอนนิวโทเนียน

A PERFORMANCE STUDY OF A CENTIFUGAL PUMP WITH NON-
NEWTRONIAN FLUID

ผู้จัดทำ

1. นายกาญจน์ วิศาลรักษ์กิจ รหัส 57010069
2. นายฐิติวัฒน์ ชูชาติเชิดวงศ์ รหัส 57010357
3. นายบูรณศักดิ์ วงศ์เศวตมาลัย รหัส 57010710



(รศ.ดร.จำลอง ปราบแก้ว)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาสมรรถนะของปั๊มแรงเหวี่ยงเมื่อใช้กับของไหลนอนิวโทเนียน

นายกาญจน์ วิศวลักษณ์กิจ รหัส 57010069
 นายฐิติวัฒน์ ชูชาติเชิดวงศ์ รหัส 57010357
 นายบูรณศักดิ์ วงศ์เศวตมालย์ รหัส 57010710
 รศ.ดร.จำลอง ปราบแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษา
 ปีการศึกษา 2560

บทคัดย่อ

โดยปกติผู้ผลิตปั๊มเหวี่ยงจะทำการทดสอบสมรรถนะของปั๊มด้วยน้ำบริสุทธิ์ แล้วนำเสนอผลการทดสอบเป็นกราฟแสดงสมรรถนะของปั๊ม เพื่อใช้ในการออกแบบระบบสูบน้ำ แต่เนื่องจากการใช้งานจริงในบางกรณี ได้มีการนำปั๊มแรงเหวี่ยงไปใช้กับของไหลที่มีส่วนผสมของโคลนหรือสารเจือปน ทำให้คุณสมบัติของของไหลเปลี่ยนเป็นของไหลนอนิวโทเนียน ซึ่งจะส่งผลให้ค่าความหนืดของของไหลมีค่าเปลี่ยนไป ดังนั้นกราฟสมรรถนะของปั๊มที่ใช้ทดสอบกับน้ำบริสุทธิ์ จึงไม่สามารถนำมาใช้เพื่อการออกแบบกับระบบสูบน้ำของไหลนอนิวโทเนียนได้โดยตรง โครงการงานนี้จึงได้นำเสนอผลการทดสอบสมรรถนะของปั๊มแรงเหวี่ยงกับของไหลนอนิวโทเนียนที่เป็นน้ำผสมกับโคลนที่ความเข้มข้น 0%, 5%, 10% และ 15% โดยมวล แล้วนำผลการทดสอบมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเฮด, ประสิทธิภาพ และกำลังที่ใช้เทียบกับอัตราการไหล ปั๊มที่ใช้ในการทดสอบมีกำลัง 2 แรงม้า มีอัตราการไหล 300 ลิตรต่อนาที ที่เฮด 18.5 เมตร จากผลการทดสอบพบว่าที่ส่วนผสมของโคลนมากขึ้นส่งผลให้ค่าเฮดและประสิทธิภาพมีค่าลดลง และส่งผลให้ค่ากำลังที่ใช้มีค่าเพิ่มขึ้น ที่ส่วนผสม 15% ส่งผลให้เฮดลดลง 7% ประสิทธิภาพลดลง 17% และกำลังที่ใช้เพิ่มขึ้น 12% ที่อัตราการไหล 300 ลิตรต่อนาที ได้แสดงให้เห็นว่าส่วนผสมของของไหลที่มากขึ้นส่งผลโดยตรงกับสมรรถนะของปั๊ม โดยที่ของไหลผสม 15% ส่งผลต่อสมรรถนะของปั๊มมากที่สุด จากนั้นนำข้อมูลจากการทดลองเพื่อนำไปหาค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของเฮด, ค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของประสิทธิภาพ และค่าแก้กำลัง ซึ่งสามารถนำค่าสัมประสิทธิ์และค่าแก้กำลังไปใช้ในการหาค่าเฮด, ประสิทธิภาพ และ กำลัง ของปั๊มที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน เมื่อใช้กับของไหลผสมที่มีคุณสมบัติเหมือนกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A PERFORMANCE STUDY OF A CENTIFUGAL PUMP WITH NON-NEWTRONIAN FLUID

Karn	Wisarakkit	57010069
Thitiwat	Chuchatcherdwong	57010357
Buranasak	Wongsawettamal	57010710
Assoc.Prof.Dr.Chamlong	Prabkeo	Advisor
Year 2560		

ABSTRACT

In general, manufacturer of the centrifugal pump will test performance of pump with clean water to present performance pump. Customer will use provided information to design system. But in actual, pump has to be used with contaminated fluid. In that case, property of fluid will become that of Non-Newtonian, viscosity of fluid changes. Result of pump performance provided from manufacturer can't directly be used to design fluid transportation system of Non-Newtonian fluid. This project presents the test of centrifugal pump performance with water mixed with mud at concentration of 0%, 5%, 10% and 15% by mass. Results of test are used to plot relation of head, efficiency and power input with flow rate. Pump used in experiment has 2 horsepower and flow rate of 300 liters per minute pump can produces 18.5 meters of head. Experiment results revealed that the more mud mix into water decreases head and efficiency of pump whereas consumption rate of power will increase. Pump performance of water mixed with concentration 15% of mud at 300 liters per minute will produce less head and efficiency 7%, 17% respectively and consumes more power by 15% compare to clean water. Using experimental result to identify correction factors of head, efficiency and power consumption which can be used with similar designed pump when transports fluid with same properties.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือ คำสั่งสอน และความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. จำลอง ปราบแก้ว ที่ได้ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และชี้แนะแนวทางที่ดีเสมอมา รวมถึงผลักดันการดำเนินการต่างๆ ให้ประสบผลสำเร็จด้วยดีเสมอมา

ขอขอบคุณ รศ.ดร.ปาลมนัส ศิริสมบุรณ์ ประจำภาคภาควิชาวิศวกรรมเกษตร สถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังสำหรับคำแนะนำและความช่วยเหลือในการทดสอบในงานวิจัยครั้งนี้ และขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำหรับสถานที่ คณะอาจารย์ทุกท่าน และวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการวิจัย รวมทั้งเพื่อนๆ ในภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่ให้คำแนะนำและเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา

นอกจากนี้แล้วขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เปิดโอกาสให้เข้ามาศึกษาและทำงานวิจัยนี้ จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขต.....	2
1.4 วิธีการดำเนินโครงการ.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ปัมแรงเหวี่ยง.....	3
2.2 ส่วนประกอบที่สำคัญของปัมแรงเหวี่ยง.....	4
2.3 ทฤษฎีออยเลอร์.....	5
2.4 สมรรถนะของปัม.....	7
2.5 ออร์ฟิซ.....	9
2.6 ของไหลนอนนิวโทเนียนและการทดสอบคุณสมบัติทางรีโอโลยี.....	10
2.7 ค่าเรย์โนลด์.....	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีการทดลอง	
3.1 ชุดทดลอง.....	19
3.2 การสอบเทียบเครื่องวัดอัตราการไหล.....	23
3.3 การทดสอบหาความหนืดของของไหล.....	25
3.4 วิธีการคำนวณสมรรถนะของปั๊ม.....	28
3.5 วิธีการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพการลดของเฮด ประสิทธิภาพ และค่าแก้กำลัง.....	30
3.6 วิธีการทดลอง.....	31
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 การทดสอบหาความหนืด.....	32
4.2 ผลการทดสอบเปรียบเทียบความเข้มข้นในของไหลผสม.....	33
4.3 การเปรียบเทียบสมรรถนะที่จุดประสิทธิภาพสูงสุดของปั๊ม.....	38
4.4 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะของปั๊มกับค่าเรย์โนลด์.....	39
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	42
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	42
บรรณานุกรม.....	43
ภาคผนวก.....	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติทางรีโอโลยีของไหลแต่ละประเภท.....	18
ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างตารางจذبรที่กข้อมูลคุณสมบัติความหนืดของของไหล.....	27
ตารางที่ 3.2 ตารางจذبรที่กข้อมูลการทำงานของปั๊ม.....	31
ตาราง 1 ข้อมูลจากผลการทดสอบการวัดความหนืดของของไหลผสมที่ความเข้มข้น 5%.....	45
ตาราง 2 ข้อมูลจากผลการทดสอบการวัดความหนืดของของไหลผสมที่ความเข้มข้น 10%.....	45
ตาราง 3 ข้อมูลจากผลการทดสอบการวัดความหนืดของของไหลผสมที่ความเข้มข้น 15%.....	46
ตาราง 4 ข้อมูลจากผลการทดลองปั๊มที่ของไหลผสมความเข้มข้น 0%.....	47
ตาราง 5 ข้อมูลจากผลการทดลองปั๊มที่ของไหลผสมความเข้มข้น 5%.....	48
ตาราง 6 ข้อมูลจากผลการทดลองปั๊มที่ของไหลผสมความเข้มข้น 10%.....	49
ตาราง 7 ข้อมูลจากผลการทดลองปั๊มที่ของไหลผสมความเข้มข้น 15%.....	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ปีมแรงเหวี่ยง.....	3
รูปที่ 2.2 แสดงภาพส่วนประกอบของปี่.....	4
รูปที่ 2.3 ภาพแสดงความเร็วของอนุภาคของของเหลวไหลเข้าและไหลออกจากใบพัด.....	5
รูปที่ 2.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเฮดกับอัตราการไหลที่มุมของไหลพัดต่างๆตามทฤษฎี.....	6
รูปที่ 2.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเฮดกับอัตราการไหลที่มุมของใบพัดต่างๆในการใช้งานจริง.....	6
รูปที่ 2.6 เฮดในระบบปี่.....	7
รูปที่ 2.7 ภาพตัดออร์ฟิช และความดันภายในออร์ฟิช.....	9
รูปที่ 2.8 การกระจายของความเร็วเมื่อมีแรงมากระทำในแนวนอนกับพื้นผิวของของไหล.....	11
รูปที่ 2.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนและอัตราเฉือนสำหรับของไหลแต่ละชนิด.....	12
รูปที่ 2.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนกับอัตราเฉือนของของไหลนิวโทเนียน.....	13
รูปที่ 2.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเค้นเฉือนของของไหล ที่มีพฤติกรรมการไหลแบบนอน-นิวโทเนียน ประเภทซูโดพลาสติก	14
รูปที่ 2.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเค้นเฉือนของของไหล ที่มีพฤติกรรมการไหลแบบนอน-นิวโทเนียน ประเภทไดลาแทนต์	14
รูปที่ 2.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเค้นเฉือนของของไหล ที่มีพฤติกรรมการไหลแบบนอน-นิวโทเนียน ประเภทบิงแฮม	15
รูปที่ 2.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเค้นเฉือนของของไหล ที่มีพฤติกรรมการไหลแบบไหลแบบนอน-นิวโทเนียน ประเภทพลาสติก	15
รูปที่ 2.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเค้นเฉือนของของไหล ที่มีพฤติกรรมการไหลแบบนอน-นิวโทเนียน ประเภทไฮโซทรอปิก	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเค้นเฉือนของของไหล ที่มีพฤติกรรมการไหลแบบนอน-นิวโทเนียน ประเภทรีโอเพคซิก	16
รูปที่ 3.1 ชุดอุปกรณ์การทดลองและส่วนประกอบ	19
รูปที่ 3.2 ปีมที่ใช้ในชุดการทดลอง	20
รูปที่ 3.3 ตำแหน่งติดตั้งเกจวัดความดันสูญญากาศด้านดูด และเกจวัดความดันด้านปล่อย	20
รูปที่ 3.4 แสดงหน้าปัดเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้า และเครื่องวัดกระแสไฟฟ้า	21
รูปที่ 3.5 แสดงภาพบอลวาล์ว	21
รูปที่ 3.6 แสดงภาพใบพัดปั๊มแบบปิด	22
รูปที่ 3.7 เครื่องวัดอัตราการไหล	22
รูปที่ 3.8 อุปกรณ์ในการสอบเทียบออริฟิซ	23
รูปที่ 3.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลจริงและอัตราการไหลเชิงทฤษฎี	24
รูปที่ 3.10 ของไหลผสมโคลนที่ความเข้มข้น 5% 10% 15% โดยน้ำหนัก	25
รูปที่ 3.11 เครื่องวัดความหนืด LV/DV-E viscometer	26
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนกับอัตราเฉือน ของของไหลที่ความเข้มข้นต่างๆ	32
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงสมรรถนะของปั๊มเมื่อทำงานกับน้ำปกติ	33
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์เฮดกับอัตราการไหล ที่ความเข้มข้นต่างๆ	34
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์กำลังไฟที่ใช้กับอัตราการไหล ที่ความเข้มข้นต่างๆ	34
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ประสิทธิภาพกับอัตราการไหล ที่ความเข้มข้นต่างๆ	35
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การลดของเฮด กับอัตราการไหลที่ความเข้มข้นต่างๆ	36

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าแก็กำลังของกำลังไฟฟ้ากับอัตราการไหล ที่ความเข้มข้นต่างๆ	36
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การลดของประสิทธิภาพ กับอัตราการไหลที่ความเข้มข้นต่างๆ	37
รูปที่ 4.9 กราฟค่าเฮดที่จุดที่ประสิทธิภาพสูงสุดกับความเข้มข้นของของไหล ที่จุดที่มีประสิทธิภาพสูงสุด	38
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพกับความเข้มข้นของของไหล ที่จุดที่มีประสิทธิภาพสูงสุด	38
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงค่ากำลังไฟฟ้ากับความเข้มข้นของของไหล ที่จุดที่มีประสิทธิภาพสูงสุด	39
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การลดของเฮดกับค่าเรย์โนลด์	40
รูปที่ 4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การลดของประสิทธิภาพกับค่าเรย์โนลด์	40
รูปที่ 4.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแก็กำลัง กับค่าเรย์โนลด์	41

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปั๊มแรงเหวี่ยงเป็นเครื่องจักรที่มีบทบาทสำคัญมากในอุตสาหกรรมเพราะความสามารถใช้งานได้หลากหลาย ทำให้มีความต้องการการใช้ปั๊มที่มากขึ้น และคุณภาพที่สูงขึ้น การใช้ปั๊มให้เหมาะสมกับคุณสมบัติของปั๊มเป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งการใช้ปั๊มให้เหมาะสมนั้นต้องดูตัวแปรต่างๆที่ส่งผลต่อสมรรถนะของปั๊ม

ตัวแปรที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของปั๊ม เช่น คุณสมบัติของของไหล ชนิดของใบพัด การตีไฮดรอลิก การทำการทดลองเพื่อหาผลลัพธ์เป็นเพียงวิธีหนึ่งที่สามารถหาผลลัพธ์จากตัวแปรดังกล่าว แต่ไม่สามารถเข้าใจคุณสมบัติของคุณสมบัติของปั๊มแรงเหวี่ยงและของไหลได้ทั้งหมด การศึกษาในเรื่องของกลศาสตร์ของไหล จึงเป็นวิธีการได้รับข้อมูลและความเข้าใจซึ่งนำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพปั๊ม และการเลือกปั๊มให้เหมาะสมต่อการใช้งาน

ชนิดของของไหลเป็นหนึ่งในตัวแปรที่มีผลมากต่อประสิทธิภาพปั๊ม จึงจำเป็นต้องเลือกปั๊มที่เหมาะสมในการใช้งานกับชนิดของของไหลที่แตกต่างกัน แต่ในตลาดปัจจุบันข้อมูลที่ได้จากทางผู้ผลิตปั๊มเป็นข้อมูลสำหรับของไหลประเภทเดียว คือน้ำบริสุทธิ์ ข้อมูลที่ได้จึงไม่เพียงพอต่อการตัดสินใจเลือกใช้งาน ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาค้นคว้าเพื่อเป็นข้อมูลเพิ่มเติมสำหรับการเลือกปั๊มให้เหมาะสมกับของไหลที่ต้องการนำไปใช้ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด และคุ้มค่ามากที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์

- ทดลองหาคุณสมบัติของของไหลนอนิวโทเนียนที่เป็นน้ำผสมโคลน 5% 10% และ 15%
- ทำการทดลองสมรรถนะของปั๊มด้วยของไหลนอนิวโทเนียนนอนิวโทเนียนที่เป็นน้ำผสมโคลน
- นำผลการทดลองมาวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์และค่าแก้กำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขต

- ทหาความสัมพันธ์ระหว่างของไหล 3 ชนิด คือ น้ำบริสุทธิ์ น้ำผสมโคลน 5% น้ำผสมโคลน 10% และน้ำผสมโคลน 15% โดยน้ำหนักต่อสมรรถนะของบีม
- วิเคราะห์แนวโน้มที่ได้จากการทดลอง เพื่อนำไปพิจารณาจุดทำงานที่เหมาะสมของบีมเมื่อใช้ของไหลนอนนิวโทเนียน

1.4 วิธีการดำเนินโครงการ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาของของไหลที่มีต่อสมรรถนะของของบีมแรงเหวี่ยง ใบพัดแบบปิด และ ใบพัดแบบเปิด โดยใช้ส่วนผสมของไหลระหว่างน้ำกับโคลนที่อัตราส่วนโดยน้ำหนัก 5% 10% และ 15% ตามลำดับ หลังจากนั้นจึงนำมาเปรียบเทียบเป็นข้อมูลสำหรับผู้ใช้งานในการเลือกบีมแรงเหวี่ยงต่อไป

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- สามารถบ่งบอกลักษณะของของไหลนอนนิวโทเนียนได้จากการทดลอง
- ฝึกทักษะการทำการทดลองหาสมรรถนะของบีม
- สามารถหาจุดทำงานของบีมได้อย่างถูกต้อง เมื่อนำไปใช้กับของไหลนอนนิวโทเนียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

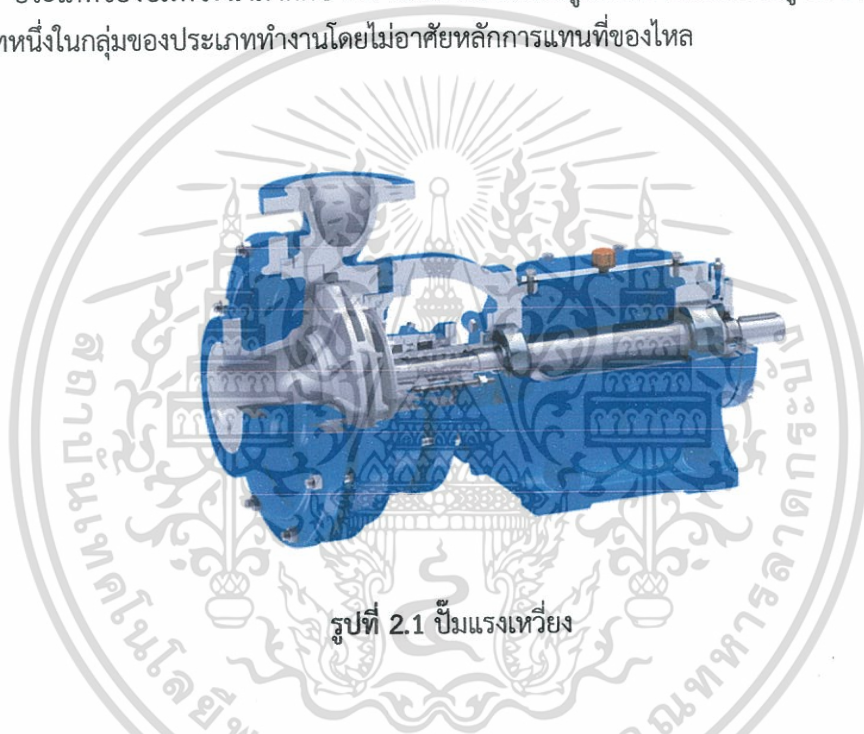
บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ปั๊มเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยส่งผ่านพลังงานจากแหล่งต้นกำเนิดไปยังของไหล เพื่อให้ของไหลเคลื่อนที่จาก ตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่งที่อยู่สูงกว่า หรือในระยะทางที่ไกลออกไป ในปัจจุบัน ปั๊มมีอยู่หลายประเภท ซึ่งแต่ละประเภทได้ถูกออกแบบมาเพื่อการใช้งานที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปจะแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่

1. ประเภททำงานโดยอาศัยหลักการแทนที่ของไหล (Positive displacement)
2. ประเภททำงานโดยไม่อาศัยหลักการแทนที่ของไหล (Dynamic displacement)

ประเภทของปั๊มที่จะนำมาศึกษาคือ ปั๊มแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางดังแสดงในรูปที่ 2.1 เป็นปั๊มประเภทหนึ่งในกลุ่มของประเภททำงานโดยไม่อาศัยหลักการแทนที่ของไหล



รูปที่ 2.1 ปั๊มแรงเหวี่ยง

2.1 ปั๊มแรงเหวี่ยง

ปั๊มแรงเหวี่ยงเป็นปั๊มที่เพิ่มพลังงานให้แก่ของไหลโดยอาศัยแรงเหวี่ยงและแรงหนีศูนย์กลาง ปั๊มแรงเหวี่ยงมีส่วนประกอบหลัก คือ โรเตอร์ (rotor) และใบพัด (Impeller) จะเป็นตัวทำให้เกิดการขับเคลื่อนของไหล ตัวแพร่กระจายน้ำ (Diffuser) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนเสดความเร็ว (Velocity head) เป็นความดันสถิตย์ (Static pressure) ของไหลที่ถูกสูบจะไหลผ่านเข้าสู่ช่องทางเข้าซึ่งขนานกับแกนเพลลาแล้วถูกเหวี่ยงออกไปตามแนวรัศมีของใบพัด กลไกการส่งผ่านพลังงานในใบพัด เป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมของของไหล ก่อให้เกิดความแตกต่างความดันภายในระบบทำให้เกิดการไหลในแนวเส้นรอบวง (Tangential flow) เป็นผลให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

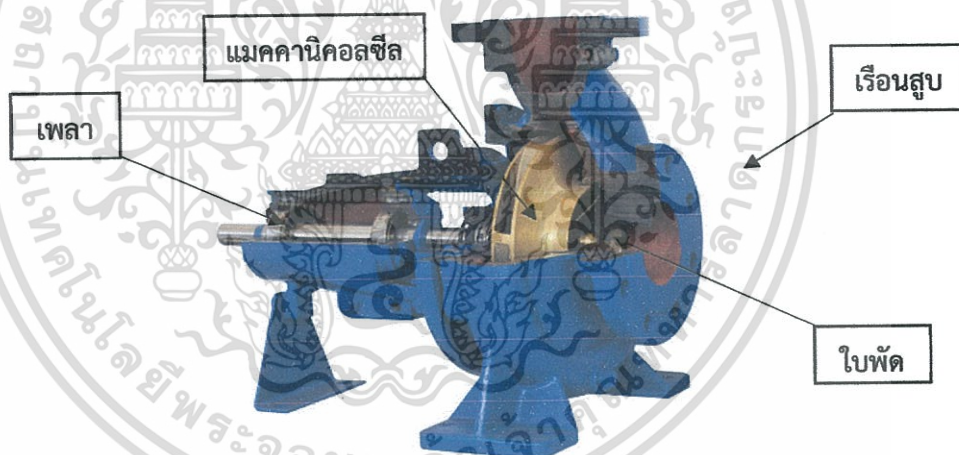
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Centrifugal force) ทำให้เกิดการไหลจากจุดศูนย์กลางของใบพัดของใบพัดออกไปสู่แนวเส้นรอบวงทุกทิศทางออกไปทางท่อส่ง

2.2 ส่วนประกอบที่สำคัญของปั๊มแรงเหวี่ยง

จากรูปที่ 2.2 แสดงภาพส่วนประกอบที่สำคัญของปั๊มแรงเหวี่ยงเป็น 4 ส่วนใหญ่

1. เรือนสูบ เป็นส่วนที่ห่อหุ้มใบพัด มีรูปร่างลักษณะคล้ายเปลือกหอยโข่ง และทำหน้าที่เปลี่ยนแรงหนีศูนย์กลางที่เกิดจากใบพัดให้เป็นแรงดันให้แก่ของไหล
2. ใบพัด เป็นส่วนรับแรงหมุนมาจากเพลา เมื่อใบพัดหมุนที่ศูนย์กลางใบพัดจะมีความดันต่ำทำให้เกิดแรงดูดของไหลเข้ามาทางด้านดูด และทำหน้าที่ส่งพลังงานจลน์ให้แก่ของไหลจากการหมุน
3. เพลา เป็นตัวแกนที่เป็นแท่งโลหะที่มีปลายข้างหนึ่งสอดผ่านตัวใบพัด และปลายอีกข้างหนึ่งใส่ล้อฟันเรือนสูบออกไป มีหน้าที่รับกำลังมาจากมอเตอร์และส่งกำลังให้กับของไหล
4. แมคคานิคอลซีล เป็นชนิดของซีลที่ใช้ในปั๊ม สำหรับสวมตรงแกนเพลาตรงบริเวณห้องซีลของอุปกรณ์เพลาหมุนต่างๆ เพื่อป้องกันการรั่วซึมของของไหลภายในปั๊ม

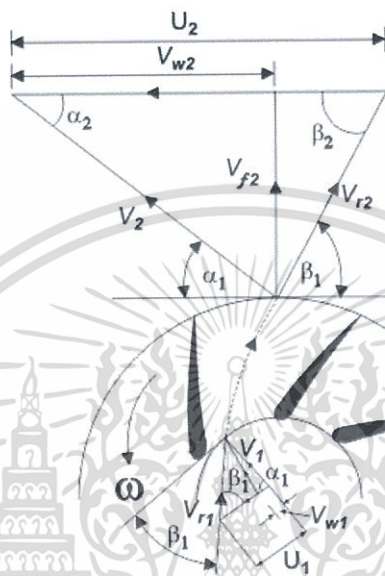


รูปที่ 2.2 แสดงภาพส่วนประกอบของปั๊ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ทฤษฎีออยเลอร์

จากรูปที่ 2.3 ใบพัดหมุนด้วยความเร็วเท่ากับ ω ของของไหลหลายเข้ามาในใบพัดซึ่งมีรัศมี r_1 ที่จุดนี้จะมีความเร็วตามเส้นรอบวงเท่ากับ $v_1 = r_1 \omega$ และความเร็วสัมบูรณ์ โดย V_1 เป็นความเร็วรวมของ v_1 และความเร็วสัมผัสของฟิโปกัด V_{r1} ในทำนองเดียวกันที่ขอบนอกของใบพัดของไหลจะไหลออกจากใบพัดด้วยความเร็วสัมบูรณ์ V_2 โดย V_2 เป็นความเร็วรวมของ $U_2 = r_2 \omega$ และความเร็วที่ไปชีไปพัด V_{r2}



รูปที่ 2.3 ภาพแสดงความเร็วของอนุภาคของของไหลไหลเข้าและไหลออกจากใบพัด

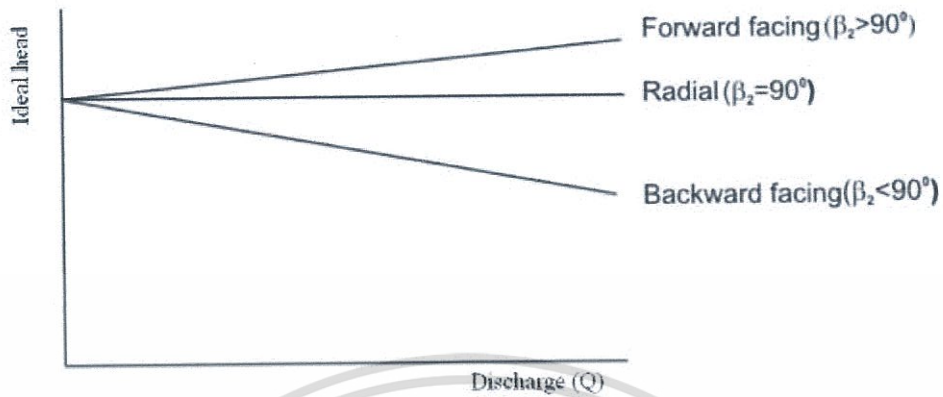
แรงที่กระทำต่ออนุภาคของของไหลโดยพัดทำให้เกิดโมเมนตัม ตามกฎของโมเมนตัม การเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมในแนวเส้นรอบวง จะสามารถเขียนสมการออยเลอร์เฮดได้ดังสมการที่ (2.1)

$$H_{euler} = \frac{v_{w2}v_2 - v_{w1}v_1}{g} \quad (2.1)$$

โดย	H_{euler}	=	ค่าเฮดของออยเลอร์ (m)
	v_1	=	ความเร็วของใบพัดที่ด้านขาเข้าของใบพัด (m/s)
	v_{w1}	=	ความเร็วสัมบูรณ์ที่ด้านขาเข้าของใบพัด (m/s)
	v_2	=	ความเร็วของใบพัดที่ด้านขาออกของใบพัด (m/s)
	v_{w2}	=	ความเร็วสัมบูรณ์ที่ด้านขาออกของใบพัด (m/s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากทฤษฎีนำมาเขียนกราฟระหว่างเฮดและอัตราการไหลที่มุมของใบพัดต่างๆ(β_2)จะสามารถเขียนกราฟได้ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเฮดกับอัตราการไหลที่มุมของใบพัดต่างๆตามทฤษฎี

จากรูปที่ 2.4 เป็นกราฟที่ได้จากทฤษฎีแต่ในการใช้งานจริงค่าเฮดจะลดลงที่อัตราการไหลสูงจึงเขียนกราฟได้ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเฮดกับอัตราการไหลที่มุมของใบพัดต่างๆในการใช้งานจริง

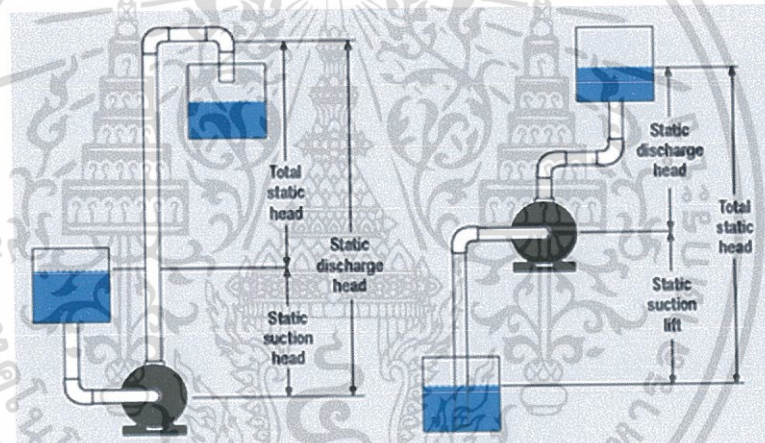
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 สมรรถนะของปั๊ม

จากการทำงานของปั๊มที่เมื่อปั๊มทำงานแล้วจะมีค่าต่างๆที่เปลี่ยนแปลงไป ทั้งอัตราการไหลของของไหลภายในระบบ ความดันก่อนเข้าปั๊ม ความดันหลังออกปั๊ม และกระแสที่จ่ายให้กับปั๊ม เพื่อที่จะวัดความสามารถในการทำงานของปั๊มตัวใดตัวหนึ่งที่สภาพการทำงานใดๆ จำเป็นต้องมีค่าสมรรถนะของปั๊มเพื่อเป็นการทราบความสามารถในการทำงานของปั๊ม ซึ่งค่าที่ให้ความสนใจแก่การคำนวณออกมาเพื่อเป็นสมรรถนะของปั๊มได้แก่

1. ค่าเฮดปั๊ม
2. ค่าประสิทธิภาพของปั๊ม
3. กำลังไฟฟ้าที่ใช้

ค่าเฮดปั๊ม หมายถึง พลังงานที่ปั๊มส่งให้กับของไหลเพื่อทำให้ของไหลเกิดการไหลจากด้านดูดไปยังด้านปล่อย ซึ่งค่าเฮดในระบบปั๊มประกอบด้วยเฮดด้านดูด กับเฮดด้านจ่าย ดังแสดงในรูปที่ 2.6 และค่าเฮดของปั๊มสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.2)



รูปที่ 2.6 เฮดในระบบปั๊ม

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + Z_2 - Z_1 \quad (2.2)$$

โดย	H	=	เฮดของปั๊ม (m)
	P_1	=	ความดันด้านดูดของปั๊ม (kPa)
	P_2	=	ความดันด้านปล่อยของปั๊ม (kPa)
	V_1	=	ความเร็วในท่อด้านดูดของปั๊ม (m/s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

V_2 = ความเร็วในท่อด้านปล่อยของปั๊ม (m/s)

ρ = ค่าความหนาแน่นของของเหลว (kg/m³)

$Z_2 - Z_1$ = ความสูงระหว่างเกจวัดความดัน (m)

ประสิทธิภาพของปั๊ม (η_p) หมายถึง ความสามารถของปั๊มในการเปลี่ยนพลังงานที่ได้รับ หรือก็คือกำลังไฟฟ้าที่ให้แก่ปั๊มมาเป็นพลังงานของของไหลในรูปของเฮด และอัตราการไหล ได้มาเป็นร้อยละของกำลังงานที่ปั๊มสามารถผลิตได้ (P_{input}) เทียบกับพลังงานที่ให้ (P_{output}) ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (2.3)

$$\eta_p = \frac{P_{output}}{P_{input}} \times 100 \quad (2.3)$$

กำลังที่ปั๊มผลิตได้ (P_{output}) คือค่าพลังงานของของไหลที่ได้รับ ซึ่งถูกเปลี่ยนมาจากพลังงานกลของมอเตอร์ผ่านเพลามาเป็นอัตราการไหล และความดัน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.4)

$$P_{output} = \gamma H Q \quad (2.4)$$

โดย

H = เฮดของเครื่องปั๊ม (m)

γ = น้ำหนักจำเพาะของของไหล (N/m³)

Q = อัตราการไหล (m³/s)

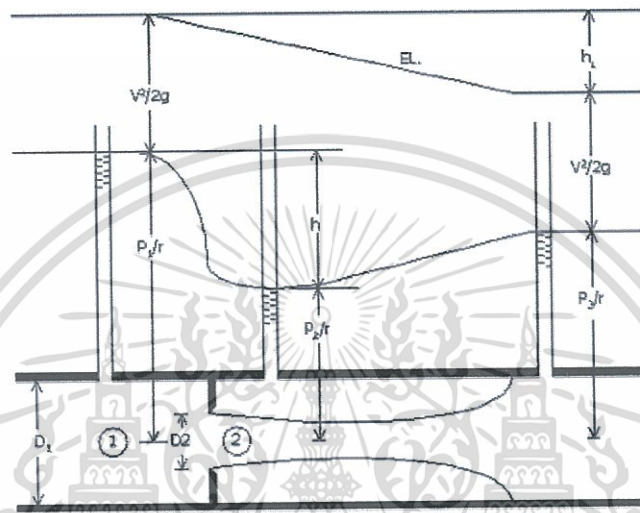
กำลังไฟฟ้าที่ใช้ (P_{input}) คือจำนวนแรงกำลังไฟฟ้าต่อหน่วยเวลาที่ปั๊มต้องใช้เพื่อคงสภาพการทำงาน สามารถคำนวณได้จากการวัดกำลังไฟฟ้าคูณกับประสิทธิภาพของมอเตอร์ตามสมการที่ (2.5)

$$P_{input} = VI\eta_m \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ออริฟิซ

อุปกรณ์สำหรับวัดอัตราการไหลของของไหล ใช้การการลดของพื้นที่หน้าตัดทำให้ของไหลมีความเร็วสูงขึ้นและความดันลดลง โดยออริฟิซมีลักษณะเป็นแผ่นเจาะรูวงกลมตรงกลางไว้สำหรับให้ของไหลไหลผ่านดังแสดงในรูปที่ 2.7 เป็นภาพตัดแสดงลักษณะ และความดันของออริฟิซ จุดที่ 1 คือจุดที่ของไหลไหลเข้าออริฟิซ จุดที่ 2 เป็นจุดที่ของไหลไหลออก ซึ่งความดันของทั้งสองจุดนี้จะแตกต่างกันและคำนวณสามารถเขียนสมการคำนวณอัตราการไหลได้ดังสมการที่ (2.6)



รูปที่ 2.7 ภาพตัดออริฟิซ และความดันภายในออริฟิซ

$$Q = \frac{A_2}{\sqrt{1-(D_2/D_1)^4}} \sqrt{2g \left[\left(\frac{P_1}{\gamma} + z_1 \right) - \left(\frac{P_2}{\gamma} + z_2 \right) \right]} \quad (2.6)$$

โดย	Q	=	อัตราการไหลที่สภาวะการทำงาน (m^3/s)
	A	=	ขนาดพื้นที่หน้าตัด (m^2)
	V	=	ความเร็วของไหลในท่อ (m/s^2)
	D	=	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ (m)
	g	=	แรงโน้มถ่วง (m/s^2)
	P	=	ความดันที่จุดต่างๆ (Pa)
	z	=	ระดับจากจุดอ้างอิง (m)
	γ	=	น้ำหนักจำเพาะ (N/m^3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยของออริฟิซ

ในการใช้งานออริฟิซค่าอัตราการไหลจริง มีค่าน้อยกว่าอัตราการไหลทางทฤษฎี ก่อนการใช้งานออริฟิซจึงต้องมาการสอบเทียบ (Calibration) เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยของออริฟิซ (C_d) สามารถ คำนวณได้จากสมการที่ (2.7)

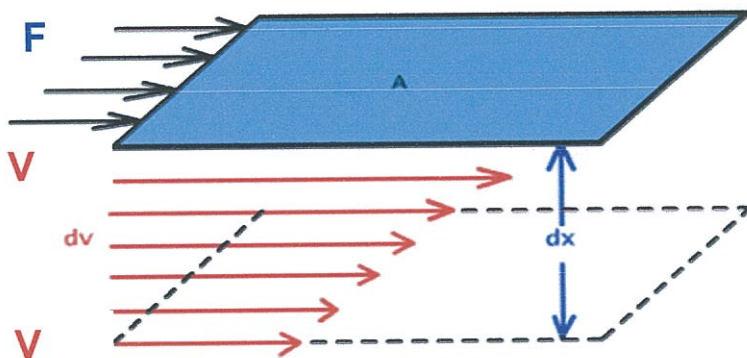
$$C_d = \frac{Q_{actual}}{A \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}} \quad (2.7)$$

โดย	C_d	=	สัมประสิทธิ์การปล่อยของออริฟิซ
	Q_{actual}	=	อัตราการของมวลจริง (m^3/s)
	ρ	=	ความหนาแน่นของของไหล (kg/m^3)
	A	=	พื้นที่หน้าตัดของท่อ (m^2)
	v	=	ความเร็วของของไหล (m/s)
	ΔP	=	ความแตกต่างระหว่างความดันที่เข้าและออกจากออริฟิซ (Pa)

2.6 ของไหลนอนนิวโทเนียนและการทดสอบคุณสมบัติทางรีโอโลยี

ของไหล คือ สสารที่ไม่ต้านการเคลื่อนที่อย่างถาวร ของไหลสามารถเปลี่ยนรูปร่างได้ตาม ภาวะที่บรรจุ และในขณะที่มีการเปลี่ยนรูปร่าง มวลของของไหลจะมีผลต่อชั้นของของไหลที่เลื่อน ไกลไปบนของไหลชั้นอื่นๆ จนได้รูปร่างใหม่ โดยในขณะที่ของไหลมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างจะเกิด ความเค้นเฉือน (Shear stress, τ) ขึ้นระหว่างชั้นของไหล โดยขนาดของความเค้นเฉือนจะขึ้นอยู่กับ อัตราการลื่นไหลหรืออัตราเฉือน (Shear rate, γ) และความหนืด (Viscosity, μ) ของของไหล และ ความเค้นเฉือนทั้งหมดจะหายไปเมื่อของไหลหยุดการเปลี่ยนรูปร่าง

ความหนืด (μ) คือ ความสามารถในการต้านทานการไหลของของไหล เมื่อมีแรงมากระทำ ซึ่งของไหลที่มีความหนืดสูงจะมีค่าความต้านทานต่อการไหลสูง และของไหลที่มีความหนืดต่ำจะมีค่า ความต้านทานต่อการไหลต่ำ ของไหลธรรมดาสามารถที่จะแสดงค่าความหนืดสัมบูรณ์ได้แต่ในขณะที่ ของไหลที่มีส่วนผสมของสารหลายตัวจะมีลักษณะการไหลที่ซับซ้อนและไม่สามารถแสดงค่าความ หนืดค่าเดียวได้ โดยการวัดความหนืดทำได้โดยการวัดแรงต้านทานการไหลภายในของของไหล เมื่อมี แรงมากระทำ (F) ในแนวขนานกับพื้นผิว เรียกแรงต้านที่เกิดขึ้นนี้ว่า แรงเฉือน (Shear force)



รูปที่ 2.8 การกระจายของความเร็วเมื่อมีแรงกระทำในแนวนอนกับพื้นผิวของของไหล

จากรูปที่ 2.8 ชั้นที่อยู่ล่างสุดของของไหล จะถูกยึดไว้ถ้าแผ่นดินบนของของไหล ได้รับแรงกระทำที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ แผ่นด้านล่างถดถอยไปจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะทางจากแผ่นของไหลชั้นล่างสุดที่ไม่เคลื่อนที่ ความแตกต่างของความเร็ว (dv) ระหว่างของไหลสองแผ่นกับระยะทางที่เปลี่ยนไป (dx) คืออัตราเฉือน (γ) ที่อยู่ในรูปของอัตราเร็วที่เปลี่ยนแปลงไปต่อระยะทางที่เปลี่ยนไป (dv/dx) ค่าแรงต่อหน่วยพื้นที่ (F/A) ที่ทำให้เกิดการไหลเรียกว่าความเค้นเฉือน (τ) ถ้าของไหลมีความหนืดสูงชัน ก็ต้องใช้แรงเฉือนที่สูงชันเพื่อให้ได้ อัตราเฉือนเท่าเดิม ดังนั้น อัตราเฉือนจึงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเค้นเฉือน ดังสมการ (2.8)

$$\tau = \mu \gamma \quad (2.8)$$

โดย

$$\begin{aligned} \tau &= \text{ความเค้นเฉือน} \\ \gamma &= \text{ความเร็วเชิงมุมหรืออัตราการเฉือน (s}^{-1}\text{)} \\ \mu &= \text{ความหนืด, (Ns/m}^2\text{) หรือ Poise (P)} \end{aligned}$$

หน่วยที่นิยมใช้ในความหนืดได้แก่ Poise ซึ่งตั้งไว้ให้เป็นเกียรติแก่ Poiseuille ส่วนอีกหน่วยที่ใช้กันได้แก่ Pa.s

สำหรับความหนืดจลน์ (ν) สามารถหาได้จากผลหารระหว่างความหนืดกับความหนาแน่นดังสมการ (2.9)

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

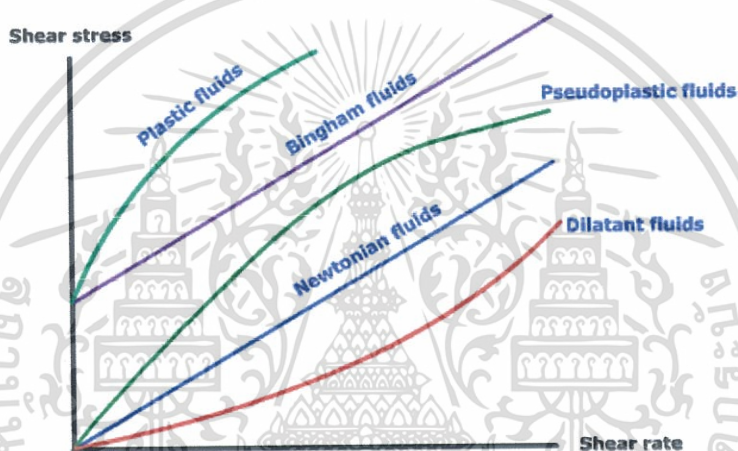
โดย ν = ความหนืดจลน์ (m^2/s)
 ρ = ความหนาแน่น (kg/m^3)

หน่วยที่นิยมใช้ในความหนืดจลน์ได้แก่ stoke (St)

$$1 \text{ St} = 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$1 \text{ cSt} = 1 \text{ mm}^2/\text{s}$$

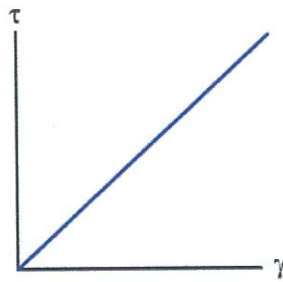
การแบ่งชนิดของของไหลตามลักษณะพฤติกรรมการไหลหรือการเปลี่ยนแปลงความหนืด จะแบ่งของไหลออกเป็น 2 ชนิด คือ ของไหลนิวโตเนียน (Newtonian fluids) กับของไหลนอนิวโตเนียน (Non-Newtonian fluids) ของไหลนิวโตเนียน ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนและอัตราเฉือนสำหรับของไหลแต่ละชนิด

2.6.1 ของไหลนิวโตเนียน

ของไหลที่มีลักษณะการไหลเป็นไปตามสันนิษฐานของนิวตัน คือที่อุณหภูมิหนึ่งของไหลจะมีค่าความหนืดเป็นค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามอัตราเฉือนหรือความเร็วในการกวน ไม่ว่าจะเป็นการกวนเร็วหรือช้า ซึ่งของไหลที่มีพฤติกรรมการไหลดังกล่าวเรียกว่าของไหลนิวโตเนียน ยกตัวอย่างเช่น น้ำ น้ำมัน น้ำเชื่อม เป็นต้น สามารถเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนกับอัตราเฉือนจะได้ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนกับอัตราเฉือนของของไหลนิวโทเนียน

2.6.2 ของไหลนอนนิวโทเนียน

ของไหลที่มีพฤติกรรมการไหลที่ไม่เป็นไปตามสันนิษฐานของนิวตัน คือที่อุณหภูมิหนึ่งๆ ของไหลจะมีค่าความหนืดเป็นค่าไม่คงที่ การเปลี่ยนแปลงความหนืดขึ้นอยู่กับอัตราเฉือนและความเร็วในการกวน เรียกของไหลชนิดนี้ว่าของไหลนอนนิวโทเนียน โดยได้มีการแบ่งชนิดของของไหลนอนนิวโทเนียนออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ขึ้นกับเวลาและประเภทที่ไม่ขึ้นกับเวลา

ประเภทที่ไม่ขึ้นกับเวลา

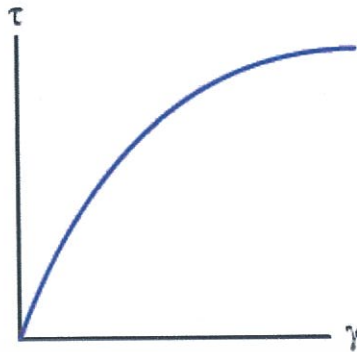
ค่าความหนืดของของไหลพวกนี้จะขึ้นอยู่กับความเค้นเฉือนและอัตราการเฉือน แต่จะไม่ขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ของไหลได้รับความเค้นเฉือนแต่อย่างใด นั่นคือความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนและอัตราการเฉือนจะมีค่าคงที่ไม่ขึ้นกับเวลา โดยของไหลนอน-นิวโทเนียนประเภทนี้แบ่งตามลักษณะพฤติกรรมการไหล ได้ 4 แบบ คือ ของไหลซูโดพลาสติก (Pseudoplastic fluids) ของไหลไดลาแทนต์ (Dilatant fluids) ของไหลบิงแฮม (Bingham fluid) ของไหลพลาสติก (Plastic fluids)

ของไหลซูโดพลาสติก (Pseudoplastic fluids) ลักษณะของการไหลประเภทนี้คือ ค่าความหนืดมีค่าลดลงเมื่อแรงเฉือนเพิ่มสูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.11 ซึ่งของไหลนอน-นิวโทเนียนโดยมากมักจะไหลในลักษณะนี้ นอกจากนี้ลักษณะการไหลประเภทนี้ยังมีชื่อเรียกอย่างอื่นว่า Shear-thinning และ Power-law liquid ตัวอย่างทั่วไปของของไหลประเภทนี้ได้แก่ นม น้ำผลไม้ มายองเนส เป็นต้น ซึ่งมีสมการทั่วไปดังสมการ (2.10) และมีค่าดัชนีพฤติกรรมการไหลน้อยกว่า 1

$$\tau = k \left(\frac{du}{dy} \right)^n \quad (n < 1) \quad (2.10)$$

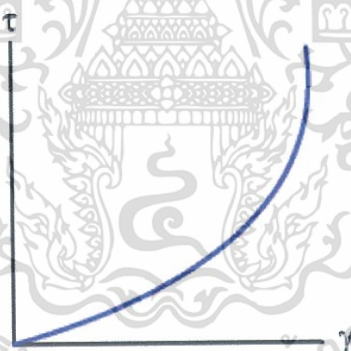
โดย	k	=	ดัชนีความสม่ำเสมอ (Pa.s ⁿ)
	n	=	ดัชนีพฤติกรรมการไหล
	μ	=	ความหนืด, Ns/m ² หรือ Poise (P)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



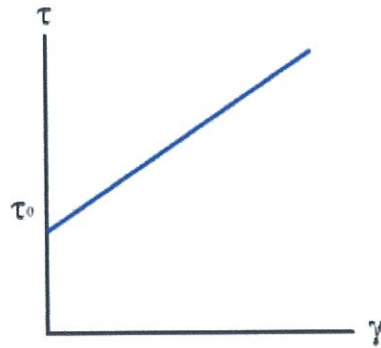
รูปที่ 2.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเค้นเฉือนของของไหลที่มีพฤติกรรมการไหลแบบนอน-นิวโทเนียน ประเภทซูโดพลาสติก

ของไหลไดลาแทนต์ (Dilatant fluids) ลักษณะของการไหลประเภทนี้คือ ค่าความหนืดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อแรงเฉือนเพิ่มสูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.12 ลักษณะของการไหลประเภทนี้พบเห็นได้ยากกว่าประเภทซูโดพลาสติก ของไหลไดลาแทนต์จะพบเห็นได้ในของไหลหรืออาหารลักษณะมีตะกอนของแข็งนอนกัน ตัวอย่างเช่น แป้งข้าวโพด เป็นต้น และมีค่าดัชนีพฤติกรรมการไหล (n) น้อยกว่า 1



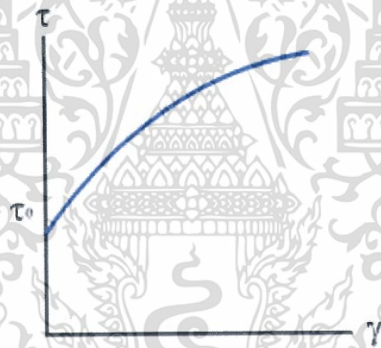
รูปที่ 2.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเค้นเฉือนของของไหลที่มีพฤติกรรมการไหลแบบนอน-นิวโทเนียน ประเภทไดลาแทนต์

ของไหลบิงแฮม (Bingham fluid) ของไหลประเภทนี้ที่ค่าแรงเฉือนมีค่าต่ำๆ จะไม่มีการเคลื่อนที่แต่อย่างใด จนกระทั่งค่าแรงเค้นเฉือนเพิ่มขึ้นถึงค่าค่าหนึ่ง ซึ่งเรียกจุดที่แรงเค้นมีผลทำให้ของไหลเกิดการเคลื่อนที่นี้ว่า ความเค้นคราก (Yield value) ในของไหลบิงแฮม (Bingham fluids) เมื่อออกแรงเค้นจนถึงจุดความเค้นคราก หลังจากนั้นของไหลจะพฤติกรรมเหมือนของไหลนิวโทเนียน ดังรูปที่ 2.13 ตัวอย่างของของไหลที่มีพฤติกรรมแบบนี้ได้แก่ซอสมะเขือเทศ



รูปที่ 2.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเค้นเฉือนของของไหลที่มีพฤติกรรมการไหลแบบนอน-นิวโทเนียน ประเภทบิงแฮม

ของไหลพลาสติก (Plastic fluids) เป็นของไหลที่เมื่อออกแรงจนถึงจุดความเค้นคราก (Yield stress) ของไหลก็จะมีพฤติกรรมการไหลคล้ายกับของไหลซูโดพลาสติก ดังแสดงในรูปที่ 2.14

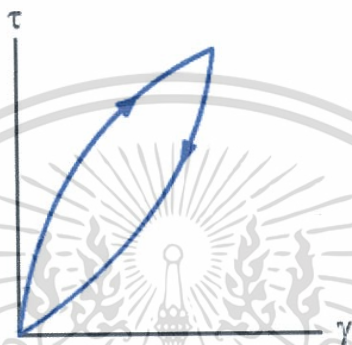


รูปที่ 2.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเค้นเฉือนของของไหลที่มีพฤติกรรมการไหลแบบไหลแบบนอน-นิวโทเนียน ประเภทพลาสติก

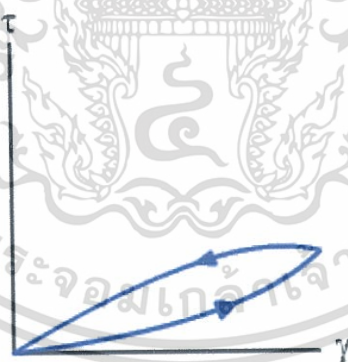
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเภทที่ขึ้นกับเวลา

ค่าความหนืดของของไหลพวกนี้นอกจากจะขึ้นอยู่กับค่าความเค้นเฉือนและอัตราการเฉือนแล้วนั้น ยังขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ของไหลได้รับการเฉือน ของไหลไธโซทรอปิก (Thixotropic fluids) เป็นของไหลที่ค่าความหนืดจะลดลงตามระยะเวลา เมื่อของไหลได้รับความเค้นเฉือนในอัตราคงที่ ของไหลรีโอเพคซิก (Rheopectic fluids) เป็นของไหลที่ค่าความหนืดจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลา เมื่อของไหลได้รับความเค้นเฉือนในอัตราคงที่ ยกตัวอย่างเช่น สีทาบ้าน และน้ำหมึกสำหรับเครื่องพิมพ์ขนาดใหญ่ซึ่งลักษณะของกราฟจะเป็นดังรูป 2.15 และ 2.16



รูปที่ 2.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเค้นเฉือนของของไหลที่มีพฤติกรรมการไหลแบบนอน-นิวโทเนียน ประเภทไธโซทรอปิก



รูปที่ 2.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเค้นเฉือนของของไหลที่มีพฤติกรรมการไหลแบบนอน-นิวโทเนียน ประเภทรีโอเพคซิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3 คุณสมบัติของไหลนอนนิวโทเนียน

คุณสมบัติของของไหลนอนนิวโทเนียนจะพิจารณาค่าตัวแปรด้วยกัน 2 ตัวแปรคือ ค่าดัชนีพฤติกรรมการไหล (Flow Behavior Index, n) ซึ่งเป็นตัวแปรที่ไม่มีหน่วย และดัชนีความสม่ำเสมอ (Flow Consistency Index, k) มีหน่วยคือ $\text{Pa}\cdot\text{s}^n$ ซึ่งตัวแปรทั้งสองค่านี้จะเป็นตัวตัดสินว่าของไหลนั้นแสดงคุณสมบัติแบบใดและมีค่าความข้นหนืดเท่าใด โดยจะขึ้นอยู่กับการวัดค่าความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity, μ_{app}) และอัตราการเฉือน (Sheer rate, $\dot{\gamma}$) มีหน่วยคือ $\text{Pa}\cdot\text{s}$ (1,000 centipoises) และ (S^{-1}) ตามลำดับ เครื่องมือสำหรับวัดเรียกโดยทั่วไปว่า รีโโอลอจิมิเตอร์ (Rheometer) หรือ วิสโคมิเตอร์ (Viscometer)

เครื่องมือวัดแบบหมุน (Rotational viscometer) เป็นเครื่องมือวัดความหนืดบรูคฟิลด์ (Brookfield viscometer) ประเภทหนึ่ง ที่สามารถปรับความเร็วการหมุนของหัวเข็มได้ ซึ่งความเร็วที่เพิ่มขึ้นของการหมุนหมายถึงการเพิ่มขึ้นของอัตราการเฉือน ซึ่งจะมีผลต่อความหนืดของของไหลที่มีคุณสมบัติแบบของไหลนอนนิวโทเนียน ถ้าการเพิ่มขึ้นของอัตราการเฉือนไม่ได้ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความหนืดปรากฏของของไหลที่อัตราเฉือนนั้นๆ แสดงว่าของไหลนั้นมีคุณสมบัติของของไหลแบบนิวโทเนียน

รูปแบบการเปลี่ยนแปลงของค่าความหนืดปรากฏของของไหลโดยทั่วไปจะถูกจัดอยู่ในรูปเอ็กโปเนนเชียล การรายงานค่าความหนืดของของไหลนอนนิวโทเนียนนิยมรายงานในค่าทั่วไปของความหนืดซึ่งได้แก่ ดัชนีความสม่ำเสมอ k ($\text{Pa}\cdot\text{s}^n$) และดัชนีพฤติกรรมการไหล n (ไม่มีหน่วย) โดยที่ค่าดัชนีความสม่ำเสมอและค่าดัชนีพฤติกรรมการไหล สามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ ของ Herschel-Bulkley model ในรูปของค่าความหนืดปรากฏ (μ_{app}) และอัตราการเฉือน ($\dot{\gamma}$) ดังในสมการที่ (2.11)

$$\mu_{app} = k\dot{\gamma}^{n-1} \quad (2.11)$$

จากสมการที่ (2.11) สามารถสร้างสมการลอการิทึมได้ดังสมการที่ (2.12)

$$\log \mu_{app} = \log k + (n - 1)\log \dot{\gamma} \quad (2.12)$$

จากสมการที่ (2.12) นำมาเขียนเป็นกราฟเส้นตรงจะได้ค่าความชันคือ $n-1$ และจุดตัดแกน y คือ $\log k$ จะได้ค่าดัชนีพฤติกรรมการไหลและดัชนีความสม่ำเสมอตั้งสมการที่ (2.13) และ (2.14) ตามลำดับ

$$n = \text{slope} + 1 \quad (2.13)$$

$$k = 10^{\text{Intercept}} \quad (2.14)$$

คุณสมบัติของของไหลแบบนิวโทเนียนและนอนนิวโทเนียนสามารถสรุปค่าดัชนีความสม่ำเสมอ ดัชนีพฤติกรรมการไหล และค่าความเค้นเฉือนครากได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติทางรีโอโลยีของไหลแต่ละประเภท

คุณสมบัติของของไหล	k	n	τ_0
นิวโทเนียน	>0	1	0
ซูโดพลาสติก	>0	$0 < n < 1$	0
ไดลาแทนด์	>0	$1 < n < \infty$	0
บิงแอม	>0	1	>0

2.7 ค่าเรย์โนลด์

ค่าเรย์โนลด์ (Reynolds number) เป็นเลขดัชนีที่บอกสภาพปรากฏการณ์ การไหลของของไหล ซึ่งเป็นสัดส่วนของค่าความเฉื่อยต่อความหนืด ค่าเรย์โนลด์จะมีค่าขึ้นอยู่กับความเร็วการไหล ค่าความหนืด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ และความหนาแน่นของของไหล เราสามารถเขียนความสัมพันธ์ดังกล่าวได้ ดังสมการที่ (2.15)

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \quad (2.15)$$

โดย

- Re = ค่าเรย์โนลด์
- ρ = ความหนาแน่นของของไหล (kg/m^3)
- v = ความเร็วการไหล (m/s)
- D = เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (m)
- μ = ความหนืดของของไหล (Pa.s)

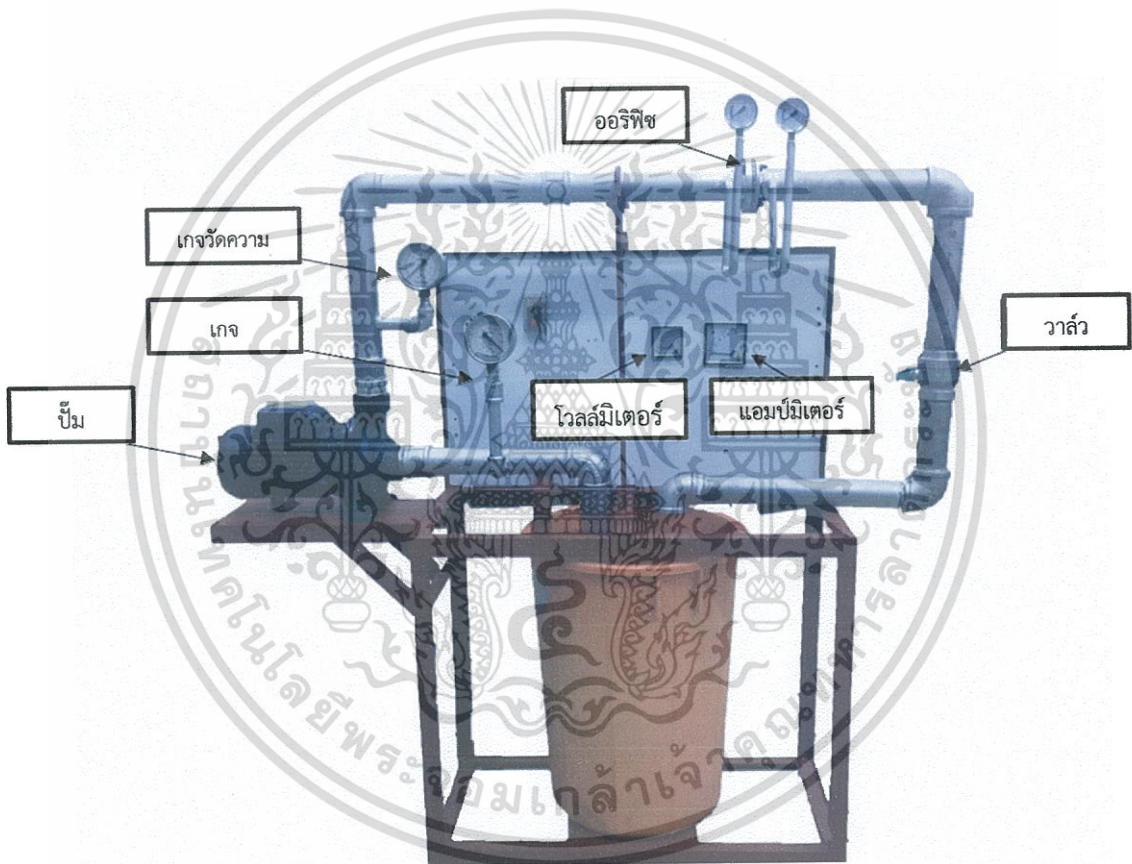
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1 ชุดการทดลอง

ชุดการทดลองนี้ใช้ปั๊มแรงเหวี่ยงขนาด 2 แรงม้า เพื่อดันให้ของไหลไหลไปทั่วทั้งระบบ เมื่อของไหลเข้าสู่ท่อก่อนจะเข้าปั๊มจะมีเกจวัดความดันด้านดูดด้วยเกจสูญญากาศ และหลังจากผ่านปั๊มจะมีเกจวัดความดันด้านปล่อยติดตั้งไว้เพื่อวัดความดันหลังจากผ่านปั๊ม ชุดการทดลองนี้ใช้ออร์ฟิซเป็นอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของของไหล สามารถปรับอัตราการไหลได้ด้วยวาล์ว และมีการติดตั้งเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้ากับเครื่องวัดกระแสไฟฟ้า แสดงชุดการทดลองดังในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ชุดอุปกรณ์การทดลองและส่วนประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1 ปัมแรงเหวี่ยง

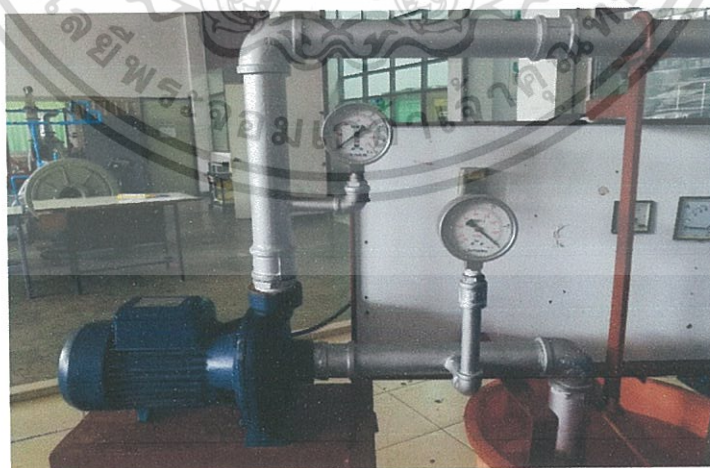
ปั๊มแรงเหวี่ยงสำหรับสูบของไหลที่ใช้ในชุดทดลองนี้เป็นปั๊มยี่ห้อ Lucky Pro รุ่น MHF/5AM ขนาด 2 แรงม้า ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ปั๊มที่ใช้ในชุดการทดลอง

3.1.2 เครื่องวัดความดัน

รูปที่ 3.3 คืออุปกรณ์วัดความดันของของไหลภายในท่อ ซึ่งเกจวัดความดันที่ได้นำมาใช้มีด้วยกัน 2 ประเภท คือเกจวัดความดันซึ่งจะถูกติดตั้งไว้ที่ด้านปล่อยของปั๊ม และเกจวัดความดันสุญญากาศ ซึ่งติดตั้งไว้ที่ด้านดูดของปั๊ม เพื่อใช้ในการคำนวณหาเฮดของปั๊ม

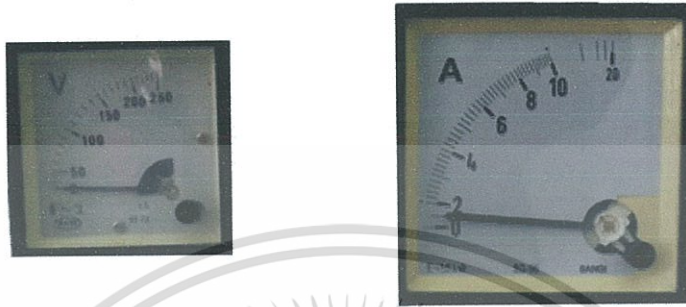


รูปที่ 3.3 ตำแหน่งติดตั้งเกจวัดความดันสุญญากาศด้านดูด และเกจวัดความดันด้านปล่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้า และเครื่องวัดกระแสไฟฟ้า

อุปกรณ์วัดแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าที่แสดงในรูปที่ 3.4 จะถูกต่อสายเข้ากับขั้วที่ใช้ในการทดลอง ใช้สำหรับวัดแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าซึ่งนำไปใช้คำนวณกำลังที่ใช้ในการขับปั๊มแรงเหวี่ยง



รูปที่ 3.4 แสดงหน้าปัดเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้า และเครื่องวัดกระแสไฟฟ้า

3.1.4 บอลวาล์ว

เป็นวาล์วเปิด-ปิด มีลักษณะทรงกลมมีรูจะผ่านกลางใช้สำหรับปรับอัตราการไหลในการทดลอง สมรรถนะของปั๊ม ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงภาพบอลวาล์ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.5 ไบพัต

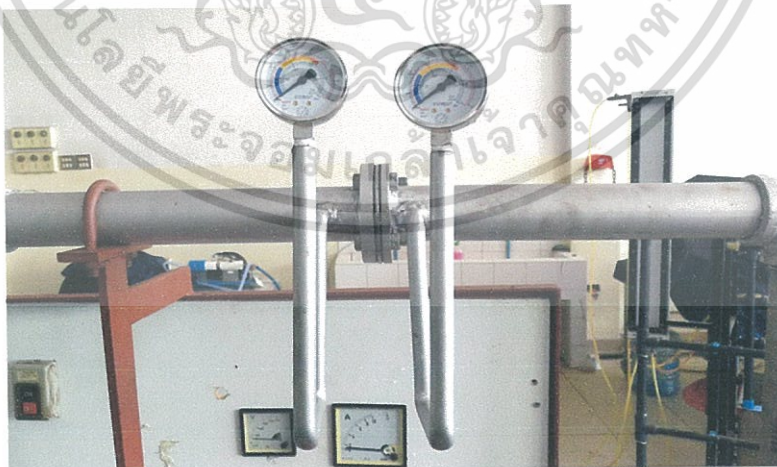
รูปที่ 3.6 แสดงภาพไบพัตแบบปิดซึ่งเป็นไบพัต มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 เซนติเมตร ลักษณะของไบพัตเป็นแบบโค้งไปข้างหลัง (Backward) นำมาใช้ทดลองประสิทธิภาพปั๊ม



รูปที่ 3.6 แสดงภาพไบพัตแบบปิด

3.1.6 เครื่องวัดอัตราการไหล

รูปที่ 3.7 แสดงเครื่องวัดอัตราการไหลของของไหลในท่อ ซึ่งเป็นเครื่องวัดอัตราการไหลประเภท ออริฟิซ ประกอบด้วยแผ่นออริฟิซ และเกจวัดความดัน 2 ตัว ใช้หลักการอ่านค่าความดันที่ลดลงของของไหลภายในท่อ

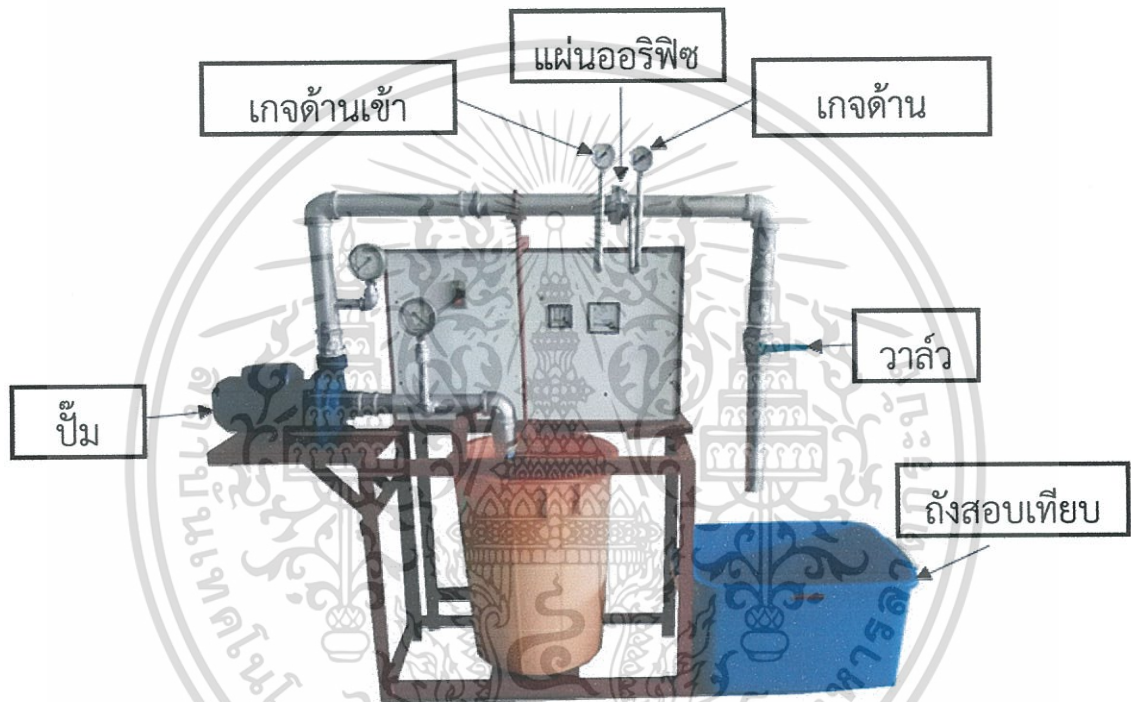


รูปที่ 3.7 เครื่องวัดอัตราการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การสอบเทียบเครื่องวัดอัตราการไหล

ออริฟิซเป็นอุปกรณ์วัดการไหลจากการคำนวณความแตกต่างของค่าความดันที่ขาเข้าและขาออกของออริฟิซ จากทฤษฎีออริฟิซ ในการคำนวณหาค่าอัตราการไหลจะไม่ใช้ค่าอัตราการไหลจริงที่เกิดขึ้นจึงจำเป็นต้องมีการสอบเทียบ (Calibration) เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยของออริฟิซ เพื่อนำไปคูณกับค่าอัตราการไหลตามทฤษฎี เพื่อที่จะได้อัตราการไหลจริงของเครื่องวัด ดังนั้นการสอบเทียบจึงเป็นการหาค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยของออริฟิซ การสอบเทียบเครื่องวัดอัตราการไหลมีการจัดชุดการทดลองดังแสดงในรูปที่ 3.8

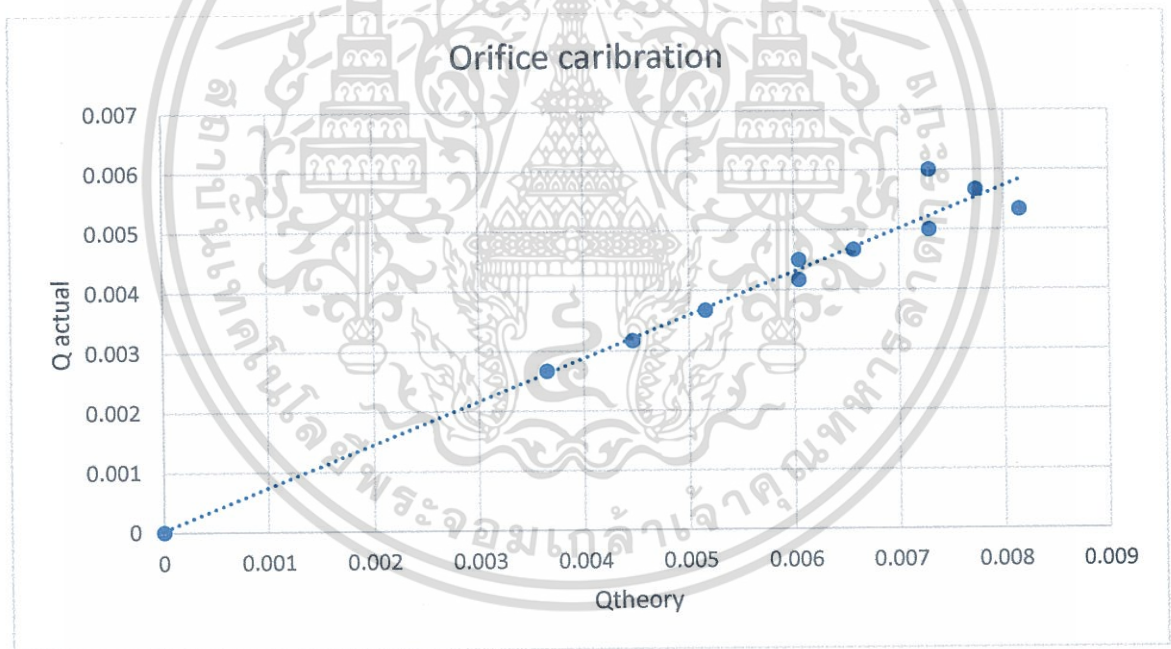


รูปที่ 3.8 อุปกรณ์ในการสอบเทียบออริฟิซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการสอบเทียบออริฟิซ

1. บิดวาล์วแบบเปิดสุด และแบบปิดสุดและเก็บค่าความดันจากเกจวัดความดันด้านนอก จากนั้นแบ่งช่วงวัดเป็น 10 ช่วง
2. หลังเปิดเครื่อง ทำการเปิดวาล์วจนได้ค่าความดันที่ต้องการจะวัดและจดค่าความดันที่ด้านดูดและด้านปล่อย จะได้ค่า ΔP ไปใช้ในการคำนวณหาค่าอัตราการไหลเชิงทฤษฎี (Q_{theory})
3. เริ่มจับเวลาพร้อมกับจดค่าปริมาตรของน้ำภายในถังสอบเทียบ
4. หยุดการจับเวลาพร้อมกับจดค่าปริมาตรของน้ำลงในตารางที่
5. จากนั้นคำนวณปริมาตรน้ำจากน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นในถังเก็บน้ำกับเวลาที่ใช้น้ำ ซึ่งจะทำให้เราทราบถึงอัตราการไหลจริงที่เกิดขึ้น (Q_{actual})
6. ทำซ้ำตั้งแต่ข้อที่ 2 ถึง ข้อที่ 5 จนครบ 10 จุดที่ต้องการ
7. นำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Q_{actual} และ Q_{theory} และหาความชันของกราฟจะได้ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยดังรูป 3.9 ซึ่งจะได้ค่าความชันของกราฟหรือค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยเท่ากับ 0.713



รูปที่ 3.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลจริงและอัตราการไหลเชิงทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การทดสอบหาความหนืดของของไหล

ในการทดลองหาประสิทธิภาพของปั๊มที่ของไหลแต่ละความหนืดจะต้องเตรียมน้ำผสมโคลนที่ความเข้มข้น 5% 10% และ 15% โดยน้ำหนักดังแสดงในรูปที่ 3.10 เพื่อหาค่าดัชนีพฤติกรรมการไหลและดัชนีความสม่ำเสมอ ที่เป็นค่าคุณสมบัติของของไหล ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกว่าของไหลนั้นเป็นของไหลเป็นประเภทใด



รูปที่ 3.10 ของไหลผสมโคลนที่ความเข้มข้น 5% 10% 15% โดยน้ำหนัก

ในการหาคุณสมบัติของของไหลผสมที่ใช้ในการทดลองนี้ เราได้ใช้เครื่องวัดความหนืดแบบหมุนจาก Brookfield รุ่น LVDV-E เตี้ยหมุนชนิด #1 LV สำหรับของไหลที่มีความหนืดต่ำ ในการทดลองแสดงในรูปที่ 3.11 โดยหลักการของเครื่องหาคุณสมบัติของของไหลนี้จะใช้หัวเข็มจุ่มลงไปบนของเหลวตัวอย่าง ซึ่งหัวเข็มนี้จะหมุนด้วยความเร็วรอบต่างกัน ทางผู้ทดสอบจะทำการบันทึกค่าความเร็วรอบของหัวหมุน และค่าความหนืดที่อ่านได้จากเครื่อง



รูปที่ 3.11 เครื่องวัดความหนืด LVDV-E Viscometer

เครื่องมือวัดนี้จะสามารถอ่านค่าได้ทั้งหมด 2 ค่า คือ ค่าความหนืด และค่าความเร็วรอบ โดยที่เครื่องนี้สามารถปรับความเร็วรอบได้ตามที่ต้องการ นำค่าทั้งสองไปคำนวณเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน ซึ่งใช้วิธีจากคู่มือของเครื่องวัดความหนืด และอัตราเฉือนของเดือยหมุนชนิด #1 LV หาได้จากสมการ (3.1)

$$\gamma = 0.22\omega \quad (3.1)$$

เมื่อ γ = อัตราความเค้นเฉือน (s^{-1})
 ω = ความเร็วรอบ (rpm)

จากสมการความสัมพันธ์ของอัตราเฉือนกับความเค้นเฉือนสามารถเขียนใหม่ดังสมการที่ (3.2)

$$\tau = \mu\gamma \quad (3.2)$$

เมื่อ μ = ความหนืด (Pa.s)
 τ = ความเค้นเฉือน (Pa)

นำค่าอัตราความเค้นเฉือน และความเค้นเฉือนที่คำนวณได้ใส่ลงในตาราง 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างตารางจดบันทึกข้อมูลคุณสมบัติความหนืดของของไหล

RPM	Shear rate	Average apparent viscosity (Centipoise)	Average apparent viscosity (Pa.s)	Shear stress
100	22	5.57	0.00557	0.12254
60	13.2	7.974545	0.007975	0.105264
50	11	9.00013	0.009	0.099001429
30	6.6	13.48643	0.013486	0.089010429
20	4.4	17.62667	0.017627	0.077557333
12	2.64	22.94286	0.022943	0.060569143
10	2.2	23.95	0.02395	0.05269
6	1.32	28.95	0.02895	0.038214
5	1.1	28.60833	0.028608	0.031469167
4	0.88	32.04222	0.032042	0.028197156
3	0.66	21.28864	0.021289	0.0140505

ค่าความหนืดที่อ่านได้จากเครื่องมีหน่วยเป็น centipoise จึงต้องแปลงเป็นหน่วยให้เป็น Pa.s โดย 1 centipoise = 0.001 Pa.s

3.3.1 การหาค่าดัชนีพฤติกรรมการไหล และดัชนีความสม่ำเสมอ

นำข้อมูลจากการทดลองและคำนวณมาเขียนกราฟและสมการให้อยู่ในรูปแบบเดียวกันกับสมการที่ (3.3) เพื่อหาค่าดัชนีความสม่ำเสมอ และดัชนีพฤติกรรมการไหล

$$\tau = k\gamma^n \quad (3.3)$$

โดย

τ	=	ความเค้นเฉือน (Pa)
k	=	ดัชนีความสม่ำเสมอ
γ	=	อัตราความเค้นเฉือน (s^{-1})
n	=	ดัชนีพฤติกรรมการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วิธีการคำนวณสมรรถนะของปั๊ม

สมรรถนะของปั๊มที่จะนำมาเขียนเป็นกราฟสมรรถนะนั้นมีค่าที่สำคัญซึ่งประกอบด้วย เฮด กำลังไฟฟ้าที่ใช้ กำลังที่ของเหลวได้รับจากปั๊ม และประสิทธิภาพของปั๊ม ที่อัตราการไหลต่างๆ โดยจะสามารถใช้ค่าที่ได้จากการทดลองและการคำนวณ

ค่าเฮดของปั๊มสามารถคำนวณได้จากการนำค่าความดันที่วัดจากทางด้านดูด และด้านปล่อย สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (3.4)

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + Z_2 - Z_1 \quad (3.4)$$

โดย

H	=	เฮดของปั๊ม (m)
P_1	=	ความดันด้านดูดของปั๊ม (kPa)
P_2	=	ความดันด้านปล่อยของปั๊ม (kPa)
V_1	=	ความเร็วในท่อด้านดูดของปั๊ม (m/s)
V_2	=	ความเร็วในท่อด้านปล่อยของปั๊ม (m/s)
ρ	=	ค่าความหนาแน่นของของไหล (kg/m ³)
$Z_2 - Z_1$	=	ระยะห่างระหว่างท่อ (m) ในการทดลองนี้มีค่าเท่ากับ 0.3 m

การหากำลังไฟฟ้าของปั๊มเป็นการหากำลังที่ใช้ในการขับเคลื่อนปั๊มรวมทั้งมอเตอร์ขับเคลื่อนปั๊มจากสมการ (3.5)

$$P_{in} = \frac{IV \cos \theta * \eta_{motor}}{1000} \quad (3.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย	P_{in}	=	กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการขับปั๊ม (kW)
	I	=	กระแสไฟฟ้า (A)
	V	=	แรงดันไฟฟ้า (V)
	$\cos \theta$	=	ค่าประกอบกำลัง
	η_{motor}	=	ค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์
	$\cos \theta * \eta_{motor}$	=	จากข้อมูลผู้ผลิตมีค่าเท่ากับ 0.6087

การหากำลังที่ได้จากปั๊มเป็นการหาค่ากำลังที่ของเหลวได้รับซึ่งจะมีค่าน้อยกว่ากำลังที่ใส่เข้าไปในปั๊มเนื่องจากอาจมีความสูญเสียภายในปั๊ม กำลังที่ได้จากปั๊มสามารถหาได้ดังสมการ (3.6)

$$P_{output} = \gamma H Q \quad (3.6)$$

โดย	H	=	เฮดของเครื่องปั๊ม (m)
	γ	=	น้ำหนักจำเพาะของของไหล (N/m ³)
	Q	=	อัตราการไหล (m ³ /s)

ประสิทธิภาพของปั๊มเป็นสิ่งที่บอกลถึงสัดส่วนของของไหลที่ได้รับกับกำลังที่ใช้ขับปั๊มที่การทำงานในสภาวะนั้นๆสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (3.7)

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \quad (3.7)$$

โดย	η	=	ประสิทธิภาพของปั๊ม
	P_{out}	=	กำลังของของเหลวที่ได้รับจากปั๊ม (kW)
	P_{in}	=	กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการขับปั๊ม (kW)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 วิธีการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพการลดของเฮด ประสิทธิภาพ และค่าแก้มกำลัง

ในการเปรียบเทียบเฮด ประสิทธิภาพ และกำลังของปั๊ม จะใช้สัมประสิทธิ์การลดของเฮด สัมประสิทธิ์การลดของประสิทธิภาพ และค่าแก้มกำลัง ตามสมการ (3.8) (3.9) และ (3.10) ตามลำดับ

$$K_H = \frac{H_{mixture}}{H_{water}} \quad (3.8)$$

โดย K_H = ค่าสัมประสิทธิ์การลดของเฮด
 $H_{mixture}$ = เฮดของปั๊มเมื่อสูบของไหลผสมที่ความเข้มข้นต่างๆ (m)
 H_{water} = เฮดของปั๊มเมื่อสูบน้ำ (m)

$$K_\eta = \frac{\eta_{mixture}}{\eta_{water}} \quad (3.9)$$

โดย K_η = ค่าสัมประสิทธิ์การลดประสิทธิภาพ
 $\eta_{mixture}$ = ประสิทธิภาพของปั๊มเมื่อสูบของไหลผสมที่ความเข้มข้นต่างๆ
 η_{water} = ประสิทธิภาพของปั๊มเมื่อสูบน้ำ

$$K_P = \frac{P_{mixture}}{P_{water}} \quad (3.10)$$

โดย K_P = ค่าแก้มกำลัง
 $P_{mixture}$ = กำลังของปั๊มเมื่อสูบของไหลผสมที่ความเข้มข้นต่างๆ (kW)
 P_{water} = กำลังของปั๊มเมื่อสูบน้ำ (kW)

3.6 วิธีการทดลอง

การหากราฟสมรรถนะของปั๊มของไหล 2 ชนิด คือน้ำ และของไหลผสม สามารถทำได้โดยการเขียนกราฟเปรียบเทียบระหว่าง เฮด กำลัง ประสิทธิภาพ และอัตราการไหล ซึ่งค่าเหล่านี้หาได้จากการทดลอง

1. โดยวิธีการทดลองนั้นเริ่มต้นจากการประกอบใบพัดแบบปิดเข้ากับชุดทดลอง ทำการล่อน้ำเพื่อให้ปั๊มสามารถทำงานได้ จากนั้นเปิดวาล์วไปที่ เปิด จากนั้นเปิดเครื่องให้ปั๊มน้ำเริ่มทำงานกับน้ำบริสุทธิ์
2. หรีบลวาล์วเพื่อปรับอัตราการไหลทั้งหมด 10 ตำแหน่ง แล้วทำการบันทึกข้อมูลต่อการหรีวาล์วในแต่ละครั้งซึ่งมาค่าที่ต้องการ คือ ความดันด้านดูด ความดันด้านปล่อย กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า ความดันก่อนเข้าออร์ฟิช และความดันหลังออกจากออร์ฟิช
3. บันทึกผลการทดลอง และคำนวณค่าลงในตารางที่ 3.2
4. ทำการทดลองด้วยวิธีเดียวกันกับทั้งของไหลผสม 5% 10% และ 15% ตามลำดับ
5. เปรียบเทียบด้วยค่า สัมประสิทธิ์การลดของเฮด สัมประสิทธิ์การลดของประสิทธิภาพ และค่า แก๊กกำลัง

ตารางที่ 3.2 ตารางจัดบันทึกข้อมูลการทำงานของปั๊ม

P ₁ (kPa)	P ₂ (kPa)	Total Head (m)	P _{o1} (bar)	P _{o2} (bar)	dP (bar)	Q (m ³ /s)	I Current (Amp)	V Volt (V)	Input (kW)	Output power (kW)	Efficiency
0	200	20.70816	2.000	2.000	0.000	0	4.7	220	0.62940	0.00000	0.00000
-9	190	20.60612	1.900	1.800	0.100	0.0017191	4.8	220	0.64279	0.34210	0.53222
-14	180	20.09592	1.800	1.675	0.125	0.001922	4.8	220	0.64279	0.37287	0.58009
-15	170	19.17755	1.700	1.550	0.150	0.0021055	4.8	220	0.64279	0.38951	0.60597
-15	160	18.15714	1.650	1.475	0.175	0.0022742	4.8	220	0.64279	0.39798	0.61914
-16	150	17.23878	1.500	1.300	0.200	0.0024312	5.0	220	0.66957	0.40358	0.60274
-16	140	16.21837	1.400	1.100	0.300	0.0029776	5.4	220	0.72314	0.46450	0.64234
-18	130	15.40204	1.300	0.900	0.400	0.0034382	5.9	220	0.79009	0.50885	0.64404
-21	120	14.68776	1.200	0.650	0.550	0.0040317	6.3	220	0.84366	0.56846	0.67381
-22	110	13.76939	1.050	0.400	0.650	0.0043829	6.7	220	0.89722	0.57854	0.64481
-26	100	13.15714	0.975	0.200	0.775	0.0047858	7.0	220	0.93740	0.60301	0.64328
-28	90	12.34082	0.900	0.000	0.900	0.0051573	7.3	220	0.97757	0.60856	0.62252

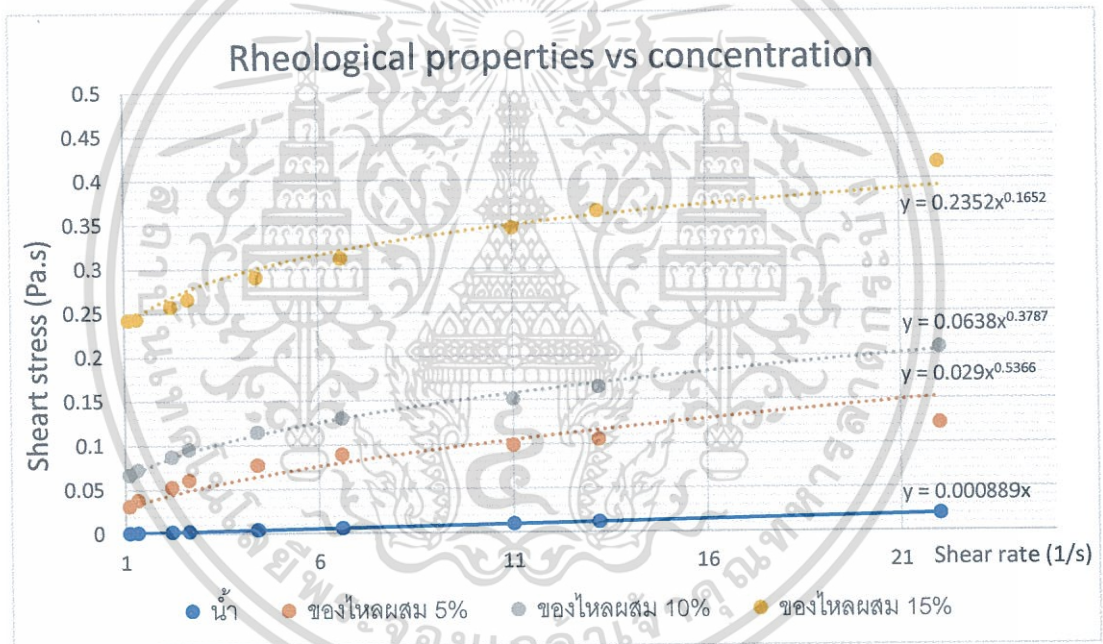
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การทดลองหาความหนืด

หลังจากที่ได้ทดลองหาคคุณสมบัติของของไหลทั้ง 3 ความเข้มข้น โดยเครื่องวัดความหนืดแบบหมุนของ Brookfield รุ่น LVDV-E viscometer นำผลมาสร้างกราฟแสดงในรูปที่ 4.1 ซึ่งแสดงถึงคุณสมบัติของของไหล โดยที่ของไหลผสม 5% มีค่าดัชนีพฤติกรรมการไหล (n) เท่ากับ 0.5366 และดัชนีความสม่ำเสมอ (k) เท่ากับ 0.029 ของไหลผสม 10% มีค่าดัชนีพฤติกรรมการไหลเท่ากับ 0.3787 และดัชนีความสม่ำเสมอเท่ากับ 0.0638 ของไหลผสม 15% มีค่าดัชนีพฤติกรรมการไหลเท่ากับ 0.1652 และดัชนีความสม่ำเสมอเท่ากับ 0.2352 ซึ่งจากข้อมูลที่ได้ทราบว่าของไหลผสมชนิดนี้เป็นของไหลซูโดพลาสติก จากค่าพฤติกรรมการไหลน้อยกว่า 1 และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของของไหลจะทำให้ค่าดัชนีความสม่ำเสมอมีค่ามากขึ้น และค่าดัชนีพฤติกรรมมีค่าน้อยลง

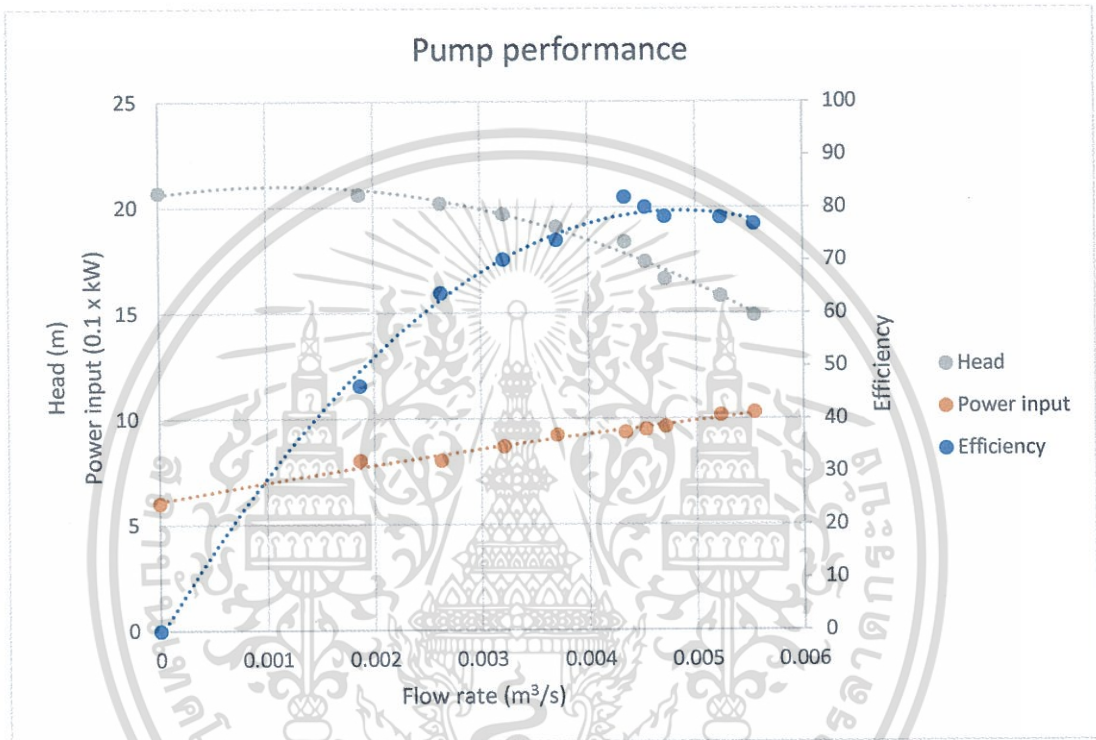


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนกับอัตราเฉือนของของไหลที่ความเข้มข้นต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดลองเปรียบเทียบความเข้มข้นของของไหลผสม

การทดลองหาสมรรถนะของปั๊ม เมื่อใช้น้ำบริสุทธิ์ และนำผลที่ได้มาสร้างกราฟ ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.2 จากรูปพบได้ว่าประสิทธิภาพสูงสุดของปั๊มน้ำใบพัดแบบปิดอยู่ที่ประมาณ 80% โดยที่อัตราการไหลอยู่ที่ 0.00453 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เฮดเท่ากับ 17.4 เมตร กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 0.9 kW กราฟเฮดกับอัตราการไหลเป็นไปตามกราฟสมรรถนะของปั๊มทั่วไป คือเมื่ออัตราการไหลเพิ่มเฮดของปั๊มก็จะมีค่าลดลง และกำลังไฟฟ้ามักมีค่าเพิ่มมากขึ้น

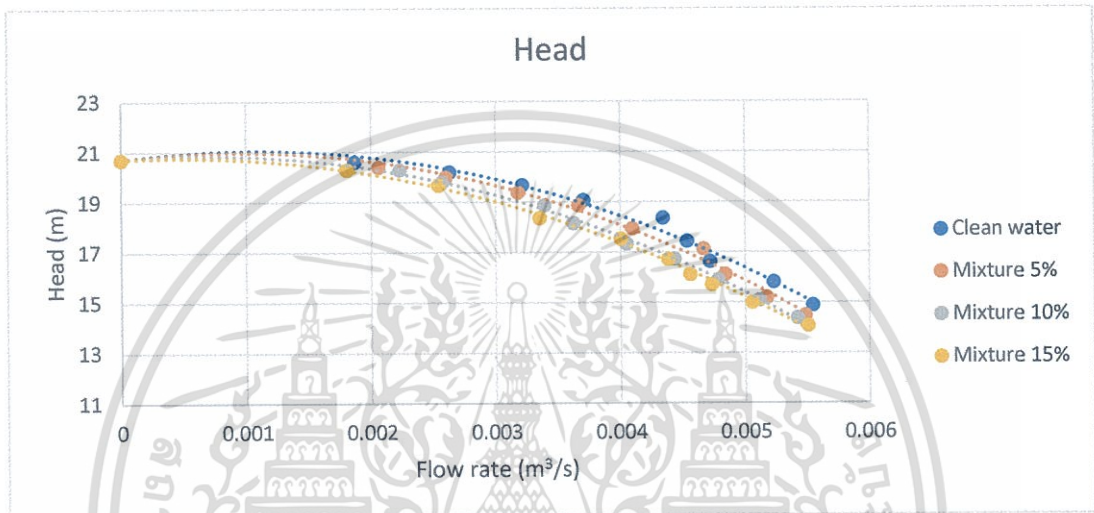


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงสมรรถนะของปั๊มเมื่อทำงานกับน้ำปกติ

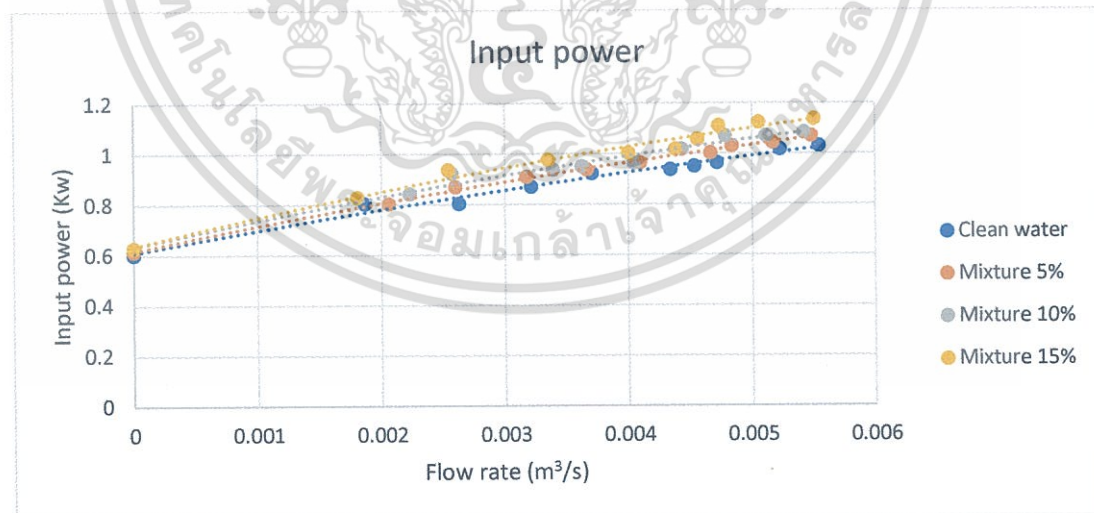
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 การทดลองเปรียบเทียบความเข้มข้นของของไหลผสม

รูปที่ 4.3 แสดงสมรรถนะของปั๊มเมื่อใช้สูบของไหลผสมที่ส่วนผสมโดยน้ำหนัก 5% 10% และ 15% จะเห็นได้ว่า เมื่ออัตราส่วนของโคลนที่เพิ่มมากขึ้น ค่าเฮดของปั๊มจะมีค่าลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ของไหลผสม 15% ที่อัตราการไหลช่วงเดียวกัน ค่าเฮดที่ปั๊มน้ำสามารถทำได้มีค่าลดลงมากกว่า เมื่อเทียบกับการทำงานสูบน้ำปกติตั้งแต่ 5-10% ส่วนในรูปที่ 4.4 แสดงการใช้กำลังงานของไฟฟ้าของปั๊มน้ำ โดยจะพบว่า เมื่อความเข้มข้นของของไหลผสมเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้กำลังไฟฟ้าที่ส่งให้ปั๊มมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์เฮดกับอัตราการไหล ที่ความเข้มข้นต่างๆ



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์กำลังไฟที่ใช้กับอัตราการไหล ที่ความเข้มข้นต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.5 แสดงประสิทธิภาพของปั้มน้ำใบพัดแบบปิดที่ความเข้มข้นต่างๆ ซึ่งค่าประสิทธิภาพของปั้มน้ำจะเพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุดค่าหนึ่งซึ่งหลังจากจุดนี้ประสิทธิภาพจะค่อยๆลดลง และประสิทธิภาพสูงสุดจะลดลงตามความเข้มข้นของของไหลที่เพิ่มขึ้น

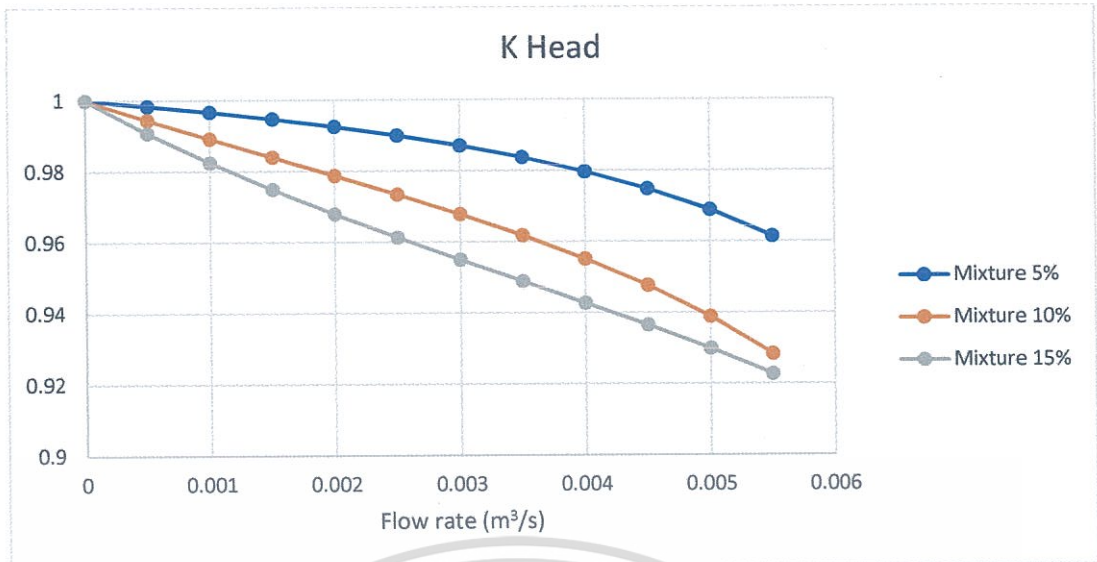


รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ประสิทธิภาพกับอัตราการไหล ที่ความเข้มข้นต่างๆ

4.2.2 ผลของสัมประสิทธิ์การลดของเฮด สัมประสิทธิ์การลดของประสิทธิภาพ และค่าแก้กำลังของปั้ม

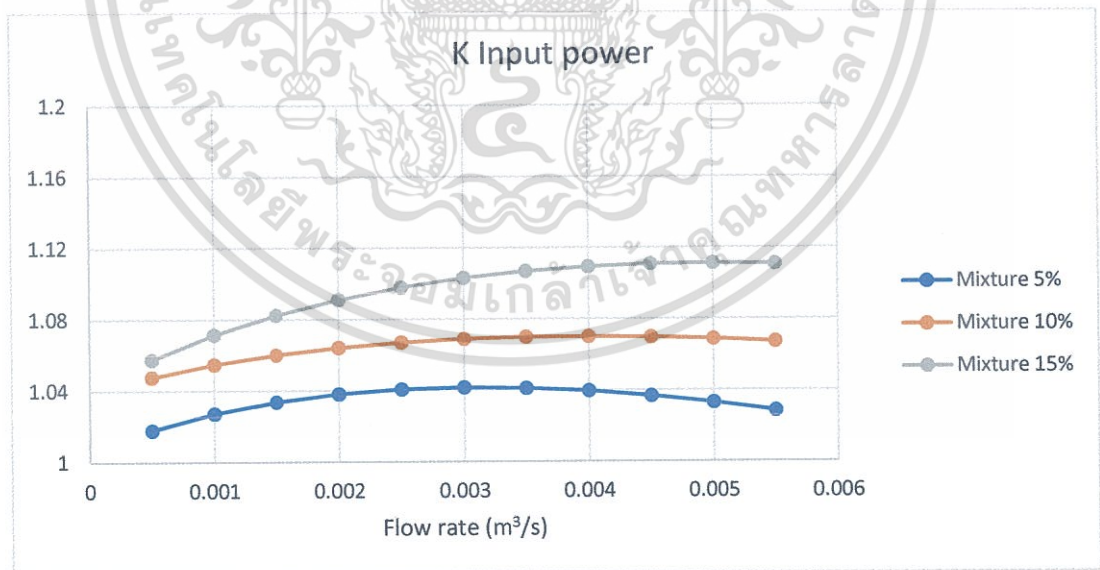
การหาสัมประสิทธิ์การลดของเฮด ประสิทธิภาพ และค่าแก้กำลัง แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบสมรรถนะของปั้มเมื่อสูบของไหลผสมที่ความเข้มข้นต่างๆ เพื่อใช้ในการหาสมรรถนะของปั้มเมื่อทำงานกับของไหลผสม

รูปที่ 4.6 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การลดของเฮดของปั้มน้ำเมื่อปั้มสูบของไหลผสม 5% 10% และ 15% สังเกตได้ว่าในช่วงที่อัตราการไหลต่ำจะมีค่าสัมประสิทธิ์ใกล้เคียงกับ 1 แต่ในช่วงที่อัตราการไหลสูง ค่าสัมประสิทธิ์มีค่าลดลงมากขึ้น ซึ่งสรุปได้ว่าที่อัตราการไหลต่ำ เฮดไม่ลดลงจากเดิมมากเมื่อทำงานกับของไหลผสม แต่ที่อัตราการไหลสูงค่าเฮดลดลงจากเดิมมากกว่าที่อัตราการไหลต่ำ และเมื่อปั้มทำงานกับของไหลความเข้มข้นมากขึ้นค่าเฮดจะลดลงมากขึ้นด้วย



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การลดของเฮดกับอัตราการไหลที่ความเข้มข้นต่างๆ

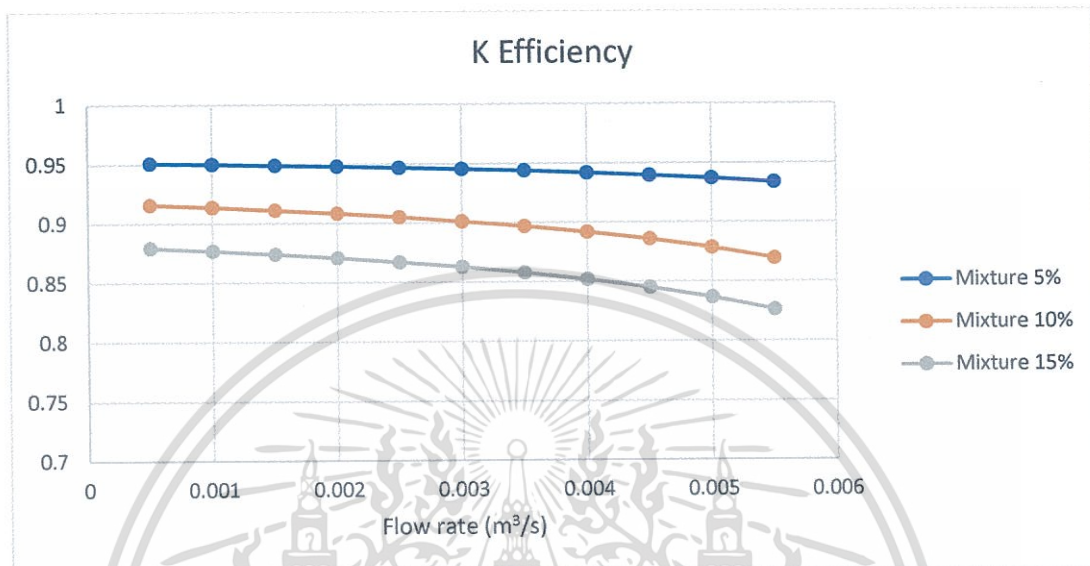
รูป 4.7 เป็นการแสดงค่าแก๊กำลังของปั๊มสูบของไหลผสม 5% 10% และ 15% สังเกตได้ว่าแนวโน้มของค่าแก๊กำลังของปั๊มน้ำกับของไหลผสมแต่ละชนิดมีแนวโน้มที่คล้ายกัน คือ เมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้นค่าแก๊กำลังจะเพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุดค่าหนึ่งและจะค่อยๆลดลง และค่าแก๊กำลังจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของของไหลผสมที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าแก๊กำลังของกำลังไฟฟ้ากับอัตราการไหลที่ความเข้มข้นต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 4.8 เป็นการแสดงค่าสัมประสิทธิ์การลดของประสิทธิภาพของปั้มน้ำเมื่อปั้มน้ำสูบของไหลผสม จากพบว่าที่อัตราการไหลมากขึ้นค่าสัมประสิทธิ์การลดของประสิทธิภาพจะลดลงซึ่งที่ความเข้มข้น 5% มีอัตราการลดที่น้อยมากเมื่อเทียบกับความเข้มข้น 10% กับ 15% และประสิทธิภาพของปั้มน้ำจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของของไหลเพิ่มมากขึ้น

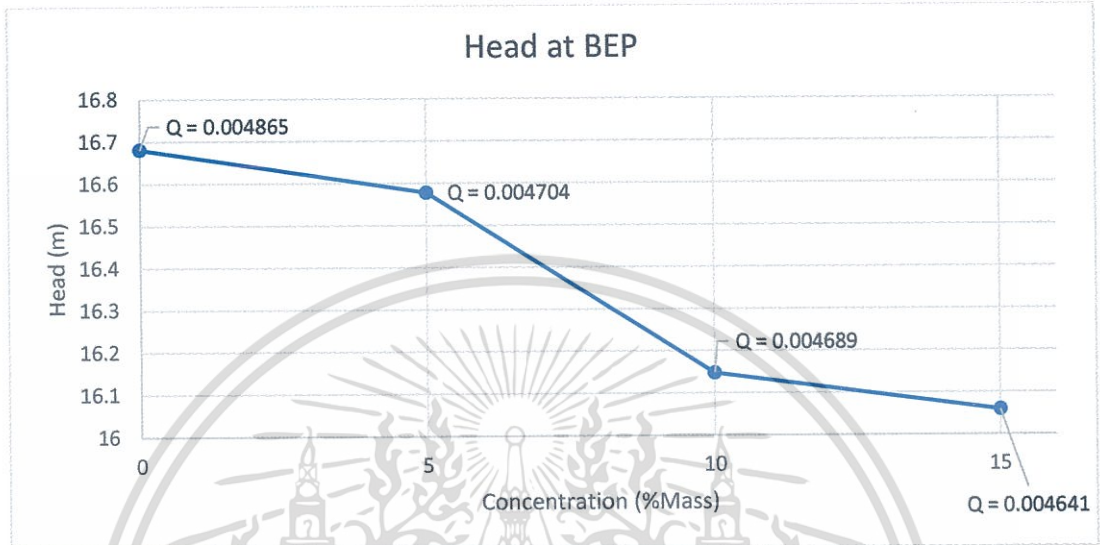


รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การลดของประสิทธิภาพกับอัตราการไหลที่ความเข้มข้นต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

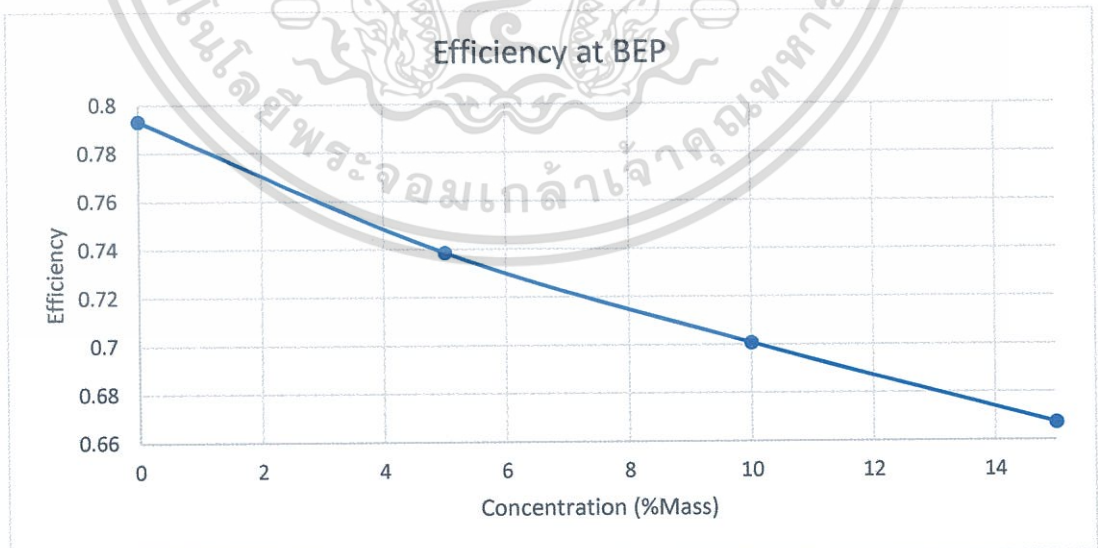
4.3 การเปรียบเทียบสมรรถนะที่จุดประสิทธิภาพสูงสุดของปั๊ม

รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฮดที่จุดใช้งานกับความเข้มข้นของของไหลผสมจะพบว่าเมื่อความเข้มข้นของของไหลเพิ่มขึ้นค่าเฮดที่จุดที่มีประสิทธิภาพสูงสุดของปั๊มค่าเฮดจะลดลงพร้อมกับค่าอัตราการไหลที่ลดลงควบคู่ไปด้วย



รูปที่ 4.9 กราฟค่าเฮดที่จุดที่มีประสิทธิภาพสูงสุดกับความเข้มข้นของของไหล ที่จุดที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

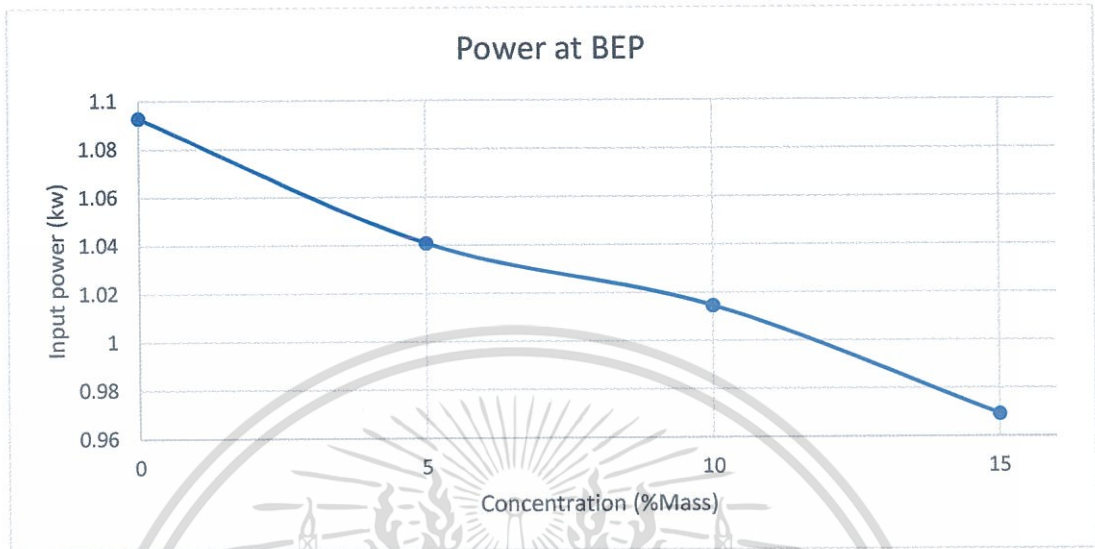
จากรูป 4.10 แสดงค่าประสิทธิภาพสูงสุดของปั๊มกับความเข้มข้นของของไหลผสม พบว่าค่าประสิทธิภาพสูงสุดมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆเมื่อความเข้มข้นของของไหลเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพกับความเข้มข้นของของไหล ที่จุดที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.11 แสดงค่ากำลังไฟฟ้าที่จุดประสิทธิภาพสูงสุดกับความเข้มข้นของของไหลพบว่าค่ากำลังไฟฟ้าที่จุดประสิทธิภาพสูงสุดมีค่าลดลง เมื่อความเข้มข้นของของไหลเพิ่มขึ้น ส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากการที่จุดที่ประสิทธิภาพสูงสุดของแต่ละความเข้มข้นมีค่าอัตราการไหลลดลงทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าลดลง

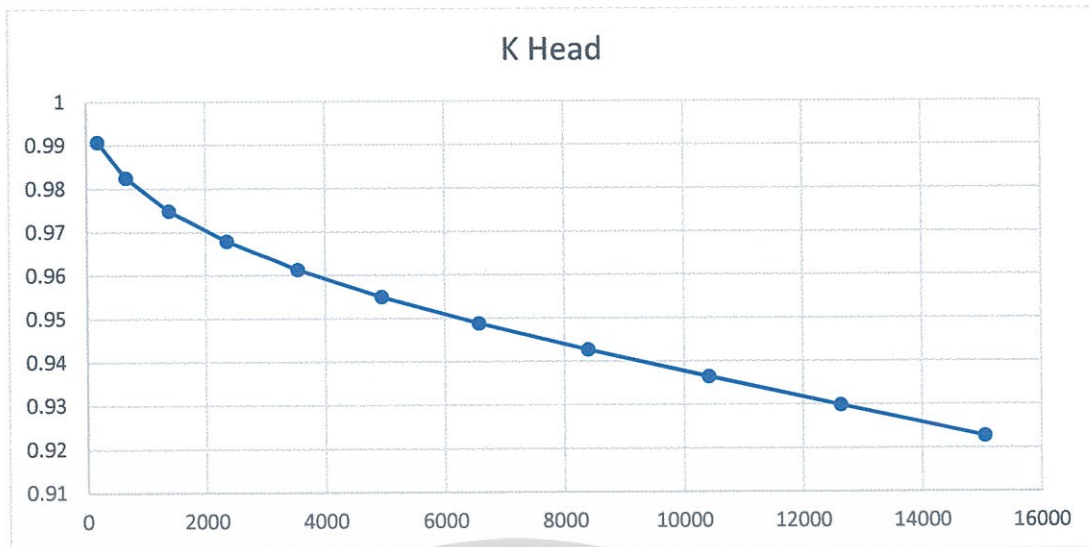


รูปที่ 4.11 กราฟแสดงค่ากำลังไฟฟ้ากับความเข้มข้นของของไหล ที่จุดที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

4.4 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ของสมการระเหยของบีมกับค่าเรย์โนลด์

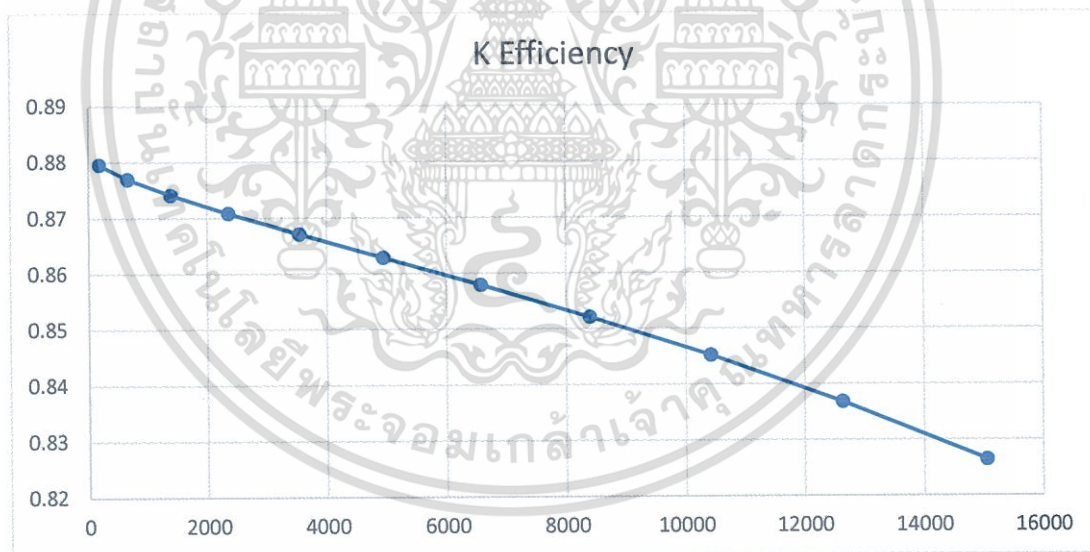
ค่าเรย์โนลด์เป็นค่าที่บอกคุณสมบัติของของไหลซึ่งขึ้นกับความเร็ว ความหนาแน่น ขนาดท่อ และความหนืด จึงเป็นค่าที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ความหนืดของของไหลภาพในท่อที่การทำงานของบีมแต่ละช่วง

รูปที่ 4.12 เป็นกราฟแสดงอัตราการไหลระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การลดของเฮดกับค่าเรย์โนลด์ จะพบว่าที่ค่าเรย์โนลด์ต่ำค่าสัมประสิทธิ์การลดของเฮดจะลดลงอย่างรวดเร็วแต่เมื่อค่าเรย์โนลด์เพิ่มขึ้นการลดของค่าสัมประสิทธิ์จะค่อยๆช้าลง



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การลดของเฮดกับค่าเรย์โนลด์

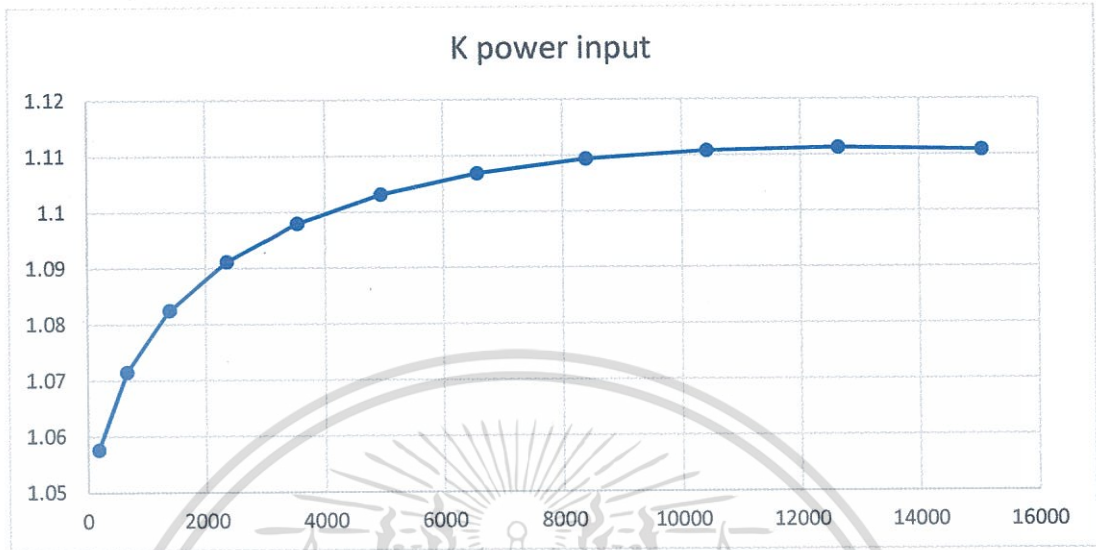
รูปที่ 4.13 แสดงกราฟระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การลดของประสิทธิภาพและค่าเรย์โนลด์ พบว่าเมื่อค่าเรย์โนลด์เพิ่มขึ้นค่าสัมประสิทธิ์จะลดลงซึ่งเกือบจะเป็นเส้นตรง



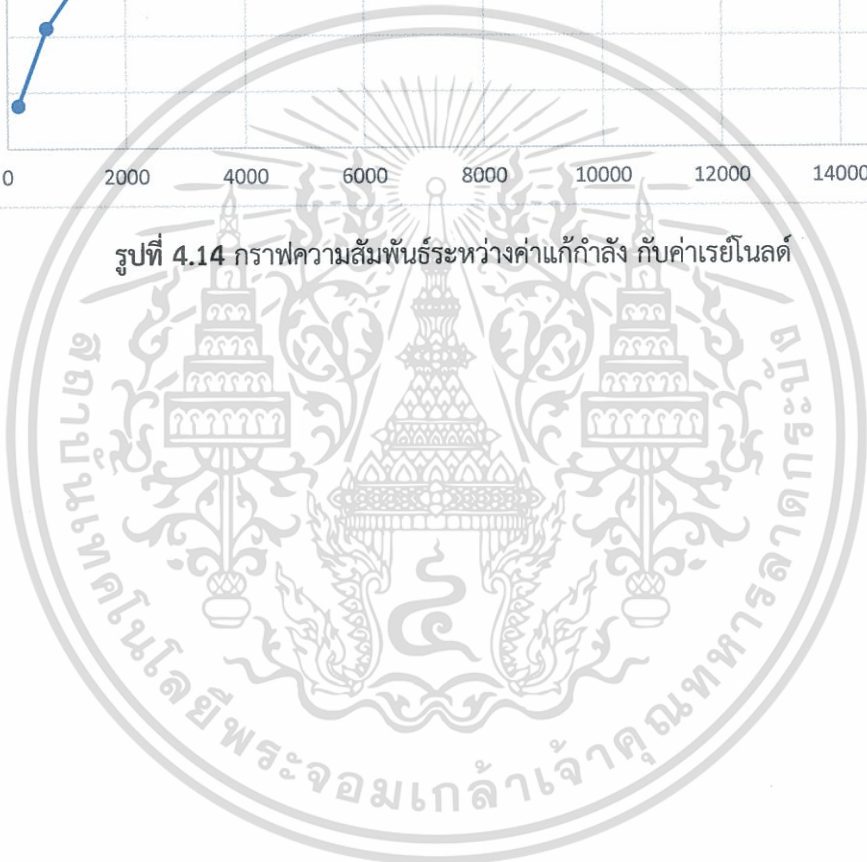
รูปที่ 4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การลดของประสิทธิภาพกับค่าเรย์โนลด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.14 แสดงกราฟระหว่างค่าแก้มกำลังกับค่าเรย์โนลด์ พบว่าช่วงค่าเรย์โนลด์น้อยค่าแก้มกำลังจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วแต่เมื่อค่าเรย์โนลด์เพิ่มขึ้นค่าแก้มกำลังจะเพิ่มจนเริ่มขึ้นที่



รูปที่ 4.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแก้มกำลัง กับค่าเรย์โนลด์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. จากการทดลองด้วยเครื่องวัดความหนืดแบบหมุน ทำให้ทราบถึงคุณสมบัติของของไหลนอนนิวโทเนียนที่ใช้ในการทดลองว่าเป็นของไหลนอนนิวโทเนียนแบบซูโดพลาสติก
2. ค่าเสดและค่าประสิทธิภาพของปั๊มมีค่าลดลง เมื่อทดลองกับของไหลที่มีความเข้มข้นมากขึ้น
3. การใช้กำลังไฟฟ้าของปั๊มมีค่ามากขึ้น เมื่อปั๊มทำงานกับไหลที่มีความเข้มข้นมากขึ้น
4. ที่จุดประสิทธิภาพสูงสุด เมื่อของไหลที่มีความเข้มข้นมากขึ้น ทำให้ค่าเสด ค่าประสิทธิภาพ และอัตราการไหลมีค่าลดลง และยังใช้กำลังเพิ่มมากขึ้น
5. ค่าสัมประสิทธิ์การลดของเสด ประสิทธิภาพ และค่าแก้กำลัง นั้นได้จากคำนวณค่าจากกราฟที่ใช้วิธีการ สมการการถดถอย (Nonlinear regression) ของผลทดลองซึ่งจะมีค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (R-square) ซึ่งหมายความว่าค่าที่ได้จะมีความคลาดเคลื่อนจากการทดลอง จากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสามารถบอกเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการทดลองได้ เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของสัมประสิทธิ์การลดของเสด ประสิทธิภาพ และค่าแก้กำลัง มีค่าไม่เกิน 4% 2% และ 6% ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

1. จากการทดลองควรมีการปรับปรุงชุดทดลองเพื่อเพิ่มความเสถียรของผลทดลองที่ได้ เช่น อุปกรณ์การวัดความดัน อุปกรณ์วัดอัตราการไหลเพราะการอ่านค่าเกิดความคลาดเคลื่อนของข้อมูล และสุดท้ายคือควรมีชุดผสมและชุดกวนของไหล เพราะโคลนที่ผสมลงไปนั้นอาจจะตกตะกอน จึงควรมีชุดกวนของไหลเพื่อให้อายุการกระจายตัวของของไหลทั่วถึงมากขึ้น
2. ในการสอบเทียบออริฟิซ ใช้วิธีการจับเวลาและวัดปริมาณของของไหลผ่านจากออริฟิซอาจทำให้เกิดการคลาดเคลื่อนจากการจับเวลา ส่งผลให้อัตราการไหลที่ได้จากการสอบเทียบคลาดเคลื่อน
3. ควรเปลี่ยนปั๊มเนื่องจากปั๊มที่ใช้ทดลองนั้นมีอายุการใช้งานที่นาน ทำให้ให้สมรรถนะของปั๊มลดลงจากข้อมูลทางผู้ผลิต
4. ควรเพิ่มชนิดของของไหลผสมในการทดลองเพื่อเพิ่มฐานข้อมูลของผลการทดลอง เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบ และแยกแยะผลกระทบจากส่วนผสมได้มากขึ้น เพื่อให้ผู้ใช้งานนำไปใช้งานได้ดียิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] Aryut Santawagomon (2015). **Experimental study of slurry effect on centrifugal pump performance characteristics**. Bangkok: King Mongkut's institute of technology Ladkrabang
- [2] A.Benretem, A Haddor ,H. Cheghib and S.Saad(2007). **Influence of solid particles on centrifugal pump characteristic**. Annaba: Universite BadjiMokhtar
- [3] George Wilson. **The effects of slurries on centrifugal pump performance**. New York: Mager, Engineer Research & Development Goulds Pumps, Incorporated-Slurry Pump Division.
- [4] Hawas Yahya Bajawi, Basharat Salim and Ziyadh Suhibani (2013). **Performance of a Centrifugal slurry pump**. Riyadh: College of Engineering, King Saud University
- [5] Mohamed F. Khalil et al (2013). **Performance Characteristics of Centrifugal Pump Conveying Soft Slurry**. Beirut: Lebanese International university
- [6] Walker and A Goulas (2016). **Performance characteristic of centrifugal pumps when handling non-Newtonian homogeneous slurries**. Bedford: Cranfield Institute of Technology

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 1 ข้อมูลจากผลการทดลองการวัดความหนืดของของไหลผสมที่ความเข้มข้น 5%

RPM	Shear rate	Average apparent viscosity (Centipoise)	Average apparent viscosity (Pa.s)	Shear stress
100	22.00	5.57	0.00557	0.12254
60	13.20	7.974545	0.007975	0.105264
50	11.00	9.00013	0.009	0.099001429
30	6.60	13.48643	0.013486	0.089010429
20	4.40	17.62667	0.017627	0.077557333
12	2.64	22.94286	0.022943	0.060569143
10	2.20	23.95	0.02395	0.05269
6	1.32	28.95	0.02895	0.038214
5	1.10	28.60833	0.028608	0.031469167
4	0.88	32.04222	0.032042	0.028197156
3	0.66	21.28864	0.021289	0.0140505

ตาราง 2 ข้อมูลจากผลการทดลองการวัดความหนืดของของไหลผสมที่ความเข้มข้น 10%

RPM	Shear rate	Average apparent viscosity (Centipoise)	Average apparent viscosity (Pa.s)	Shear stress
100	22.00	9.48	0.00948	0.20856
60	13.20	12.5	0.0125	0.165
50	11.00	13.78571	0.013786	0.151642857
30	6.60	19.74286	0.019743	0.130302857
20	4.40	26.1	0.0261	0.11484
12	2.64	36.14286	0.036143	0.095417143
10	2.20	39.66667	0.039667	0.087266667
6	1.32	55	0.055	0.0726
5	1.10	60.66667	0.060667	0.066733333
4	0.88	71.6	0.0716	0.063008
3	0.66	75.33333	0.075333	0.04972

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 3 ข้อมูลจากผลการทดลองการวัดความหนืดของของไหลผสมที่ความเข้มข้น 15%

RPM	Shear rate	Average apparent viscosity (Centipoise)	Average apparent viscosity (Pa.s)	Shear stress
100	22	19.035	0.019035	0.41877
60	13.2	27.62727	0.027627	0.36468
50	11	31.46364	0.031464	0.3461
30	6.6	47.275	0.047275	0.312015
20	4.4	65.96667	0.065967	0.29025333
12	2.64	100.6429	0.100643	0.26569714
10	2.2	117	0.117	0.2574
6	1.32	184.5	0.1845	0.24354
5	1.1	220.3333	0.220333	0.24236667
4	0.88	268.8889	0.268889	0.23662222
3	0.66	345.1818	0.345182	0.22782
2.5	0.55	386.7143	0.386714	0.21269286
2	0.44	466.5	0.4665	0.20526
1.5	0.33	589.7778	0.589778	0.19462667
1	0.22	846.5714	0.846571	0.18624571

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4 ข้อมูลจากผลการทดลองปั๊มที่ของไหลผสมความเข้มข้น 0%

P1 (kPa)	P2 (kPa)	Total Head (m)	PO1 (bar)	PO2 (bar)	dP (bar)	Q (m ³ /s)	I Current (Amp)	V Volt (V)	Input Power (kW)	Output power (kW)	Efficiency
0	200	20.70816	1.850	1.850	0.000	0.000000	4.5	220	0.60261	0.00000	0.00000
-9	190	20.60612	1.800	1.700	0.100	0.001868	6.0	220	0.80348	0.37165	0.46255
-15	180	20.19796	1.700	1.500	0.200	0.002629	6.0	220	0.80348	0.51261	0.63798
-20	170	19.68776	1.600	1.300	0.300	0.003213	6.5	220	0.87044	0.61044	0.70130
-24	160	19.07551	1.500	1.100	0.400	0.003705	6.9	220	0.92401	0.68176	0.73783
-27	150	18.36122	1.400	0.850	0.550	0.004340	7.0	220	0.93740	0.76810	0.81940
-28	140	17.44286	1.300	0.700	0.600	0.004531	7.1	220	0.95079	0.76124	0.80064
-30	130	16.62653	1.200	0.550	0.650	0.004715	7.2	220	0.96418	0.75440	0.78243
-32	120	15.81020	1.100	0.300	0.800	0.005228	7.6	220	1.01775	0.79459	0.78073
-33	110	14.89184	1.000	0.000	0.900	0.005543	7.7	220	1.03114	0.79262	0.76869
-33	100	13.87143	0.900	0.000	1.000	0.005841	7.6	220	1.01775	0.77686	0.76331
-36	90	13.15714	0.800	0.000	0.800	0.005228	7.8	220	1.04453	0.65867	0.63059

ตาราง 5 ข้อมูลจากผลการทดลองปั๊มที่ของไหลผสมความเข้มข้น 5%

P1 (kPa)	P2 (kPa)	Total Head (m)	PO1 (bar)	PO2 (bar)	dP (bar)	Q (m ³ /s)	I Current (Amp)	V Volt (V)	Input Power (kW)	Output power (kW)	Efficiency
0	200	20.70816	2.000	2.000	0.000	0.000000	4.6	220	0.61600	0.00000	0.00000
-7	190	20.40204	1.900	1.775	0.125	0.002062	6.0	220	0.80348	0.40619	0.50554
-13	180	19.99388	1.800	1.600	0.200	0.002600	6.5	220	0.87044	0.50183	0.57652
-17	170	19.38163	1.700	1.400	0.300	0.003178	6.8	220	0.91062	0.59424	0.65257
-22	160	18.87143	1.600	1.200	0.400	0.003665	7.0	220	0.93740	0.66698	0.71152
-23	150	17.95306	1.500	1.000	0.500	0.004094	7.2	220	0.96418	0.70822	0.73453
-25	140	17.13673	1.400	0.750	0.650	0.004663	7.5	220	1.00436	0.76946	0.76612
-25	130	16.11633	1.300	0.600	0.700	0.004838	7.7	220	1.03114	0.74994	0.72729
-26	120	15.19796	1.200	0.400	0.800	0.005170	7.8	220	1.04453	0.75486	0.72268
-29	110	14.48367	1.100	0.200	0.900	0.005482	8.0	220	1.07131	0.76201	0.71129
-31	100	13.66735	1.000	0.150	0.850	0.005328	7.7	220	1.02444	0.69803	0.68138
-32	80	11.72857	0.800	0.000	0.650	0.004663	7.8	220	1.04453	0.52230	0.50003

ตาราง 6 ข้อมูลจากผลการทดลองปั๊มที่ของไหลผสมความเข้มข้น 10%

P1 (kPa)	P2 (kPa)	Total Head (m)	PO1 (bar)	PO2 (bar)	dP (bar)	Q (m ³ /s)	I Current (Amp)	V Volt (V)	Input Power (kW)	Output power (kW)	Efficiency
0	200	20.70816	2.000	2.000	0.000	0.000000	4.7	220	0.62940	0.00000	0.00000
-6	190	20.30000	1.900	1.750	0.150	0.002231	6.3	220	0.84366	0.43723	0.51825
-11	180	19.78980	1.800	1.600	0.200	0.002571	6.9	220	0.92401	0.49110	0.53149
-12	170	18.87143	1.700	1.350	0.350	0.003392	7.0	220	0.93740	0.61729	0.65851
-15	160	18.15714	1.600	1.200	0.400	0.003624	7.1	220	0.95079	0.63417	0.66699
-17	150	17.34082	1.500	1.000	0.500	0.004048	7.2	220	0.96418	0.67602	0.70113
-21	140	16.72857	1.400	0.800	0.600	0.004431	7.6	220	1.01775	0.71347	0.70103
-23	130	15.91224	1.300	0.600	0.700	0.004784	8.0	220	1.07131	0.73198	0.68325
-25	120	15.09592	1.200	0.400	0.800	0.005112	8.0	220	1.07131	0.74130	0.69195
-28	110	14.38163	1.100	0.200	0.900	0.005421	8.1	220	1.08470	0.74806	0.68964
-32	100	13.76939	1.000	0.000	1.000	0.005682	7.9	220	1.05792	0.75006	0.70900
-32	90	12.74898	0.900	0.000	0.900	0.005391	8.0	220	1.07131	0.65767	0.61389

ตาราง 7 ข้อมูลจากผลการทดลองปั๊มที่ของไหลผสมความเข้มข้น 15%

P1 (kPa)	P2 (kPa)	Total Head (m)	PO1 (bar)	PO2 (bar)	dP (bar)	Q (m ³ /s)	I Current (Amp)	V Volt (V)	Input Power (kW)	Output power (kW)	Efficiency
0	200	20.70816	2.000	2.000	0.000	0.000000	4.7	220	0.62940	0.00000	0.00000
-6	190	20.30000	1.900	1.800	0.100	0.001806	6.2	220	0.83027	0.35401	0.42639
-10	180	19.68776	1.800	1.600	0.200	0.002542	7.0	220	0.93740	0.48296	0.51522
-7	170	18.36122	1.700	1.350	0.350	0.003353	7.3	220	0.97757	0.59347	0.60709
-9	160	17.54490	1.600	1.100	0.500	0.004002	7.5	220	1.00436	0.67629	0.67335
-11	150	16.72857	1.500	0.900	0.600	0.004381	7.6	220	1.01775	0.70530	0.69301
-15	140	16.11633	1.400	0.750	0.650	0.004558	7.9	220	1.05792	0.70656	0.66787
-21	130	15.70816	1.300	0.600	0.700	0.004729	8.3	220	1.11149	0.71413	0.64250
-24	120	14.99388	1.200	0.400	0.800	0.005054	8.4	220	1.12488	0.72775	0.64696
-25	110	14.07551	1.100	0.150	0.950	0.005505	8.5	220	1.13827	0.74312	0.65285
-32	100	13.76939	1.000	0.000	1.000	0.005647	8.5	220	1.13827	0.74538	0.65484
-33	90	12.85102	0.900	0.000	0.900	0.005359	8.5	220	1.13827	0.65911	0.57904

การศึกษาสมรรถนะของปั๊มแรงเหวี่ยงเมื่อใช้กับของไหลนอนนิวโทเนียน

A performance study of a centrifugal pump with Non-Newtonian fluid

กาญจน์ วิศวารักษ์กิจ รหัส 57010069, ฐิติวัฒน์ ชูชาติเชิดวงศ์ รหัส 57010357

และ บุรณศักดิ์ วงศ์เศวตมาลย์ รหัส 57010710

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท

(รศ.ดร.จำลอง ปราบแก้ว)

บทคัดย่อ

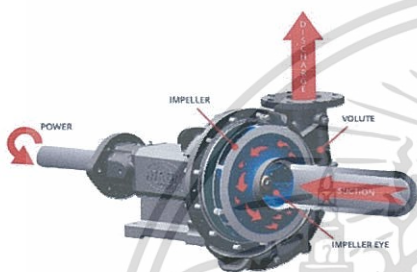
โดยปกติผู้ผลิตปั๊มแรงเหวี่ยงจะทำการทดสอบสมรรถนะของปั๊มด้วยน้ำบริสุทธิ์ แล้วนำเสนอผลการทดสอบเป็นกราฟแสดงสมรรถนะของปั๊ม เพื่อใช้ในการออกแบบระบบสูบน้ำ แต่เนื่องจากการใช้งานจริงในบางกรณี ได้มีการนำปั๊มแรงเหวี่ยงไปใช้กับของไหลที่มีส่วนผสมของโคลนหรือสารเจือปน ทำให้คุณสมบัติของของไหลเปลี่ยนเป็นของไหลนอนนิวโทเนียน ซึ่งจะส่งผลให้ค่าความหนืดของของไหลเปลี่ยนไป ดังนั้นกราฟสมรรถนะของปั๊มที่ได้มาจากการทดสอบกับน้ำบริสุทธิ์ จึงไม่สามารถนำมาใช้เพื่อการออกแบบกับระบบสูบน้ำของไหลนอนนิวโทเนียนได้โดยตรง โครงการงานนี้จึงได้นำเสนอผลการทดสอบสมรรถนะของปั๊มแรงเหวี่ยงกับของไหลนอนนิวโทเนียนที่เป็นน้ำผสมกับโคลนที่ความเข้มข้น 0%, 5%, 10% และ 15% โดยมวล แล้วนำผลการทดสอบมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเฮด, ประสิทธิภาพ และกำลังที่ใช้เทียบกับอัตราการไหล ปั๊มที่ใช้ในการทดสอบมีกำลัง 2 แรงม้า มีอัตราการไหล 300 ลิตรต่อนาที ที่เฮด 18.5 เมตร จากผลการทดสอบพบว่าที่ส่วนผสมของโคลนมากขึ้น ส่งผลให้ค่าเฮดและประสิทธิภาพมีค่าลดลง และส่งผลให้ค่ากำลังที่ใช้กับปั๊มมีค่าเพิ่มขึ้น ที่ส่วนผสมน้อยกว่า 5% ไม่มีกระทบต่อปั๊มมากนัก สามารถใช้กราฟที่ทดสอบกับน้ำบริสุทธิ์ได้ ตั้งแต่ส่วนผสมมากกว่า 5% ขึ้นไปควรใช้ค่าสัมประสิทธิ์เพื่อหาค่าสมรรถนะที่ถูกต้อง ที่ส่วนผสม 15% ส่งผลให้เฮดลดลง 7% ประสิทธิภาพลดลง 17% และกำลังที่ใช้เพิ่มขึ้น 12% ที่อัตราการไหล 300 ลิตรต่อนาที แสดงให้เห็นว่าส่วนผสมของของไหลที่มากขึ้นส่งผลโดยตรงกับสมรรถนะของปั๊ม จากนั้นนำข้อมูลจากการทดลองไปหาค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของเฮด, ค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของประสิทธิภาพ และค่าแก้กำลัง ซึ่งสามารถนำค่าเหล่านี้ไปใช้กับปั๊มที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน ที่ใช้กับของไหลนอนนิวโทเนียนที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน

Abstract

In general, manufacturer of the centrifugal pump will test performance of pump with clean water to present performance pump. Customer will use provided information to design system. But in actual, pump has to be used with contaminated fluid. In that case, property of fluid will become that of Non-Newtonian, viscosity of fluid changes. Result of pump performance provided from manufacturer can't directly be used to design fluid transportation system of Non-Newtonian fluid. This project presents the test of centrifugal pump performance with water mixed with mud at concentration of 0%, 5%, 10% and 15% by mass. Results of test are used to plot relation of head, efficiency and power input with flow rate. Pump used in experiment has 2 horsepower and flow rate of 300 liters per minute pump can produces 18.5 meters of head. Experiment results revealed that the more mud mix into water decreases head and efficiency of pump whereas consumption rate of power will increase. Pump performance of water mixed with concentration 15% of mud at 300 liters per minute will produce less head and efficiency 7%, 17% respectively and consumes more power by 15% compare to clean water. Using experimental result to identify correction factors of head, efficiency and power consumption which can be used with similar designed pump when transports fluid with same properties.

1. บทนำ

ปั๊มแรงเหวี่ยงทำงานโดยอาศัยการหมุนของใบพัดที่ได้รับการถ่ายเทกำลังมาจากมอเตอร์ไฟฟ้า เมื่อของไหลที่อยู่ภายในใบพัดถูกหมุนจะก่อให้เกิดแรงหนีศูนย์กลางทำให้ความกดดันที่จุดศูนย์กลางของใบพัดต่ำกว่าความกดดันบรรยากาศ ของไหลจะถูกดูดเข้าทางศูนย์กลางของใบพัด ใบพัดจะทำหน้าที่เป็นตัวส่งพลังงานจลน์ และเรื่อนสูบจะทำหน้าที่เป็นตัวเปลี่ยนพลังงานจลน์ บางส่วนของของไหลเป็นพลังงานศักย์ในรูปของความดัน ทำให้ของไหลไหลไปยังตำแหน่งที่ต้องการได้ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 หลักการทำงานของปั๊มแรงเหวี่ยง

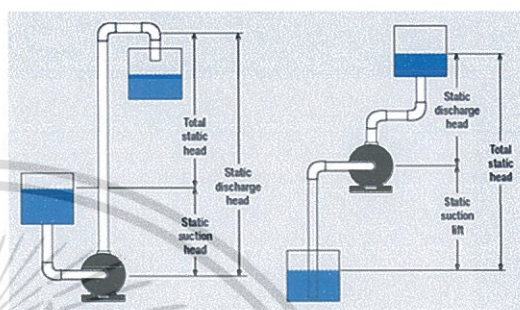
สมรรถนะของปั๊มแรงเหวี่ยงนั้นขึ้นอยู่กับหลายตัวแปร ดังนั้นการใช้ปั๊มที่เหมาะสมกับตัวแปรจะทำให้ปั๊มมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น และ ประหยัดการใช้พลังงานในการขับปั๊ม ชนิดของของไหลเป็นตัวแปรหนึ่งซึ่งมีผลต่อสมรรถนะของปั๊มแรงเหวี่ยง การทำการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถนะของปั๊มต่อคุณสมบัติของของเหลว จะเป็นข้อมูลในการใช้คาดการณ์สมรรถนะของปั๊มซึ่งสามารถนำมาเลือกจุดที่ใช้งานที่สมรรถนะสูงสุดที่แต่ละความเข้มข้นของของไหลได้ การศึกษาและทดลองเพื่อการเลือกช่วงทำงานของปั๊มให้เหมาะสมกับของไหลที่ต้องการนำปั๊มไปใช้ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด และ ถูกต้องมากที่สุด

2. วัตถุประสงค์

- สร้างชุดทดสอบสมรรถนะของปั๊ม
- ทดลองหาคุณสมบัติของของไหลนอนนิวโทเนียนที่เป็นน้ำผสมโคลน
- ทำการทดลองสมรรถนะของปั๊มด้วยของไหลนอนนิวโทเนียนที่เป็นน้ำผสมโคลน นำผลการทดลองมาวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์และค่าแก้กำลัง

3. ค่าสมรรถนะ และกราฟแสดงสมรรถนะของปั๊ม

ค่าเฮดปั๊ม หมายถึง พลังงานที่ปั๊มส่งให้กับของไหลเพื่อทำให้ของไหลเกิดการไหลจากด้านดูดไปยังด้านส่ง ซึ่งค่าเฮดในระบบปั๊มประกอบด้วยเฮดด้านดูดกับเฮดด้านจ่าย ดังแสดงในรูปที่ 2 และค่าเฮดของปั๊มสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1)



รูปที่ 2 เฮดในระบบปั๊ม

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + Z_2 - Z_1 \quad (1)$$

โดย

H = เฮดของเครื่องสูบ (m)

P_1 = ความดันด้านดูดของปั๊ม (kPa)

P_2 = ความดันด้านส่งของปั๊ม (kPa)

V_1 = ความเร็วในท่อด้านดูดของเครื่องสูบ (m/s)

V_2 = ความเร็วในท่อด้านปล่อยของเครื่องสูบ (m/s)

ρ = ค่าความหนาแน่นของของเหลว (kg/m^3)

$Z_2 - Z_1$ = ความสูงระหว่างเกจวัดความดัน (m)

ประสิทธิภาพของปั๊ม (η_p) หมายถึง ร้อยละของกำลังงานที่ปั๊มสามารถผลิตได้ (P_{input}) เทียบกับพลังงานที่ให้ (P_{output}) ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (2)

$$\eta_p = \frac{P_{output}}{P_{input}} \times 100 \quad (2)$$

กำลังที่ปั๊มผลิตได้ (P_{output}) คำนวณได้จากสมการที่ (3)

$$P_{output} = \gamma H Q \quad (3)$$

โดย

H = เฮดของเครื่องปั๊ม (m)

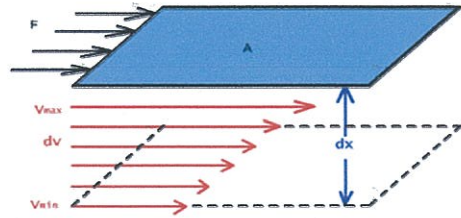
γ = น้ำหนักจำเพาะของของไหล (N/m^3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$Q =$ อัตราการไหล (m^3/s)

กำลังที่ให้แก่มอเตอร์ (P_{input}) คำนวณได้จากการวัดกำลังไฟฟ้าคูณกับประสิทธิภาพของมอเตอร์สมการที่ (4)

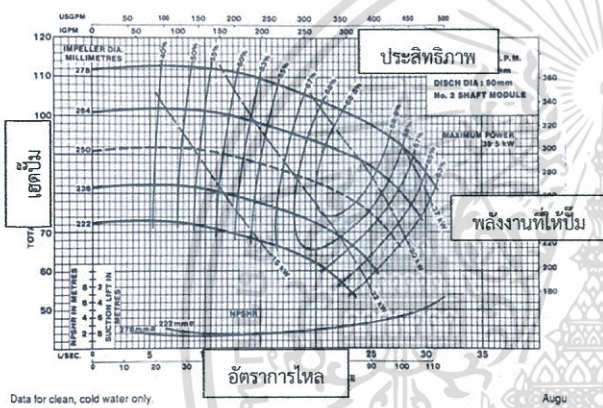
$P_{input} = VI\eta_m$ (4)



รูปที่ 4 การกระจายของความเร็วเมื่อมีแรงกระทำต่อพื้นผิวของไหล

กราฟแสดงสมรรถนะของปั๊มจะประกอบไปด้วยข้อมูลดังต่อไปนี้

1. เฮดของปั๊ม
2. พลังงานที่ให้ปั๊ม
3. อัตราการไหล
4. ประสิทธิภาพ



รูปที่ 3 ตัวอย่างกราฟแสดงสมรรถนะของปั๊ม

จากรูปที่ 4 ชั้นที่อยู่ล่างสุดของของไหล จะถูกยึดไว้ถ้าแผ่นด้านบนของของไหล ได้รับแรงกระทำให้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ แผ่นด้านล่างถดถอยไปจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะทางจากแผ่นของไหลชั้นล่างสุดที่ไม่เคลื่อนที่ อัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วเมื่อเทียบกับระยะที่เปลี่ยนแปลงไปของของไหลสองแผ่น คืออัตราเฉือน (Shear rate, γ) ค่าแรงต่อหน่วยพื้นที่ (F/A) ที่ทำให้เกิดการไหล เรียกว่า ความเค้นเฉือน (Shear stress, τ) ถ้าของไหลมีความหนืดสูงขึ้น ก็ต้องใช้แรงเฉือนที่สูงขึ้นเพื่อให้ได้ อัตราเฉือนเท่าเดิม ดังนั้นอัตราเฉือนจึงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเค้นเฉือน ดังสมการที่ (1), (2) และ (3)

$\frac{F}{A} = \mu \frac{dv}{dx}$ (5)

$\tau = \mu \gamma$ (6)

$\mu = \frac{\tau}{\gamma}$ (7)

4. ของไหลนอนนิวโทเนียนและการทดสอบคุณสมบัติทางรีโอโลยี

ของไหลที่มีพฤติกรรมการไหลที่ไม่เป็นไปตามสันนิษฐานของนิวตัน คือที่อุณหภูมิหนึ่งๆ ของไหลจะมีความหนืดเป็นค่าไม่คงที่ การเปลี่ยนแปลงความหนืดขึ้นอยู่กับอัตราเฉือนของไหลชนิดนี้ว่าของไหลนอนนิวโทเนียน (Non-Newtonian fluids)

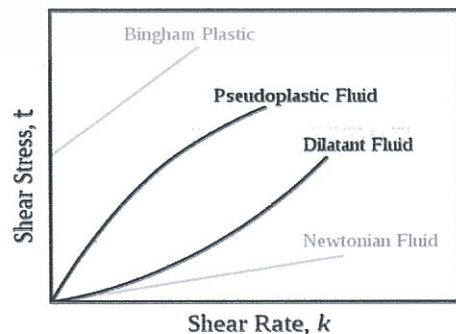
ความหนืด (Viscosity, μ) คือ ความสามารถในการต้านทานการไหลของของไหล โดยการวัดความหนืดทำได้โดยการวัดแรงต้านทานการไหลภายในของของไหลเมื่อมีแรงกระทำ (F) ในแนวขนานกับพื้นผิว เรียก แรงต้านที่เกิดขึ้นนี้ว่า แรงเฉือน (Shear force)

โดย

$\tau =$ ความเค้นเฉือน (Pa)

$\gamma =$ ความเร็วเชิงมุมหรืออัตราเฉือน (s^{-1})

$\mu =$ ความหนืด (Ns/m^2) หรือ Poise (P)



รูปที่ 5 กราฟแสดงคุณสมบัติของของไหลนอนนิวโทเนียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

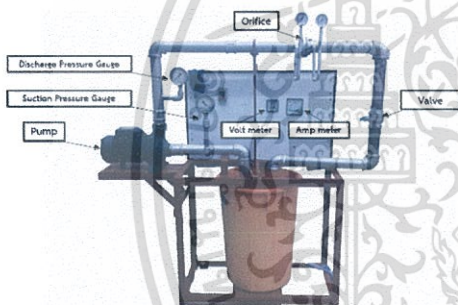
ประเภทของของไหลนอนิวโทเนียนจะแบ่งออกได้
ตามรูปที่ 5 ซึ่งก็คือ

1. ของไหลซูโดพลาสติก (Pseudo plastic Fluids) ลักษณะของการไหลประเภทนี้คือ ค่าความหนืดมีค่าลดลงเมื่อแรงเฉือนเพิ่มสูงขึ้น

2. ของไหลไดลาแทนต์ (Dilatant fluids) ลักษณะของการไหลประเภทนี้คือ ค่าความหนืดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อแรงเฉือนเพิ่มสูงขึ้น

3. ของไหลบิงแฮม (Bingham fluid) ของไหลประเภทนี้ที่ค่าแรงเฉือนมีค่าต่ำๆจะไม่มีมีการเคลื่อนที่แต่อย่างใด จนกระทั่งค่าแรงเฉือนเพิ่มขึ้นถึงค่า τ_0 ซึ่งเรียกจุดที่แรงเฉือนมีผลทำให้ของไหลเกิดการเคลื่อนที่นี้ว่า ความเค้นคราก (Yield value)

5. ชุดการทดลอง



รูปที่ 6 ชุดการทดลองสมรรถนะของปั๊มแรงเหวี่ยง

ชุดการทดสอบสมรรถนะของปั๊มแรงเหวี่ยงเมื่อใช้กับน้ำปกติ และ ของไหลผสมที่ความเข้มข้นต่างๆ ประกอบด้วย ปั๊มแรงเหวี่ยงขนาด 2 แรงม้า วัดกำลังไฟฟ้าปั๊มด้วยกระแสไฟฟ้า และ แรงดันไฟฟ้าแล้วนำไปคูณกับแรงเคลื่อนไฟฟ้า ส่วนกำลังที่ได้จากปั๊มวัดความดันคูณด้วยอัตราการไหลซึ่งคำนวณได้จากการอ่านค่าจากออกริฟิซ ดังรูป 7



รูปที่ 7 เครื่องวัดอัตราการไหลประเภทออริฟิซ

6. การเตรียมของไหลที่ใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 8 เครื่องวัดความหนืด รุ่น LVDV-E

สำหรับคุณสมบัติของของไหลผสมที่ความเข้มข้นต่างๆจะใช้เครื่องวัดความหนืดแบบหมุนของ Brookfield รุ่น LVDV-E viscometer ดังรูปที่ 8 เพื่อหาค่าดัชนีพฤติกรรมการไหล และ ดัชนีความสม่ำเสมอ ดังสมการที่ (4)

$$\tau = k\gamma^n \tag{4}$$

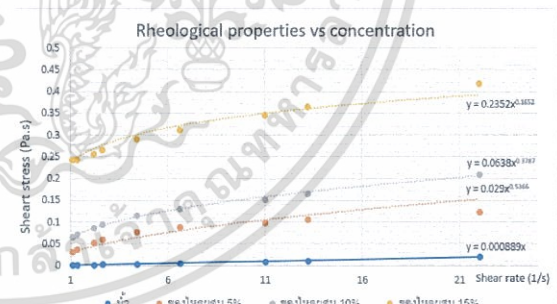
โดย

τ = ความเค้นเฉือน (Pa)

k = ดัชนีความสม่ำเสมอ

γ = อัตราความเค้นเฉือน (s^{-1})

n = ดัชนีพฤติกรรมการไหล



รูปที่ 9 กราฟแสดงคุณสมบัติของของไหล

รูปที่ 9 แสดงถึงคุณสมบัติของของไหล โดยที่ของไหลผสม 5% มีค่าดัชนีพฤติกรรมการไหล (n) เท่ากับ 0.5366 และดัชนีความสม่ำเสมอ (k) เท่ากับ 0.029 ของไหลผสม 10% มีค่าดัชนีพฤติกรรมการไหล เท่ากับ 0.3787 และ ดัชนีความสม่ำเสมอเท่ากับ 0.0638 ของไหลผสม 15% มีค่าดัชนีพฤติกรรมการไหลเท่ากับ 0.1652 และ ดัชนีความสม่ำเสมอเท่ากับ 0.2352

จากการทดลองจะสังเกตได้ว่าของไหลที่ผสมโคลนดัชนีพฤติกรรมการไหลมีค่าน้อยกว่า 1 ทุกๆค่าความเข้มข้นของของไหลผสมโคลนซึ่งหมายความว่า เป็นของไหลนิวโทเนียนชนิดซูโดพลาสติก และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของของไหลจะทำให้ค่าดัชนีความส่ำเสมอมีค่ามากขึ้น และค่าดัชนีพฤติกรรมมีค่าน้อยลงการหาค่าความถ่วงจำเพาะที่ของไหลผสมความเข้มข้นต่างๆ จากสมการที่ (5)

$$SG_m = \frac{m_w + m_s}{SG_w + SG_s} \quad (5)$$

โดย

SG_m = ความถ่วงจำเพาะของของไหลผสม

SG_w = ความถ่วงจำเพาะของน้ำปกติ

SG_s = ความถ่วงจำเพาะของโคลน

m_w = มวลของน้ำปกติ

m_s = มวลของโคลน

7. วิธีการทดลอง

การหาค่าประสิทธิภาพสมรรถนะของปั๊มของใบพัดแบบปิด และแบบเปิดที่ของเหลว 2 ชนิด คือ น้ำ และของไหลผสมโคลน สามารถทำได้โดยการเขียนกราฟเปรียบเทียบระหว่าง เฮด กำลัง และประสิทธิภาพกับอัตราการไหล ซึ่งค่าเหล่านี้ได้มาจากการทดลอง

1. เริ่มต้นจากการประกอบใบพัดแบบปิดเข้ากับชุดทดลอง ทำการล่อน้ำเพื่อให้ปั๊มสามารถทำงานได้ จากนั้นเปิดวาล์วไปที่ เปิด จากนั้นเปิดเครื่องให้ปั๊มน้ำเริ่มทำงานกับน้ำเปล่า

2. หรีบอลวาล์วเพื่อปรับอัตราการไหลทั้งหมด 10 ตำแหน่ง แล้วทำการบันทึกข้อมูลต่อการหรีบวาล์วในแต่ละครั้งซึ่งมาค่าที่ต้องการ คือความดันด้านดูด, ความดันด้านปล่อย, กระแสไฟฟ้าที่ใช้, แรงดันไฟฟ้า, ความดันก่อนเข้าออริฟิซ และ ความดันหลังออกจากออริฟิซ

3. ใส่ค่า และคำนวณค่าต่างๆลงในตารางบันทึกค่า และ นำไปเขียนกราฟสมรรถนะของปั๊ม

4. ทำการทดลองด้วยวิธีเดียวกันกับทั้งของเหลวผสม 5%, 10% และ 15% และ ใบพัดแบบเปิดและปิด

5. เปรียบเทียบด้วยค่า สัมประสิทธิ์การลดของเฮด สัมประสิทธิ์การลดของประสิทธิภาพ และ ค่าแก้มกำลัง

8. วิธีการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพการลดของเฮด

ประสิทธิภาพ และ ค่าแก้มกำลัง

ในการเปรียบเทียบเฮด ประสิทธิภาพ และ กำลังของปั๊ม จะใช้สัมประสิทธิ์การลดของเฮด สัมประสิทธิ์การลดของประสิทธิภาพ และ ค่าแก้มกำลังตามลำดับจากสมการ

8.1 ค่าสัมประสิทธิ์การลดของเฮด

$$K_H = \frac{H_{mixture}}{H_{water}} \quad (6)$$

K_H = ค่าสัมประสิทธิ์การลดของเฮด

$H_{mixture}$ = เฮดของปั๊มเมื่อสูบน้ำของไหลผสมที่ความเข้มข้นต่างๆ (m)

H_{water} = เฮดของปั๊มเมื่อสูบน้ำ (m)

8.2 ค่าสัมประสิทธิ์การลดของประสิทธิภาพ

$$K_\eta = \frac{\eta_{mixture}}{\eta_{water}} \quad (7)$$

K_η = ค่าสัมประสิทธิ์การลดประสิทธิภาพ

$\eta_{mixture}$ = ประสิทธิภาพของปั๊มเมื่อสูบน้ำของไหลผสมที่ความเข้มข้นต่างๆ

η_{water} = ประสิทธิภาพของปั๊มเมื่อสูบน้ำ

8.3 ค่าแก้มกำลัง

$$K_P = \frac{P_{mixture}}{P_{water}} \quad (8)$$

โดย

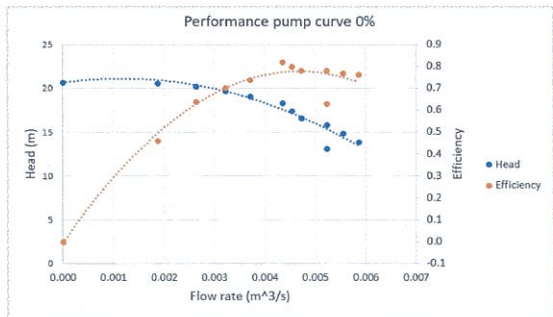
K_P = ค่าแก้มกำลัง

$P_{mixture}$ = กำลังของปั๊มเมื่อสูบน้ำของไหลผสมที่ความเข้มข้นต่างๆ (kW)

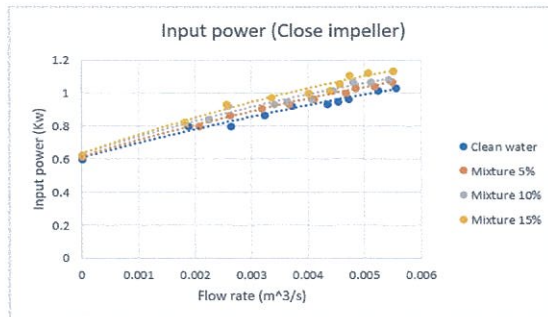
P_{water} = กำลังของปั๊มเมื่อสูบน้ำ (kW)

9. ผลการทดลอง

นำผลที่ได้จากการทดลองมาเขียนกราฟแสดงสมรรถนะของปั๊ม ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูป 10 จากรูปพบว่าประสิทธิภาพสูงสุดของปั๊มน้ำใบพัดแบบปิดอยู่ที่ประมาณ 80% โดยที่อัตราการไหลอยู่ที่ 0.00453 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และเฮดเท่ากับ 17.4 เมตร เนื่องจากอายุการใช้งานที่นานทำให้อาจทำให้สมรรถนะของปั๊มลดลง เมื่อเทียบกับกราฟสมรรถนะจากผู้ผลิต

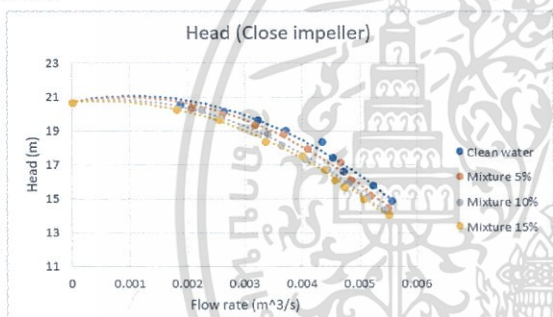


รูปที่ 10 กราฟแสดงสมรรถนะของปั๊มแรงเหวี่ยง เมื่อทดสอบด้วยน้ำ



รูปที่ 12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของกำลังที่ใช้กับอัตราการไหล ที่ความชื้นโดยมวลต่างๆ

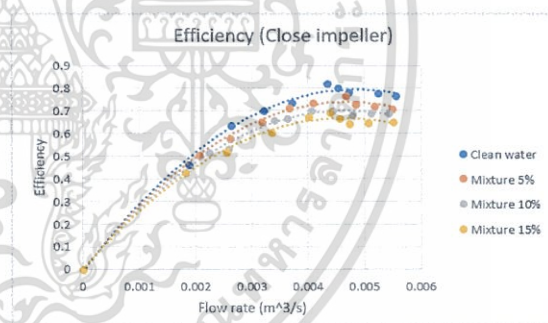
รูปที่ 11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเฮดกับอัตราการไหลของของไหลผสมที่อัตราความเข้มข้น 0%, 5%, 10% และ 15% โดยมวลตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเมื่อความเข้มข้นของของไหลผสมเพิ่มขึ้นจะทำให้เฮดของปั๊มลดลง



รูปที่ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของเฮดกับอัตราการไหล ที่ความเข้มข้นโดยมวลต่างๆ

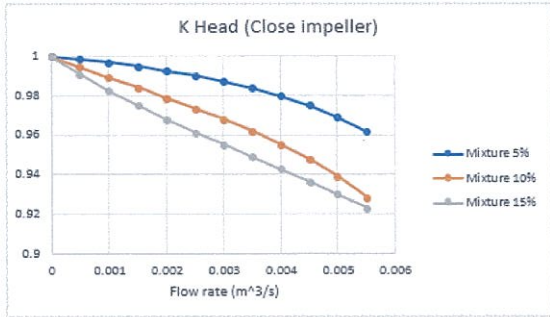
รูปที่ 12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังที่ใช้ของปั๊มกับอัตราการไหลของของไหลผสมที่อัตราความเข้มข้น 0%, 5%, 10% และ 15% โดยมวลตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเมื่อความเข้มข้นของของไหลผสมเพิ่มขึ้นจะทำให้กำลังที่ใช้ของปั๊มค่อยๆสูงขึ้น และเมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้นก็ส่งผลให้กำลังที่ใช้เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน

รูปที่ 13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของปั๊มกับอัตราการไหลของของไหลผสมที่อัตราความเข้มข้น 0%, 5%, 10% และ 15% โดยมวลตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเมื่อความเข้มข้นของของไหลผสมเพิ่มขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพของปั๊มค่อยๆลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากค่าเฮดที่ลดและกำลังที่ใช้ที่เพิ่ม แต่ที่ความเข้มข้นที่ 5% ประสิทธิภาพสูงสุดของปั๊มยังมีค่าใกล้เคียงกับการทดสอบด้วยน้ำบริสุทธิ์



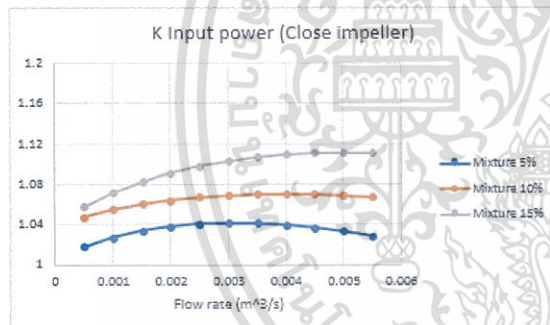
รูปที่ 13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพกับอัตราการไหล ที่ความเข้มข้นโดยมวลต่างๆ

รูปที่ 14 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การลดของเฮดของปั๊มน้ำใบพัดแบบปิดเมื่อปั๊มน้ำสูบของไหลผสม 5%, 10% และ 15% สังเกตได้ว่าในช่วงที่อัตราการไหลต่ำจะมีสมรรถนะใกล้เคียงกับเมื่อปั๊มน้ำทำงานกับน้ำปกติ แต่ในช่วงที่อัตราการไหลสูง ค่าเฮดที่ปั๊มน้ำสามารถทำได้มีค่าลดลง ตามความเข้มข้นของของไหลที่เพิ่มขึ้น



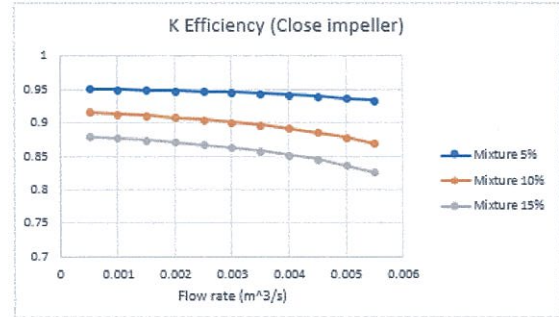
รูปที่ 14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การลดของเฮดกับอัตราการไหล ที่ความเข้มข้นโดยมวลต่างๆ

รูปที่ 15 เป็นการแสดงค่าแก็กกำลังของปั้มน้ำใบพัดแบบปิดเมื่อปั้มน้ำสูบของไหลผสม 5% 10% และ 15% สังเกตได้ว่าแนวโน้มของค่าแก็กกำลังของปั้มน้ำกับของไหลผสมแต่ละชนิดมีแนวโน้มที่คล้ายกัน คือ อัตราการไหลเท่าเท่าสัดส่วนการใช้ค่าพลังงานมีค่าเพิ่มมากขึ้น ตามความเข้มข้นของไหลที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าแก็กกำลังของกำลังไฟฟ้ากับอัตราการไหล ที่ความเข้มข้นโดยมวลต่างๆ

รูปที่ 16 เป็นการแสดงค่าสัมประสิทธิ์การลดของประสิทธิภาพของปั้มน้ำใบพัดแบบปิดเมื่อปั้มน้ำสูบของไหลผสม เมื่อความเข้มข้นของของไหลเพิ่มมากขึ้น จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพของปั้มน้ำมีแนวโน้มที่จะลดลง



รูปที่ 16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การลดของประสิทธิภาพกับอัตราการไหล ที่ความเข้มข้นโดยมวลต่างๆ

10. สรุปผลการทดลอง

การใช้ปั้มน้ำแรงเหวี่ยงสูบของไหลนอนนิวโทเนียนเมื่อส่วนผสมมากขึ้น ค่าเฮดและค่าประสิทธิภาพจะมีค่าลดลง แต่จะใช้ค่าแก็กที่ขี้นปั้มน้ำเพิ่มขึ้น แต่ที่ความเข้มข้นน้อยกว่า 5% จะมีผลต่อสมรรถนะของปั้มน้ำน้อยข้าน้อย หากได้สูบของไหลนอนนิวโทเนียนที่ความเข้มข้นมากกว่า 5% จำเป็นต้องคูณค่าสัมประสิทธิ์ที่หามาได้จากการทดลอง เพื่อหาจุดทำงานใหม่ให้เหมาะสมกับการใช้งานมากที่สุด

11. เอกสารอ้างอิง

- [1] Aryut Santawagomon (2015). Experimental study of slurry effect on centrifugal pump performance characteristics. Bangkok: King Mongkut's institute of technology Ladkrabang
- [2] A.Benretem, A Haddor ,H. Cheghib and S.Saad(2007). Influence of solid particles on centrifugal pump characteristic. Annaba: Universite BadjiMokhtar
- [3] George Wilson. The effects of slurries on centrifugal pump performance. New York: Mager, Engineer Research & Development Goulds Pumps, Incorporated-Slurry Pump Division.
- [4] Hawas Yahya Bajawi, Basharat Salim and Ziyadh Suhibani (2013). Performance of a Centrifugal slurry pump. Riyadh: College of Engineering, King Saud University

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [5] Mohamed F. Khalil et al (2013).
**Performance Characteristics of Centrifugal
Pump Conveying Soft Slurry.** Beirut: Lebanese
International university
- [6] Walker and A Goulas (2016).
**Performance characteristic of centrifugal
pumps when handling non-Newtonian
homogeneous slurries.** Bedford: Cranfield
Institute of Technology



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้