การปรับปรุงประสิทธิภาพชุดใบจักรของเครื่องสูบน้ำพญานาค

EFFICIENCY IMPROVEMENT OF IMPELLER SET IN THAI IRRIGATION PUMP

ปกป้อง สุวรรณสะอาด
ภวินท์ วัชรพงษ์วินิจ
ญาณพัฒน์ เพลงเกษม

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การปรับปรุงประสิทธิภาพชุดใบจักรของเครื่องสูบน้ำพญานาค

EFFICIENCY IMPROVEMENT OF IMPELLER SET IN THAI IRRIGATION PUMP

ปกป้อง สุวรรณสะอาด
ภวินท์ วัชรพงษ์วินิจ
ญาณพัฒน์ เพลงเกษม

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

EFFICIENCY IMPROVEMENT OF IMPELLER SET IN THAI IRRIGATION PUMP

POKPONG SUWANSA-ARD
PHAVIN WATCHARAPONGVINIJ
YANNAPAT PLANGKESAM

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2563

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การปรับปรุงประสิทธิภาพชุดใบจักรของเครื่องสูบน้ำพญานาค

EFFICIENCY IMPROVEMENT OF IMPELLER SET IN THAI IRRIGATION PUMP

ผู้จัดทำ

1. นาย ปกป้อง สุวรรณสะอาด รหัสประจำตัว 60010562
2. นาย ภวินท์ วัชรพงษ์วินิจ รหัสประจำตัว 60011302
3. นาย ญาณพัฒน์ เพลงเกษม รหัสประจำตัว 60011304

อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การปรับปรุงประสิทธิภาพชุดใบจักรของเครื่องสูบน้ำพญานาค

นายปกป้อง สุวรรณสะอาด 60010562
นายภวินท์ วัชรพงษ์วินิจ 60011302
นายญาณพัฒน์ เพลงเกษม 60011304
รศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2563

บทคัดย่อ

โครงงานปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการนำเสนอกระบวนการทดสอบหาประสิทธิภาพชุดใบจักรของเครื่องสูบน้ำพญานาค รวมไปถึงขั้นตอนการศึกษาและใช้งานชุดทดสอบสมรรถนะเครื่องสูบน้ำประเภทดังกล่าว ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโครงการพัฒนาชุดทดสอบสมรรถนะและปรับปรุงประสิทธิภาพชุดใบจักรสำหรับเครื่องสูบน้ำพญานาค โดยมีรหัสโครงการคือ P1851268 ภายใต้ความร่วมมือระหว่างคณาจารย์และทีมนักวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี-พระจอมเกล้าธนบุรี ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ และตัวแทนผู้ผลิตเครื่องสูบน้ำเอกชนในประเทศไทย ซึ่งปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะกล่าวถึงแนวทางและขั้นตอนในการพัฒนาประสิทธิภาพไฮดรอลิกของเครื่องสูบน้ำประเภทดังกล่าว โดยการนำใบจักรและกลีบเรียงกระแสน้ำต้นแบบ ซึ่งได้มีการออกแบบไว้โดยนักวิจัยจากโครงการวิจัยข้างต้น หากแต่ยังไม่เสร็จสมบูรณ์ มาทำการพัฒนาต่อยอดให้เสร็จสิ้นและทำการเปรียบเทียบกับค่าประสิทธิภาพใบจักรที่มีอยู่เดิมในโครงการ โดยมีกระบวนการตั้งแต่การศึกษารายละเอียดการปรับปรุงชุดใบจักร การนำชุดใบจักรไปเข้ากระบวนการผลิตในโรงงานผลิตเครื่องสูบน้ำ เพื่อให้สามารถนำมาใช้งานได้จริง การทดสอบชุดใบจักรต้นแบบด้วยชุดทดสอบสมรรถนะในห้องปฏิบัติการที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ซึ่งได้กำหนดระดับน้ำในบ่อทดสอบให้มีความสูงอย่างน้อย 6 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อด้านดูด และใช้ความเร็วรอบที่ 1000, 1100, 1200 และ 1300 รอบต่อนาที ตามลำดับ จากนั้นจึงนำผลการทดสอบมาคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของชุดใบจักรเครื่องสูบน้ำพญานาค พร้อมทั้งตรวจสอบความแม่นยำของผลการทดสอบโดยอ้างอิงค่าความไม่แน่นอนจากมาตรฐาน JIS B 8301 2000 และนำตัวแปรที่สำคัญของเครื่องสูบน้ำไปสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ในรูปแบบต่างๆ อาทิเช่น ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับเฮดความดันรวม, อัตราการไหลกับกำลังของเพลา, อัตราการไหลกับประสิทธิภาพเครื่องสูบน้ำ เป็นต้น พร้อมทั้งมีการจำลองชุดใบจักรด้วยโปรแกรม Ansys CFX แล้วทำการเปรียบเทียบผลการทดสอบที่ได้จากห้องปฏิบัติการกับผลที่ได้จากการจำลอง ซึ่งสามารถสังเกตได้ว่ามุมปะทะของใบพัดที่ผลิตขึ้นมีค่าต่ำกว่าค่าที่นักวิจัยได้ออกแบบไว้ เป็นผลจากกระบวนการขึ้นรูปของใบจักรและการตั้งองศาของมุมปะทะ ซึ่งได้ทำการชี้แจงข้อเท็จจริงดังกล่าวให้กับทีมวิจัยเพื่อทำการปรับคุณภาพของเมชเฉพาะที่มีความสำคัญกับโครงสร้างการไหลต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

EFFICIENCY IMPROVEMENT OF IMPELLER SET IN THAI IRRIGATION PUMP

Mr. Pokpong Suwansa-ard 60010562

Mr. Phavin Watcharapongvinij 60011302

Mr. Yannapat Plangkesam 60011304

Assoc.Prof.Dr. Jarruwat Charoensuk Advisor

YEAR 2020

ABSTRACT

The thesis presents a performance test of improved version of Thai irrigation pump. It is a part of the efficiency development of Thai irrigation pump project, which has a project code P1851268, under the collaboration between the professors and researchers from King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, King Mongkut's University of Technology Thonburi, National Metal and Materials Technology Center and the representative of the pump manufacturers in Thailand. This thesis discusses guidelines and processes of efficiency improvement by using the impeller and guide vane prototype, which was designed by researchers from the previous project. This prototype is not completed yet, therefore the objective of this project is to complete the manufacturing process of this prototype and to compare the efficiency with the existing impeller from the previous project. The new version impeller set processes ranging from studying the details of pump efficiency improvement, putting the impeller set into the manufacturing process at the Hi-ting pump factory to make this impeller set to be used practically in the laboratory at King Mongkut's University of Technology Thonburi. In the laboratory testing processes, testers determine the water level in the testing pond to be at least 6 times of suction pipe diameter and the testing speed of 1000, 1100, 1200, and 1300 rpm respectively. The testing results will be used to calculate the hydraulic efficiency of Thai irrigation pump, uncertainty of pump efficiency based on JIS B 8301 2000 standard, along with the graphs of Flow rate vs. Total head, Flow rate vs. Shaft power, and Flow rate vs. Efficiency. Then, these results will be used to compare with the results obtained from the Ansys CFX program. It can be observed that the attack angle of the prototype was apparently lower than the model which may contribute such differences. The future work will focus on local grid refinement for possible improvement of flow structure.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ก็เพราะความอนุเคราะห์ ความเอาใจใส่ การแนะนำ และความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ เสมอมาจาก รองศาสตราจารย์ ดร.จารุวัตร เจริญสุข อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ มณฑล ใจกุศล อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.กิตติภาส วศินารมณ์ อาจารย์ประจำคณะวิศวกรรมศาสตร์ (หลักสูตรนานาชาติ) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และนายวิทวัฒน์ แสงหิรัญ ผู้ช่วยนักวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงานของโครงงานนี้ และขอขอบคุณนายอุกฤษฏ์ คงเตี้ย นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี-พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือด้านต่างๆในการทำโครงงานนี้

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา และมารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งเป็นผู้เลี้ยงดูและอบรมสั่งสอนข้าพเจ้ามาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสทางการศึกษาอย่างเต็มที่ รวมถึงคอยช่วยเหลือในทุก ๆ ด้าน ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ปกป้อง สุวรรณสะอาด
ภวินท์ วัชรพงษ์วินิจ
ญาณพัฒน์ เพลงเกษม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... II
กิตติกรรมประกาศ..... III
สารบัญ..... IV
สารบัญตาราง..... VII
สารบัญรูป..... VIII
รายการสัญลักษณ์..... XIII
บทที่ 1 บทนำ..... 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา..... 1
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา..... 2
1.4 ขอบเขตการวิจัย..... 2
1.5 ขั้นตอนของการศึกษา..... 3

บทที่ 2 การพัฒนาชุดทดสอบสมรรถนะ และการปรับปรุงประสิทธิภาพชุดใบจักรสำหรับเครื่องสูบน้ำพญานาค..... 4
2.1 การออกแบบบ่อทดสอบและลักษณะของชุดทดสอบในห้องปฏิบัติการ..... 4
2.1.1 การออกแบบบ่อทดสอบ..... 4
2.1.2 ลักษณะของชุดทดสอบจริง..... 6
2.2 อุปกรณ์การวัดที่ใช้ในชุดทดสอบ..... 8
2.2.1 ชุดวัดอัตราการไหลของน้ำในระบบท่อปิดและชุดบันทึกผลการทดสอบ..... 8
2.2.2 ชุดควบคุมอัตราการไหลของน้ำในระบบท่อ..... 8
2.2.3 ชุดวัดความเร็วรอบของเพลาและชุดบันทึกผลการทดสอบ..... 9
2.2.4 ชุดวัดความดันของระบบท่อ..... 9
2.2.5 ชุดวัดกำลังทางไฟฟ้าของมอเตอร์..... 10
2.2.6 ชุดวัดแรงดึงมอเตอร์..... 11
2.2.7 ชุดต้นกำลังของเครื่องสูบน้ำพญานาค..... 11
2.3 มาตรฐานการทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำพญานาค..... 12
2.3.1 กฎเกณฑ์มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบ..... 12
2.3.2 ข้อกำหนดมาตรฐาน JIS B 8301..... 12
2.3.3 บุคลากร..... 13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.3.4 การบันทึกผล..... 13
2.3.5 เงื่อนไขของขั้นตอนการทดสอบจริง..... 13
2.3.6 การคำนวณ Uncertainties..... 14
2.4 การออกแบบและพัฒนาปรับปรุงเครื่องสูบน้ำ..... 15
2.5 การตรวจสอบแบบจำลอง CFD..... 17
2.6 แนวทางการวิเคราะห์และแปลผลการจำลอง CFD..... 20

บทที่ 3 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่เกี่ยวข้อง..... 22
3.1 คำจำกัดความของเครื่องสูบน้ำ..... 22
3.2 ตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการวิเคราะห์เครื่องสูบน้ำ..... 22
3.2.1 ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำ (Pump performance)..... 22
3.2.2 สัมประสิทธิ์ของการไหล (Flow coefficient)..... 23
3.2.3 สัมประสิทธิ์ของเฮด (Head coefficient)..... 23
3.2.4 สัมประสิทธิ์ของกำลัง (Power coefficient)..... 23
3.2.5 ความเร็วจำเพาะ (Specific speed)..... 24
3.3 การจำแนกประเภทเครื่องสูบน้ำกลุ่มไคเนติกส์ (Kinetic)..... 24
3.3.1 ปั๊มแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Pump)..... 24
3.3.2 ปั๊มแบบไหลตามแนวแกน (Axial Flow Pump)..... 25
3.3.3 ปั๊มแบบไหลผสม (Mixed Flow Pump)..... 25
3.3.4 การจำแนกเครื่องสูบน้ำกลุ่มไคเนติกส์ด้วยค่าความเร็วจำเพาะ..... 26
3.4 คุณลักษณะของเครื่องสูบน้ำ (Pump characteristics)..... 27
3.4.1 คุณลักษณะพิเศษที่แตกต่างกันตามประเภทของเครื่องสูบน้ำ..... 27
3.4.2 จุดการเดินเครื่องของเครื่องสูบน้ำ..... 28
3.5 คุณลักษณะของเครื่องสูบน้ำแบบไหลตามแนวแกน..... 28
3.6 รูปแบบสนามการไหลโดยทั่วไปของเครื่องสูบน้ำพญานาคที่ใช้งานในประเทศไทย..... 30
3.6.1 การไหลแบบหมุนวน..... 30
3.6.2 การไหลแบบหมุนควง..... 31
3.7 การปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องสูบน้ำพญานาค..... 32
3.7.1 กระบวนการวิศวกรรมย้อนรอย (Reverse Engineering)..... 32
3.7.2 แนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องสูบน้ำพญานาคในประเทศไทย..... 32

บทที่ 4 วิธีดำเนินการวิจัย..... 34
4.1 การใช้งานชุดทดสอบสมรรถนะเครื่องสูบน้ำพญานาค..... 34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.1.1 ขั้นตอนการประกอบและการติดตั้งเครื่องสูบน้ำพญานาคเข้ากับชุดทดสอบสมรรถนะ 34
4.1.2 ขั้นตอนการทดสอบสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำพญานาค 36
4.1.3 การวัดค่าตัวแปรที่สำคัญต่อการคำนวณประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องสูบน้ำ .. 39
4.2 หลักการคำนวณหาตัวแปรที่สำคัญของเครื่องสูบน้ำ 41
4.2.1 การคำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพญานาค 41
4.2.2 การคำนวณหาความคลาดเคลื่อน 44
4.3 การจำลองชุดใบจักรของเครื่องสูบน้ำพญานาคด้วยโปรแกรม Ansys CFX 53
4.3.1 การเตรียมไฟล์ CAD ของชุดใบจักรสำหรับการจำลอง 53
4.3.2 กระบวนการ Pre-processing เพื่อวิเคราะห์ชุดใบจักรรูปแบบใหม่ 55

บทที่ 5 ผลการทดสอบ ผลการจำลอง และการวิเคราะห์ผล 56
5.1 ผลการทดสอบชุดใบจักรเครื่องสูบน้ำด้วยชุดทดสอบสมรรถนะในห้องปฏิบัติการ 56
5.1.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของชุดใบจักรรูปแบบเก่า 57
5.1.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของชุดใบจักรรูปแบบใหม่ 69
5.2 การตรวจสอบและเปรียบเทียบผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ 81
5.2.1 ผลการทดสอบในรูปแบบตัวแปรไร้มิติ (Dimensionless) ของชุดใบจักรแบบเก่า 81
5.2.2 ผลการทดสอบในรูปแบบตัวแปรไร้มิติ (Dimensionless) ของชุดใบจักรแบบใหม่ 83
5.2.3 การตรวจสอบความแม่นยำของข้อมูลตามมาตรฐาน JIS 85
5.2.4 การเปรียบเทียบผลการทดสอบในรูปแบบตัวแปรไร้มิติที่ Best Efficiency Point (BEP) 86
5.3 ผลการจำลองชุดใบจักรรูปแบบใหม่ด้วยโปรแกรม Ansys CFX 88
5.4 การวิเคราะห์ผลจากการจำลองของใบจักรรูปแบบใหม่เปรียบเทียบผลการทดสอบ 92

บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 95
6.1 บทสรุป 95
6.2 ข้อเสนอแนะ 97

เอกสารอ้างอิง 98
ภาคผนวก ก ข้อมูลที่บันทึกด้วยโปรแกรม LabVIEW จากการทดสอบใบจักรในห้องปฏิบัติการ 100
ภาคผนวก ข ผลการสอบเทียบเครื่องมือวัด 105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ตารางแสดงรายละเอียดระยะขั้นต่ำในการออกแบบของบ่อสูบ..... 4
2.2 แสดงค่ามาตรฐานที่ควรจะเป็นของ Clean cold water..... 14
2.3 ค่าของความไม่แน่นอนโดยรวมที่ยอมรับได้ Unit : %..... 14
2.4 ค่าความไม่แน่นอนโดยรวมของประสิทธิภาพ Unit : %..... 15
2.5 การระบุเงื่อนไขขอบและค่าต่างๆที่ใช้ในการจำลองการไหล..... 19
3.1 แสดงความสัมพันธ์ของลักษณะใบพัดกับความเร็วจำเพาะ (Specific speed)..... 26
4.1 แสดงตัวอย่างผลการทดสอบที่ความเร็วรอบ 1,000 rpm จากข้อมูล 300 ค่า..... 41
4.2 แสดงข้อมูลเบื้องต้นของการทดสอบ..... 42
4.3 แสดงค่า Degrees of freedom for Student's t Distribution..... 45
4.4 แสดงการกำหนด Boundary Condition เพื่อทำการวิเคราะห์ชุดใบจักรรูปแบบใหม่..... 55
5.1 ลักษณะเฉพาะและประสิทธิภาพของชุดใบจักรรูปแบบเก่าจากการทดสอบ
ที่รอบ 1000 rpm..... 57
5.2 ลักษณะเฉพาะและประสิทธิภาพของชุดใบจักรรูปแบบเก่าจากการทดสอบ
ที่รอบ 1100 rpm..... 60
5.3 ลักษณะเฉพาะและประสิทธิภาพของชุดใบจักรรูปแบบเก่าจากการทดสอบ
ที่รอบ 1200 rpm..... 63
5.4 ลักษณะเฉพาะและประสิทธิภาพของชุดใบจักรรูปแบบเก่าจากการทดสอบ
ที่รอบ 1300 rpm..... 66
5.5 ลักษณะเฉพาะและประสิทธิภาพของชุดใบจักรรูปแบบใหม่จากการทดสอบ
ที่รอบ 1000 rpm..... 69
5.6 ลักษณะเฉพาะและประสิทธิภาพของชุดใบจักรรูปแบบใหม่จากการทดสอบ
ที่รอบ 1100 rpm..... 72
5.7 ลักษณะเฉพาะและประสิทธิภาพของชุดใบจักรรูปแบบใหม่จากการทดสอบ
ที่รอบ 1200 rpm..... 75
5.8 ลักษณะเฉพาะและประสิทธิภาพของชุดใบจักรรูปแบบใหม่จากการทดสอบ
ที่รอบ 1300 rpm..... 78
5.9 ค่าความไม่แน่นอนโดยรวมของประสิทธิภาพชุดใบจักรเครื่องสูบน้ำพญานาครูปแบบเก่า..... 85
5.10 ค่าความไม่แน่นอนโดยรวมของประสิทธิภาพชุดใบจักรเครื่องสูบน้ำพญานาครูปแบบใหม่.. 85
5.11 ค่าความไม่แน่นอนโดยรวมของประสิทธิภาพ จาก JIS B 8301 2000 Unit %..... 86
5.12 ลักษณะเฉพาะและประสิทธิภาพของชุดใบจักรแบบใหม่จากการจำลอง ที่ 1200 rpm..... 91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 แสดงการกำหนดความลึกของปลายท่อดูดจากระดับน้ำต่ำสุด และขนาดความกว้างบ่อสูบ... 5

2.2 แสดงขนาดมาตรฐานของบ่อสูบสำหรับทดสอบเครื่องสูบน้ำของ Hydraulic Institute ประเทศสหรัฐอเมริกา..... 5

2.3 แสดงการออกแบบท่อทดสอบสำหรับเครื่องสูบน้ำพญานาค (หน่วยมิลลิเมตร)..... 6

2.4 แสดงอุปกรณ์วัดและชุดทดสอบสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำพญานาค..... 6

2.5 แสดงบ่อทดสอบจริง สำหรับชุดสอบสมรรถนะเครื่องสูบน้ำพญานาค..... 7

2.6 แสดงชุดต้นกำลังและส่วนข้อต่อตัวเรือนของชุดทดสอบ..... 7

2.7 แสดง Electromagnetic flow meter สำหรับวัดอัตราการไหล..... 8

2.8 แสดง Globe valve สำหรับควบคุมอัตราการไหลในการทดสอบ..... 8

2.9 แสดง Speed sensor และ Digital indicator Load cell..... 9

2.10 แสดง Pressure transmitter รุ่น SITRANS P200..... 9

2.11 แสดง Pressure gauge สำหรับวัดความดัน..... 10

2.12 แสดงอุปกรณ์วัดกำลังทางไฟฟ้า..... 10

2.13 แสดง Load cell แบบ S-type และหน้าจอแสดงผล..... 11

2.14 แสดง DC Motor แบบ Vertical Type..... 11

2.15 แสดงการวิเคราะห์แบบ Mean line design ที่ใช้ในกระบวนการออกแบบเบื้องต้นของ Turbo machinery..... 16

2.16 แสดงการวิเคราะห์แบบ CFD ที่นิยมใช้ในกระบวนการปรับปรุงในระดับรายละเอียดของ Turbo machinery..... 17

2.17 แสดง CAD model ของส่วนประกอบต่างๆของเครื่องสูบน้ำพญานาค..... 17

2.18 แสดงรูปทรงใบพัดที่ใช้ในแบบจำลองการไหลกับใบพัดจริง..... 18

2.19 แสดงโดเมนที่ใช้ในการจำลองการไหล..... 18

2.20 แสดงค่าความดันที่ได้จากแบบจำลองการไหลที่อัตราการไหลต่างๆเปรียบเทียบกับผลการทดสอบจริง..... 19

2.21 แสดงค่าประสิทธิภาพเชิงพลังงานที่ได้จากแบบจำลองการไหลที่อัตราการไหลต่างๆ เปรียบเทียบกับผลการทดสอบจริง..... 20

3.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงพลังงานจากแหล่งกำเนิดไปเป็นการเพิ่มความดันให้แก่ของไหล..... 22

3.2 แสดงลักษณะการทำงานของ Centrifugal Pump..... 24

3.3 แสดงลักษณะการทำงานของ Axial Flow Pump..... 25

3.4 แสดงลักษณะของ Mixed Flow Pump..... 25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.5 แสดงลักษณะของใบพัดกับความเร็วจำเพาะ..... 27
3.6 แสดงคุณลักษณะของเครื่องสูบน้ำ..... 27
3.7 แสดงจุดการเดินเครื่องของเครื่องสูบน้ำ..... 28
3.8 แสดงส่วนประกอบของปั๊มแบบการไหลตามแนวแกน..... 29
3.9 แสดงคุณลักษณะของปั๊มแบบการไหลตามแนวแกน..... 29
3.10 แสดงการไหลแบบหมุนวน ภายในช่องการไหลบริเวณครีบจัดเรียงกระแสน้ำ..... 30
3.11 แสดงแนวการไหลแบบหมุนวน (ลูกศรสีดำ) และแนวการไหลความเร็วสูงที่ไหลออกจากใบพัด (ลูกศรสีแดง)..... 30
3.12 แสดงการไหลแบบหมุนควง (swirl) จากการจำลองการไหลของใบพัดที่ไม่มีการติดตั้งครีบจัดเรียงกระแสน้ำ..... 31
3.13 แสดงการไหลแบบหมุนควง (swirl) จากการจำลองการไหลของใบพัดที่มีการติดตั้งครีบจัดเรียงกระแสน้ำ..... 31
3.14 แสดงรูปแบบวัสดุทึบที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อช่วยให้การไหลที่แกนกลางไม่ถูกชะลออย่างรวดเร็ว..... 32
4.1 แสดงชุดเพลาและท่อด้านดูดของเครื่องสูบน้ำพญานาค..... 34
4.2 แสดงชุดประกอบของเพลากับท่อด้านดูดโดยใช้ Hex Bolts กับ Hex Nut..... 34
4.3 แสดงการใส่ปะเก็นที่ท่อด้านดูด..... 35
4.4 แสดงการใส่ใบจักรเข้ากับชุดเพลา..... 35
4.5 แสดงการนำเครื่องสูบน้ำพญานาคขึ้นไปติดตั้งเข้ากับชุดทดสอบสมรรถนะ..... 35
4.6 แสดงภาพขณะติดตั้งชุดเครื่องสูบน้ำพญานาคเข้ากับชุดทดสอบสมรรถนะ..... 36
4.7 แสดงภาพหลังทำการติดตั้งชุดเครื่องสูบน้ำพญานาคเข้ากับชุดทดสอบสมรรถนะ..... 36
4.8 ภาพแสดงตู้ Inverter ที่ใช้สำหรับการเดินเครื่องชุดทดสอบและปรับรอบการหมุน..... 36
4.9 แสดงหน้า Interface ของโปรแกรม LabVIEW ขณะยังไม่เดินเครื่อง..... 37
4.11 แสดงหน้า Interface ของโปรแกรม LabVIEW ขณะทำการบันทึกผลการทดสอบ..... 38
4.10 แสดงวาล์วที่ใช้ในการปรับอัตราการไหลของน้ำ..... 38
4.12 แสดงตำแหน่งในการติดตั้ง Pressure gauge สำหรับ Centrifugal pump..... 39
4.13 แสดงตำแหน่งของ Head สำหรับ Submerged pump..... 40
4.14 แสดงถึงลักษณะของ Bias Error, Precision Error และ Total Error..... 44
4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Frequency of Occurrence กับ Measured Values ซึ่งแสดงลักษณะของ Bias Error, Precision Error และ Total Error..... 46
4.16 แสดง CAD Model ของส่วนประกอบของระบบเครื่องสูบน้ำพญานาค (รูปแบบใหม่)..... 53
4.17 แสดง CAD Model ที่ระบุส่วนประกอบของระบบเครื่องสูบน้ำพญานาค (รูปแบบเก่า)..... 54
4.18 แสดงบริเวณทางเข้าและทางออกของ CAD Model เครื่องสูบน้ำพญานาค (รูปแบบใหม่).. 54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

5.1 แสดงใบจักรและกลีบเรียงกระแสน้ำของเครื่องสูบน้ำพญานาครูปแบบเก่า..... 56
5.2 แสดงใบจักรและกลีบเรียงกระแสน้ำของเครื่องสูบน้ำพญานาครูปแบบใหม่..... 56
5.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับเฮดเครื่องสูบน้ำรูปแบบเก่า (Hp)
ที่ 1000 rpm..... 58
5.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับกำลังของเพลา (P_S) ใบจักรแบบเก่า
ที่ 1000 rpm..... 58
5.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับประสิทธิภาพชุดใบจักรแบบเก่า (η)
ที่ 1000 rpm..... 59
5.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Q - Hp - PS - η ของเครื่องสูบน้ำพญานาครูปแบบเก่า
ที่ 1000 rpm..... 59
5.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับเฮดเครื่องสูบน้ำรูปแบบเก่า (Hp)
ที่ 1100 rpm..... 61
5.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับกำลังของเพลา (P_S) ใบจักรแบบเก่า
ที่ 1100 rpm..... 61
5.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับประสิทธิภาพชุดใบจักรแบบเก่า (η)
ที่ 1100 rpm..... 62
5.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Q - Hp - PS - η ของเครื่องสูบน้ำพญานาครูปแบบเก่า
ที่ 1100 rpm..... 62
5.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับเฮดเครื่องสูบน้ำรูปแบบเก่า (Hp)
ที่ 1200 rpm..... 64
5.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับกำลังของเพลา (P_S) ใบจักรแบบเก่า
ที่ 1200 rpm..... 64
5.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับประสิทธิภาพชุดใบจักรแบบเก่า (η)
ที่ 1200 rpm..... 65
5.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Q - Hp - PS - η ของเครื่องสูบน้ำพญานาครูปแบบเก่า
ที่ 1200 rpm..... 65
5.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับเฮดเครื่องสูบน้ำรูปแบบเก่า (Hp)
ที่ 1300 rpm..... 67
5.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับกำลังของเพลา (P_S) ใบจักรแบบเก่า
ที่ 1300 rpm..... 67
5.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับประสิทธิภาพชุดใบจักรแบบเก่า (η)
ที่ 1300 rpm..... 68
5.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Q - Hp - PS - η ของเครื่องสูบน้ำพญานาครูปแบบเก่า
ที่ 1300 rpm..... 68
5.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับเฮดเครื่องสูบน้ำรูปแบบใหม่ (Hp)
ที่ 1000 rpm..... 70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

5.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับกำลังของเพลา (P_S) ใบจักรแบบใหม่ ที่ 1000 rpm..... 70
5.21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับประสิทธิภาพชุดใบจักรแบบใหม่ (η) ที่ 1000 rpm..... 71
5.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Q - Hp - PS - η ของเครื่องสูบน้ำพญานาครูปแบบใหม่ ที่ 1000 rpm..... 71
5.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับเฮดเครื่องสูบน้ำรูปแบบใหม่ (Hp) ที่ 1100 rpm..... 73
5.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับกำลังของเพลา (P_S) ใบจักรแบบใหม่ ที่ 1100 rpm..... 73
5.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับประสิทธิภาพชุดใบจักรแบบใหม่ (η) ที่ 1100 rpm..... 74
5.26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Q - Hp - PS - η ของเครื่องสูบน้ำพญานาครูปแบบใหม่ ที่ 1100 rpm..... 74
5.27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับเฮดเครื่องสูบน้ำรูปแบบใหม่ (Hp) ที่ 1200 rpm..... 76
5.28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับกำลังของเพลา (P_S) ใบจักรแบบใหม่ ที่ 1200 rpm..... 76
5.29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับประสิทธิภาพชุดใบจักรแบบใหม่ (η) ที่ 1200 rpm..... 77
5.30 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Q - Hp - PS - η ของเครื่องสูบน้ำพญานาครูปแบบใหม่ ที่ 1200 rpm..... 77
5.31 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับเฮดเครื่องสูบน้ำรูปแบบใหม่ (Hp) ที่ 1300 rpm..... 79
5.32 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับกำลังของเพลา (P_S) ใบจักรแบบใหม่ ที่ 1300 rpm..... 79
5.33 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับประสิทธิภาพชุดใบจักรแบบใหม่ (η) ที่ 1300 rpm..... 80
5.34 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Q - Hp - PS - η ของเครื่องสูบน้ำพญานาครูปแบบใหม่ ที่ 1300 rpm..... 80
5.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Flow Coefficient กับ Head Coefficient ของใบจักรแบบเก่า..... 81
5.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Flow Coefficient กับ Power Coefficient ของใบจักรแบบเก่า..... 82
5.37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Flow Coefficient กับ Efficiency ของใบจักรแบบเก่า 82
5.38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Flow Coefficient กับ Head Coefficient ของใบจักรแบบใหม่..... 83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

5.39 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Flow Coefficient กับ Power Coefficient ของใบจักรแบบใหม่..... 84
5.40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Flow Coefficient กับ Efficiency ของใบจักรแบบใหม่ 84
5.41 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่าง Flow Coefficient (Π_Q) กับ Head Coefficient (Π_H) ของชุดใบจักร 2 รูปแบบ ที่ Best Efficiency Point..... 86
5.42 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่าง Flow Coefficient (Π_Q) กับ Power Coefficient (Π_P) ของชุดใบจักร 2 รูปแบบ ที่ Best Efficiency Point..... 87
5.43 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่าง Flow Coefficient (ΠQ) กับ Efficiency (η) ของชุดใบจักร 2 รูปแบบ ที่ Best Efficiency Point (BEP)..... 87
5.44 แสดงลักษณะของการไหลของ Fluid ที่แต่ละบริเวณ..... 88
5.45 แสดงแนวการไหลที่ความเร็วสูงหลังออกจากใบพัด (แนวลูกศรสีแดง) และการไหลแบบหมุนวน (ลูกศรดำ) เนื่องจากพื้นที่ที่ขยายขึ้นระหว่าง Drive Shaft Boot..... 89
5.46 แสดงการไหลแบบหมุนวน (Recirculation Flow) ที่บริเวณหน้าตัด C (ก่อนเข้า Guide vane) 89
5.47 แสดงการลดลงของการไหลแบบหมุนวน (Recirculation Flow) ที่บริเวณหน้าตัด D..... 90
5.48 แสดงการเกิดการไหลแบบหมุนควง (Swirl Flow) ที่บริเวณหน้าตัด D..... 90
5.49 แสดงการลดลงของการเกิดการไหลแบบหมุนควง (Swirl Flow) ที่บริเวณหน้าตัด E..... 91
5.50 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับเฮดเครื่องสูบน้ำ (Hp) ที่ BEP เพื่อเปรียบเทียบผลการจำลองกับผลการทดสอบ ของใบจักรรูปแบบใหม่..... 92
5.51 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับกำลังของเพลา (PS) ที่ BEP เพื่อเปรียบเทียบผลการจำลองกับผลการทดสอบ ของใบจักรรูปแบบใหม่..... 93
5.52 แสดงลักษณะของช่องว่างระหว่างขอบของกลีบเรียงกระแสน้ำกับผนังของท่อด้านดูด..... 94
5.53 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับประสิทธิภาพเครื่องสูบน้ำ (η) ที่ BEP เพื่อเปรียบเทียบผลการจำลองกับผลการทดสอบ ของใบจักรรูปแบบใหม่..... 94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รายการสัญลักษณ์

η	=	Pump Efficiency, [-]
P_{output}	=	Water Power Output, [Watt]
P_{input}	=	Shaft Power Input, [Watt]
ρ	=	Density, [kg/m^3]
g	=	Gravity, [m^2/s]
H_p	=	Total Head Pump, [m]
Q	=	Mass Flow rate, [m^3/s]
D	=	Diameter of Impeller, [m]
B	=	Number of Blades, [-]
T_{shaft}	=	Torque of Shaft, [N-m]
ω	=	Angular Velocity, [s^{-1}]
π_Q	=	Flow Coefficient, [-]
π_H	=	Head Coefficient, [-]
π_P	=	Power Coefficient, [-]
N_s	=	Specific Speed, [-]
N	=	Speed of Shaft, [RPM]

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เครื่องสูบน้ำพญานาค ถือได้ว่าเป็นเครื่องมือหลักที่มีความสำคัญของภาคการเกษตรในประเทศไทย โดยส่วนมากถูกนำไปใช้ในการสูบน้ำเข้านาข้าวหรือบ่อเลี้ยงสัตว์ นอกจากนี้ ยังถูกใช้ในภาคอุตสาหกรรม เช่น ระบบระบายน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรม หรือแม้กระทั่งระบบระบายน้ำในภาคชลประทาน เนื่องจากเครื่องสูบน้ำพญานาคสามารถสูบน้ำได้ในปริมาณมาก มีราคาถูก เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องสูบน้ำจากต่างประเทศ อีกทั้งยังสามารถดูแลรักษาได้ง่ายและเคลื่อนย้ายสะดวก แต่ในปัจจุบัน เครื่องสูบน้ำชนิดนี้ ยังไม่มีการทดสอบที่ได้มาตรฐาน เพื่อหาสมรรถนะในการทำงาน เพื่อรับประกันคุณภาพให้เป็นไปตามมาตรฐานสากล จากเหตุผลดังกล่าว ทีมวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ และตัวแทนผู้ประกอบการที่ผลิตเครื่องสูบน้ำพญานาคในประเทศไทย จึงมีข้อสรุปร่วมกันว่า ต้องการจะพัฒนาใบจักรให้มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้นและสอดคล้องกับมาตรฐานสากล จึงได้เกิดเป็นโครงการวิจัยชื่อว่า “การพัฒนาชุดทดสอบสมรรถนะและการปรับปรุงประสิทธิภาพชุดใบจักรสำหรับเครื่องสูบน้ำพญานาค” โดยในระยะแรกของโครงการดังกล่าว ทีมวิจัยได้ทำการออกแบบและสร้างชุดทดสอบที่ได้มาตรฐาน และทำการทดสอบหาสมรรถนะเครื่องสูบน้ำพญานาคของแต่ละบริษัทที่ร่วมในโครงการ จากนั้นทีมวิจัยจึงได้ทำการออกแบบใบจักรและกลีบเรียงกระแสชุดใหม่ให้มีประสิทธิภาพสูงกว่าใบจักรแบบทั่วไป โดยอาศัยหลักการทางวิชาการและข้อมูลที่ได้จากการทดสอบเครื่องสูบน้ำพญานาคของแต่ละบริษัทมาช่วยในการพัฒนาดังกล่าว แต่ใบจักรต้นแบบชุดใหม่นี้ยังไม่ได้รับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ เพื่อหาประสิทธิภาพที่เกิดขึ้นจริง ดังนั้น ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จึงเกิดขึ้นเพื่อสานต่อโครงการวิจัยดังกล่าวให้บรรลุผล โดยการนำใบจักรและกลีบเรียงกระแสน้ำต้นแบบข้างต้น มาทำการพัฒนาต่อยอดให้เสร็จสิ้น ซึ่งหากประสิทธิภาพของชุดใบจักรต้นแบบไม่สูงขึ้นตามสมมติฐาน ก็จะทำการวิเคราะห์หาข้อบกพร่องที่อาจขึ้นได้ในแต่ละขั้นตอน เพื่อใช้ข้อมูลดังกล่าวเป็นแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพชุดใบจักรให้ดีขึ้น และส่งผลสรุปทั้งหมดกลับไปยังโครงการวิจัยข้างต้น

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อให้เข้าใจทฤษฎีที่เกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับชุดใบจักรของเครื่องสูบน้ำพญานาค และเข้าใจหลักในการออกแบบใบจักรและกลีบเรียงกระแสของเครื่องสูบน้ำพญานาคในประเทศไทย

1.2.2 สามารถใช้งานชุดทดสอบสมรรถนะเครื่องสูบน้ำพญานาคที่ได้มาตรฐานสากล ในห้องปฏิบัติการอย่างถูกต้องทุกขั้นตอน รวมถึงมีความเข้าใจและสามารถใช้งานโปรแกรมที่ใช้ในการบันทึกผลการทดลองได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.2.3 เพื่อนำชุดใบจักรแบบใหม่ไปเข้ากระบวนการผลิตให้เสร็จสมบูรณ์ พร้อมใช้งาน และทำการทดสอบชุดใบจักรทั้งรูปแบบเก่าและรูปแบบใหม่ ที่ความเร็วรอบ 1000-1300 รอบ/นาที เพื่อนำค่าที่บันทึกได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการมาคำนวณหาตัวแปรที่สำคัญ เช่น เฮดรวมและประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำ และเปรียบเทียบประสิทธิภาพสูงสุดระหว่างชุดใบจักรเครื่องสูบน้ำพญานาค 2 รูปแบบดังกล่าว

1.2.4 เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ลักษณะการไหลของของไหลภายในชุดใบจักรรูปแบบใหม่ได้ โดยการใช้โปรแกรม Ansys CFX มาช่วยในการจำลองและทำการวิเคราะห์ดังกล่าว

1.2.5 หากผลจากการทดสอบแตกต่างกับผลจากการจำลอง ก็สามารถวิเคราะห์สาเหตุของความแตกต่างดังกล่าวได้ และทำการสรุปผลพร้อมทั้งมีข้อเสนอแนะสำหรับการปรับปรุงในอนาคตต่อไป

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

ชุดใบจักรรูปแบบใหม่ที่ได้จากการกระบวนการผลิตจะเสร็จสมบูรณ์และสามารถนำไปทำการทดสอบด้วยชุดทดสอบสมรรถนะในห้องปฏิบัติการได้ ก่อนจะเริ่มโครงงานวิจัย P1851268 ในระยะที่สอง และค่าประสิทธิภาพของใบจักรรูปแบบใหม่ที่คำนวณได้จากผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการจะมีค่าสูงกว่าประสิทธิภาพของใบจักรรูปแบบดั้งเดิมในโครงการวิจัยดังกล่าว จากนั้นจะสามารถใช้โปรแกรม Ansys CFX มาช่วยในการวิเคราะห์ลักษณะการไหลของของไหลภายในชุดใบจักรรูปแบบใหม่ได้

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1.4.1 ศึกษาทฤษฎีการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับชุดใบจักรของเครื่องสูบน้ำพญานาค รวมถึงหลักการที่ใช้ในการออกแบบชุดใบจักรและกลีบเรียงกระแส จากคณาจารย์และนักวิจัยในโครงการวิจัยรหัส P1851268

1.4.2 ศึกษาการใช้งานชุดทดสอบสมรรถนะเครื่องสูบน้ำพญานาค ซึ่งอยู่ในห้องปฏิบัติการที่ตึกภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตกรุงเทพฯ

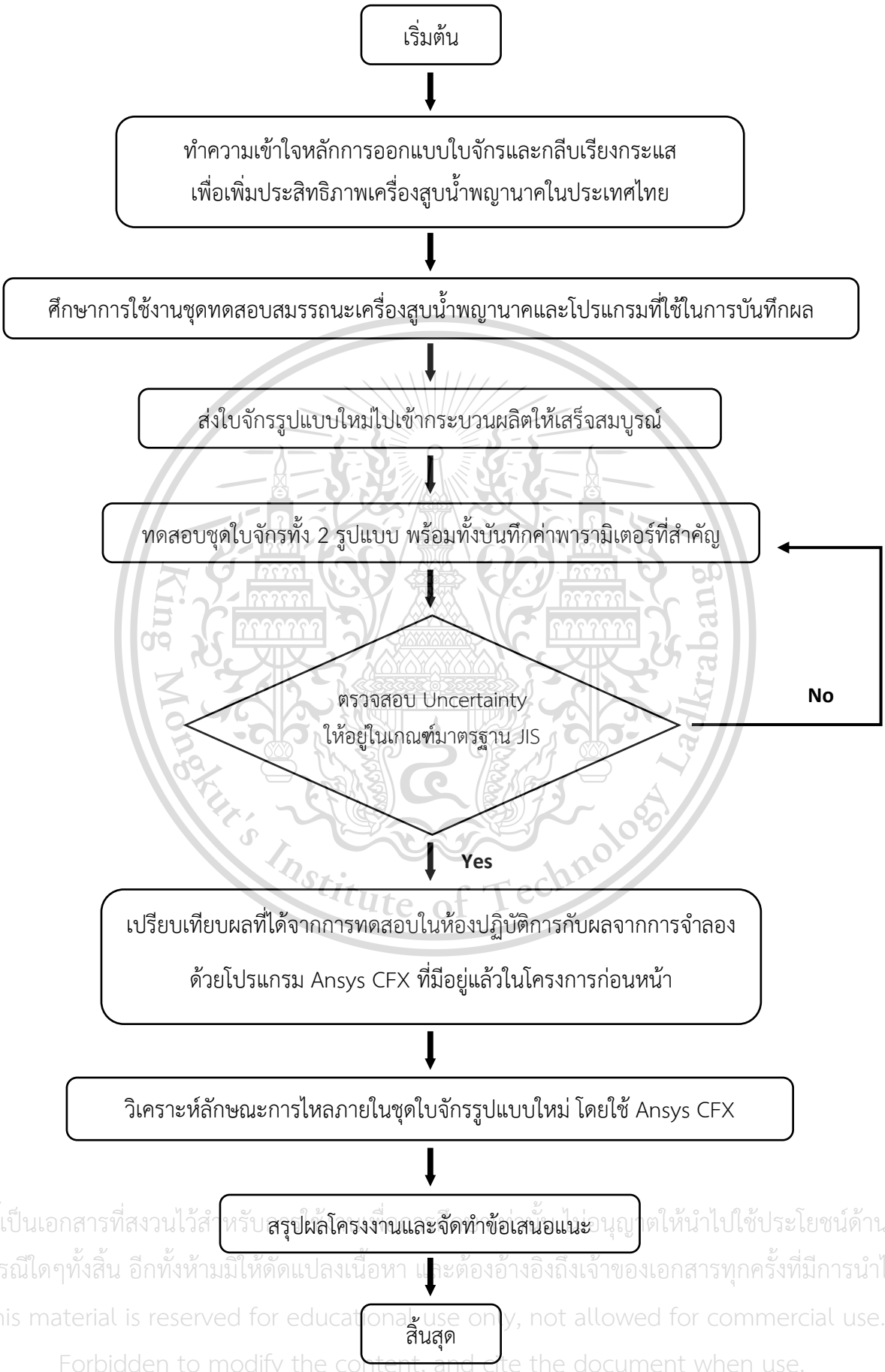
1.4.3 นำใบจักรรูปแบบใหม่ไปเข้ากระบวนผลิตให้เสร็จสมบูรณ์ ที่โรงงานไฮติ่งการช่าง จ.นนทบุรี

1.4.4 ทดสอบชุดใบจักรของเครื่องสูบน้ำพญานาคทั้งรูปแบบเก่าและรูปแบบใหม่ โดยทดสอบที่ความเร็วรอบ 1000 ถึง 1300 รอบ/นาที และบันทึกค่าอัตราการไหล ค่าความดัน ค่าภาระ ค่ากำลังของมอเตอร์ ซึ่งจะได้จากการทดสอบดังกล่าว แล้วนำผลที่ได้ไปคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำ และสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Flow rate – Head (Q-H), Flow rate – Shaft power (Q-Ps) และ Flow rate – Hydraulic efficiency (Q-η) จากนั้นนำจุดที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในกราฟแสดงสมรรถนะเครื่องสูบน้ำ (BEP) ไปทำการวิเคราะห์

1.4.5 ใช้โปรแกรม Ansys CFX เพื่อจำลองการไหลของใบจักรรูปแบบใหม่ และนำผลที่ได้ไปคำนวณหาตัวแปรที่สำคัญของเครื่องสูบน้ำ แล้วนำไปสร้างกราฟ Flow rate – Head, Flow rate – Shaft power และ Flow rate – Hydraulic efficiency (Q-Eff.) จากนั้นนำผลมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับผลทดสอบจริงที่ได้จากห้องปฏิบัติการ พร้อมทั้งทำการสรุปผลและระบุข้อเสนอแนะของโครงงานฉบับนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2

การพัฒนาชุดทดสอบสมรรถนะ และการปรับปรุงประสิทธิภาพของชุดใบจักร สำหรับเครื่องสูบน้ำพญานาค

2.1 การออกแบบบ่อทดสอบและลักษณะชุดทดสอบจริงในห้องปฏิบัติการ

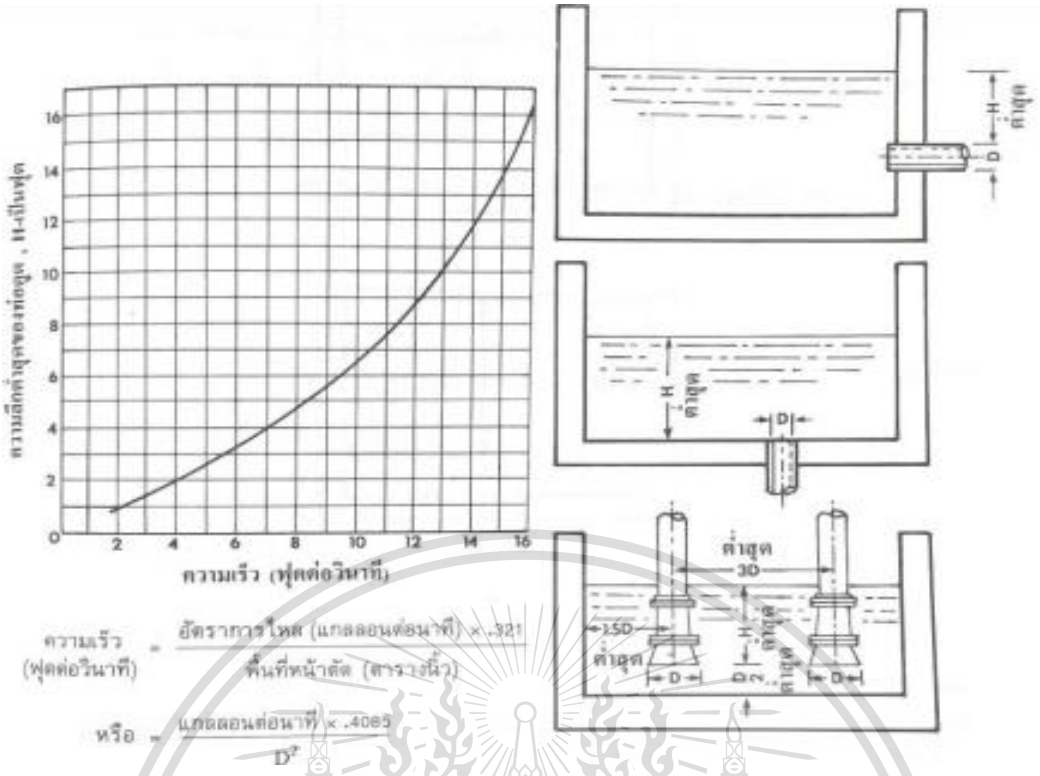
2.1.1 การออกแบบบ่อทดสอบ

บ่อทดสอบในห้องปฏิบัติการ ถือเป็นเครื่องมือสำคัญในการทดสอบสมรรถนะใบจักร จากการกำหนดอัตราการไหลของปั๊มพญานาค เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 8 นิ้ว หรือ 0.2 เมตร ซึ่งเป็นขนาดที่ได้ทำการทดสอบ โดยที่อัตราการไหลของเครื่องสูบน้ำประมาณ 8,000 ลิตรต่อนาที หรือโดยประมาณ 2113 gal/min ซึ่งจากการอ้างอิงแผนภูมิแสดงเกณฑ์การออกแบบบ่อสูบของ Hydraulic Institute ประเทศสหรัฐอเมริกา จากรูปที่ 2.1 สามารถใช้ในการออกแบบได้ ที่อัตราการสูบที่ 2113 gal/min เป็นต้นไป จึงเลือกการออกแบบที่จุด 2113 gal/min ของแผนภูมินั้น สามารถกำหนดรายละเอียดได้ดังนี้

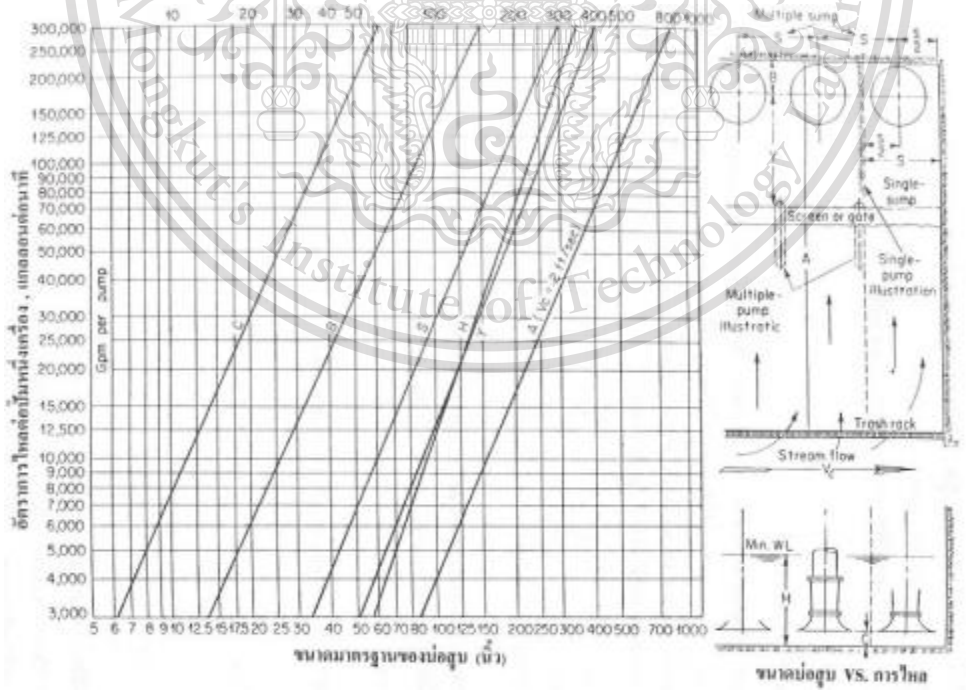
ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงรายละเอียดระยะขั้นต่ำในการออกแบบของบ่อสูบ [2]

รายละเอียด	ความยาว (นิ้ว)	ความยาว (เมตร)
ความลึกน้ำในบ่อสูบ (H)	80	2.0320
ความสูงของปลายท่อดูดจากพื้นบ่อสูบ (C)	10.1	0.2565
ปลายท่อดูดต้องอยู่ต้ำกว่าผิวน้ำไม่น้อยกว่า (H – C)	79.9	2.0295
ระยะก้ำแพงบ่อสูบถึงศูนย์กลางท่อดูด (B)	23	0.5842
ความกว้างของบ่อสูบ (S)	54	1.3716
ความยาวของบ่อสูบต้ำสุด (A)	137	3.4798

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

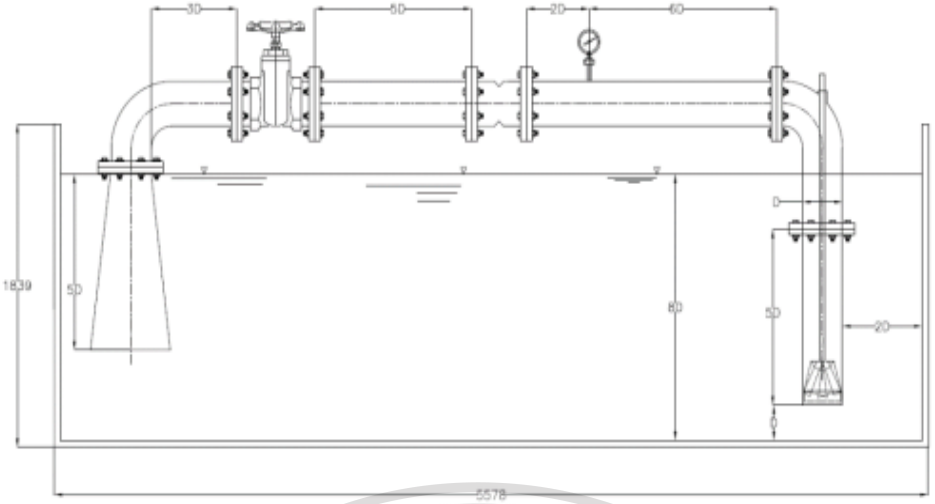


รูปที่ 2.1 การกำหนดความลึกของปลายท่อด้านดูดเมื่อวัดจากระดับน้ำที่ต่ำที่สุด และการกำหนดขนาดความกว้างของบ่อสูบ [1]

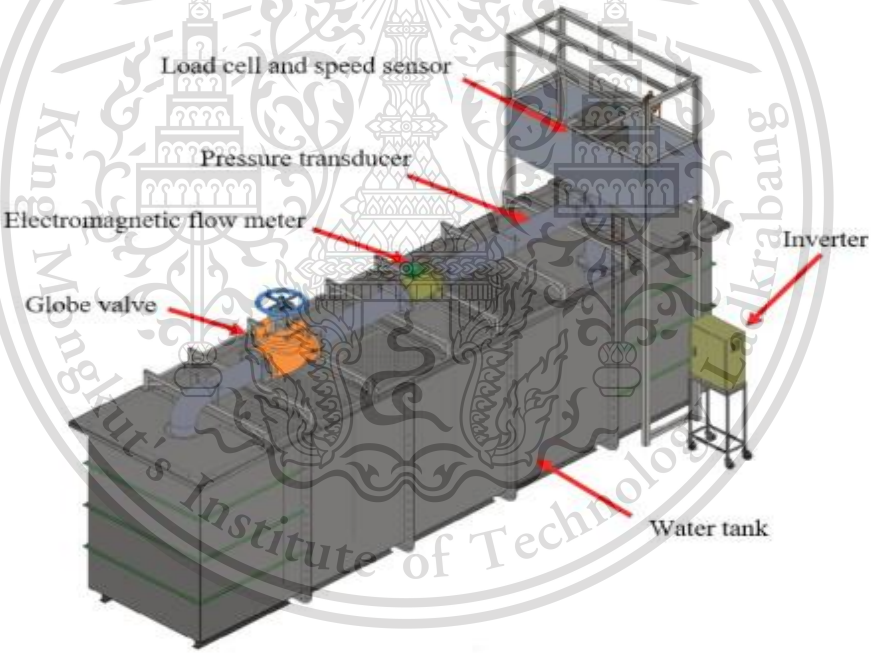


รูปที่ 2.2 แสดงขนาดมาตรฐานของบ่อสูบสำหรับเครื่องสูบน้ำของ Hydraulic Institute จากประเทศสหรัฐอเมริกา [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.3 แสดงการออกแบบท่อทดสอบสำหรับเครื่องสูบน้ำพญานาค (หน่วยมิลลิเมตร) [1]



รูปที่ 2.4 แสดงอุปกรณ์วัดและชุดทดสอบสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำพญานาค [2]

2.1.2 ลักษณะของชุดทดสอบจริง

ในส่วนต่อมาจะเป็นการสร้างชุดทดสอบตามมาตรฐานการออกแบบของ Hydraulic Institute ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยจะทำการออกแบบและสร้างมาตรฐานการทดสอบทั้งหมด และยังมีในส่วนของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

อุปกรณ์วัดต่างๆที่ใช้สำหรับวัดค่าจากการทำงานของเครื่องสูบน้ำ และระบบบันทึกผลการทดสอบ โดยทำการสร้างจริง และติดตั้งที่ ชั้น 3 ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

รูปที่ 2.5 แสดงบ่อทดสอบจริง สำหรับชุดสอบสมรรถนะเครื่องสูบน้ำพญานาค [2]

รูปที่ 2.6 แสดงชุดต้นกำลังและส่วนข้อต่อตัวเรือนของชุดทดสอบ [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2 อุปกรณ์การวัดที่ใช้ในชุดทดสอบ

2.2.1 ชุดวัดอัตราการไหลของน้ำในระบบท่อปิดและชุดบันทึกผลการทดสอบ

สำหรับชุดทดสอบนี้ ทางผู้พัฒนาได้เลือกใช้อุปกรณ์วัดอัตราการไหลวัดแบบ Electromagnetic เพื่อให้ได้ความแม่นยำที่สูงที่สุดแต่ก็แลกมาด้วยราคาที่สูงกว่าชนิด Ultrasonic Flow Meters ซึ่งอุปกรณ์ที่เลือกใช้มาจากบริษัท Siemens ผลิตในประเทศฝรั่งเศส รุ่น SITRANS F M MAG 5100 W ขนาด DN 200 (8 นิ้ว) ย่านการวัดไม่เกิน 10,000 ลิตรต่อนาที ความแม่นยำในการวัด ±0.2%

รูปที่ 2.7 แสดง Electromagnetic flow meter สำหรับวัดอัตราการไหล [3]

2.2.2 ชุดควบคุมอัตราการไหลของน้ำในระบบท่อ

ในการทดสอบนั้นจำเป็นต้องปรับอัตราการไหลอย่างละเอียดเพื่อเก็บค่าในแต่ละช่วงอัตราการไหล จึงจำเป็นจะต้องใช้ Globe valve ซึ่งสามารถใช้เป็นวาล์วเปิดปิดและยังสามารถปรับอัตราการไหลได้ ซึ่งในชุดทดสอบใช้ Globe valve ยี่ห้อ KITZ ผลิตในประเทศญี่ปุ่น รุ่น 10FCJ สาหรับท่อขนาด 8 นิ้ว

รูปที่ 2.8 แสดง Globe valve สำหรับควบคุมอัตราการไหลในการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2.3 ชุดวัดความเร็วรอบของเพลาและชุดบันทึกผลการทดสอบ

อุปกรณ์การวัดความเร็วรอบของเพลา สำหรับชุดทดสอบ ได้เลือกใช้ยี่ห้อ IFM Electronic ผลิตในประเทศเยอรมนี รุ่น IG5398 การวัดใช้แบบ Sensor โดยในการตรวจสอบความเร็วรอบ ทำการวัดที่เพลาของมอเตอร์ แสดงผลโดยจะแสดงผลที่ Monitor รุ่น DD2503

รูปที่ 2.9 แสดง Speed sensor และ Digital indicator Load cell [2]

2.2.4 ชุดวัดความดันของระบบท่อ

Pressure transmitter

เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณจากอุปกรณ์เครื่องมือวัดให้เป็นสัญญาณแบบอนาลอคมาตรฐาน ซึ่งในที่นี้จะใช้ในการวัดหาความดัน โดยใช้ของบริษัท Siemens ผลิตในประเทศสวิสเซอร์แลนด์ รุ่น SITRANS P200 7MF1565 วัดความดันย่าน 0-1 บาร์ ความแม่นยาในการวัด ±0.25%

รูปที่ 2.10 แสดง Pressure transmitter รุ่น SITRANS P200 [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Pressure gauges

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวัดความดัน ซึ่งจะใช้เป็นPressure gauge แบบอนาล็อกหรือแบบเข็ม

รูปที่ 2.11 แสดง Pressure gauge สำหรับวัดความดัน [2]

2.2.5 ชุดวัดกำลังทางไฟฟ้าของมอเตอร์

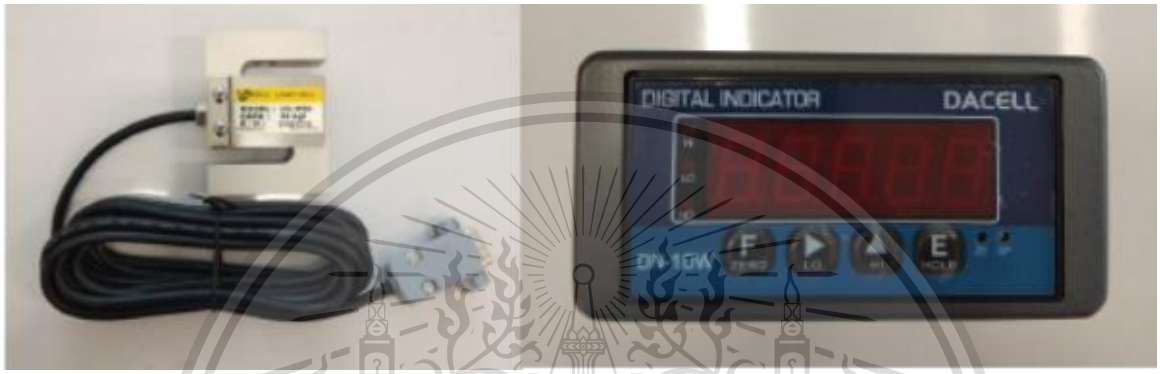
อุปกรณ์วัดกำลังทางไฟฟ้าที่มอเตอร์ จะมีอินเวอร์เตอร์ หรือ อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ (Variable Speed Drive) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้าให้เหมาะสมกับสภาวะของโหลดที่ได้ออกแบบไว้ โดยการปรับความถี่เฮิร์ตทางไฟฟ้า ซึ่งชุดวัดกำลังไฟฟ้าที่ได้เลือกใช้คือ ชุดวัดจากทางบริษัท LEOS รุ่น IPM310x โดนมีย่านการวัดกระแสอยู่ที่ 5 Amp/Phase 0.1 VA และมีความแม่นยำในการวัด ±0.5%

รูปที่ 2.12 แสดงอุปกรณ์วัดกำลังทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2.6 ชุดวัดแรงดึงมอเตอร์

อุปกรณ์วัดแรงบิดมอเตอร์ที่เลือกใช้คือ Load cell ซึ่ง Load cell คืออุปกรณ์ที่ใช้ในการเปลี่ยนจากแรงหรือน้ำหนักที่กระทำต่อตัว Load cell ให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า และยังสามารถนำสัญญาณทางไฟฟ้านี้ไปจ่ายเข้าจอแสดงผล Display โดยLoad cell ที่เลือกใช้คือยี่ห้อ DACELL ชนิด S-type สำหรับการวัดแรงอัดและแรงดึง น้ำหนัก 50 กิโลกรัม ความแม่นยำในการวัด ±1% fs แสดงผลโดย Digital indicator Load cell รุ่น DN-10W ซึ่งแสดงผลได้ 5 หลัก



รูปที่ 2.13 แสดง Load cell แบบ S-type และหน้าจอแสดงผล [2]

2.2.7 ชุดต้นกำลังของเครื่องสูบน้ำพญานาค

อุปกรณ์ต้นกำลังของเครื่องสูบน้ำพญานาคในการทดสอบนี้ คือมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่ง อาศัยหลักการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กเป็นพลังงานกล โดยใช้ยี่ห้อ Mitsubishi รุ่น SF-JRV แบบ Vertical Type ขนาด 10 HP (7.5 kW) ความเร็วรอบ 1450 rpm (4P)

รูปที่ 2.14 แสดง DC Motor แบบ Vertical Type [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.3 มาตรฐานการทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำพญานาค [5]

สำหรับมาตรฐานการทดสอบหาสมรรถนะการทำงานของเครื่องสูบน้ำของประเทศไทย ปัจจุบันยังไม่มีการสร้างข้อกำหนดหรือกำหนดเงื่อนไขใดๆ ทีมวิจัยของโครงการจึงได้ทำการศึกษาและเลือกมาตราฐานการทดสอบที่เป็นที่ยอมรับและนิยมนำมาเป็นมาตรฐานการทดสอบในระดับนานาชาติ จึงทำการเลือกใช้มาตรฐานอุตสาหกรรมญี่ปุ่น (Japanese Industrial Standard, JIS) มีพื้นฐานมาจากมาตรฐาน ISO 9906 : 1999 ซึ่งใช้ในการทดสอบหาประสิทธิภาพของไฮดรอลิกและเครื่องสูบน้ำแบบที่อาศัยแรงเหวี่ยง อย่างไรก็ตาม JIS มี 7 มาตรฐานสำหรับการวัดอัตราการไหล โดยมาตรฐานการยอมรับในการทดสอบสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำ มีความเหมาะสมกับเครื่องสูบน้ำทุกขนาดและของไหลภายในทุกประเภท โดยไม่คำนึงถึงรายละเอียดของโครงสร้างเครื่องสูบน้ำรวมถึงคุณสมบัติเชิงกล ประกอบด้วยมาตรฐาน 2 ระดับ ได้แก่ระดับ 1 คือการทดสอบที่มีมาตรฐานทั่วไป มีความแม่นยำสูง เหมาะสำหรับการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำ และระดับ 2 คือที่มีมาตรฐานการทดสอบต่ำกว่าระดับที่ 1 แต่ไม่น้อยกว่าที่มาตราฐานกำหนด และเครื่องสูบน้ำที่ใช้ในการทดสอบจะต้องมีกำลังไฟฟ้าไม่เกิน 7.457 kW

2.3.1 กฎเกณฑ์มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบ

JIS B 7554	Electromagnetic flowmeters
JIS B 8302	Measurement method of pump discharge
JIS B 8327	Testing methods for performance of pump, using model pump
JIS C 1102-1 to 9	Direct acting indicating analogue electrical measuring instruments and their accessories
ISO 4373: 1995	Measurement of liquid flow in open channels – Water level measuring device

2.3.2 ข้อกำหนดมาตรฐาน JIS B 8301

Standard test arrangement: เงื่อนไขที่จะทำให้ได้ผลจากการวัดได้ดีที่สุด คือ การไหลจะต้องมีความเร็วกระจายตัวอย่างสมมาตรตามแนวแกน มีความดันสถิต การกระจายตัวสม่ำเสมอและเป็นอิสระต่อการถูกกระตุ้นให้เกิดการหมุนวน หลังจากการติดตั้ง

Organization of tests: ทั้งผู้ซื้อและผู้จำหน่ายจะต้องร่วมเป็นพยานในการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.3.3 บุคลากร

การอ่านค่าจากเครื่องมือขณะทำการทดสอบ ผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์จะดำเนินการและอ่านค่าต่าง ๆ ที่มีความซับซ้อน ในขณะที่การอ่านค่าโดยทั่วไปจะถูกมอบหมายให้กับผู้ช่วยที่ได้รับความไว้วางใจจากผู้เชี่ยวชาญ ทั้งนี้ ผู้ดูแลการทดสอบจะถูกนัดหมายให้มาในวันที่มีการทดสอบเพื่อให้เป็นผู้ควบคุมดูแลการทดสอบให้เป็นไปอย่างราบรื่น โดยต้องรับผิดชอบในการตรวจสอบความถูกต้องและความเหมาะสมในการติดตั้งเครื่องมือ โดยเครื่องมือ จะต้องได้รับการเทียบกับมาตรฐาน เช่น JIS, ISO, IEC

2.3.4 การบันทึกผล

รายงานการทดสอบ ประกอบไปด้วย

- สถานที่ และวันที่ ในการทำการทดสอบ
- ชื่อผู้ผลิต ชนิดของเครื่องสูบน้ำ Serial number และ ปีที่ผลิต
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด มุมของใบพัด หรือการระบุค่าอื่น ๆ ในใบพัด
- การยืนยันคุณลักษณะและเงื่อนไขในการทดสอบ
- รายละเอียดของเครื่องต้นกำลัง
- รายละเอียดขั้นตอนการทดสอบ และแบบร่างของ section ที่จะทำการวัด
- การวิเคราะห์และประเมินผลการทดสอบ
- สรุปผล

ซึ่งเป็นไปได้ยากที่จะสามารถทำตามเงื่อนไขข้างต้นเหล่านี้ได้ จากการวัดผลจึงต้องดำเนินการบริเวณที่จะทำการวัดค่าและเก็บข้อมูล ไม่ควรอยู่ใกล้ส่วนที่เป็นข้อต่อหรือทางแยกต่าง ๆ การจัดการทดสอบตามมาตรฐาน ควรใช้อ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ที่ผิวน้ำนิ่ง และเป็นวงจรแบบปิด โดยท่อฝั่งขาเข้ากำหนดความยาวไม่น้อยกว่า 8D และมีเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) 250 มิลลิเมตร

2.3.5 เงื่อนไขของขั้นตอนการทดสอบ

เพื่อยืนยันจุดรับประกัน โดยการทดสอบ Grade 1 และ Grade 2 จะต้องมีค่าความคลาดเคลื่อนของแต่ละตัวแปร การวัดค่าต่างๆ ตามข้อกำหนดที่แสดงในตารางที่ 2.5 โดยจะต้องบันทึกผลการทดสอบอย่างน้อย 3 ครั้ง สำหรับ Grade 2 และใช้ 5 ครั้ง สำหรับ Grade 1 เพื่อยืนยันจุดหรือช่วงการใช้งานหลักของเครื่องสูบน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 2.2 แสดงค่ามาตรฐานที่ควรจะเป็นของ Clean cold water

Characteristics	Max	Units
Temperature	40	℃
Kinematic viscosity	1.75×10^{-6}	m^2/s
Density	1050	kg/m^3
Non-absorbent free solid content	2.5	kg/m^3
Dissolved solid content	50	kg/m^3

2.3.6 การคำนวณ Uncertainties

ค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ของค่าความไม่แน่นอน แสดงถึงร้อยละของค่าต่าง ๆ ที่ยอมรับได้โดยให้ความคลาดเคลื่อนได้ ไม่เกินค่าที่กำหนดตามมาตรฐาน JIS B 8301 2000 ซึ่งจะนำมาใช้ในการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการทดสอบ จะทำให้สามารถกำหนดช่วงของค่าต่าง ๆ ที่ทำการบันทึกผลและการคำนวณได้

ตารางที่ 2.3 ค่าของความไม่แน่นอนโดยรวมที่ยอมรับได้ Unit : %

Quantity	Symbol	Grade 1	Grade 2
Flow rate	e_Q	±2.0	±3.5
Speed of rotation	e_n	±0.5	±2.0
Torque	e_T	±1.4	±3.0
Pump total head	e_H	±1.5	±3.5
Driver power input	e_{Pgr}	±1.5	±3.5
Pump power input (computed from torque and speed of rotation)	e_P	±1.5	±3.5
Pump power input (computed from driver power and motor efficiency)	e_P	±2.0	±4.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

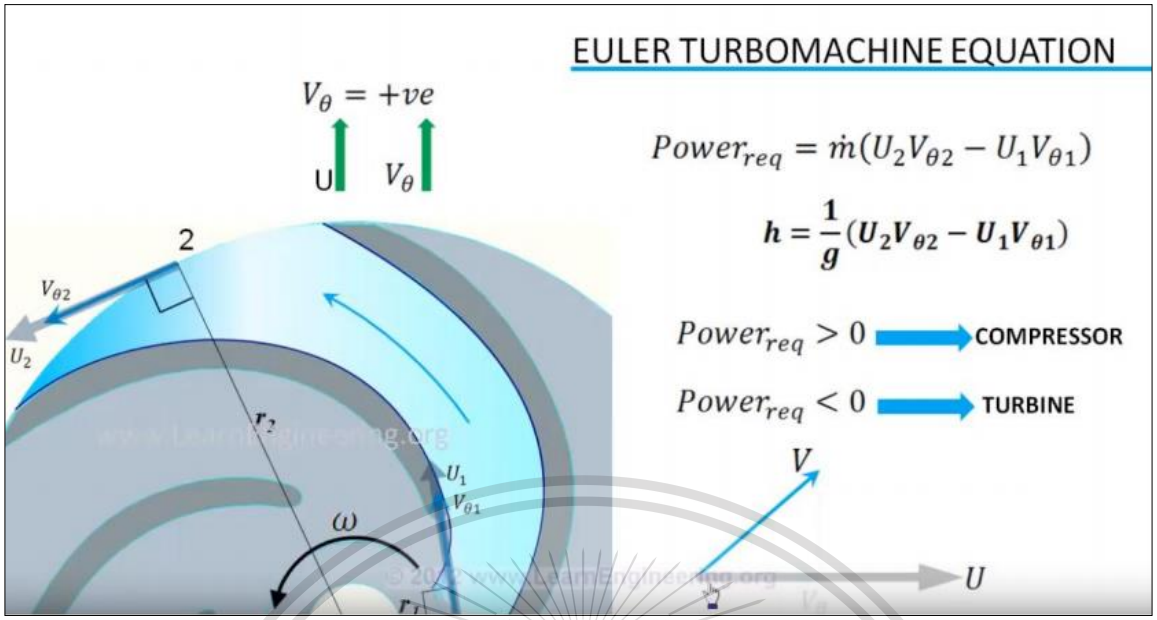
ตารางที่ 2.4 ค่าความไม่แน่นอนโดยรวมของประสิทธิภาพ Unit : %

Quantity	Symbol	Grade 1	Grade 2
Overall efficiency (computed from Q, H and Pgr)	$e_{\eta gr}$	±2.9	±6.1
Pump efficiency (computed from Q, H, T and n)	e_{η}	±2.9	±6.1
Pump efficiency (computed from Q, H, Pgr and ηmot)	e_{η}	±3.2	±6.4

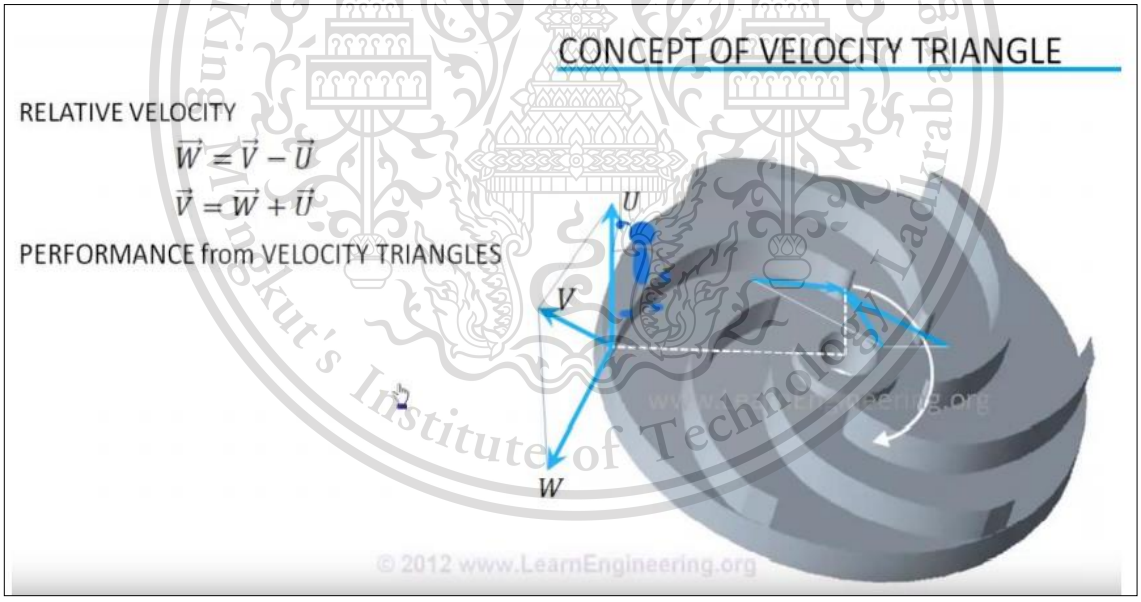
2.4 การออกแบบและพัฒนาปรับปรุงเครื่องสูบน้ำพญานาค [2]

การออกแบบปั๊มน้ำเริ่มต้นจากการระบุเงื่อนไขในทางปฏิบัติ ได้แก่ ความดัน และอัตราการไหลของน้ำที่ทางออกของปั๊ม จากนั้นผู้ออกแบบจะใช้กระบวนการทางวิศวกรรมเพื่อประมาณการเบื้องต้น ซึ่งจะได้ชนิดของปั๊มที่เหมาะสม ขั้นตอนต่อไปเป็นการประมาณขนาด รูปทรงหรือมุมใบพัด และรอบการทำงาน เพื่อให้ได้อัตราการไหลและความดันตามต้องการ ขั้นตอนที่กล่าวมาขั้นต้นทั้งหมดนี้เรียกว่า การออกแบบเบื้องต้น (Preliminary design) ซึ่งมีวัตถุประสงค์ เพื่อให้ได้ขนาด รูปทรงโดยประมาณของใบพัด รวมถึงรอบการทำงาน เพื่อให้ปั๊มสามารถทำงานที่เงื่อนไขที่ต้องการได้ ใน ขั้นตอนการออกแบบเบื้องต้นนั้น ผู้ออกแบบใบพัดจะใช้วิธีการประมาณต่างๆดังนี้ 1.) ใช้หลักการวิเคราะห์แบบมิติไร้หน่วย (non-dimensional analysis) วิธีการนี้มีความน่าเชื่อถือสูง แต่ผู้ออกแบบจำเป็นต้องมีข้อมูลจากการทดสอบปั๊มในปริมาณที่มากเพียงพอ 2.) ใช้หลักการวิเคราะห์พลังงานบนสายธารการไหล (streamline) อย่างง่าย โดยการวิเคราะห์สมการออยเลอร์ (Euler's equation) หรือเรียกว่า Mean line design ร่วมกับการประมาณค่าการสูญเสีย (loss estimation) บนสายธารการไหล จากนั้นจะนำปั๊มน้ำที่ได้จากขั้นตอนการ ออกแบบเบื้องต้นไปวิเคราะห์ในรายละเอียดที่สูงขึ้นได้แก่ การทดสอบ ร่วมกับการจำลองการไหลโดยการหาผลเฉลยของสมการนาเวียร์-สโตรคส์ หรือเรียกว่า CFD (Computational Fluid Dynamics) ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการปรับปรุงรูปทรงในรายละเอียดเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพทางพลังงานที่สูงขึ้น อนึ่งการ จำลองการไหลแบบ CFD ไม่นิยมใช้ในขั้นตอนการออกแบบเบื้องต้นเนื่องจากเป็นการจำลองที่มีรายละเอียดที่สูง ซึ่งใช้ทรัพยากรสูง ทั้งในแง่ของปริมาณงานที่มีก่อนเริ่มกระบวนการคำนวณ (pre-processing) และทรัพยากรการคำนวณที่ต้องใช้ ด้วยเหตุนี้ CFD จึงนิยมใช้เป็นกระบวนการในการปรับปรุงประสิทธิภาพของปั๊มน้ำในระดับรายละเอียด (optimization) ซึ่งมีข้อมูลขั้นต้น เช่นขนาดใบพัด ชนิดใบพัด รอบการทำงาน อัตราการไหล และเฮดน้ำเป้าหมาย ที่ได้จากกระบวนการออกแบบ เบื้องต้น (preliminary design) มาแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



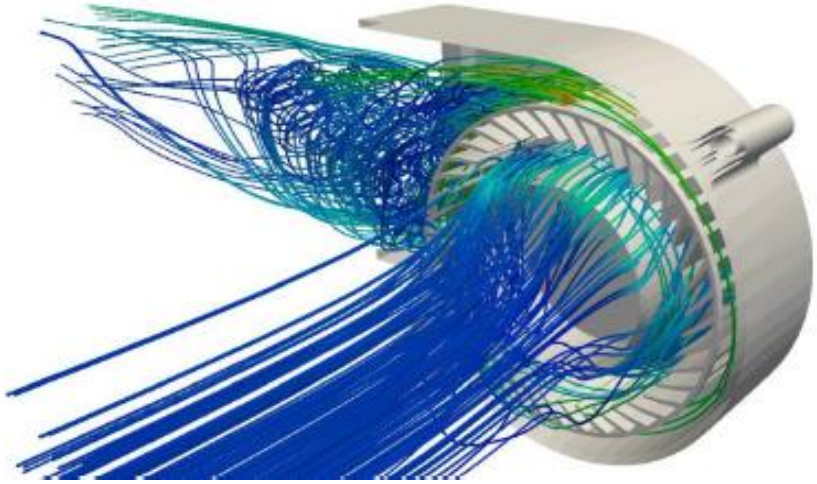
(ก) แสดงการประยุกต์ใช้สมการออยเลอร์ของการไหลภายในช่องทางครีบใบพัด



(ข) แสดงการวิเคราะห์สามเหลี่ยมความเร็วของการไหลภายในช่องทางครีบใบพัด

รูปที่ 2.15 แสดงการวิเคราะห์แบบ Mean line design ที่ใช้ในกระบวนการออกแบบเบื้องต้นของ Turbo machinery [7]

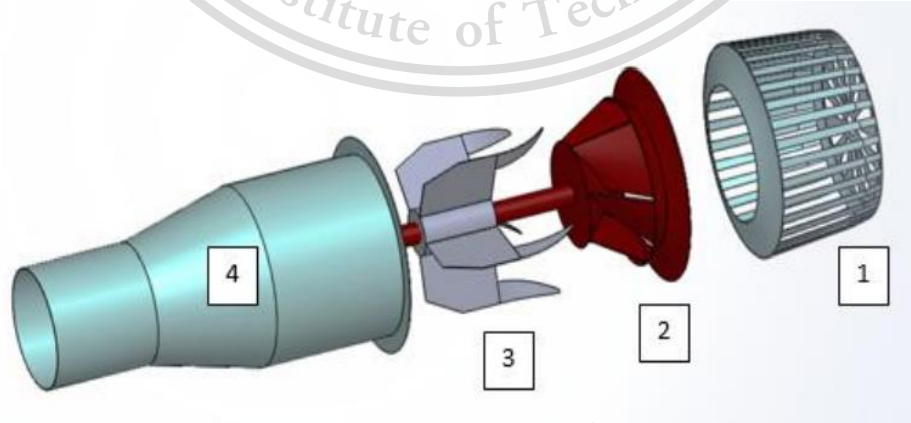
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.16 แสดงการวิเคราะห์แบบ CFD ที่นิยมใช้ในกระบวนการปรับปรุงในระดับรายละเอียดของ Turbo machinery [2]

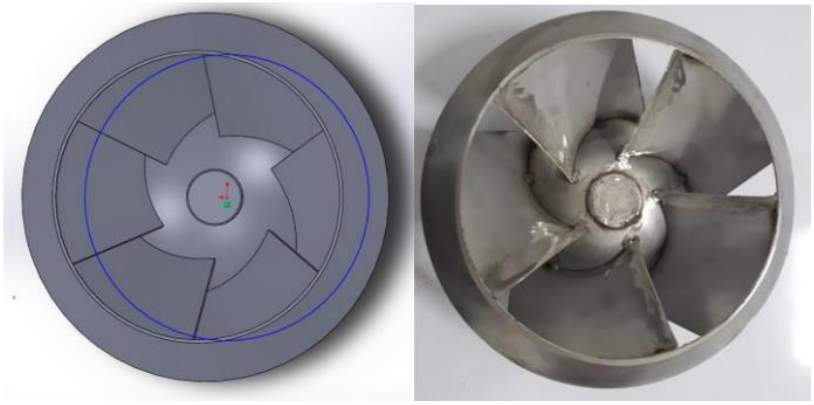
2.5 การตรวจสอบแบบจำลอง CFD

การปรับปรุงประสิทธิภาพโดยใช้การทดสอบจริงร่วมกับการจำลองการไหลด้วยกระบวนการ CFD นั้น ขั้นตอนแรกจะเริ่มโดยการตรวจสอบแบบจำลอง CFD ที่ได้ ซึ่งจะเปรียบเทียบกับผลการทดสอบจริงที่ได้จากชุดทดสอบใบพัดว่ามีความสอดคล้องกันเพียงใด ซึ่งในขั้นตอนนี้ได้ทำการจำลองการไหลของใบพัดที่มีอยู่ และนำผลการทดสอบมาเปรียบเทียบกัน ขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง CFD โดยใช้โปรแกรม FLUENT ประกอบด้วย การสร้าง CAD ของส่วนประกอบต่างๆของปั๊มพญานาค ซึ่งได้แก่ 1.) ส่วนตะแกรงกรองวัตถุของแข็งบริเวณช่องทางดูด 2.) ใบพัดปั๊ม 3.) ครีบจัดเรียงกระแสน้ำ 4.) ท่อลำเลียงการไหล ดัง แสดงตามรูปภาพ ในส่วนใบพัดได้เลือกแบบของบริษัทหนึ่งในโครงการมาทำการจำลอง ในส่วนอื่นๆ ได้ยึดแบบรูปทรงและขนาดจากชุดทดสอบในหัวข้อก่อนหน้านี้



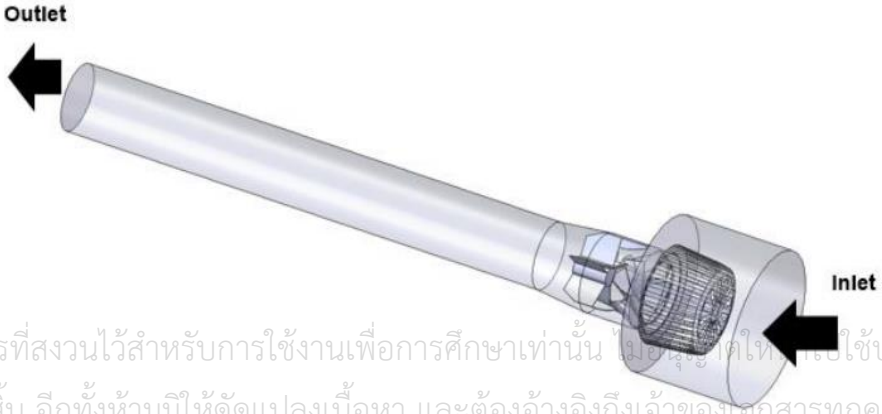
รูปที่ 2.17 แสดง CAD model ของส่วนประกอบต่างๆของเครื่องสูบน้ำพญานาค [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.18 แสดงรูปทรงใบพัดที่ใช้ในแบบจำลองการไหลกับใบพัดจริง [2]

จากนั้นนำส่วนต่างๆมาประกอบกันเป็นระบบปั๊มน้ำ ทำการจัดแต่งรูปทรงบริเวณซอกหลืบเล็กๆเพื่อเตรียมการระบุพื้นที่ของไหลและของแข็ง (fluid domain) และทำกระบวนการแบ่งพื้นที่ของไหลให้เป็นปริมาตรควบคุมขนาดเล็กทั้งหมด 8,000,000 ปริมาตรควบคุม หรือเรียกว่าการตีเมช จากนั้นนำไฟล์เข้าสู่โปรแกรม FLUENT และทำกระบวนการ Pre-processing ประกอบไปด้วยขั้นตอนระบุคุณสมบัติของของไหล ระบุเงื่อนไขขอบที่ทางเข้าและทางออก และระบุบริเวณที่มีการหมุนในตำแหน่งบริเวณใบพัด (Moving reference frame) และเงื่อนไขการลู่เข้าหาคำตอบ (convergence criteria) ซึ่งรายละเอียดขั้นตอนนี้แสดงในตารางที่ 2.8 จากนั้นจึงเริ่มกระบวนการคำนวณแบบทำซ้ำโดย FLUENT solver สำหรับโปรแกรม FLUENT ประกอบด้วยสองส่วนคือ 1.) ส่วนประมวลผล (solver) จะคำนวณค่าการกระจายความดันและความเร็วภายในสนามการไหล (fluid domain) การคำนวณจะทำการแก้สมการโมเมนตัม และสมการความต่อเนื่อง โดยการทำซ้ำจะดำเนินไปจนกว่าค่าส่วนเหลือโดยรวม มีค่าน้อยกว่า 10-4 จึงจะถือว่าค่าสนามความเร็วและความดันที่ได้เป็นคำตอบ และ 2.) ส่วนแสดงผล (post processing) จะแสดงผลคำตอบของสนามความเร็ว และความดันที่ได้จากส่วนของ solver โดยจะแสดงในรูปของ contour ภาพสี และสามารถเลือกแสดงผลในบริเวณพื้นที่หน้าตัดในบริเวณที่ต้องการได้



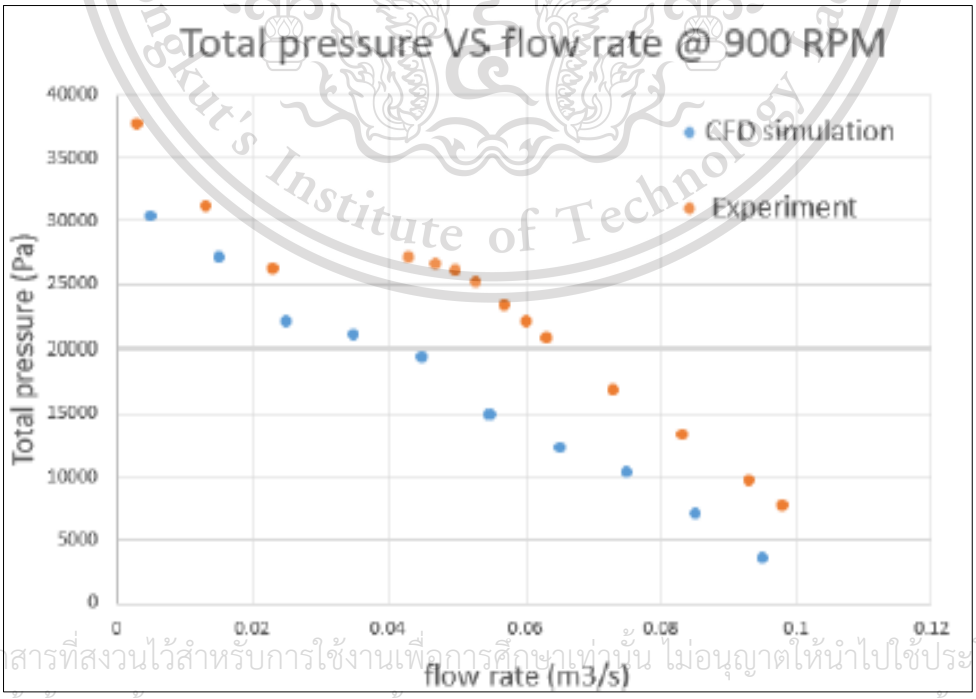
รูปที่ 2.19 แสดงโดเมนที่ใช้ในการจำลองการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational purposes and is not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 2.5 การระบุเงื่อนไขขอบและค่าต่างๆที่ใช้ในการจำลองการไหล [2]

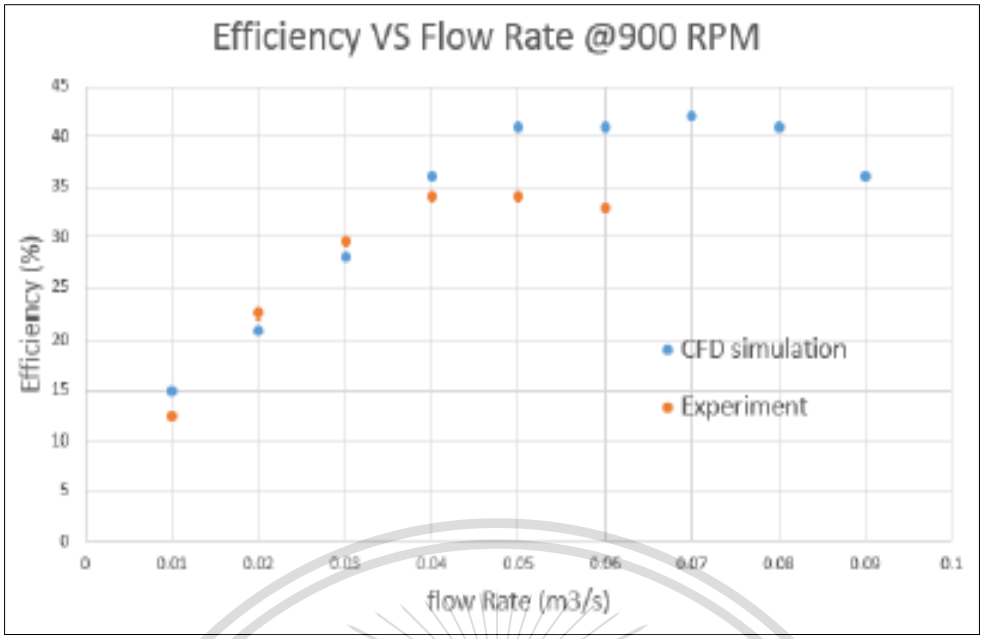
Analysis type	Steady State
Mesh	8,000,000 elements
Turbulence model	SST
Fluid domain	Water
Moving Reference Frame(MRF)	900 RPM
Inlet	Total pressure 1 atm
Outlet	Flow rate
Convergence residual	10^{-4}

การตรวจสอบแบบจำลองในโครงการนี้ทำโดยการเปรียบเทียบความถูกต้องระหว่างผลการทดสอบ และการจำลองของชุดใบจักรพญานาคของบริษัทหนึ่งที่ได้ร่วมโครงการ โดยการตรวจสอบระดับความถูกต้องของการจำลองจะทำโดยการเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบใบจักรที่สภาวะเดียวกัน โดยที่ค่าเปรียบเทียบได้แก่ เฮด และค่าประสิทธิภาพที่ทำได้ที่ท่อทางออก ที่รอบใบจักรคงที่ 900 รอบต่อนาที โดยที่แปรผันอัตราการไหลของน้ำตั้งแต่ 0 ถึง 0.1 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที



รูปที่ 2.20 แสดงค่าความดันจากแบบจำลองการไหลที่อัตราการไหลต่างๆเทียบกับผลการทดสอบ [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.21 แสดงค่าประสิทธิภาพเชิงพลังงานที่ได้จากแบบจำลองการไหลที่อัตราการไหลต่างๆเปรียบเทียบกับผลการทดสอบจริง [2]

จากผลการสอบเทียบแบบจำลองการไหลกับผลจากการทดลองที่อัตราการไหลต่างๆ ในรูปที่ 2.20 และรูปที่ 2.21 พบว่า แนวโน้มของค่าความดันสุทธิและค่าประสิทธิภาพที่ได้จากแบบจำลองการไหลที่อัตราการไหลต่างๆ มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับผลการทดสอบจริง โดยมีความแตกต่างกันโดยเฉลี่ยประมาณ 5% ผลจากแบบจำลองการไหลมีแนวโน้มที่จะให้ค่าความดันสุทธิที่ทางออกที่ต่ำกว่าผลการทดสอบ แต่กลับมีแนวโน้มที่จะให้ค่าประสิทธิภาพที่สูงกว่าผลการทดสอบจริง อันเนื่องมาจากแบบจำลองการไหลนั้นมีการทำนายค่าแรงบิดที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับผลจากการทดสอบจริง

2.6 แนวทางการวิเคราะห์และแปลผลการจำลอง CFD

ผลจากการทดสอบจริงมีข้อจำกัดที่ไม่สามารถเห็นรายละเอียดลักษณะการไหลภายในระบบได้ หรือหากทำได้ ก็ทำได้เพียงบางส่วน และต้องใช้เงินทุนและชุดทดสอบที่มีความยุ่งยากสูง ตัวอย่างเช่นการใช้เทคนิค PIV (Particle Image Velocimetry) เพื่อดูรายละเอียดสนามความเร็วของการไหล ชุดทดสอบปั๊มน้ำพญานาคในปัจจุบัน มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ข้อมูลเชิงประสิทธิภาพในหลากหลายช่วงการทำงานของแต่ละใบจักร ที่ทำงานบนครีบจัดเรียงกระแสน้ำและท่อลำเลียงการไหลแบบเดียวกัน

ในการวิเคราะห์สภาพการทำงานของใบจักรที่สภาวะการทำงานต่าง ๆ สามารถทำได้โดยใช้การจำลองการไหลที่ผ่านกระบวนการตรวจสอบกับผลการทดสอบที่สภาวะการทำงานต่าง ๆ แล้ว ซึ่งการจำลองสามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ให้ข้อมูลรายละเอียดภายในสนามการไหลโดยสมบูรณ์นอกเหนือจากข้อมูลประสิทธิภาพ และเฮดน้ำที่ได้จากชุดทดสอบจริง ทำให้สามารถวิเคราะห์การสูญเสียพลังงานในสนามการไหลได้

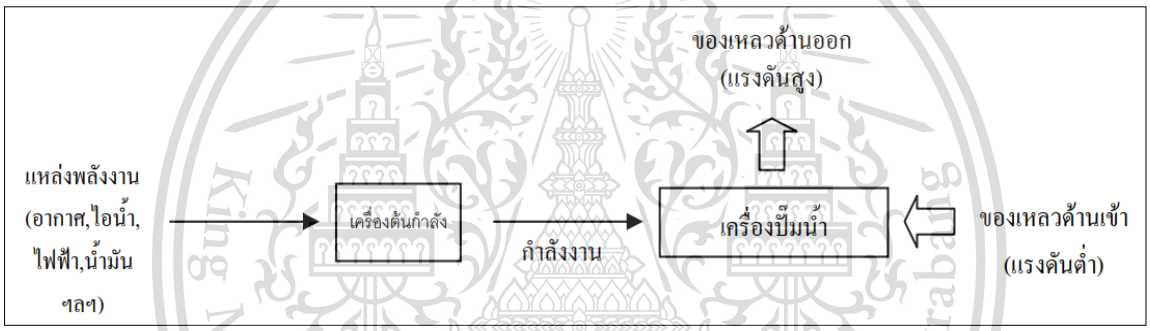
การวิเคราะห์การสูญเสียความดันสุทธิ (total pressure) ของการไหลในแต่ละส่วนจะทำให้ทราบถึงการสูญเสียเชิงปริมาณและสามารถหาแนวทางที่เหมาะสมการปรับปรุงประสิทธิภาพที่เงื่อนไขการทำงานต่างๆกันได้ การสูญเสียพลังงานหรือการสูญเสียความดันสุทธิ มีสาเหตุมาจากแรงเสียดทานภายในเนื้อของไหลซึ่งมีที่มาจากความแตกต่างของขนาดความเร็วในบริเวณต่างๆของช่องการไหล หรือเรียกว่าเกรเดียนท์ความเร็ว โดยเกรเดียนท์ความเร็วที่สูงนั้น นอกจากทำให้เกิดแรงเสียดทานที่สูงแล้วยังมีอัตราการก่อกำเนิดของการไหลแบบปั่นป่วนเพิ่มอีกด้วย ซึ่งลักษณะการไหลที่มีแรงเสียดทานสูง หรือเกรเดียนท์ความเร็วสูง โดยเฉพาะในเครื่องสูบน้ำ ยกตัวอย่างเช่น การไหลที่มีการหมุนควง (secondary flow / swirl flow), การไหลที่มีการหมุนวน (recirculation flow) , การไหลที่มีความแตกต่างของความเร็วสูง (Jet-wake structure) ในการออกมาตรการการปรับปรุงประสิทธิภาพ เราจะใช้การวิเคราะห์ลักษณะการไหลในรายละเอียดซึ่งได้จากการจำลองโดยโปรแกรม FLUENT ดังที่กล่าวนำมาข้างต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3
ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่เกี่ยวข้อง

3.1 คำจำกัดความของเครื่องสูบน้ำ

เครื่องสูบน้ำ (Pump) เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยเพิ่มพลังงานให้แก่ของไหล โดยการส่งผ่านพลังงานจากแหล่งกำเนิดพลังงานไปยังของไหล จากจุดที่ความดันเฮดต่ำ ผ่านไปตามระบบท่อด้วยความดันเฮดที่สูงกว่าเดิม เพื่อทำให้ของเหลวเคลื่อนที่จากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่งในระยะทางที่ไกลออกไป หรือตำแหน่งที่อยู่สูงกว่าได้ โดยใช้ใบจักรในการทำหน้าที่ส่งผ่านพลังงานให้แก่ของไหล เพื่อให้ของไหลมีพลังงานที่ใช้ขับเคลื่อนตัวเอง ซึ่งสามารถเอาชนะความต้านทานการไหลภายในระบบได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงพลังงานจากแหล่งกำเนิดไปเป็นการเพิ่มความดันให้แก่ของไหล [8]

3.2 ตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการวิเคราะห์เครื่องสูบน้ำ

3.2.1 ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำ (Pump performance)

การออกแบบเครื่องสูบน้ำพญานาคเพื่อให้ทำงานได้โดยเกิดประโยชน์สูงสุด ต้องพิจารณาถึงกำลังงานและประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำ กำลังงานที่ใช้ในการขับเครื่องสูบจะต้องได้จากการพิจารณาด้านพลศาสตร์ของไหล และพลังงานที่สูญเสียไปจากการไหลของของไหลในระบบ โดยค่าประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.1

$$\eta = \frac{P_{output}}{P_{input}} \tag{3.1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

งานที่กระทำโดยเครื่องสูบน้ำเป็นฟังก์ชันของเฮดความดันรวม (Total Head) และน้ำหนักของของไหลที่ถูกสูบ ก็คือ กำลังงานที่ป้อนให้กับของไหล จะเป็นกำลังที่ใช้ในการผลักดันของไหล เรียกว่า Power Output สามารถหาได้ดังสมการที่ 3.2

$$P_{output} = \rho \times g \times Q \times Hp \tag{3.2}$$

ในการทำงานของเครื่องสูบน้ำจะต้องใช้แหล่งต้นกำลังจากภายนอก เช่น มอเตอร์ไฟฟ้าหรือเครื่องยนต์ ซึ่งกำลังงานของต้นกำลังได้จาก Power Input ของมอเตอร์ที่ขับเครื่องสูบน้ำ โดยหาได้จากสมการ 3.3

$$P_{input} = T_{shaft} \times \omega \tag{3.3}$$

3.2.2 สัมประสิทธิ์ของการไหล (Flow coefficient)

เป็นค่าคงที่ของการไหลที่ใช้สำหรับใบพัดในทุกชนิด ซึ่งอธิบายถึงอัตราการไหลของของไหลเมื่อออกจากเครื่องสูบน้ำที่มีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหล (Q) แบบไร้หน่วย เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบสำหรับเครื่องสูบน้ำประเภทอื่นได้ แสดงดังสมการที่ 3.4 เมื่อ N, D เป็นค่าคงที่ และ B เป็นจำนวนใบพัด

$$\pi_Q = \frac{Q}{(ND^3)/B^{0.5}} \tag{3.4}$$

3.2.3 สัมประสิทธิ์ของเฮด (Head coefficient)

เฮด คือ ความดันของไหล ณ จุดใดจุดหนึ่ง เป็นเทอมซึ่งแสดงในรูปความสูง เมื่อนำมาใช้กับระบบเครื่องสูบน้ำเราเรียกว่าเฮดของเครื่องสูบน้ำ (Pump Head) ซึ่งเทอมของเฮด หมายถึงผลต่างของระดับทางด้านดูด (Suction Level) กับ ระดับทางด้านปล่อย (Discharge Level) ของของเหลวในขณะที่เครื่องสูบน้ำกำลังทำงาน ซึ่งค่า Head coefficient สามารถหาได้จากสมการที่ 3.5 เมื่อ B เป็นจำนวนใบพัด

$$\pi_H = \frac{gH}{(ND)^2/B} \tag{3.5}$$

3.2.4 สัมประสิทธิ์ของกำลัง (Power coefficient)

ค่าที่แสดงถึงกำลังที่เครื่องสูบน้ำต้องการใช้งาน ซึ่งแสดงได้ในรูปแบบของตัวแปรไร้หน่วย ตามสมการที่ 3.6 โดยสามารถนำไปใช้เปรียบเทียบกับเครื่องสูบน้ำประเภทอื่นได้ เมื่อตัวแปร N และ D เป็นค่าคงที่ และตัวแปร B เป็นจำนวนใบพัด

$$\pi_P = \frac{Ps}{\rho N^3 D^5/B^{1.5}} \tag{3.6}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2.5 ความเร็วจำเพาะ (Specific speed)

ค่าความเร็วจำเพาะของใบพัด คือ ค่าแสดงถึงประเภทของใบพัด โดยสามารถคำนวณได้ในจุดที่มีประสิทธิภาพสูงสุด (BEP) เท่านั้น เพื่อบ่งบอกถึงคุณลักษณะของใบพัด ว่าเป็นแบบ Centrifugal pump, Mixed-flow pump หรือ Axial flow pump โดยสามารถคำนวณได้ดังนี้

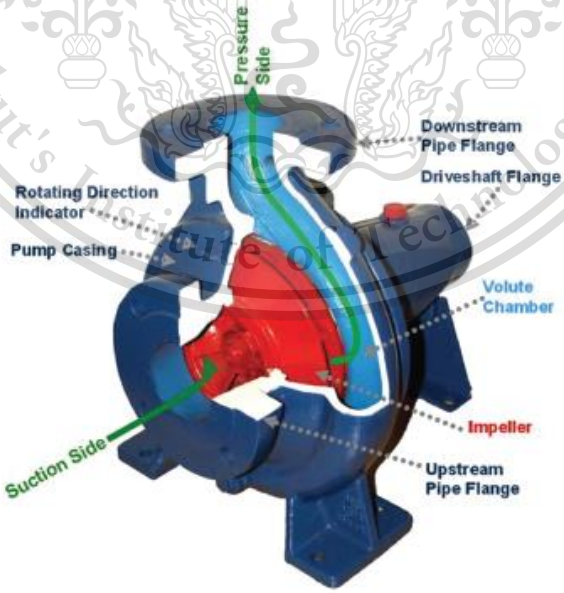
$$N_S = \frac{NQ^{0.5}}{(gH)^{0.75}} \tag{3.7}$$

3.3 การจำแนกประเภทเครื่องสูบน้ำกลุ่มไคเนติกส์ [8]

เครื่องสูบน้ำกลุ่มไคเนติกส์ (Kinetic) เป็นเครื่องสูบน้ำชนิดที่มีการถ่ายเทพลังงานอย่างต่อเนื่อง เพื่อเพิ่มความเร็ว ให้แก่ของไหลโดยการใช้ใบพัดที่หมุนด้วยความเร็วสูง ส่งถ่ายพลังงานเข้าสู่ของไหลโดยตรง ไม่มีการกักไว้ในชั่วขณะใดเลย โดยเครื่องสูบน้ำที่จัดอยู่ในประเภทนี้ได้แก่ ปั๊มแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Pump) ปั๊มแบบไหลตามแนวแกน (Axial Flow Pump) และปั๊มแบบไหลผสม (Mixed Flow Pump)

3.3.1 ปั๊มแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Pump)

ชิ้นส่วนที่หมุนอยู่ภายในเรือนปั๊มจะทำให้เกิดการขับดันของไหล ของไหลที่ถูกสูบจะไหลเข้าสู่ช่องทางเข้าซึ่งขนานกับพื้นระนาบ และถูกผลักดัน ออกไปตามแนวรัศมีของใบพัด ตั้งฉากกับเพลาดังรูปที่ 3.2

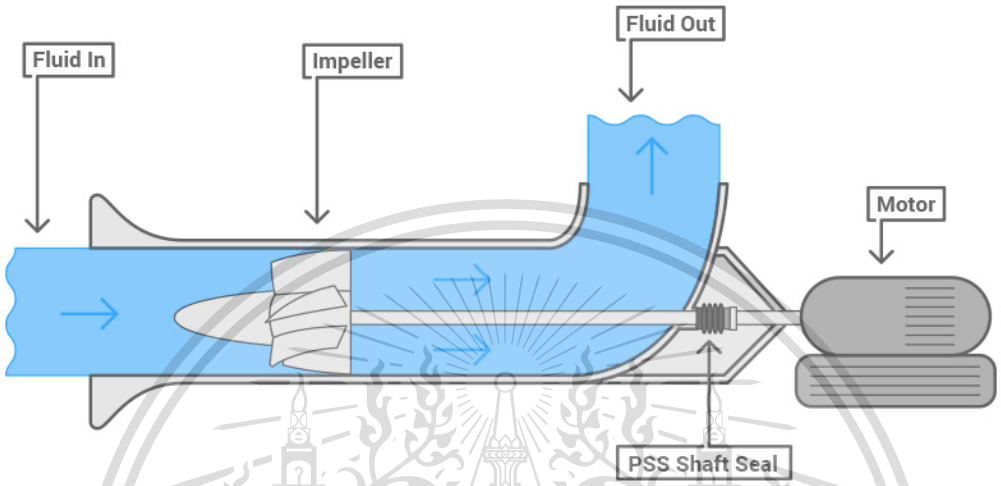


รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะการทำงานของ Centrifugal Pump [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3.2 ปั๊มแบบไหลตามแนวแกน (Axial Flow Pump)

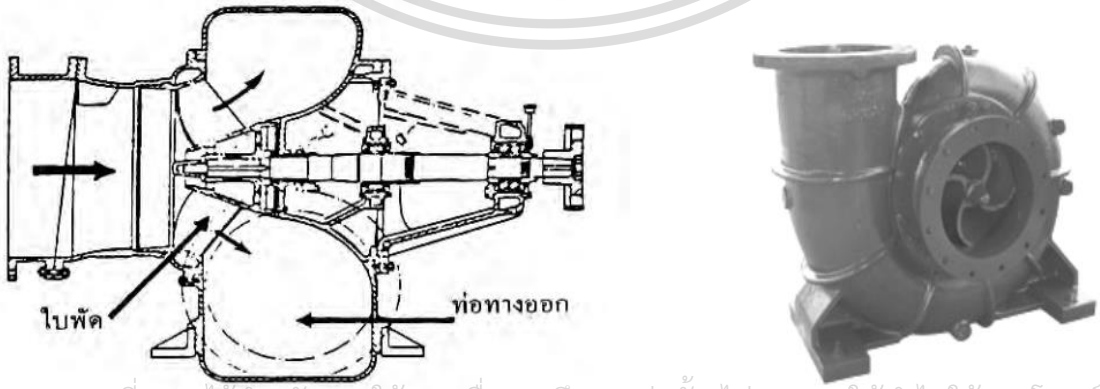
เครื่องสูบน้ำชนิดนี้ทำงานโดยการให้ของเหลวไหลเข้าและออกขนานกับเพลา ซึ่งสามารถใช้ได้กับของไหลที่มีสารแขวนลอยปะปนมาด้วย นิยมใช้มากในภาคการเกษตรและโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งต้องการเฮดความดันต่ำ ๆ แต่มีอัตราการไหลสูง แสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะการทำงานของ Axial Flow Pump [10]

3.3.3 ปั๊มแบบไหลผสม (Mixed Flow Pump)

ขับเคลื่อนของเหลวที่ไหลเข้ามาในทิศทางขนานกับเพลา และให้ไหลออกจากปั๊มโดยทำมุมกับเพลาตั้งแต่ 45 – 80 องศา การไหลทั้งในแนวแกนและในแนวรัศมีของใบพัดจะทำให้เกิดแรงในแนวรัศมีและแรงในแนวแกนขึ้น ช่วยในการขับดันของไหล แสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงลักษณะของ Mixed Flow Pump [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3.4 การจำแนกเครื่องสูบน้ำกลุ่มไคเนติกส์ด้วยค่าความเร็วจำเพาะ

ความเร็วจำเพาะเป็นสิ่งที่ขึ้นกับลักษณะของใบพัด จากสูตรจะเห็นได้ว่า เครื่องสูบน้ำที่มีอัตราไหลสูงและมีเฮดต่ำ เช่น Axial flow pump ค่า N_s จะมีค่ามากขึ้น และเครื่องสูบน้ำที่มีอัตราไหลต่ำและมีเฮดสูง เช่น Turbine pump ค่า N_s จะมีค่าน้อยลง ซึ่งจากรูปที่ 3.5 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของความเร็วจำเพาะกับลักษณะของใบพัด เมื่อเปลี่ยนความเร็วรอบของเครื่องสูบน้ำ ทั้งอัตราไหลและเฮดจะเปลี่ยนไปด้วย แต่ที่ N_s มีค่าคงที่ ความสัมพันธ์พื้นฐานของเครื่องสูบน้ำจึงมีความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

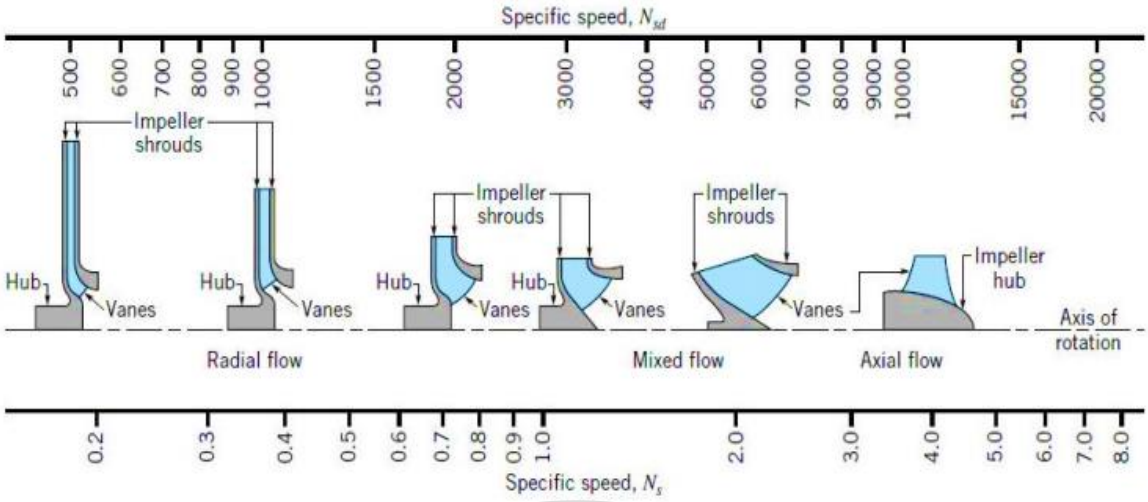
$$Q \propto N, \qquad H \propto N^2, \qquad P \propto N^3$$

การเลือกใช้งานเครื่องสูบน้ำให้ถูกต้องตามความเหมาะสม จะต้องมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับสมการหรือข้อจำกัดในการออกแบบ เช่น ลักษณะใบพัด ตัวเรือน รวมไปถึงพลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องสูบน้ำและตัวแปรอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เพราะลักษณะของใบพัดที่แตกต่างกัน ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องสูบน้ำมีความแตกต่างกันไปด้วย และจากตารางที่ 3.1 แสดงให้เห็นว่าความแตกต่างของใบพัดนั้นส่งผลโดยตรงต่อเฮดตามการใช้งาน

ตารางที่ 3.1 แสดงความสัมพันธ์ของลักษณะใบพัดกับความเร็วจำเพาะ (Specific speed) [6]

Type	N_s	Head (m)	
		Horizontal Mounting	Vertical Mounting
Radial flow	<1000	Single stage 10-150 Multi stage >50	Single stage 10-200 Multi stage >10
Mixed flow	4000-10000	4-15	Single stage 4-60 Multi stage >10
Axial flow	>10000	>6	<8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

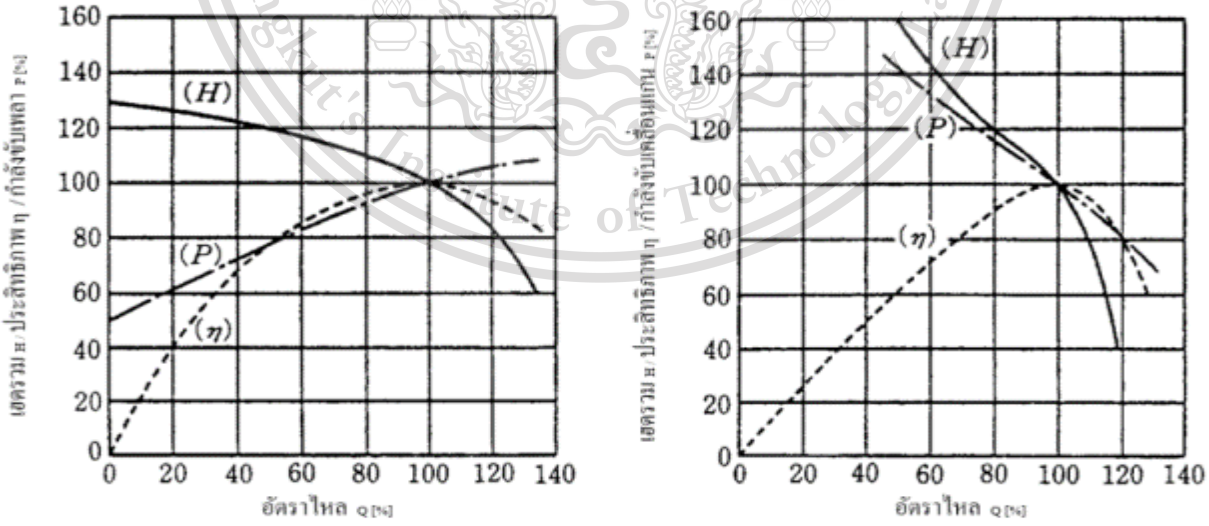


รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะของใบพัดกับความเร็วจำเพาะ [6]

3.4 คุณลักษณะของเครื่องสูบน้ำ (Pump characteristics)

3.4.1 คุณลักษณะพิเศษที่แตกต่างกันตามประเภทของเครื่องสูบน้ำ

คุณลักษณะพิเศษที่สำคัญซึ่งมีความแตกต่างกันของเครื่องสูบน้ำประเภท Centrifugal pump กับประเภท Axial flow pump สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.6



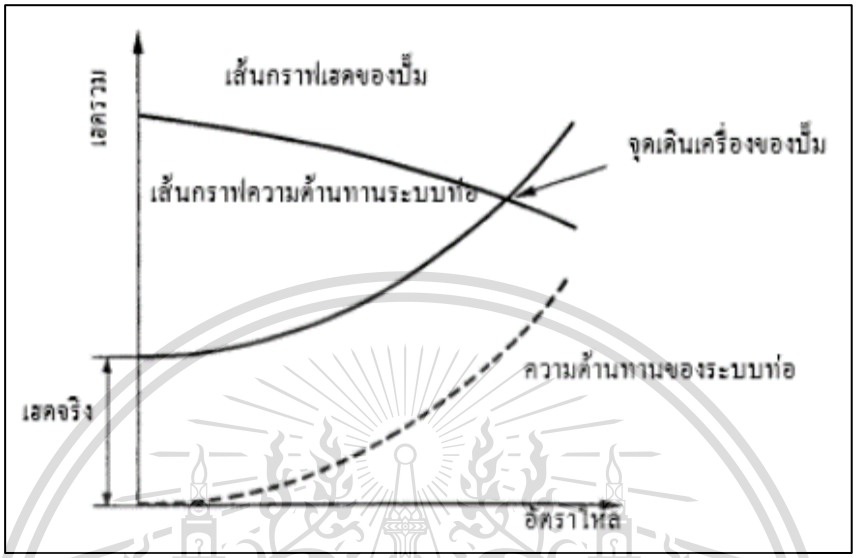
(ก) คุณลักษณะพิเศษของ Centrifugal pump **(ข)** คุณลักษณะพิเศษของ Axial flow pump

รูปที่ 3.6 แสดงคุณลักษณะพิเศษของเครื่องสูบน้ำ [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.4.2 จุดการเดินเครื่องของเครื่องสูบน้ำ

เมื่อคำนวณหา Total dynamic head ของระบบท่อน้ำและนำไปพลอตลงบนกราฟแสดงสมรรถนะเครื่องสูบน้ำ จะได้จุดการเดินเครื่องของเครื่องสูบน้ำ ซึ่งสามารแสดงได้ดังรูปที่ 3.7



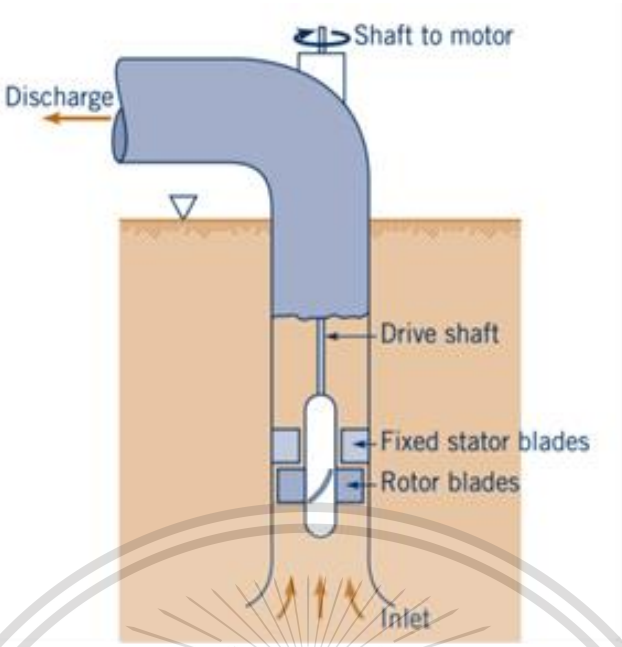
รูปที่ 3.7 แสดงจุดการเดินเครื่องของเครื่องสูบน้ำ [1]

3.5 คุณลักษณะของเครื่องสูบน้ำแบบไหลตามแนวแกน

ปั๊มแบบการไหลตามแนวแกน เป็นปั๊มที่มีจุดทำงานที่มีอัตราการไหลสูง แต่เฮดต่ำ โดยเมื่อแกนเพลาหมุนเพื่อส่งต่อพลังงานให้กับใบพัด ใบพัดทำจะทำหน้าที่ส่งต่อพลังงานไปสู่น้ำ เพื่อผลักดันน้ำให้มีความดันหรือมีการไหลด้วยความเร็ว โดยน้ำจะไหลที่บริเวณทางเข้าของปั๊มตามแนวแกนของปั๊มและไหลออกในทิศทางเดียวกัน โดยบริเวณหลังใบพัดจะมี Diffuser หรือ Guide vane เป็นตัวเปลี่ยนทิศทางการไหลของน้ำและเปลี่ยนความเร็วส่วนหนึ่งเป็นความดัน เพื่อลดการเกิดการหมุนวน ลดการสูญเสียพลังงาน

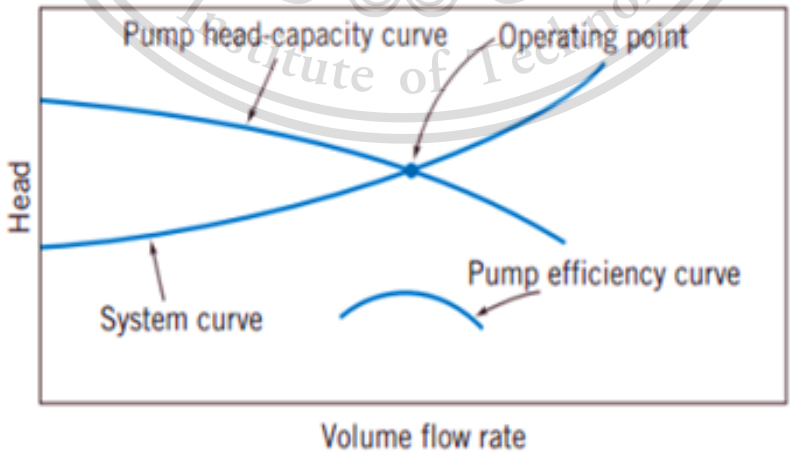
คุณลักษณะของปั๊มแบบการไหลตามแนวแกน (Axial flow pump) เฮดกับปริมาตรเชิงมวล จะมีความชันมากกว่าปั๊มชนิดแบบการไหลแบบผสม (Mixed-flow pump) โดยจะมีความต้องการใช้พลังงานสูง เพราะต้องใช้กำลังสูงในการดันน้ำออกที่ช่องทางออก ความเร็วจำเพาะของปั๊มอยู่ระหว่าง 2.5 - 6 โดยทั่วไปที่มีปริมาตรเชิงมวลในช่วง 150 – 1,500 m^3/h สำหรับการใช้งานในแนวดิ่ง มักจะมีเฮดอยู่ในช่วง 1.5 ถึง 3 เมตร เพราะฉะนั้นการเลือกใช้ปั๊มชนิดนี้จะเหมาะกับการใช้งานที่ต้องการอัตราการไหลเชิงมวลมากๆ เพื่อจะได้ประสิทธิภาพการทำงานสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.8 แสดงส่วนประกอบของปั๊มแบบการไหลตามแนวแกน [6]

กราฟเฮดของระบบ (System head curve) คือ กราฟซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลผ่านระบบ กับเฮด หรือพลังงานที่เครื่องสูบน้ำพญานาคจะต้องเพิ่มให้แก่ของเหลวเพื่อก่อให้เกิดการไหล ซึ่งประกอบไปด้วย เฮดสถิตย์ กับ เฮดที่สูญเสียภายในอุปกรณ์ในระบบท่อ เรียกว่า เฮดความฝืด ซึ่งกราฟเฮดของระบบกับอัตราการไหลเชิงมวล ช่วยให้สามารถเลือกใช้ปั๊มได้เหมาะสมกับจุดทำงานเพื่อจะได้มีประสิทธิภาพการทำงานสูงๆ ณ จุดที่ใช้ทำงานจริง



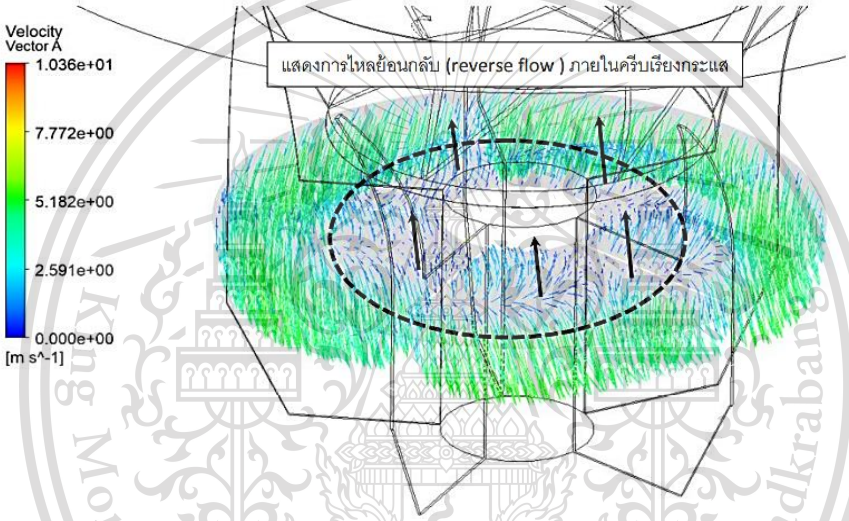
รูปที่ 3.9 แสดงคุณลักษณะของปั๊มแบบการไหลตามแนวแกน [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

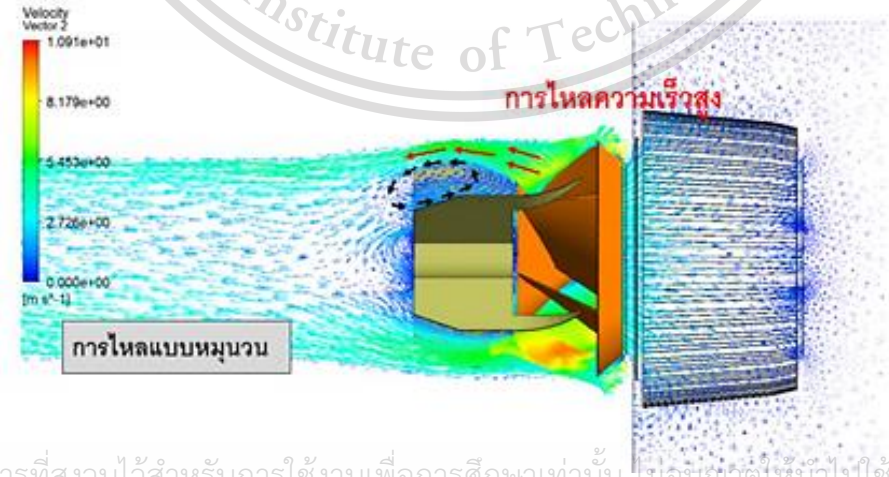
3.6 รูปแบบสนามการไหลโดยทั่วไปของเครื่องสูบน้ำพญานาคที่ใช้งานในประเทศไทย

3.6.1 การไหลแบบหมุนวน

การไหลแบบ Recirculation บริเวณถัดจากใบพัด อันเนื่องมาจากพื้นที่หน้าตัดการไหลมีขนาดใหญ่ขึ้นอย่างรวดเร็วหลังจากไหลออกจากใบพัด ดังแสดงในรูปที่ 3.10 และ 3.11 ซึ่งพบการไหลเฉือนระหว่างกระแสการไหลความเร็วสูงที่ออกมาจากด้านหลังใบพัด และกระแสการไหลวกกลับบริเวณหลังใบพัด ส่งผลให้เกิดการสูญเสียความดันสุทธิเนื่องจากแรงเสียดทานระหว่างเนื้อของไหลด้วยกัน นอกจากนั้น พื้นที่หน้าตัดการไหลบริเวณทางออกจากใบพัดมีขนาดใหญ่ทำให้แนวการไหลความเร็วสูงถูกเร่งความเร็วออกไปทางด้านข้างของช่องการไหล ส่งผลให้เกิดกระแสการไหลแบบ jet บริเวณรอบนอกของช่องทาง



รูปที่ 3.10 แสดงการไหลแบบหมุนวน ภายในช่องการไหลบริเวณครีบจัดเรียงกระแสน้ำ [2]

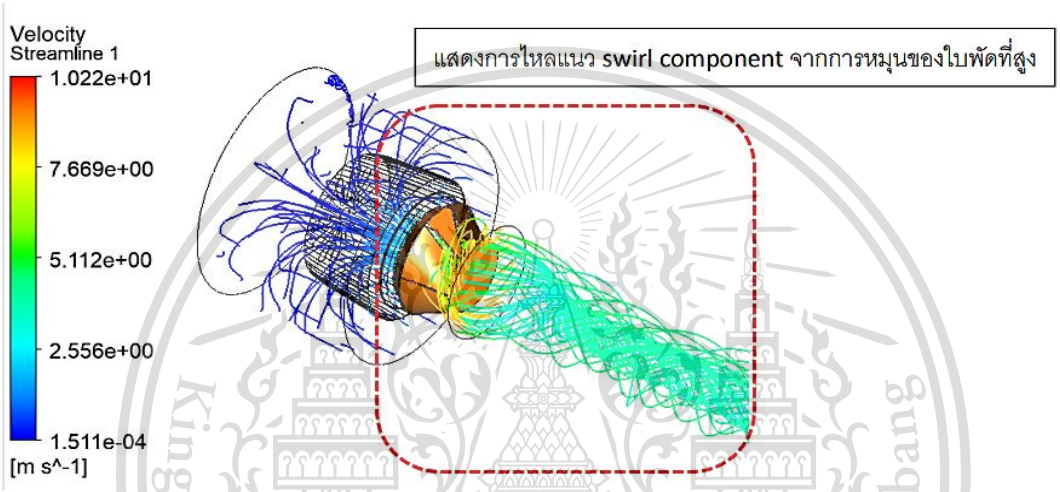


รูปที่ 3.11 แสดงแนวการไหลแบบหมุนวน (ลูกศรสีดำ) และแนวการไหลความเร็วสูงที่ไหลออกจากใบพัด (ลูกศรสีแดง) [2]

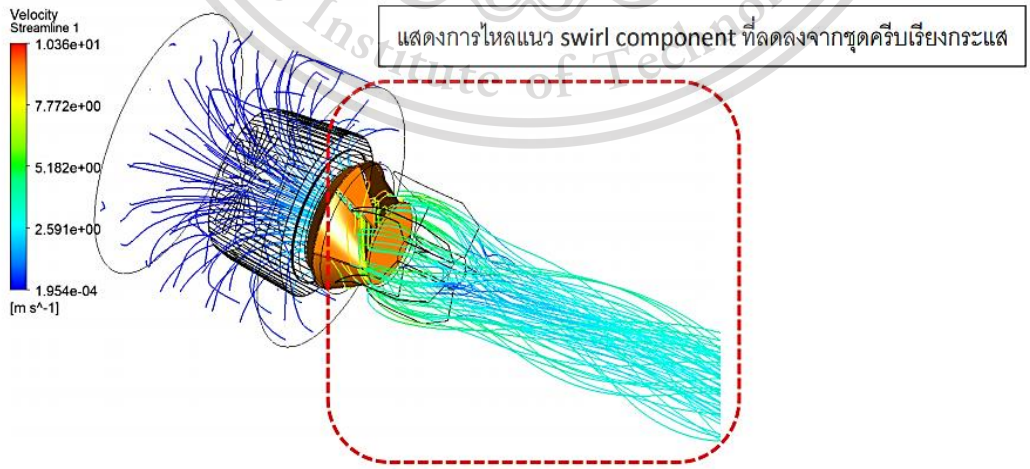
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.6.2 การไหลแบบหมุนควง

การไหลแบบหมุนควง (swirl flow) บริเวณครีบเรียงกระแสด้านหลังใบพัดดังแสดงในรูปที่ 3.13 เนื่องจากครีบจัดเรียงกระแสไม่ได้อยู่ในมุมเดียวกันกับน้ำที่ไหลออกมาจากใบพัด (impeller) จึงส่งผลให้กระแสน้ำมีการเปลี่ยนทิศทางกระทันหัน อีกทั้งจำนวนใบที่มีจำนวนน้อย (5 ใบ) และรูปทรงของครีบเรียงกระแสที่ไม่สอดคล้องต่อความเร็วและทิศทางการไหลที่มาจากใบพัดจึงทำให้พบการไหลแบบหมุนควง (swirl flow) และการไหลแบบหมุนวน (recirculation flow) ที่บริเวณครีบเรียงกระแส นอกจากนั้นยังพบการไหลแบบหมุนควงตลอดแนวท่อลำเลียงการไหล



รูปที่ 3.12 แสดงการไหลแบบหมุนควง (Swirl) จากการจำลองการไหลของใบพัดที่ไม่มีการติดตั้งครีบจัดเรียงกระแสน้ำ [2]



รูปที่ 3.13 แสดงการไหลแบบหมุนควง (Swirl) จากการจำลองการไหลของใบพัดที่มีการติดตั้งครีบจัดเรียงกระแสน้ำ [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.7 การปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องสูบน้ำพญานาค

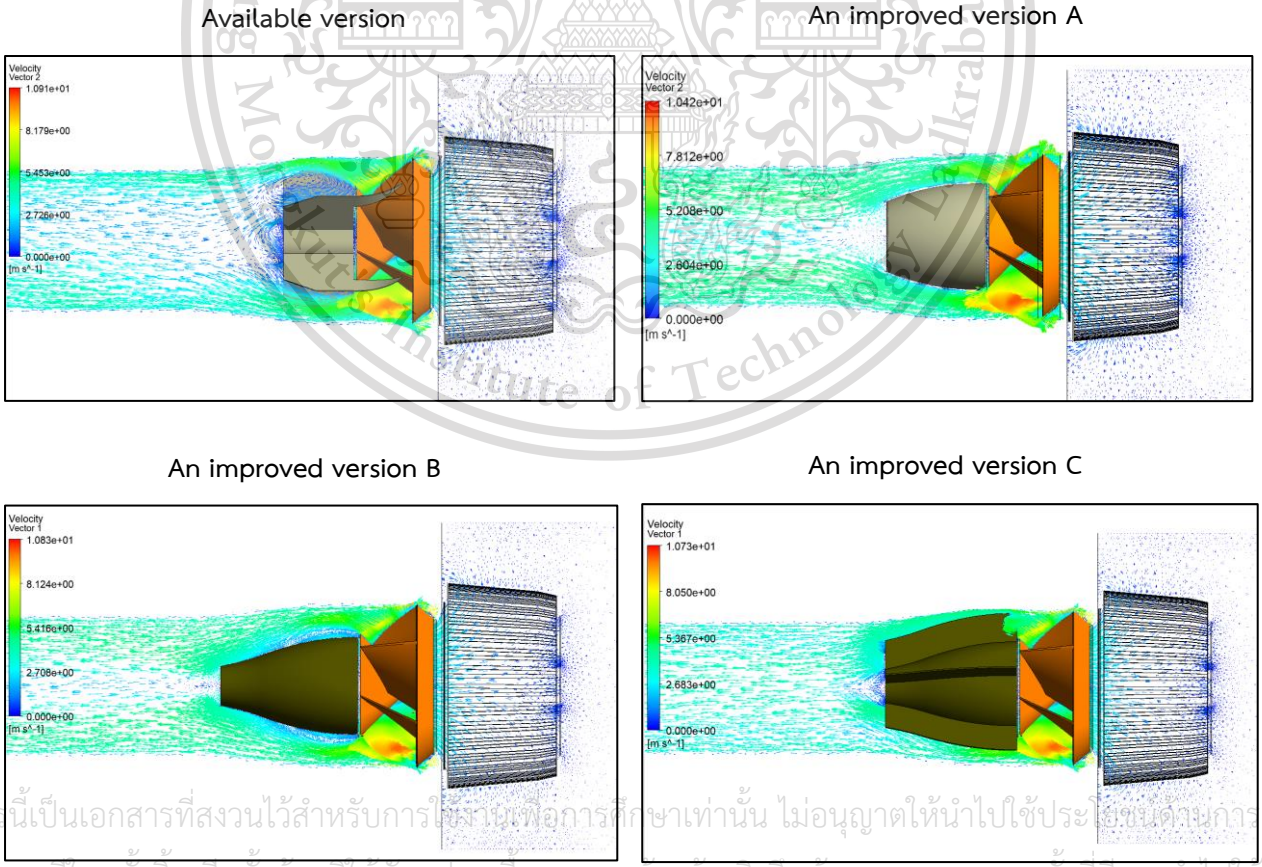
3.7.1 กระบวนการวิศวกรรมย้อนรอย (Reverse Engineering)

กระบวนการวิศวกรรมย้อนรอยมีประโยชน์อย่างมากต่อการวิเคราะห์และพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่ โดยเป็นกระบวนการสืบค้นและวิเคราะห์ความคิดของวิศวกรผู้ออกแบบผลิตภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพที่สูง ซึ่งมีอยู่แล้วในปัจจุบันหรือในอดีต เพราะการวิเคราะห์ความคิดของผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่แล้วจะช่วยให้การพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะคล้ายกัน เป็นไปอย่างมีทิศทางที่ถูกต้องมากขึ้น และสามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้สอดคล้องกับข้อจำกัดทางการตลาด งบประมาณ กระบวนการผลิต และเงื่อนไขปฏิบัติการที่เปลี่ยนไปได้โดยสามารถช่วยประหยัดงบประมาณ และเวลาที่ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ได้

3.7.2 แนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องสูบน้ำพญานาคที่ใช้งานในประเทศไทย [2]

แบ่งออกเป็น 6 แนวทางย่อยดังนี้คือ

1. ทำแนววัสดุทึบ (Bluff body) บริเวณด้านหลังใบพัดที่เกิดการไหลแบบหมุนวน ดังแสดงในรูปที่ 3.14 โดยแนวของวัสดุทึบนี้จะช่วยให้มีการขยายช่องทางการไหลอย่างช้าๆ ทำให้สายธารการไหลที่แกนกลางไม่ถูกชะลออย่างรวดเร็วเกินไปเนื่องจากจะก่อให้เกิดการไหลแยก (Separation) และการไหลแบบย้อนกลับในที่สุด



รูปที่ 3.14 แสดงรูปแบบวัสดุทึบที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อช่วยให้การไหลที่แกนกลางไม่ถูกชะลออย่างรวดเร็ว [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is copyrighted and is for educational purposes only. It is not allowed for any commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2. ปรับลดช่องพื้นที่การไหลของใบพัดให้แคบลง กรณีเป็นใบพัดแบบ mixed flow ช่องทางการไหลออกจากใบพัดจะทำมุมอยู่ระหว่างแนวแกนกับแนวรัศมีของใบพัด แนวการไหลจึงถูกเบี่ยงออกไปอยู่บริเวณขอบของช่องทางการไหล และเกิดการเร่งความเร็วการไหลในบริเวณนี้ (stream tube effect) การไหลความเร็วสูงมีแนวโน้มที่จะก่อให้เกิดการเสียความดันมากยิ่งขึ้นจากการไหลเฉือนที่รุนแรงขึ้น

3. ปรับมุมและรูปทรงของกลีบเรียงกระแสน้ำให้มีความเหมาะสมกับทิศทางของกระแสน้ำที่ไหลมาจากใบพัด

4. ปรับมุมทางเข้าทางออกของช่องทางใบพัดให้เหมาะสมกับเงื่อนไขการใช้งาน

5. ลดขนาดของช่องว่างระหว่างใบจักรและท่อการไหล (Tip clearance) เพราะช่องว่างนี้ทำให้เกิดการไหลย้อนกลับของมวลน้ำที่ส่งผลให้อัตราการไหลลดลง อีกทั้ง Jet low ที่ถูกเร่งจากความดันที่แตกต่างกันระหว่างหน้าและหลังใบพัดยังมีแนวโน้มที่จะก่อให้เกิดการเหนี่ยวนำการไหลแบบหมุนควงอีกด้วย อย่างไรก็ดีช่องว่างระหว่างตัวใบพัดและช่องทางการไหลจะขึ้นอยู่กับความแม่นยำของกระบวนการผลิตและกระบวนการประกอบชุดใบพัดเป็นสำคัญ

6. ปรับปรุงช่องทางการไหลบริเวณทางเข้าใบจักรของเครื่องสูบน้ำให้มีลักษณะเป็น Bell mount เพื่อลดลักษณะการไหลแบบแยก (separation flow)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4

วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 การใช้งานชุดทดสอบสมรรถนะเครื่องสูบน้ำพญานาค

4.1.1 ขั้นตอนการประกอบและการติดตั้งเครื่องสูบน้ำพญานาคเข้ากับชุดทดสอบสมรรถนะ

1. นำชุดเพลาและท่อด้านดูดของเครื่องสูบน้ำพญานาค ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ประกอบเข้าด้วยกัน โดยใส่ปะเก็นยางระหว่างหน้าแปลน แล้วยึดเข้าด้วยกันโดยใช้ Hex Bolts กับ Hex Nut ดังแสดงในรูปที่ 4.2

รูปที่ 4.1 แสดงชุดเพลาและท่อด้านดูดของเครื่องสูบน้ำพญานาค

รูปที่ 4.2 แสดงชุดประกอบของเพลากับท่อด้านดูดโดยใช้ Hex Bolts กับ Hex Nut

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2. ใส่ปะเก็นเข้ากับท่อด้านดูด ดังรูปที่ 4.3 และใส่ใบจักรเข้ากับชุดเพลาของเครื่องสูบน้ำ ดังรูปที่ 4.4

รูปที่ 4.3 แสดงการใส่ปะเก็นที่ท่อด้านดูด

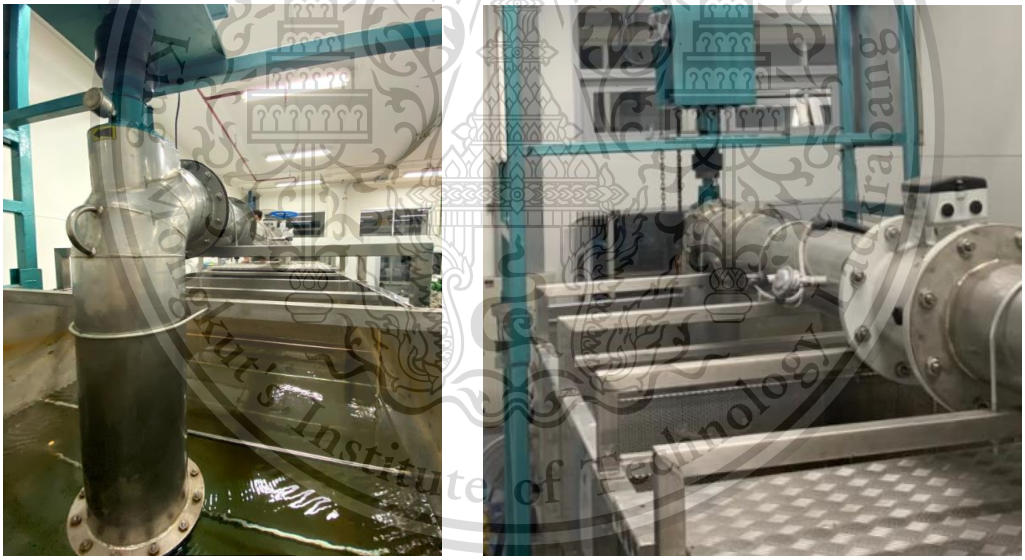
รูปที่ 4.4 แสดงการใส่ใบจักรเข้ากับชุดเพลา

3. นำชุดเครื่องสูบน้ำพญานาคที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์แล้วไปแขวนเข้ากับรอกทดกำลัง เพื่อช่วยในการดึงเครื่องสูบน้ำขึ้นไปติดตั้งเข้ากับชุดทดสอบมรรถณะ ดังแสดงในรูปที่ 4.5 แล้วทำการยึดหน้าแปลนของชุดทดสอบและเครื่องสูบน้ำเข้าด้วยกันโดยใช้ Hex Bolts กับ Hex Nut ดังแสดงในรูปที่ 4.6

รูปที่ 4.5 แสดงการนำเครื่องสูบน้ำพญานาคขึ้นไปติดตั้งเข้ากับชุดทดสอบสมรรถณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is restricted for educational use only. Not authorized for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 4.6 แสดงภาพขณะติดตั้งชุดเครื่องสูบน้ำพญานาคเข้ากับชุดทดสอบสมรรถณะ



รูปที่ 4.7 แสดงภาพหลังทำการติดตั้งชุดเครื่องสูบน้ำพญานาคเข้ากับชุดทดสอบสมรรถณะ

4.1.2 ขั้นตอนการทดสอบสมรรถณะของเครื่องสูบน้ำพญานาค

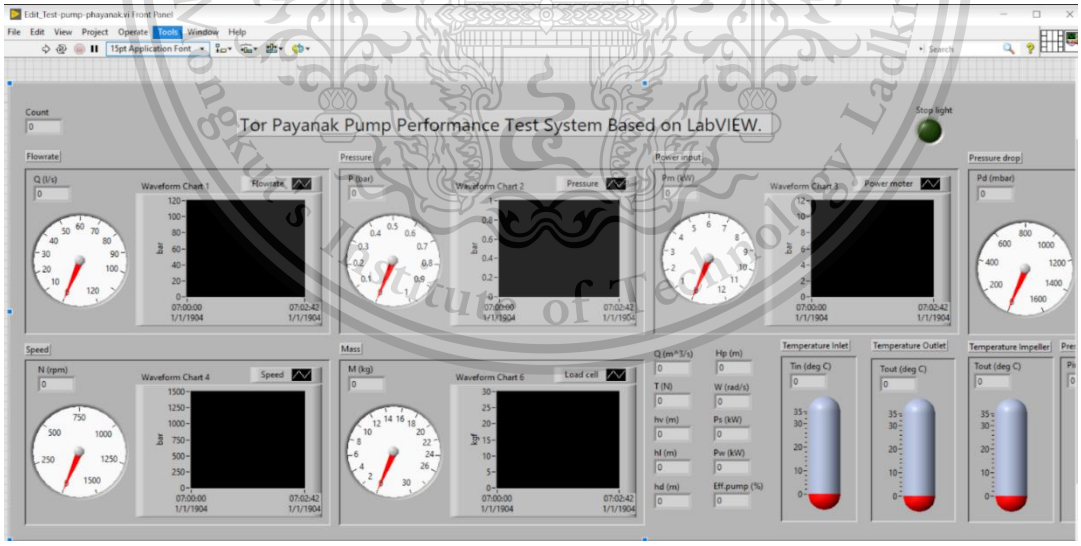
1. ตรวจสอบความเรียบร้อยของอุปกรณ์ในชุดทดสอบ ตู้ Inverter และปรับวาล์วให้อยู่ที่ตำแหน่งเปิดสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2. ปรับตั้งค่า Load ให้เป็น 0 N-M จากนั้นเริ่มเดินเครื่องชุดทดสอบ โดยกด Start และปรับเพิ่มรอบการหมุนของเพลาผ่านเครื่อง Inverter ดังแสดงในรูปที่ 4.8

รูปที่ 4.8 ภาพแสดงตู้ Inverter ที่ใช้สำหรับการเดินเครื่องชุดทดสอบและปรับรอบการหมุน

3. การทดสอบในครั้งแรก จะใช้รอบการหมุนเพลาที่ 1000 rpm โดยมีอัตราการไหลในกรณีที่วาล์วเปิดสุด จากนั้นรอให้ค่าอัตราการไหลนิ่งพอที่จะบันทึกผลการทดสอบได้ด้วยโปรแกรม LabVIEW ดังในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แสดงหน้า Interface ของโปรแกรม LabVIEW ขณะยังไม่เดินเครื่อง

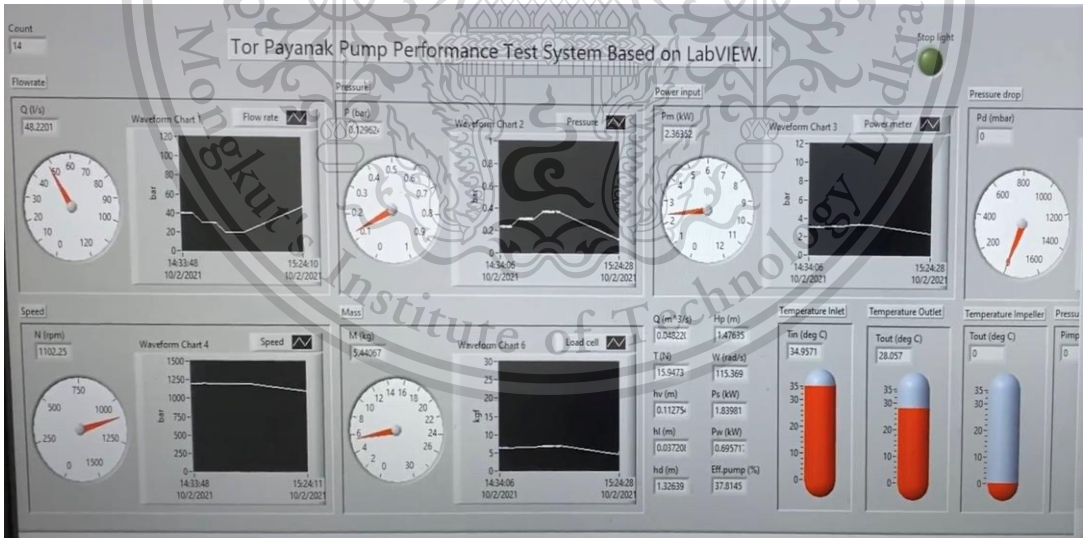
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4. ใช้วาล์ว ดังแสดงในรูปที่ 4.10 ปรับลดอัตราการไหลลงเรื่อย ๆ โดยใช้เวลา 5 นาทีต่อการหรี่วาล์วลง 1 ครั้ง เพื่อให้โปรแกรม LabVIEW ดำเนินการเก็บค่าอัตราการไหล ค่าภาระ ค่าความดัน ค่ากำลังไฟฟ้าของ Motor

และรอบการหมุนให้เสร็จสิ้น โดยการหรี่วาล์วแต่ละครั้ง ผู้ทำการทดสอบต้องรอให้ค่าอัตราการไหลนิ่งพอที่จะบันทึกผลได้ก่อน จึงจะเริ่มกดบันทึกผลด้วยโปรแกรม LabVIEW

รูปที่ 4.10 แสดงวาล์วที่ใช้ในการปรับอัตราการไหลของน้ำ

5. ดำเนินการดังเช่นข้อ 3 และ 4 ไปจนถึงค่าอัตราการไหลสุดท้ายที่ต้องการ และบันทึกผล



รูปที่ 4.11 แสดงหน้า Interface ของโปรแกรม LabVIEW ขณะทำการบันทึกผลการทดสอบ

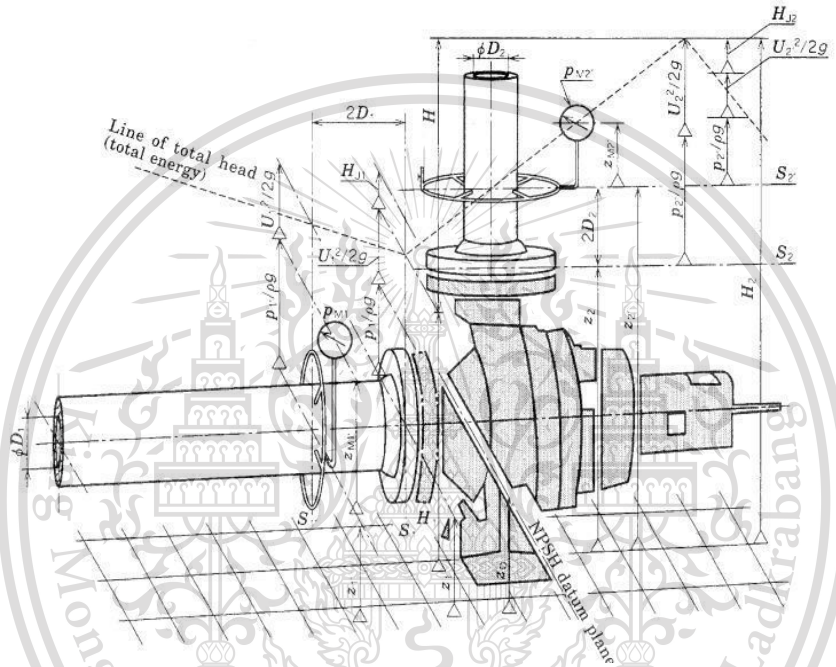
6. สำหรับการทดสอบครั้งถัดๆไป จะใช้รอบการหมุนที่ 1100 1200 1300 rpm ตามลำดับ และดำเนินการปรับวาล์ว รวมถึงบันทึกผลด้วยโปรแกรม LabVIEW ดังในข้อ 3-5 เช่นเดิม แต่ต้องสังเกตค่ากระแสไฟฟ้าที่จอแสดงผลบนเครื่อง Inverter ไม่ให้เกินค่า Limit ที่คู่มือกำหนดไว้ (14 A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This thesis is for non-commercial use only. Modification is not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.1.3 การวัดค่าตัวแปรที่สำคัญต่อการคำนวณหาประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องสูบน้ำ

การวัดเฮดของเครื่องสูบน้ำ

การทดสอบเครื่องสูบน้ำตามมาตรฐานในการวัดเฮดของเครื่องสูบน้ำ เพื่อให้ผลที่ได้ถูกต้องและแม่นยำในการวัด จำเป็นต้องการมีการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการอ่านและเก็บข้อมูล ซึ่งการวัดเฮดของเครื่องสูบน้ำจะติดตั้ง Pressure gauge ตามแสดงดังรูป



รูปที่ 4.12 แสดงตำแหน่งในการติดตั้ง Pressure gauge สำหรับ Centrifugal pump [5]

โดยเครื่องมือที่ใช้วัดเฮดของเครื่องสูบน้ำ มีดังนี้

1) เครื่องมือวัดความดันชนิด Liquid column

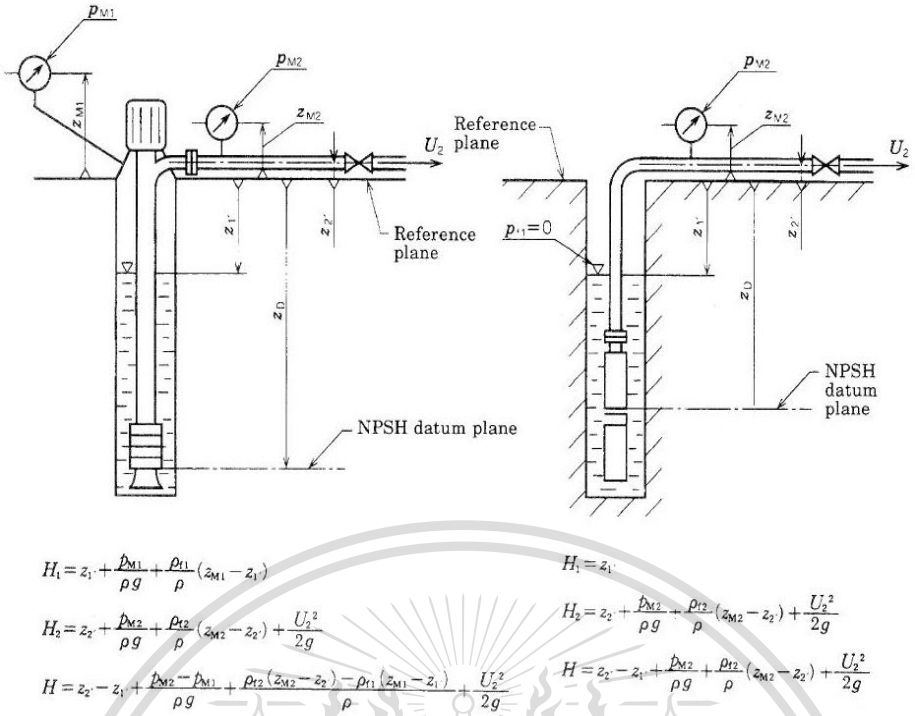
2) เครื่องมือวัดแบบหลอดแก้วรูปตัวยู (U tube)

3) เครื่องมือวัดแบบ Pressure transducers

4) เครื่องมือวัดความดันชนิด Dead-Weight

5) เครื่องมือวัดความดันชนิด Liquid column

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



$$H_1 = z_1 + \frac{p_{M1}}{\rho g} + \frac{\rho_{t1}}{\rho}(z_{M1} - z_1)$$

$$H_2 = z_2 + \frac{p_{M2}}{\rho g} + \frac{\rho_{t2}}{\rho}(z_{M2} - z_2) + \frac{U_2^2}{2g}$$

$$H = z_2 - z_1 + \frac{p_{M2} - p_{M1}}{\rho g} + \frac{\rho_{t2}(z_{M2} - z_2) - \rho_{t1}(z_{M1} - z_1)}{\rho} + \frac{U_2^2}{2g}$$

$$H_1 = z_1$$

$$H_2 = z_2 + \frac{p_{M2}}{\rho g} + \frac{\rho_{t2}}{\rho}(z_{M2} - z_2) + \frac{U_2^2}{2g}$$

$$H = z_2 - z_1 + \frac{p_{M2}}{\rho g} + \frac{\rho_{t2}}{\rho}(z_{M2} - z_2) + \frac{U_2^2}{2g}$$

รูปที่ 4.13 แสดงตำแหน่งของ Head สำหรับ Submerged pump [5]

การวัดอัตราการไหล

1) อัตราการไหลจะมีการวัดตามมาตรฐาน JIS B 8302 หรือ Annex L มาตรฐานที่นำไปปรับใช้ได้คือ JIS B 7554 Electromagnetic flowmeters และ JIS Z 8764 วิธีวัดการไหลด้วย Electromagnetic flowmeters

2) การจำแนกประเภทของการวัดด้วย Float type area flowmeters, Electromagnetic flowmeters, และ Turbine flowmeters

การวัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องสูบน้ำ

กำลังไฟฟ้าของเครื่องสูบน้ำสามารถหาได้จากการใช้เครื่องมือวัดที่สามารถบอกขนาดกำลังไฟฟ้า โดยสำหรับการวัดแรงบิด สามารถใช้เครื่องมือวัดค่าระหว่างเกียร์และมอเตอร์ ซึ่งวิธีการที่จะพิจารณาการสูญเสียเนื่องจากเกียร์ทดรอบเริ่มมีการสัมผัส โดยนำข้อมูลมาตรฐาน ISO 5198 มาใช้

การวัดแรงบิด

ค่าแรงบิดหาได้ Load cell โดยสามารถเลือกใช้ได้ตามความต้องการ ทั้งนี้ แรงบิดและความเร็วรอบอาจมีการวัดอย่างจำกัดในบางพื้นที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การวัดกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์

มอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพ จะมีการกำหนดมาตรฐานตามคำแนะนำของ JIS C 4207 (IEC 60034-2) และเป็นตามที่ผู้ประกอบการของมอเตอร์ได้จัดทำไว้

1) กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ A.C. สามารถเลือกใช้ 2 Watt Meter หรือ 3 Watt Meter ก็ได้ สามารถใช้ได้กับไฟฟ้า 1 เฟส 2 เฟส และ 3 เฟส รวมถึงสามารถใช้ Watt Hour Meters ในการวัด

2) กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ D.C. โดยใช้ Amp meter และ Volt Meter หรือสามารถเลือกใช้ Watt Meter ชนิดหรือประเภทของความถูกต้องและแม่นยำของอุปกรณ์สำหรับการวัดกำลังไฟฟ้าจะต้องเป็นไปตามมาตรฐาน JIS C 1102 (IEC 60051)

4.2 หลักการคำนวณหาตัวแปรที่สำคัญของเครื่องสูบน้ำ

4.2.1 การคำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพญานาค

ก่อนที่จะสามารถคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำได้นั้น จำเป็นต้องมีข้อมูลตัวแปรที่สำคัญต่างๆ ซึ่งจะได้จากการบันทึกค่าขณะทำการทดสอบจริง ดังแสดงในตารางที่ 4.1 อาทิเช่น ค่าอัตราการไหลของของไหล จำเป็นต้องใช้ในการคำนวณหาค่าความเร็วของของไหล และกำลังที่ใบจักรส่งให้กับของไหล เป็นต้น

ตารางที่ 4.1 แสดงตัวอย่างผลการทดสอบที่ความเร็วรอบ 1,000 rpm จากข้อมูล 300 ค่า

Test No.	N (rpm)	Q (m^3/s)	Load cell (kg)	Pressure (bar)	P_m (kW)
1	998.83	0.0495	6.5534	0.1365	2.8444
2	1000.539	0.0451	6.1453	0.1616	2.8605
3	1000.498	0.0395	6.1082	0.1938	2.8637
4	1000.329	0.0351	6.2896	0.2184	2.8895
5	1000.335	0.0300	6.5249	0.2488	2.8870
6	998.473	0.0249	6.9996	0.2892	2.9872
7	1001.162	0.0201	7.2230	0.3435	3.2234
8	999.426	0.0152	7.4400	0.3942	3.4152
9	999.656	0.0103	8.1265	0.4500	3.6359
ค่าเฉลี่ย	999.916	0.0300	6.8234	0.2707	3.0674

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.2 แสดงข้อมูลเบื้องต้นของการทดสอบ

ข้อมูลเบื้องต้น	จำนวน	หน่วย
ความหนาแน่นของน้ำที่ 28°C	996.2	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
พื้นที่หน้าตัดของท่อ	0.0324	เมตร^2
ค่าแรงโน้มถ่วง	9.81	เมตรต่อวินาที^{2}
ระยะตั้งฉากจากจุดหมุนถึงแนวแรง	0.315	เมตร
สัมประสิทธิ์ข้องอ	0.15	-
สัมประสิทธิ์ทางเข้า	0.18	-

สมมุติฐาน : 1.สภาวะคงที่

2.ของไหลอัดตัวไม่ได้

การคำนวณหาความเร็วของน้ำ (Velocity of Water)

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{0.03\ m^3/s}{0.0324\ m^2}$$

$$V = 0.925\ m/s$$

การคำนวณเฮดเครื่องสูบน้ำ (Head pump)

Head Pump คำนวณได้จากสมการพลังงาน เมื่อ V1=0, Z1=0, Z2=0

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + H_p = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + H_{Loss}$$

$$H_p = \frac{(P_2 - P_1)}{\rho g} + \frac{(V_2^2 - V_1^2)}{2g} + (Z_2 - Z_1) + H_{Loss}$$

$$H_p = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + H_{Loss}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$\mathrm{H_p} = H_d + H_v + Z_2 + (Major\ Loss + Minor\ Loss)$$

$$\mathrm{H_p} = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + f\frac{LV_2^2}{2Dg} + \sum\frac{K_L V_2^2}{2g}$$

$$\mathrm{H_p} = \left(\frac{0.2707\times10^5\ Pa}{996.2\frac{kg}{m^3}\times9.81\frac{m}{s^2}}\right) + \left[\frac{(0.925\ m/s)^2}{2\times9.81\frac{m}{s^2}}\right] + 0.2032$$

$$+\left[(0.041)\left(\frac{2.032\ m}{0.2032\ m}\right)\left(\frac{(0.925\ m/s)^2}{2\times9.81\frac{m}{s^2}}\right)\right] + \left[(0.33)\left(\frac{(0.925\ m/s)^2}{2\times9.81\frac{m}{s^2}}\right)\right]$$

$$\mathrm{H_p} = 2.77 + 0.0436 + 0.2032 + 0.0179 + 0.0144 = 3.0491\ m$$

คำนวณหากำลังที่เพลามอเตอร์ส่งให้ใบจักร (Shaft Power)

$$\mathrm{P_s} = T \times \omega$$

$$\mathrm{P_s} = (F \times R) \times \omega$$

$$\mathrm{P_s} = \left(6.8234\ kg \times 9.81\frac{m}{s^2} \times 0.315\ m\right) \times \frac{2\pi\times(999.916)}{60}\frac{rad}{s}$$

$$\mathrm{P_s} = 2207.87\ W$$

คำนวณหาค่ากำลังที่ใบจักรส่งให้กับของไหล (Output Power)

$$\mathrm{P_W} = \rho g H_p Q$$

$$\mathrm{P_W} = \left(996.2\frac{kg}{m^3} \times 9.81\frac{m}{s^2} \times 3.0491\ m\right) \times 0.03\ m^3/s$$

$$\mathrm{P_W} = 893.94\ W$$

คำนวณหาค่าประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำ (Pump efficiency)

$$\eta_\mathrm{p} = \frac{P_W}{P_s}$$

$$\eta_\mathrm{p} = \frac{893.94\ \mathrm{W}}{2207.87\ \mathrm{W}}$$

$$\eta_\mathrm{p} = 0.4049\ (40.49\ \%)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2.2 การคำนวณหาความคลาดเคลื่อน

การคำนวณหาความคลาดเคลื่อนจะประกอบไปด้วย

1. Bias Error หรือ Systematic Error , (B_x) เป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้มาจากความละเอียดของเครื่องมือวัด ซึ่งจะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับชนิดและรุ่นของเครื่องมือวัด

2. Precision Error , (P_x) เป็นค่าความคลาดที่ได้มาจากการทดสอบหรือเก็บค่าซ้ำ จะต้องใช้ความรู้ทางด้าน Finite Statistic คือการใช้ ตาราง Student-t Distribution ในการคำนวณ โดยกำหนดให้มีเปอร์เซ็นต์ความเชื่อมั่นอยู่ที่ 95 % ซึ่ง Precision Error จะสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$P_x = t_{v,P}\, S_{\bar{X}}(P\%)$$

โดย $t_{v,P}$ สามารถหาได้จาก ตาราง Student-t Distribution ซึ่งจะมีค่าขึ้นอยู่กับ degree of freedom และ เปอร์เซ็นต์ความเชื่อมั่น (P%)

$S_{\bar{X}}$ คือ Standard deviation of the mean โดยที่ $S_{\bar{X}} = \frac{S_X}{\sqrt{n}}$

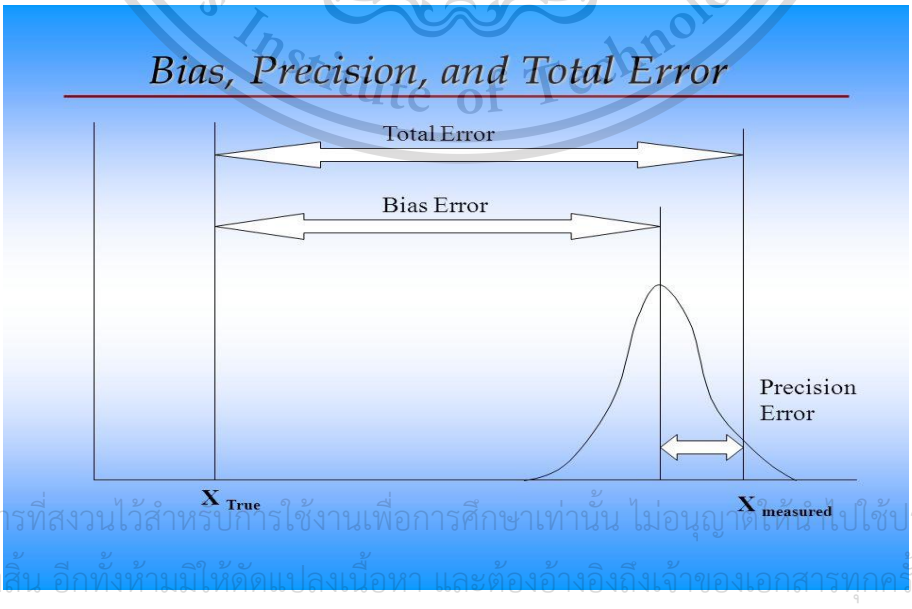
S_X คือ Standard deviation

3. Uncertainty หรือ Total Error , (U_x) คือผลรวมของ Bias Error และ Precision Error ซึ่งได้แก่...

3.1) $U_x = \sqrt{B_x^2 + P_x^2}$ สำหรับ Dependent Variable

3.2) $U_x = \sqrt{[(\frac{\partial f}{\partial x_1}\Delta x_1)^2 + (\frac{\partial f}{\partial x_2}\Delta x_2)^2 + \ldots + (\frac{\partial f}{\partial x_N}\Delta x_N)^2]}$

สำหรับ Independent Variable



รูปที่ 4.14 แสดงถึงลักษณะของ Bias Error, Precision Error และ Total Error

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use. Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

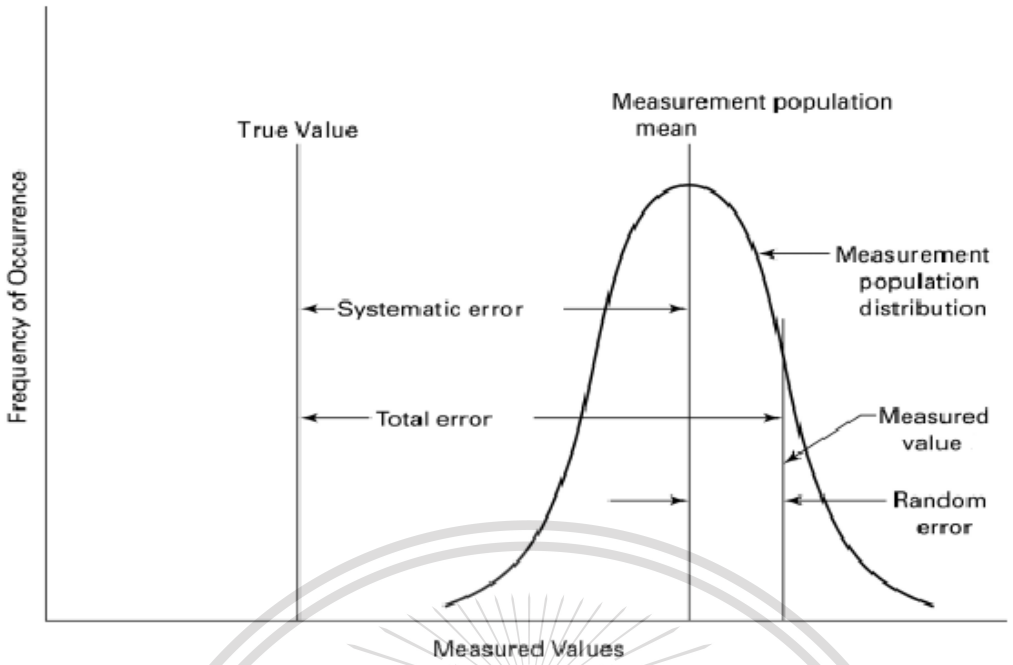
ตารางที่ 4.3 แสดงค่า Degrees of freedom for Student's t Distribution [9]

Critical Values for Student's *t* Distribution

one-tail area	0.250	0.125	0.100	0.075	0.050	0.025	0.010	0.005	0.0005
two-tail area	0.500	0.250	0.200	0.150	0.100	0.050	0.020	0.010	0.0010
d.f. \ *c*	0.500	0.750	0.800	0.850	0.900	0.950	0.980	0.990	0.999
1	1.000	2.414	3.078	4.165	6.314	12.706	31.821	63.657	636.619
2	0.816	1.604	1.886	2.282	2.920	4.303	6.965	9.925	31.599
3	0.765	1.423	1.638	1.924	2.353	3.182	4.541	5.841	12.924
4	0.741	1.344	1.533	1.778	2.132	2.776	3.747	4.604	8.610
5	0.727	1.301	1.476	1.699	2.015	2.571	3.365	4.032	6.869
6	0.718	1.273	1.440	1.650	1.943	2.447	3.143	3.707	5.959
7	0.711	1.254	1.415	1.617	1.895	2.365	2.998	3.499	5.408
8	0.706	1.240	1.397	1.592	1.860	2.306	2.896	3.355	5.041
9	0.703	1.230	1.383	1.574	1.833	2.262	2.821	3.250	4.781
10	0.700	1.221	1.372	1.559	1.812	2.228	2.764	3.169	4.587
11	0.697	1.214	1.363	1.548	1.796	2.201	2.718	3.106	4.437
12	0.695	1.209	1.356	1.538	1.782	2.179	2.681	3.055	4.318
13	0.694	1.204	1.350	1.530	1.771	2.160	2.650	3.012	4.221
14	0.692	1.200	1.345	1.523	1.761	2.145	2.624	2.977	4.140
15	0.691	1.197	1.341	1.517	1.753	2.131	2.602	2.947	4.073
16	0.690	1.194	1.337	1.512	1.746	2.120	2.583	2.921	4.015
17	0.689	1.191	1.333	1.508	1.740	2.110	2.567	2.898	3.965
18	0.688	1.189	1.330	1.504	1.734	2.101	2.552	2.878	3.922
19	0.688	1.187	1.328	1.500	1.729	2.093	2.539	2.861	3.883
20	0.687	1.185	1.325	1.497	1.725	2.086	2.528	2.845	3.850
21	0.686	1.183	1.323	1.494	1.721	2.080	2.518	2.831	3.819
22	0.686	1.182	1.321	1.492	1.717	2.074	2.508	2.819	3.792
23	0.685	1.180	1.319	1.489	1.714	2.069	2.500	2.807	3.768
24	0.685	1.179	1.318	1.487	1.711	2.064	2.492	2.797	3.745
25	0.684	1.198	1.316	1.485	1.708	2.060	2.485	2.787	3.725
26	0.684	1.177	1.315	1.483	1.706	2.056	2.479	2.779	3.707
27	0.684	1.176	1.314	1.482	1.703	2.052	2.473	2.771	3.690
28	0.683	1.175	1.313	1.480	1.701	2.048	2.467	2.763	3.674
29	0.683	1.174	1.311	1.479	1.699	2.045	2.462	2.756	3.659
30	0.683	1.173	1.310	1.477	1.697	2.042	2.457	2.750	3.646
35	0.682	1.170	1.306	1.472	1.690	2.030	2.438	2.724	3.591
40	0.681	1.167	1.303	1.468	1.684	2.021	2.423	2.704	3.551
45	0.680	1.165	1.301	1.465	1.679	2.014	2.412	2.690	3.520
50	0.679	1.164	1.299	1.462	1.676	2.009	2.403	2.678	3.496
60	0.679	1.162	1.296	1.458	1.671	2.000	2.390	2.660	3.460
70	0.678	1.160	1.294	1.456	1.667	1.994	2.381	2.648	3.435
80	0.678	1.159	1.292	1.453	1.664	1.990	2.374	2.639	3.416
100	0.677	1.157	1.290	1.451	1.660	1.984	2.364	2.626	3.390
500	0.675	1.152	1.283	1.442	1.648	1.965	2.334	2.586	3.310
1000	0.675	1.151	1.282	1.441	1.646	1.962	2.330	2.581	3.300
∞	0.674	1.150	1.282	1.440	1.645	1.960	2.326	2.576	3.291

For degrees of freedom *d.f.* not in the table, use the closest *d.f.* that is *smaller*.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Frequency of Occurrence กับ Measured Values ซึ่งแสดงลักษณะของ Bias Error, Precision Error และ Total Error

เมื่อ Degree of freedom เท่ากับ n-1 ซึ่งเท่ากับ 299 และกำหนดเปอร์เซ็นต์ความเชื่อมั่นอยู่ที่ 95 % พบว่า $t_{v,P}$ = 1.96804 ซึ่งหามาจากการ Interpolation และทางผู้จัดทำได้นำค่าเหล่านี้ที่ได้มาจากตาราง Student's-t Distribution ในการคำนวณหา Uncertainty ซึ่งจะแสดงในส่วนถัดไป

การแสดงตัวอย่างการคำนวณ Uncertainty ของชุดทดสอบประสิทธิภาพชุดใบจักรพญานาค ขณะทำการทดสอบชุดใบจักรพญานาค ชุดใหม่ ที่ความเร็วรอบ 1200 rpm จากจำนวนข้อมูลทั้งหมด 300 ค่า Degree of freedom มีค่าเท่ากับ 299 และเปอร์เซ็นต์ความเชื่อมั่นอยู่ที่ 95 %

ขั้นตอนที่ 1 คำนวณหาความคลาดเคลื่อนของแรงบิดของมอเตอร์

จากสมการ Uncertainty ของมวล (m) ซึ่งเป็น Dependent Variable

$$U_m = \sqrt{B_m^2 + P_m^2}$$

เมื่อ B_m เท่ากับ 0.0082 จากตารางการสอบเทียบเครื่องมือ อ้างอิงจากภาคผนวก ข

P_m เท่ากับ 0.0072476 จากการนำข้อมูลการทดสอบมาหาค่าความคลาดเคลื่อน โดยใช้ตาราง T-Student

พบว่า $t_{v,P}$ = 1.96804 และ ค่า Standard deviation of the mean = 0.00070633

$$U_m = \pm 0.0109439 \text{ Kg}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational purposes. It is not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากสมการ Uncertainty ของแรง (F) จาก Load cell

$$U_F = \sqrt{(\frac{\partial F}{\partial m} \cdot U_m)^2}$$

$$= \sqrt{(g \cdot U_m)^2}$$

$$= \sqrt{(9.81 \cdot 0.0109439)^2}$$

$$U_F = \pm 0.10735\ N$$

จากสมการ Uncertainty ของรัศมีของท่อ (R) โดยใช้เวอร์เนียรคาลิปเปอร์ในการวัด

$$U_R = \frac{Resolution}{2}$$

$$= \frac{0.001}{2}$$

$$U_R = \pm 0.0005\ m$$

จากสมการ Uncertainty ของแรงบิด

$$U_T = \sqrt{(\frac{\partial T}{\partial F} \cdot U_F)^2 + (\frac{\partial T}{\partial R} \cdot U_R)^2}$$

$$= \sqrt{(R \cdot U_F)^2 + (F \cdot U_R)^2}$$

$$= \sqrt{(0.315\ x\ 0.107359)^2 + (88.7789\ x\ 0.0005)^2}$$

$$U_T = \pm 0.055804\ N \cdot m$$

ขั้นตอนที่ 2 การคำนวณหาความคลาดเคลื่อนของความเร็วรอบของมอเตอร์

จากสมการ *Uncertainty* ของความเร็วรอบ (N)

$$U_N = \sqrt{B_N^2 + P_N^2}$$

เมื่อ B_N เท่ากับ 1 จากตารางการสอบเทียบเครื่องมือ อ้างอิงจากภาคผนวก ข

P_N เท่ากับ 0.058386 จากการนำข้อมูลการทดสอบมาหาค่าความคลาดเคลื่อน โดยใช้ตาราง T-Student

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

พบว่า $t_{v,P}$ = 1.96804 และ ค่า Standard deviation of the mean = 0.0296671

$$U_N = \sqrt{1^2 + 0.058386^2}$$

$$U_N = \pm 1.001703\ rpm$$

จากสมการ Uncertainty ของความเร็วเชิงมุม (ω)

$$U_\omega = \sqrt{(\frac{\partial \omega}{\partial N} \cdot U_N)^2}$$

$$= \sqrt{(\frac{2\pi}{60} \cdot U_N)^2}$$

$$= \sqrt{(\frac{2\pi}{60}\ x\ 1.001703)^2}$$

$$U_\omega = \pm 1.0489\ rad/s$$

ขั้นตอนที่ 3 การคำนวณหาความคลาดเคลื่อนของอัตราไหลของของไหล

จากสมการ Uncertainty ของอัตราการไหล (Q)

$$U_Q = \sqrt{B_Q^2 + P_Q^2}$$

เมื่อ B_Q เท่ากับ 0.0001 จากตารางการสอบเทียบเครื่องมือ อ้างอิงจากภาคผนวก ข

P_Q เท่ากับ 0.000010324 จากการนำข้อมูลการทดสอบมาหาค่าความคลาดเคลื่อนโดยใช้ตาราง T-Student

พบว่า $t_{v,P}$ = 1.96804 และ ค่า Standard deviation of the mean = 0.00524589

$$U_Q = \sqrt{0.0001^2 + 0.000010324^2}$$

$$U_Q = \pm 1.005315\ x\ 10^{-4} m^3/s$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ขั้นตอนที่ 4 การคำนวณหาความคลาดเคลื่อนของเฮดเครื่องสูบน้ำ

จากสมการ Uncertainty ของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (d) โดยใช้เวอร์เนียคาลิปเปอร์ในการวัด

$$U_d = \frac{Resolution}{2}$$

$$= \frac{0.001}{2}$$

$$U_d = \pm 0.0005\ m$$

จากสมการ Uncertainty ของพื้นที่หน้าตัดของท่อ (A)

$$U_A = \sqrt{(\frac{\partial A}{\partial d} \cdot U_d)^2}$$

$$= \sqrt{(\frac{\pi\ x\ d}{2} \cdot U_d)^2}$$

$$= \sqrt{(\frac{\pi\ x\ d}{2}\ x\ 0.0005)^2}$$

$$U_A = \pm 0.00016 m^2$$

จากสมการ Uncertainty ของความเร็วของของไหล (v)

$$U_V = \sqrt{(\frac{\partial V}{\partial Q} \cdot U_Q)^2 + (\frac{\partial V}{\partial A} \cdot U_A)^2}$$

$$= \sqrt{(\frac{1}{A} \cdot U_Q)^2 + (\frac{Q}{A^2} \cdot U_A)^2}$$

$$= \sqrt{(\frac{1}{0.0324}\ x\ 0.00010053)^2 + (\frac{0.0521}{0.0324^2}\ x\ 0.00015966)^2}$$

$$U_v = \pm 0.008491\ m/s$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากสมการ Uncertainty ของ Velocity Head $,(H_V)$

$$U_{H_v} = \sqrt{\left(\frac{\partial H_v}{\partial V} \cdot U_V\right)^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{V}{g} \cdot U_V\right)^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{1.6057}{9.81} \cdot 0.008491\right)^2}$$

$$U_{H_v} = \pm 1.3898\ x\ 10^{-3} m$$

จากสมการ Uncertainty ของความดัน (P)

$$U_P = \sqrt{B_P^2 + P_P^2}$$

เมื่อ B_P เท่ากับ 0.012 จากตารางการสอบเทียบเครื่องมือ อ้างอิงจากภาคผนวก ข

P_P เท่ากับ 0.0005907 จากการนำข้อมูลการทดสอบมาหาค่าความคลาดเคลื่อนโดยใช้ตาราง T-Student

พบว่า $t_{v,P}$ = 1.96804 และ ค่า Standard deviation of the mean = 0.000300183

$$U_P = \sqrt{0.012^2 + 0.0005907^2}$$

$$= 0.01201\ bar$$

$$U_P = \pm 1201\ Pa$$

จากสมการ Uncertainty ของ Discharge Head (H_d)

$$U_{H_d} = \sqrt{\left(\frac{\partial H_d}{\partial P} \cdot U_P\right)^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{1}{\rho g} \cdot U_P\right)^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$= \sqrt{\left(\frac{1}{1000\ x\ 9.81} \cdot 1201\right)^2}$$

$$U_{H_d} = \pm 0.122426\ m$$

จากสมการ Uncertainty ของ Loss จากการสูญเสียจากข้องอ และข้อต่อที่มีในชุดทดสอบ $(H_{L,Minor})$

$$U_{H_{L,Minor}} = \sqrt{\left(\frac{\partial H_{L,Minor}}{\partial v} \cdot U_v\right)^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{(\Sigma K)V}{g} \cdot U_v\right)^2}$$

เมื่อ ΣK เท่ากับ 0.33 ซึ่งเป็นผลรวมของค่า Loss Coefficient ของข้องอ และข้อต่อต่างๆของชุดทดสอบ

$$U_{H_{L,Minor}} = \sqrt{\left(\frac{0.33\ x\ 1.6057}{9.81} x\ 0.00849125\right)^2}$$

$$U_{H_{L,Minor}} = \pm 0.00045864\ m$$

จากสมการ Uncertainty ของความยาวท่อ (l) โดยใช้ตลับเมตรในการวัด

$$U_l = \frac{Resolution}{2}$$

$$= \frac{0.001}{2}$$

$$U_l = \pm 0.0005\ m$$

จากสมการ Uncertainty ของ Loss จากการสูญเสียจากท่อตรง ของชุดทดสอบ $(H_{L,Major})$

$$U_{H_{L,Major}} = \sqrt{\left(\frac{\partial H_{L,Major}}{\partial v} \cdot U_v\right)^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$= \sqrt{\left(\frac{\partial H_{L,Major}}{\partial l} \cdot U_l\right)^2 + \left(\frac{\partial H_{L,Major}}{\partial v} \cdot U_v\right)^2 + \left(\frac{\partial H_{L,Major}}{\partial v} \cdot U_v\right)^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{fv}{gd}\right)^2 \cdot \left[\left(\frac{v}{2} \cdot U_l\right)^2 + (l \cdot U_v)^2 + \left(-\frac{vl}{2d} \cdot U_d\right)^2\right]}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{0.0145\ x\ 1.6057}{9.81\ x\ 0.2032}\right)^2 \cdot \left[\left(\frac{1.6057}{2} x\ 0.0005\right)^2 + (2.032\ x\ 0.00849)^2 + \left(-\frac{1.6057\ x\ 2.032}{2\ x\ 0.2032} x\ 0.0005\right)^2\right]}$$

$$U_{H_{L,Major}} = \pm 0.000206247\ m$$

จากสมการ Uncertainty ของ Head Pump (U_{H_P})

$$= \sqrt{\left(\frac{\partial H_P}{\partial H_v} \cdot U_{H_v}\right)^2 + \left(\frac{\partial H_P}{\partial H_d} \cdot U_{Hd}\right)^2 + \left(\frac{\partial H_P}{\partial H_{L,Minor}} \cdot U_{H_{L,Minor}}\right)^2 + \left(\frac{\partial H_P}{\partial H_{L,Major}} \cdot U_{H_{L,Major}}\right)^2}$$

$$= \sqrt{(1\ x\ 0.001389)^2 + (1\ x\ 0.122472)^2 + (1\ x\ 0.000459)^2 + (1\ x\ 0.0002062)^2}$$

$$U_{H_P} = \pm 0.122481$$

ขั้นตอนที่ 5 การคำนวณหาความคลาดเคลื่อนของประสิทธิภาพเครื่องสูบน้ำ

จากสมการ Uncertainty ของประสิทธิภาพเครื่องสูบน้ำ (U_{η_p})

$$U_{\eta_p} = \sqrt{\left(\frac{\partial \eta_p}{\partial T} \cdot U_T\right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_p}{\partial \omega} \cdot U_\omega\right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_p}{\partial Q} \cdot U_Q\right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_p}{\partial H_P} \cdot U_{H_P}\right)^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{\rho g Q H_p}{T^2 \omega} \cdot U_T\right)^2 + \left(\frac{\rho g Q H_p}{T \omega^2} \cdot U_\omega\right)^2 + \left(\frac{\rho g H_p}{T \omega} \cdot U_Q\right)^2 + \left(\frac{\rho g Q}{T \omega} \cdot U_{H_P}\right)^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

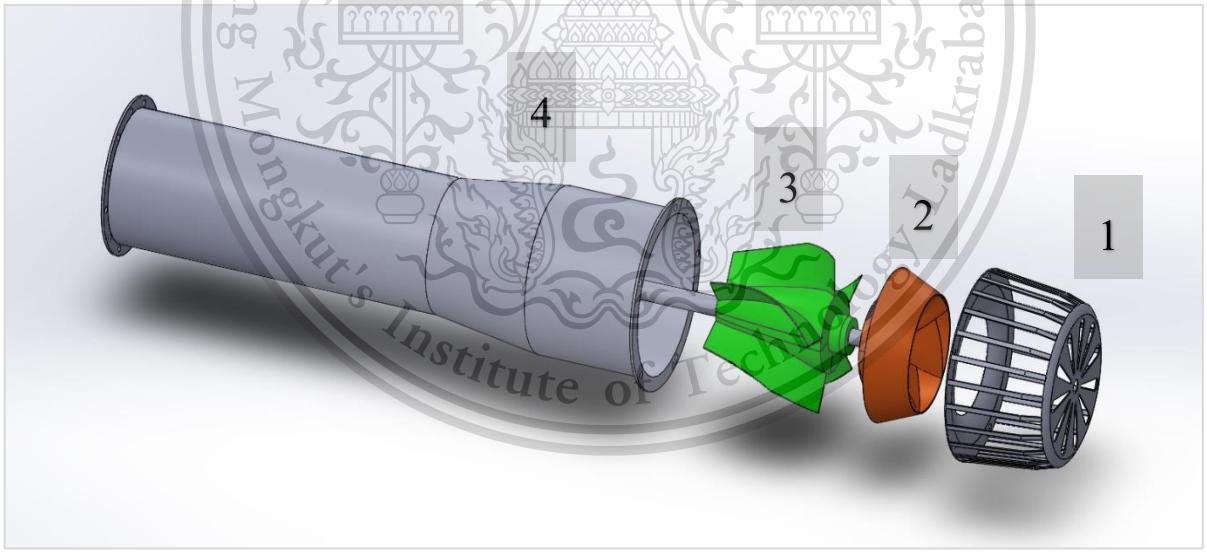
$$U_{\eta_p} = \pm 0.006417 = \pm\ 0.6417\ \%$$

ในทุกการทดสอบของทุกใบพัดและทุกความเร็วรอบนั้นได้มีการคำนวณหาความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในระบบและใบอุปกรณ์ที่ใช้ทำการทดสอบ ซึ่งได้มีการนำค่าตัวแปรที่ทำการบันทึกผลจากการทดสอบ มาคำนวณหาความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในการทำการทดสอบนั้นๆ ดังตัวอย่างที่แสดงมาในข้างต้น โดยมีการแสดงตัวอย่างของ การคำนวณหาความคลาดเคลื่อนของแรงบิดมอเตอร์ การคำนวณหาความคลาดเคลื่อนของความเร็วรอบของมอเตอร์ การคำนวณหาความคลาดเคลื่อนของอัตราการไหลของของไหล การคำนวณหาความคลาดเคลื่อนของเฮดของเครื่องสูบน้ำ และการคำนวณหาความคลาดเคลื่อนของค่าประสิทธิภาพ

4.3 การจำลองชุดใบจักรของเครื่องสูบน้ำพญานาคด้วยโปรแกรม Ansys CFX

4.3.1 การเตรียมไฟล์ CAD ของชุดใบจักรสำหรับการจำลอง

การวิเคราะห์และตรวจสอบประสิทธิภาพเครื่องสูบน้ำนั้นจะใช้การทดสอบร่วมกับกระบวนการวิเคราะห์ด้วยจำลองการไหลหรือ CFD โดยขั้นตอนแรกของการจำลองการไหล คือ การสร้าง CAD ของส่วนประกอบต่างๆของเครื่องสูบน้ำพญานาค ประกอบด้วย ส่วนที่ 1 ตะแกรงกรองวัสดุของแข็งบริเวณช่องทางดูด หรือหัวกะโหลก, ส่วนที่ 2 ใบพัดปั๊ม, ส่วนที่ 3 กลีบเรียงกระแสน้ำ และส่วนที่ 4 ท่อด้านดูดสำหรับลำเลียงการไหล ดังแสดงในรูปที่ 4.14 ซึ่งมีความแตกต่างจาก CAD Model ของชุดใบจักรรูปแบบเก่า ดังแสดงในรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.16 แสดง CAD Model ของส่วนประกอบของระบบเครื่องสูบน้ำพญานาค (รูปแบบใหม่)

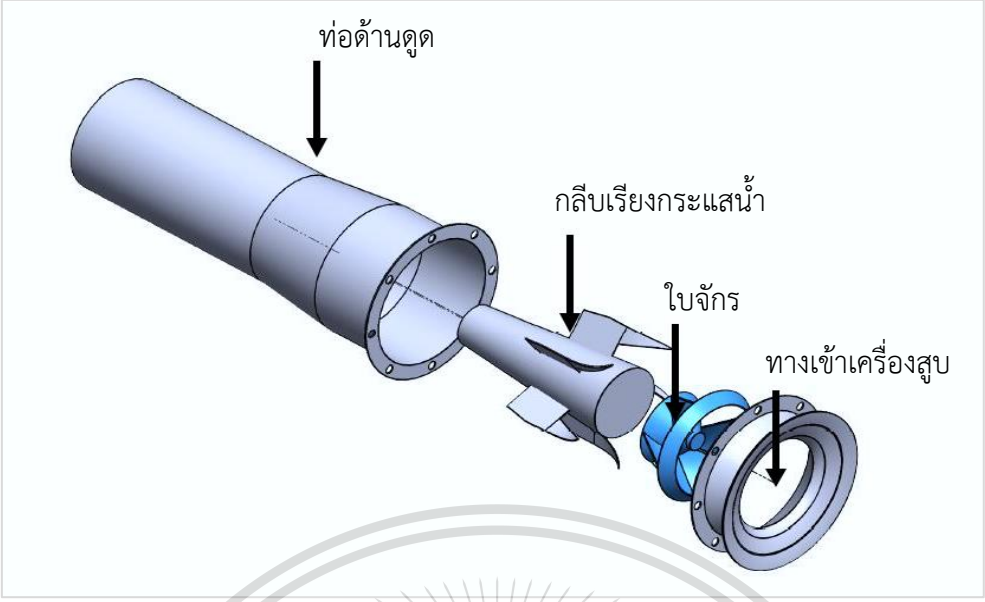
หมายเลข 1 ตะแกรงกรองวัสดุของแข็งบริเวณทางเข้าเครื่องสูบ

หมายเลข 2 ใบจักรรูปแบบใหม่

หมายเลข 3 ครีบเรียงกระแสน้ำรูปแบบใหม่

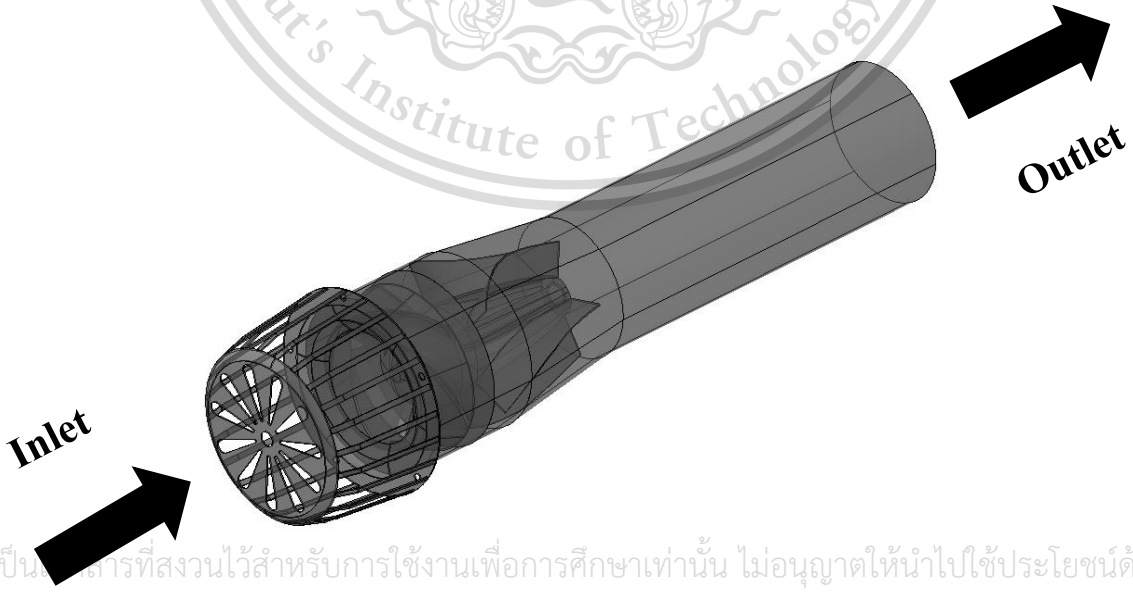
หมายเลข 4 ท่อลำเลียงการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.17 แสดง CAD Model ที่ระบุส่วนประกอบของระบบเครื่องสูบน้ำพญานาค (รูปแบบเก่า) [2]

จากนั้นนำส่วนประกอบต่างๆมาประกอบรวมกลายเป็นระบบปั๊ม จากนั้นเตรียมการระบุพื้นที่การไหล (Fluid Domain) และทำกระบวนการแบ่งพื้นที่การไหลให้เป็นประมาตรควบคุมขนาดเล็กทั้งหมด หรือ เรียกกว่าการตีเมช จากนั้นเข้าสู่โปรแกรม CFX และทำกระบวนการ Pre-processing ประกอบด้วยขั้นตอนการระบุเงื่อนไขขอบเขต (boundary condition) ที่ทางเข้าและทางออกของเครื่องสูบน้ำพญานาคดังที่แสดงในรูปที่ 4.16



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This document is for educational purposes only. Commercial use is prohibited.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 4.18 แสดงบริเวณทางเข้าและทางออกของ CAD Model เครื่องสูบน้ำพญานาค (รูปแบบใหม่)

4.3.2 กระบวนการ Pre-processing เพื่อวิเคราะห์ชุดใบจักรรูปแบบใหม่

เริ่มจากกำหนดเงื่อนไขขอบเขต (boundary condition) ที่ทางเข้าและทางออก แล้วระบุบริเวณที่มีการหมุนที่ตำแหน่งบริเวณใบพัด (moving reference frame) ซึ่งรายละเอียดแสดงในตารางที่ 4.4 จากนั้นเริ่มกระบวนการคำนวนโดย CFX solver โดยโปรแกรม CFX ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ 1.ส่วนประมวลผล (solver) จะทำการคำนวนการกระจายความเร็วและความดันในสนามการไหล (Fluid Domain) และ 2.ส่วนแสดงผล (post processing) จะแสดงผลคำตอบของสนามความเร็ว และความดันที่ได้จากส่วนของ solver

ตารางที่ 4.4 แสดงการกำหนด Boundary Condition เพื่อทำการวิเคราะห์ชุดใบจักรรูปแบบใหม่

Boundary Condition	
Analysis type	Steady State
Mesh	4,150,000
Turbulence model	SST
Fluid domain	Water
Moving Reference Frame	1200 RPM
Inlet	Total Pressure
Outlet	Flow rete

การตรวจสอบแบบจำลองนี้ทำได้โดยการเปรียบเทียบความถูกต้องระหว่างผลการทดสอบ และการจำลองของชุดใบจักรเครื่องสูบน้ำพญานาค โดยทำการตรวจสอบระดับความถูกต้องของการจำลองและผลการทดสอบใบจักรที่สภาวะเดียวกัน โดยเปรียบเทียบได้แก่ เฮด และค่าประสิทธิภาพที่ทางออกท่อ ที่รอบใบจักรคงที่ 1200 RPM โดยที่แปรผันอัตราการไหลของน้ำตั้งแต่ 0.035 ถึง 0.063 m^3/s เพื่อหาค่าประสิทธิภาพสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5

ผลการทดสอบ ผลการจำลอง และการวิเคราะห์ผล

5.1 ผลการทดสอบชุดใบจักรเครื่องสูบน้ำด้วยชุดทดสอบสมรรถนะในห้องปฏิบัติการ

ชุดใบจักรต้นแบบของเครื่องสูบน้ำพญานาค ดังแสดงในรูปที่ 5.2 ได้รับการปรับปรุงทั้งหมด 3 ส่วน คือ

1. ส่วนของทางเข้า มีการลดช่องว่างของทางเข้าให้เล็กลง เพื่อให้ลักษณะการไหลเข้า ขนานกับใบจักร

2. ส่วนของใบจักร ปรับปรุงชุดดุมของใบจักรและกลีบใบเพื่อเพิ่มพื้นที่การไหล ซึ่งช่วยลดการไหลวนและการไหลย้อนกลับภายในใบจักร โดยมีการปรับมุมทางเข้าใบเพิ่มขึ้น เพื่อทำให้ใบจักรสามารถเพิ่มการสร้างเฮดความดันได้มากขึ้นกว่าเดิม

3. ส่วนของกลีบเรียงกระแสน้ำ โดยทำวัสดุทึบให้ลักษณะเป็นทรงกรวย เพื่อช่วยให้การไหลที่ไหลออกจากใบจักรมีความราบเรียบมากขึ้น และช่วยลดการไหลวนของน้ำที่บริเวณด้านหลังใบจักร แล้วเปลี่ยนมาเป็นพลังงานจากหมุนของใบจักรในรูปเฮดความดันเพิ่มขึ้น

รูปที่ 5.1 แสดงใบจักรและกลีบเรียงกระแสน้ำของเครื่องสูบน้ำพญานาครูปแบบเก่า [2]

รูปที่ 5.2 แสดงใบจักรและกลีบเรียงกระแสน้ำของเครื่องสูบน้ำพญานาครูปแบบใหม่

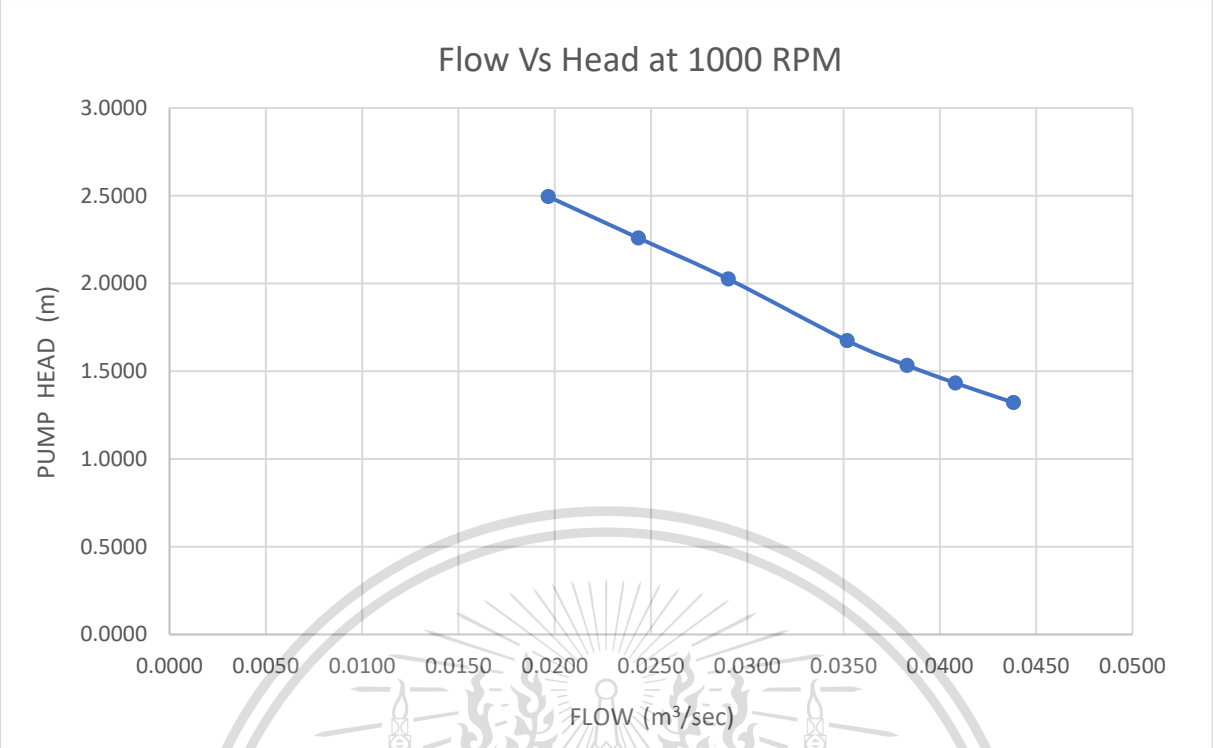
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is for educational purposes only. Commercial use. Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 5.1 ลักษณะเฉพาะและประสิทธิภาพของชุดใบจักรรูปแบบเก่าจากการทดสอบที่รอบ 1000 rpm

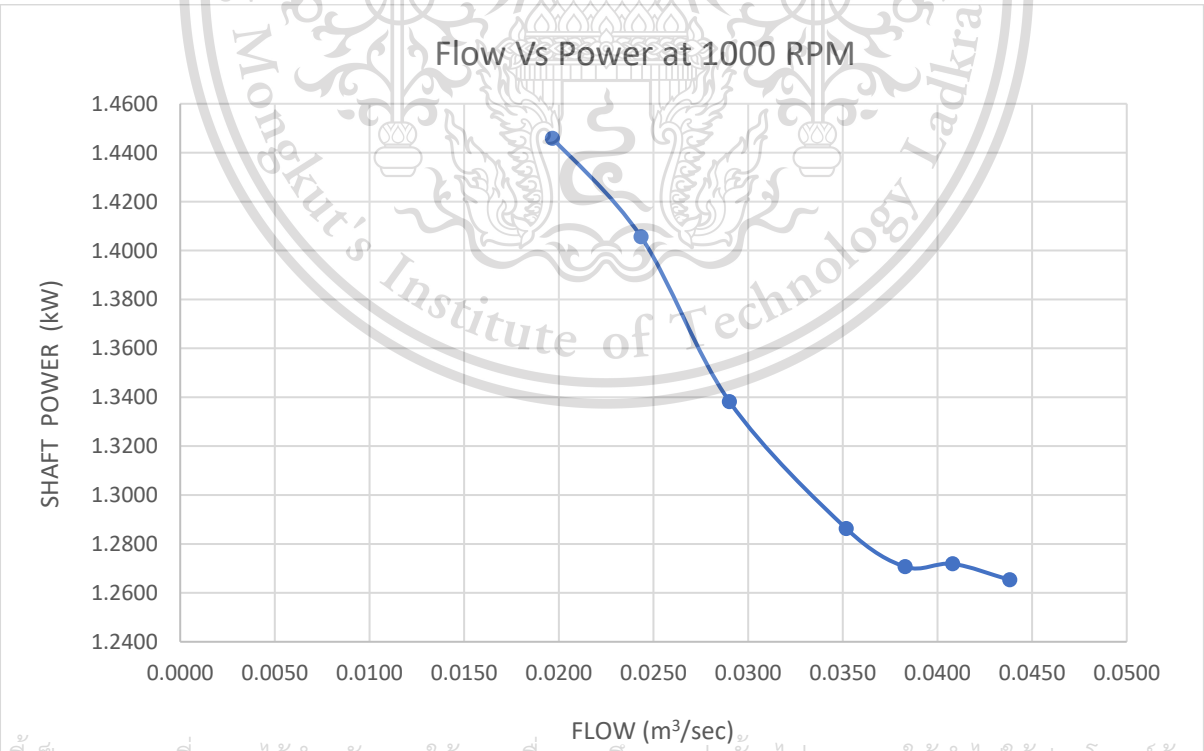
Characteristic															
Test No.	Q (m^3/s)	Velocity (m/s)	Hd (m)	Hv (m)	Renolds: Re	Friction factor: f	Major Loss (m)	Minor Loss (m)	Total Head (m)	Pw (W)	Torque (J)	ω (rad /s)	Ps (W)	η_{pump}	η_{pump} (%)
1	0.0438	1.3514	0.9803	0.0931	3.08E+05	0.0147	0.0137	0.0307	1.3210	567.95	12.0745	104.79	1265.30	0.4489	44.8870
2	0.0408	1.2584	1.1099	0.0807	2.87E+05	0.0149	0.0120	0.0266	1.4325	573.48	12.1380	104.78	1271.84	0.4509	45.0902
3	0.0383	1.1810	1.2248	0.0711	2.69E+05	0.0150	0.0107	0.0235	1.5333	576.08	12.1271	104.78	1270.65	0.4534	45.3373
4	0.0352	1.0851	1.3818	0.0600	2.47E+05	0.0152	0.0091	0.0198	1.6739	577.86	12.2762	104.78	1286.25	0.4493	44.9261
5	0.0290	0.8949	1.7611	0.0408	2.04E+05	0.0158	0.0064	0.0135	2.0250	576.49	12.7719	104.77	1338.14	0.4308	43.0816
6	0.0244	0.7509	2.0128	0.0287	1.71E+05	0.0163	0.0047	0.0095	2.2589	539.58	13.4168	104.76	1405.52	0.3839	38.3902
7	0.0197	0.6066	2.2637	0.0188	1.38E+05	0.0170	0.0032	0.0062	2.4950	481.45	13.8155	104.65	1445.82	0.3330	33.2996

Constant Value	
Cross-section area of pipe: A (m^2)	0.0324
Roughness [Drawn tubing]: Є (mm)	0.0025
Relative Roughness: Є/D	1.23E-05
Total Coefficient: K	0.3300
Z at outlet (m)	0.2032
Load without impeller set (kg)	0.4814

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่กรณีใดๆทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

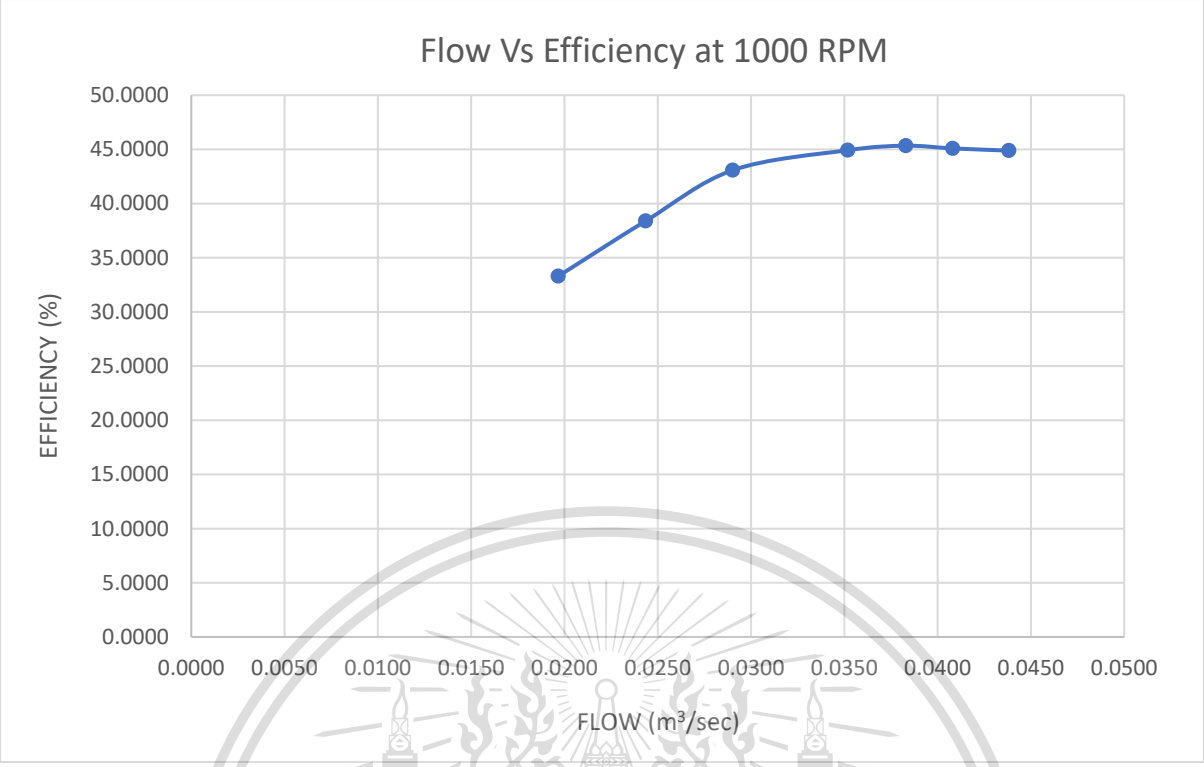


รูปที่ 5.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับเฮดเครื่องสูบน้ำรูปแบบเก่า (Hp) ที่ 1000 rpm

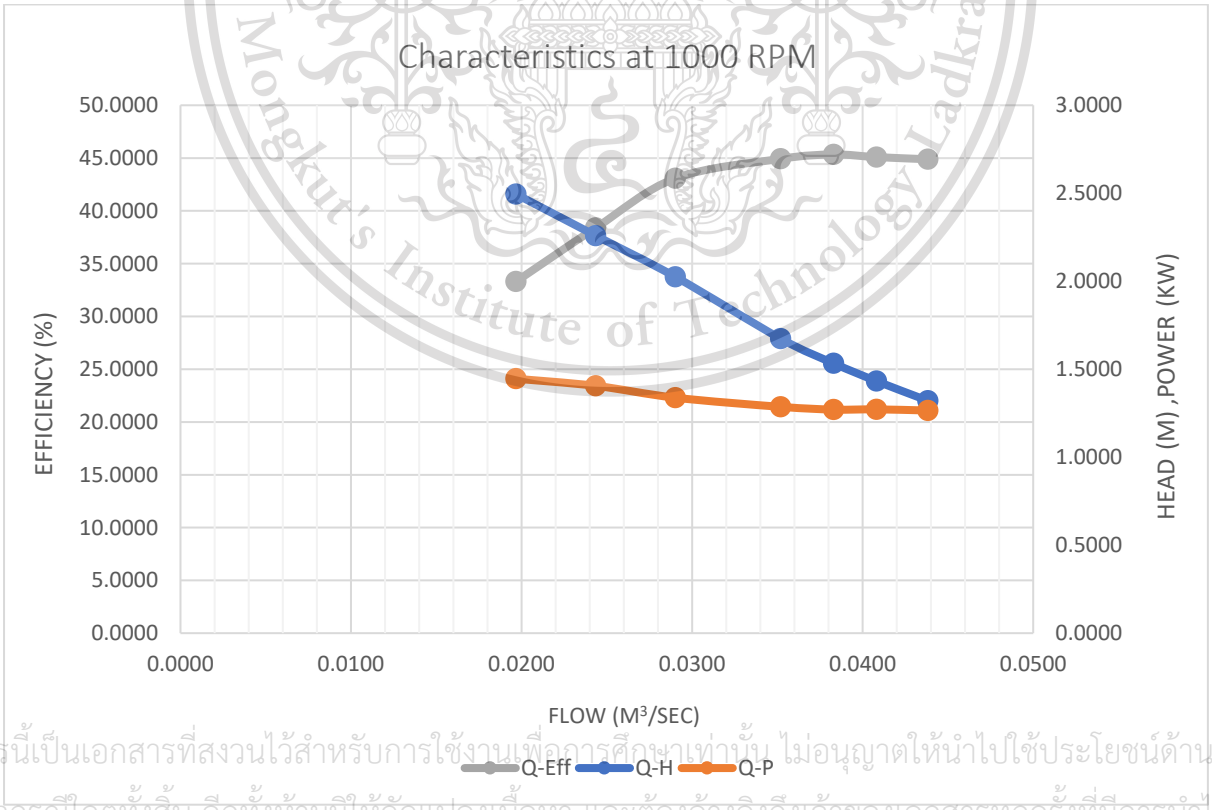


รูปที่ 5.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับกำลังของเพลา (P_S) ใบจักรแบบเก่า ที่ 1000 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 5.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับประสิทธิภาพชุดใบจักรแบบเก่า (**η**) ที่ 1000 rpm



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only. Not allowed for commercial use. Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

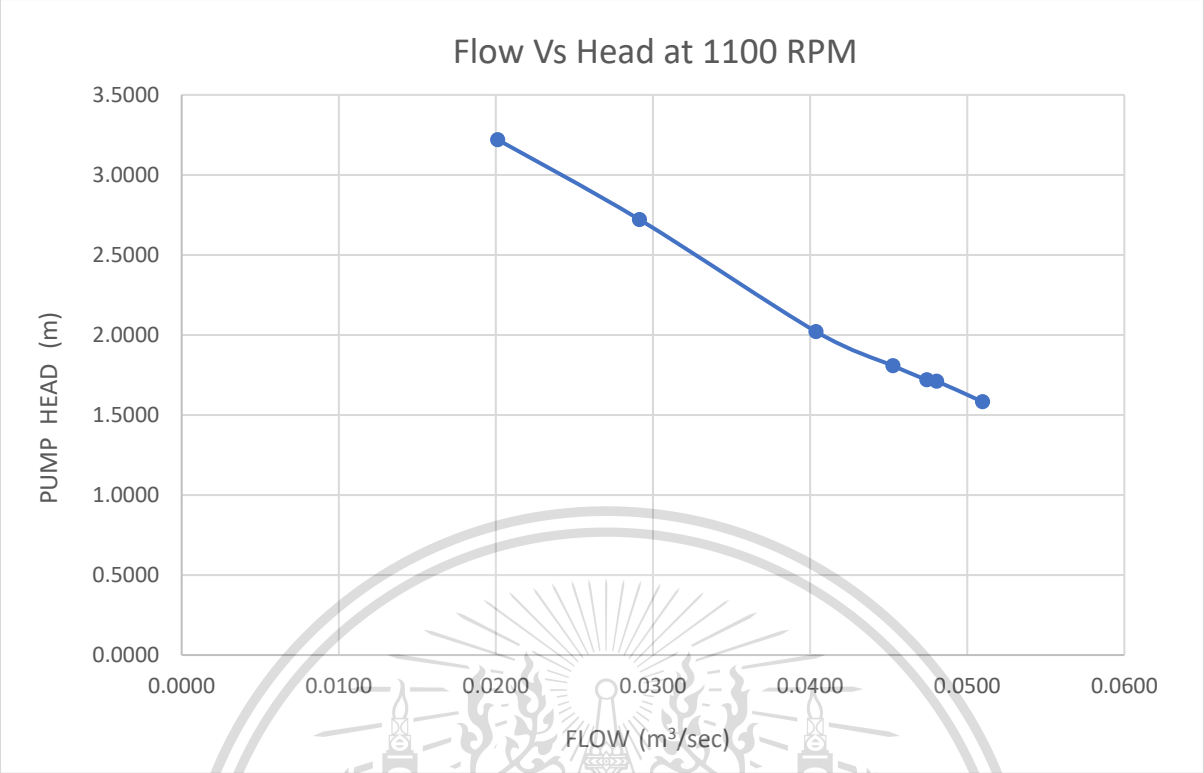
รูปที่ 5.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Q - H_p - P_S - **η** ของเครื่องสูบน้ำพญานาครูปแบบเก่า ที่ 1000 rpm

ตารางที่ 5.2 ลักษณะเฉพาะและประสิทธิภาพของชุดใบจักรรูปแบบเก่าจากการทดสอบที่รอบ 1100 rpm

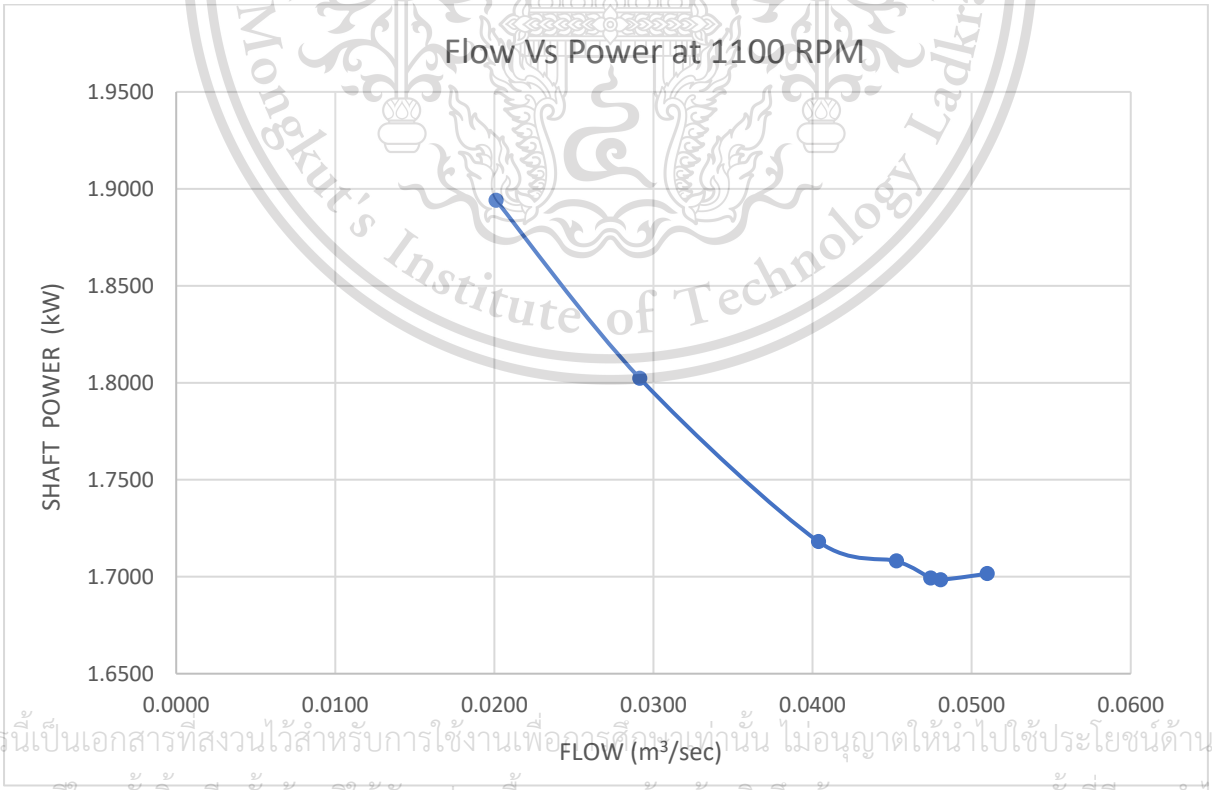
Characteristic															
Test No.	Q (m^3/s)	Velocity (m/s)	Hd (m)	Hv (m)	Renolds: Re	Friction factor: f	Major Loss (m)	Minor Loss (m)	Total Head (m)	Pw (W)	Torque (J)	ω (rad /s)	Ps (W)	η_{pump}	η_{pump} (%)
1	0.0510	1.5723	1.1928	0.1260	3.59E+05	0.0145	0.0183	0.0416	1.5818	791.21	14.7761	115.16	1701.56	0.4650	46.4992
2	0.0481	1.4820	1.3421	0.1119	3.38E+05	0.0145	0.0162	0.0369	1.7105	806.46	14.7278	115.32	1698.36	0.4748	47.4850
3	0.0474	1.4628	1.3551	0.1091	3.34E+05	0.0147	0.0160	0.0360	1.7194	800.14	14.7622	115.11	1699.24	0.4709	47.0878
4	0.0453	1.3964	1.4569	0.0994	3.18E+05	0.0148	0.0147	0.0328	1.8069	802.70	14.8419	115.08	1708.05	0.4700	46.9951
5	0.0404	1.2452	1.7003	0.0790	2.84E+05	0.0149	0.0118	0.0261	2.0204	800.37	14.9341	115.04	1718.07	0.4659	46.5852
6	0.0292	0.8989	2.4557	0.0412	2.05E+05	0.0159	0.0065	0.0136	2.7202	777.91	15.6404	115.23	1802.22	0.4316	43.1639
7	0.0201	0.6204	2.9869	0.0196	1.41E+05	0.0172	0.0034	0.0065	3.2195	635.45	16.4458	115.17	1893.98	0.3355	33.5511

Constant Value	
Cross-section area of pipe: A (m^2)	0.0324
Roughness [Drawn tubing]: Є (mm)	0.0025
Relative Roughness: Є/D	1.23E-05
Total Coefficient: K	0.3300
Z at outlet (m)	0.2032
Load without impeller set (kg)	0.5577

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

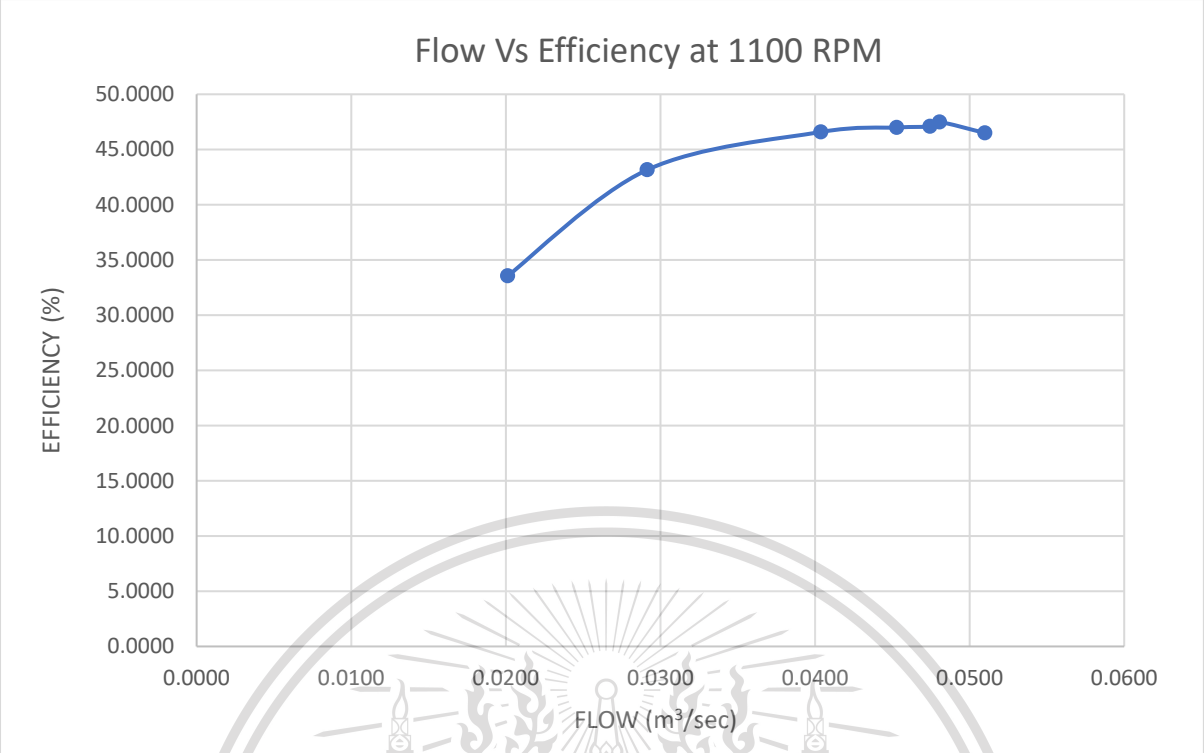


รูปที่ 5.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับเฮดเครื่องสูบน้ำรูปแบบเก่า (Hp) ที่ 1100 rpm

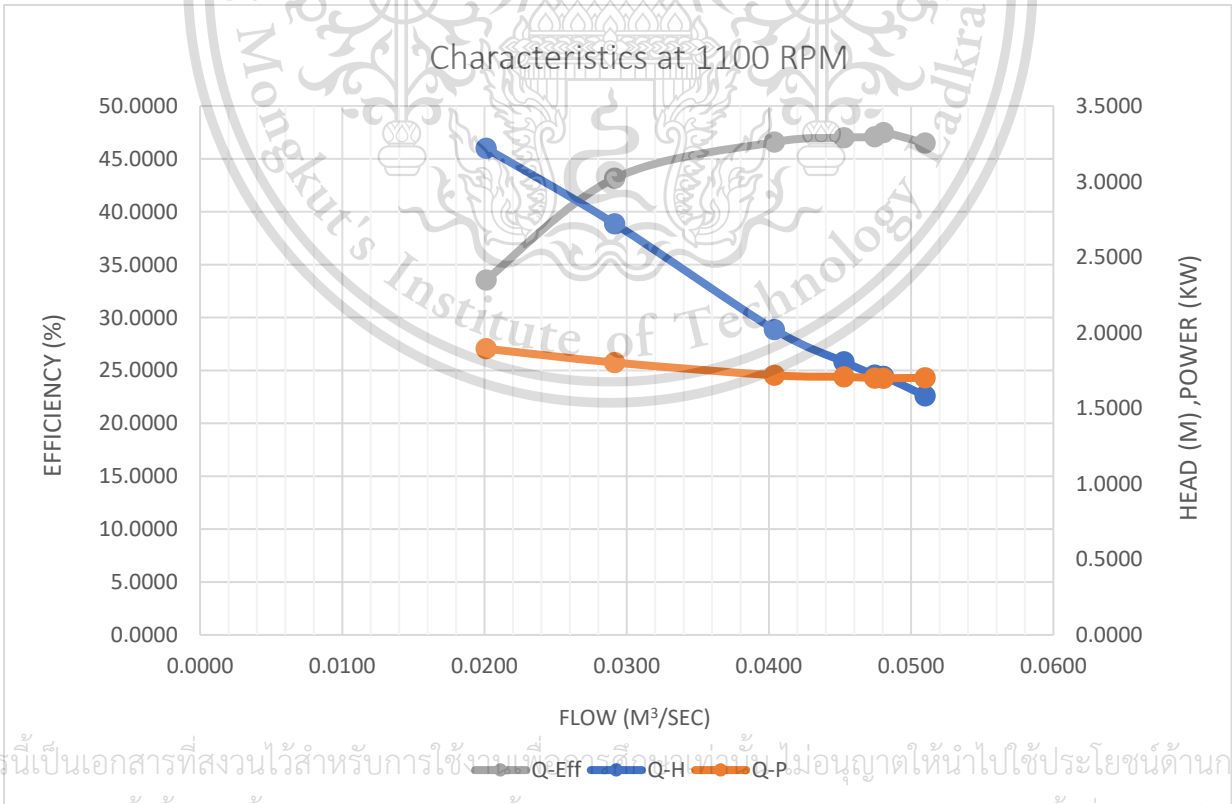


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 5.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับกำลังของเพลา (P_S) ใบจักรแบบเก่า ที่ 1100 rpm



รูปที่ 5.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับประสิทธิภาพชุดใบจักรแบบเก่า (**η**) ที่ 1100 rpm



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is for educational use only. Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

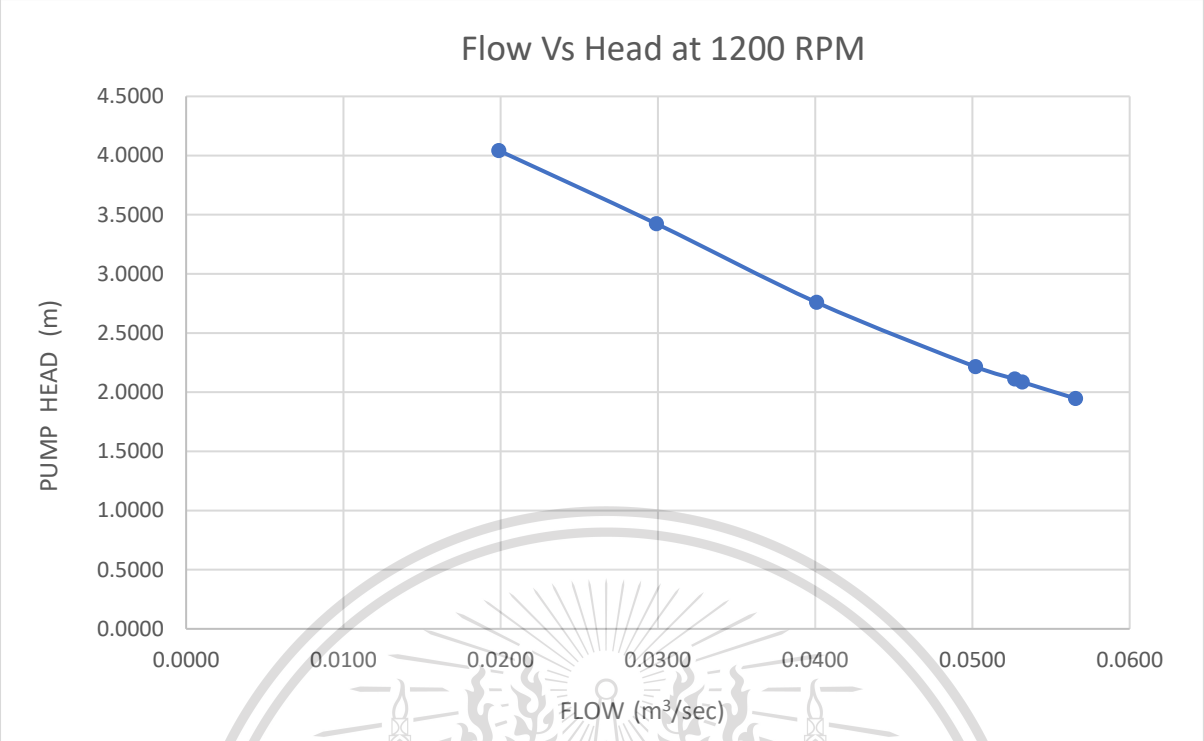
รูปที่ 5.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Q - Hp - PS - **η** ของเครื่องสูบน้ำพญานาครูปแบบเก่า ที่ 1100 rpm

ตารางที่ 5.3 ลักษณะเฉพาะและประสิทธิภาพของชุดใบจักรรูปแบบเก่าจากการทดสอบที่รอบ 1200 rpm

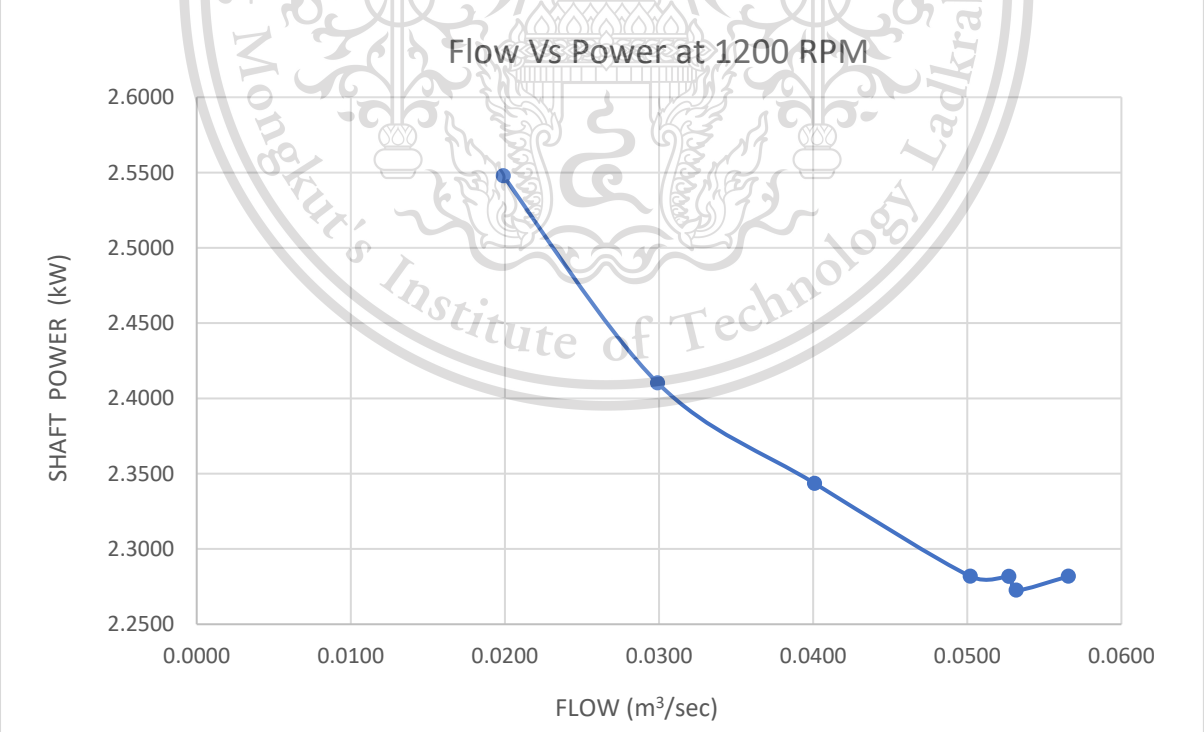
Characteristic															
Test No.	Q (m^3/s)	Velocity (m/s)	Hd (m)	Hv (m)	Renolds: Re	Friction factor: f	Major Loss (m)	Minor Loss (m)	Total Head (m)	Pw (W)	Torque (J)	ω (rad /s)	Ps (W)	η_{pump}	η_{pump} (%)
1	0.0566	1.7444	1.5146	0.1551	3.98E+05	0.0143	0.0222	0.0512	1.9462	1080.05	18.1609	125.64	2281.78	0.4733	47.3338
2	0.0532	1.6398	1.6801	0.1370	3.74E+05	0.0144	0.0197	0.0452	2.0853	1087.85	18.0833	125.67	2272.55	0.4787	47.8690
3	0.0527	1.6251	1.7095	0.1346	3.71E+05	0.0145	0.0195	0.0444	2.1113	1091.49	18.1502	125.71	2281.70	0.4784	47.8367
4	0.0502	1.5481	1.8308	0.1221	3.53E+05	0.0146	0.0178	0.0403	2.2143	1090.51	18.1537	125.69	2281.82	0.4779	47.7910
5	0.0401	1.2366	2.4398	0.0779	2.82E+05	0.0149	0.0116	0.0257	2.7582	1085.08	18.6295	125.80	2343.52	0.4630	46.3014
6	0.0299	0.9224	3.1556	0.0434	2.10E+05	0.0156	0.0068	0.0143	3.4232	1004.50	19.1742	125.70	2410.22	0.4168	41.6767
7	0.0199	0.6135	3.8093	0.0192	1.40E+05	0.0171	0.0033	0.0063	4.0413	788.78	20.2909	125.56	2547.77	0.3096	30.9597

Constant Value	
Cross-section area of pipe: A (m^2)	0.0324
Roughness [Drawn tubing]: Є (mm)	0.0025
Relative Roughness: Є/D	1.23E-05
Total Coefficient: K	0.3300
Z at outlet (m)	0.2032
Load without impeller set (kg)	0.6356

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

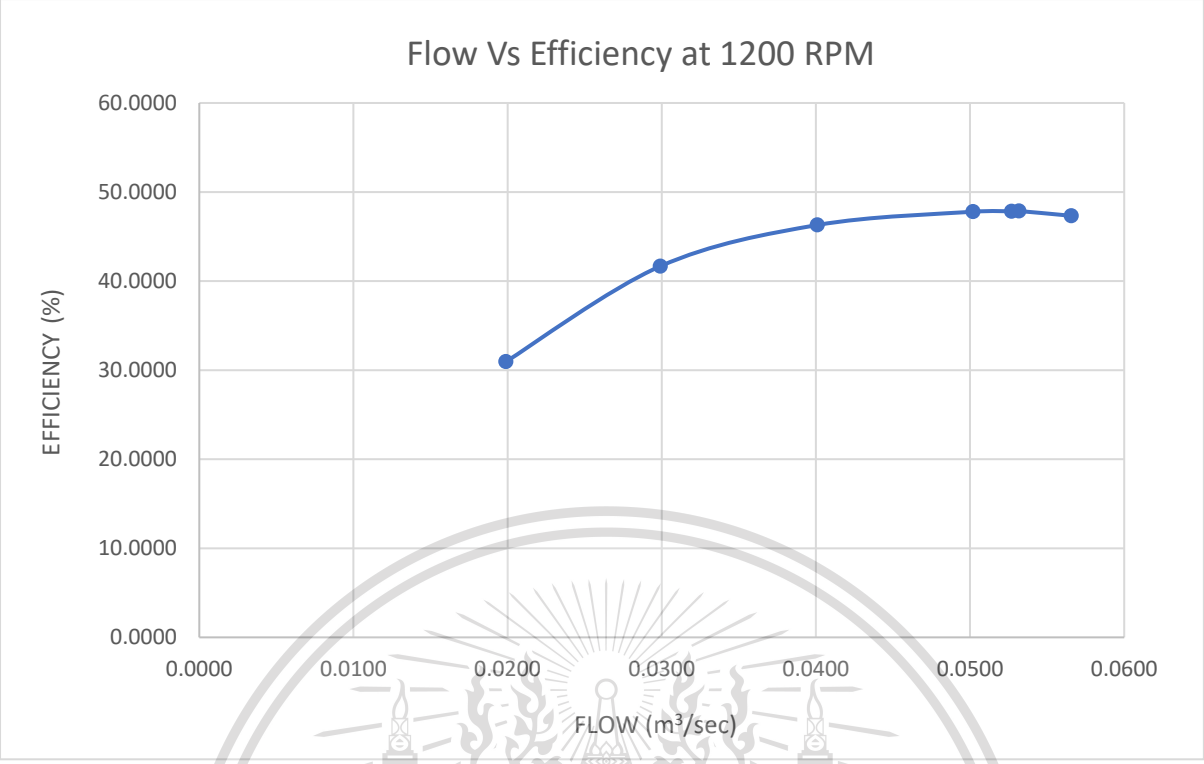


รูปที่ 5.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับเฮดเครื่องสูบน้ำรูปแบบเก่า (Hp) ที่ 1200 rpm

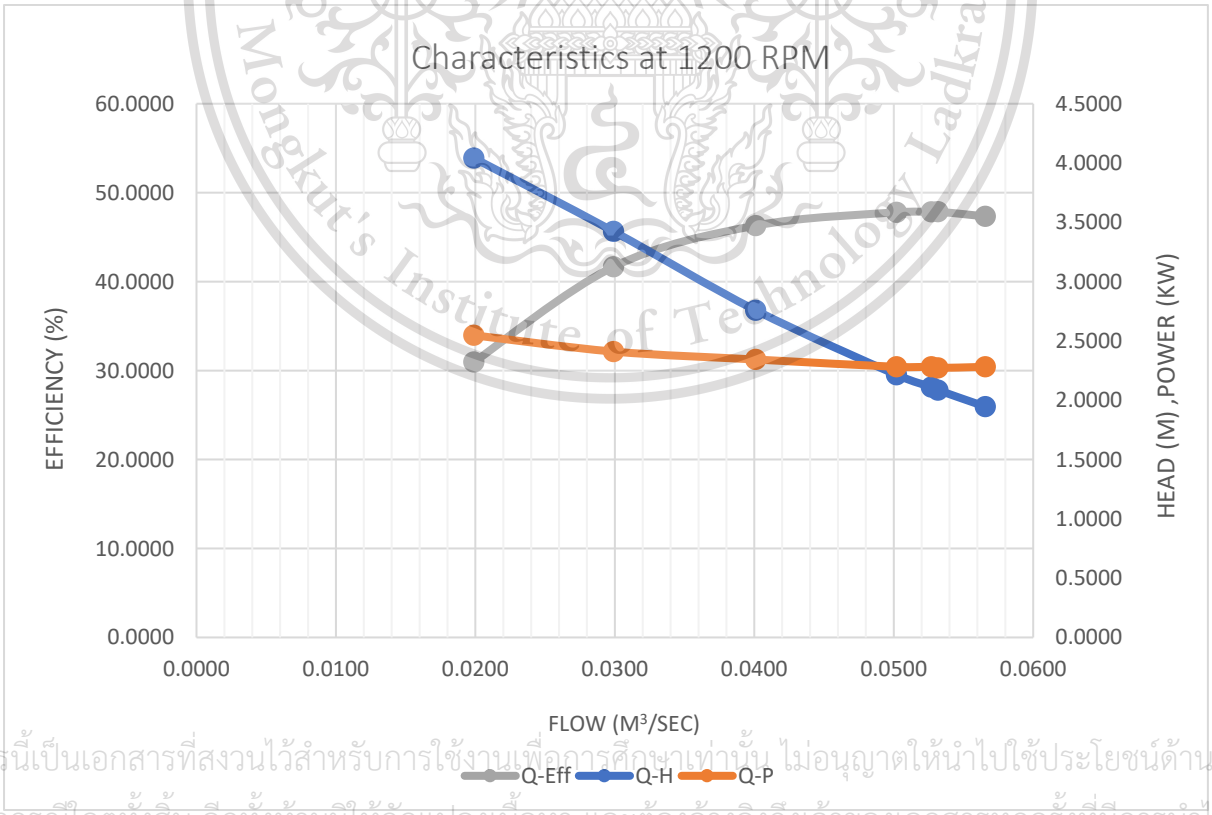


รูปที่ 5.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับกำลังเพลา (P_S) ใบจักรแบบเก่า ที่ 1200 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 5.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับประสิทธิภาพใบจักรแบบเก่า (η) ที่ 1200 rpm



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
The material is reserved for educational use only not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

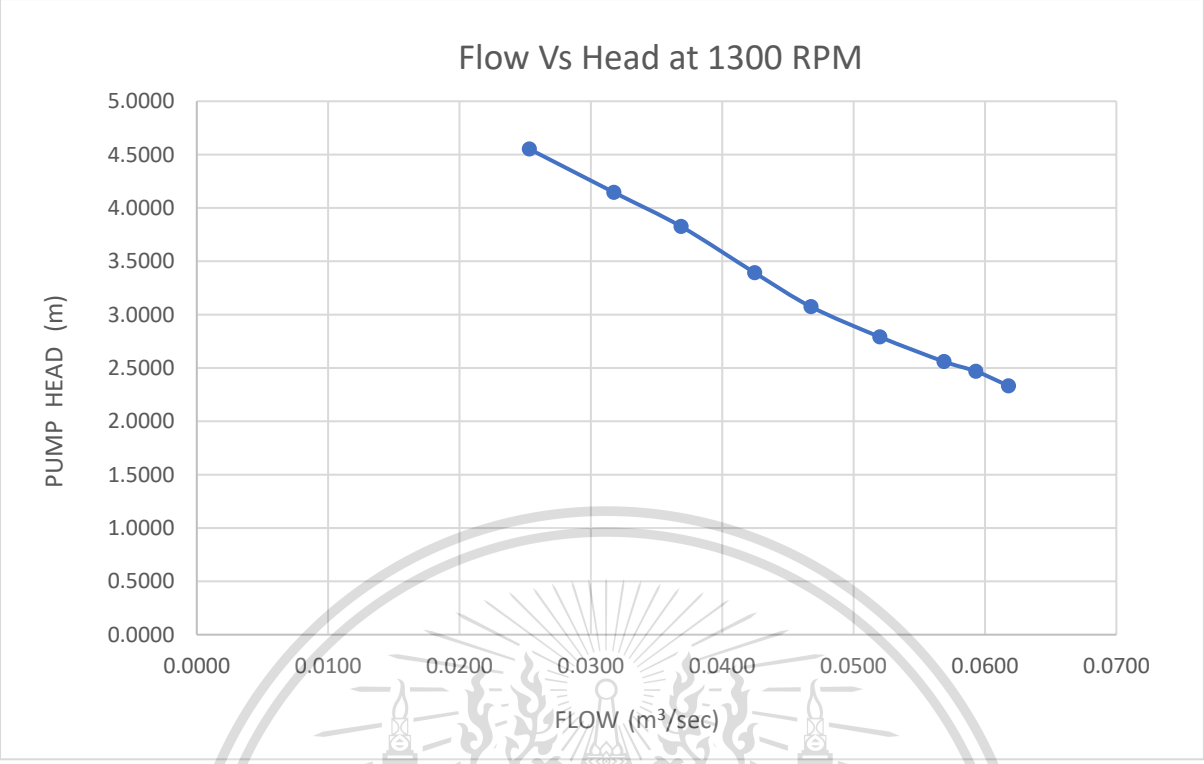
รูปที่ 5.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Q - H_p - P_S - η ของเครื่องสูบน้ำพญานาครูปแบบเก่า ที่ 1200 rpm

ตารางที่ 5.4 ลักษณะเฉพาะและประสิทธิภาพของชุดใบจักรรูปแบบเก่าจากการทดสอบที่รอบ 1300 rpm

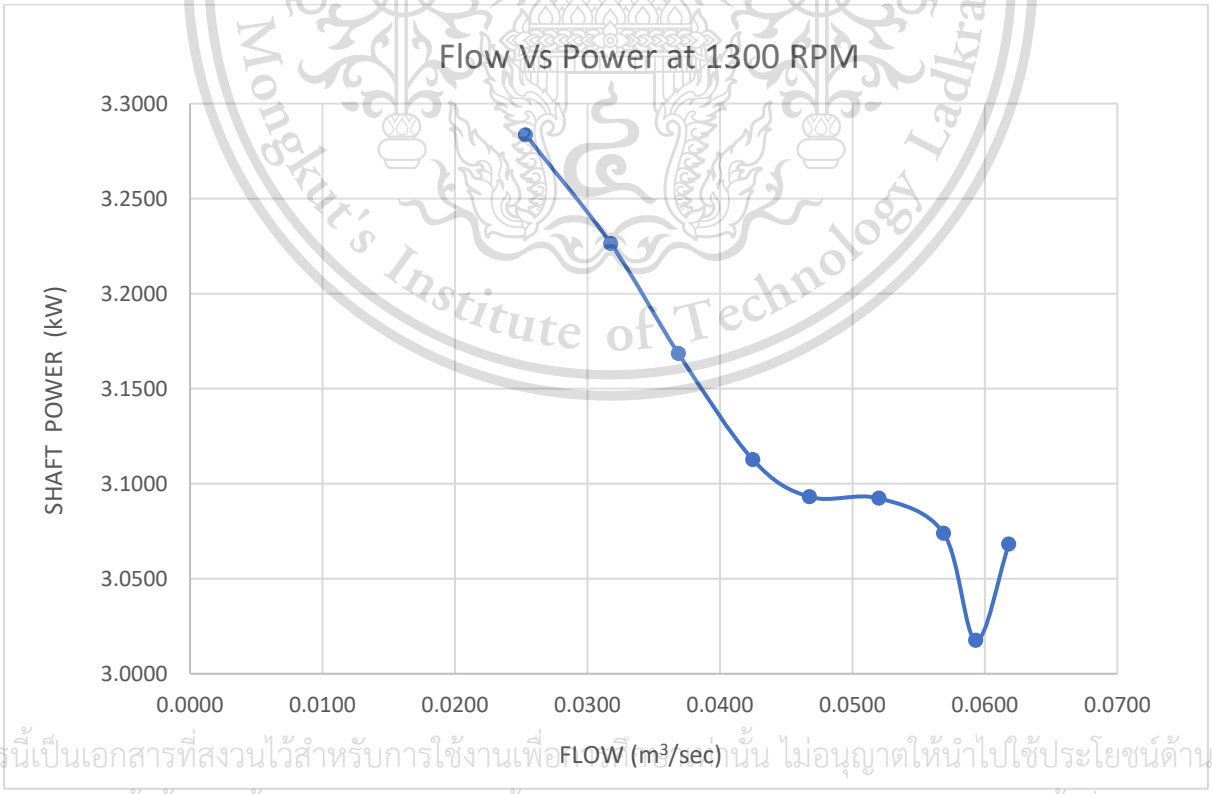
Characteristic														
Test No.	Q (m^3/s)	Velocity (m/s)	Hd (m)	Hv (m)	Renolds: Re	Friction factor: f	Major Loss (m)	Minor Loss (m)	Total Head (m)	Pw (W)	Torque (J)	ω (rad /s)	Ps (W)	η_{pump}	η_{pump} (%)
1	0.0618	1.9058	1.8560	0.1851	4.35E+05	0.0142	0.0264	0.0611	2.3318	1413.77	22.5400	136.12	3068.10	0.4608	46.0797
2	0.0593	1.8292	2.0138	0.1705	4.17E+05	0.0143	0.0244	0.0563	2.4681	1436.24	22.1340	136.33	3017.54	0.4760	47.5964
3	0.0569	1.7542	2.1255	0.1568	4.00E+05	0.0143	0.0224	0.0518	2.5597	1428.48	22.5729	136.17	3073.84	0.4647	46.4723
4	0.0520	1.6035	2.3941	0.1311	3.66E+05	0.0145	0.0189	0.0432	2.7906	1423.59	22.7150	136.14	3092.32	0.4604	46.0362
5	0.0468	1.4421	2.7137	0.1060	3.29E+05	0.0146	0.0154	0.0350	3.0733	1409.95	22.7245	136.11	3093.06	0.4558	45.5843
6	0.0425	1.3100	3.0589	0.0875	2.99E+05	0.0148	0.0129	0.0289	3.3914	1413.39	22.8464	136.24	3112.64	0.4541	45.4081
7	0.0369	1.1370	3.5248	0.0659	2.59E+05	0.0150	0.0099	0.0217	3.8255	1383.80	23.2694	136.16	3168.39	0.4368	43.6752

Constant Value	
Cross-section area of pipe: A (m^2)	0.0324
Roughness [Drawn tubing]: Є (mm)	0.0025
Relative Roughness: Є/D	1.23E-05
Total Coefficient: K	0.3300
Z at outlet (m)	0.2032
Load without impeller set (kg)	0.5131

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.
This material is reserved for education use only, not allowed for commercial use.

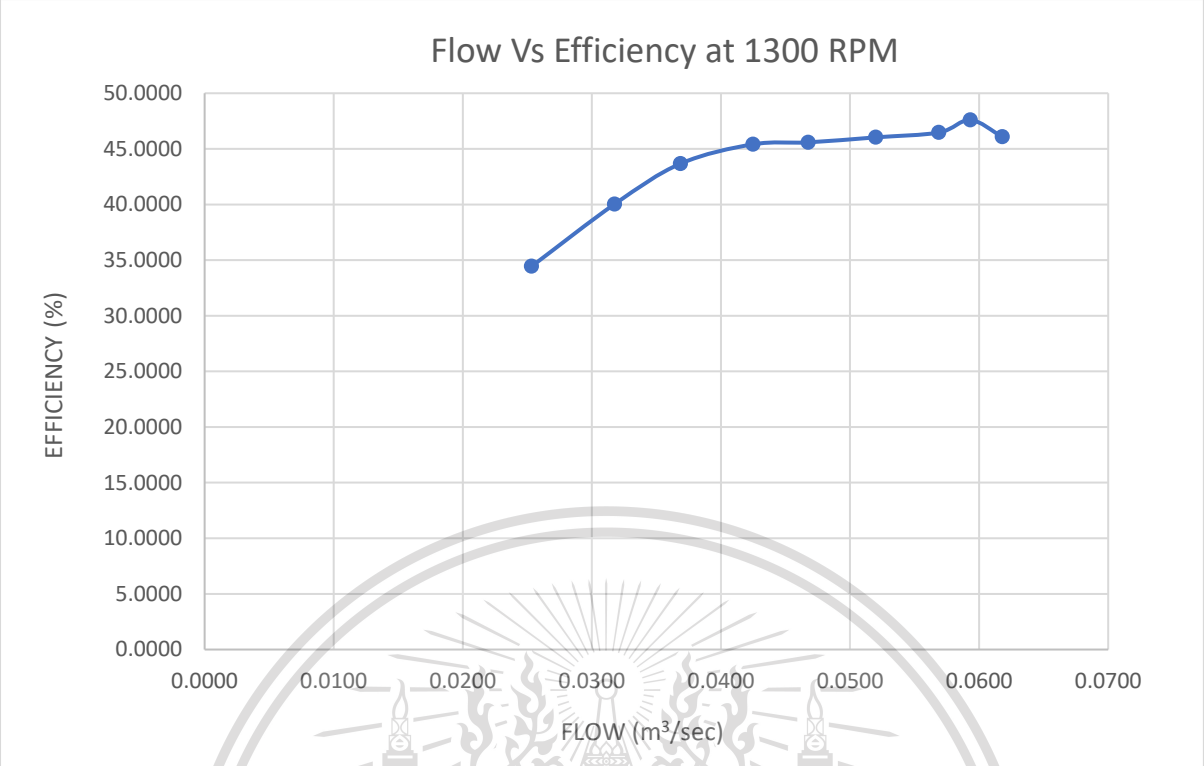


รูปที่ 5.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับเฮดเครื่องสูบน้ำรูปแบบเก่า (Hp) ที่ 1300 rpm

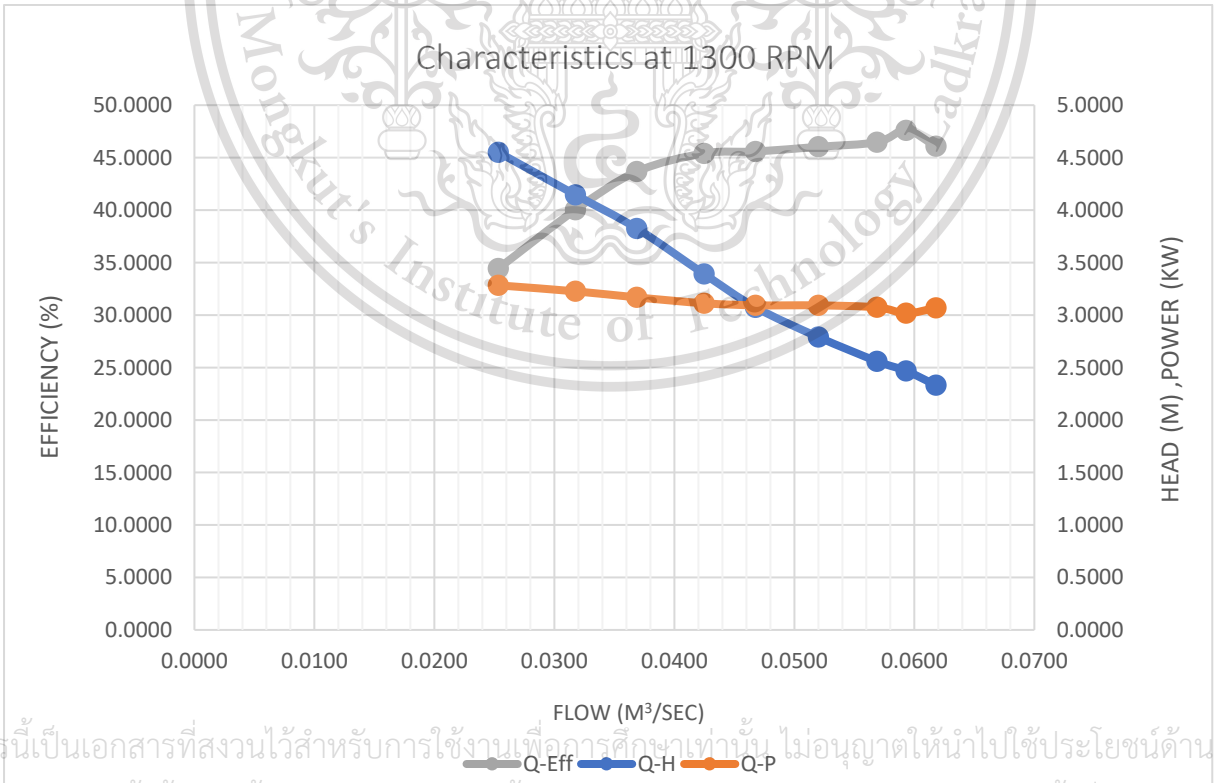


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 5.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับกำลังเพลา (P_S) ใบจักรแบบเก่า ที่ 1300 rpm



รูปที่ 5.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับประสิทธิภาพใบจักรแบบเก่า (η) ที่ 1300 rpm



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
The material is reserved for educational use only. Not allowed for commercial use. Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

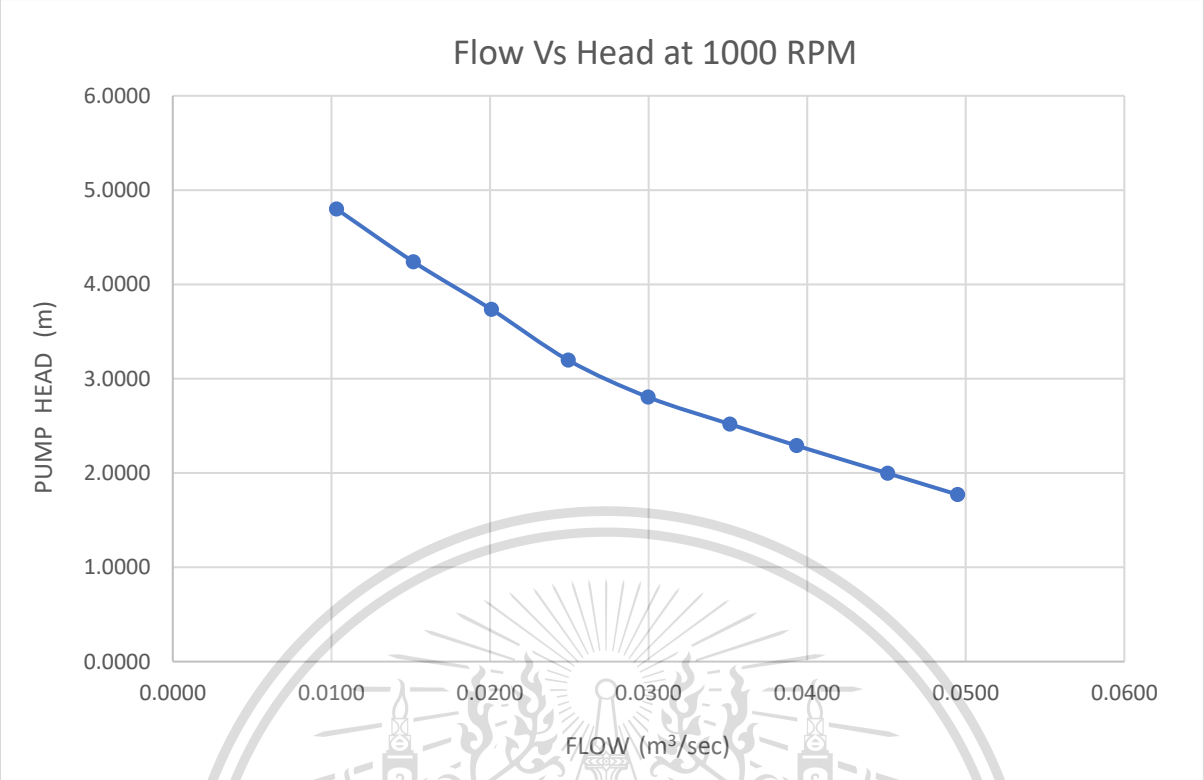
รูปที่ 5.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Q - H_p - P_S - η ของเครื่องสูบน้ำพญานาครูปแบบเก่า ที่ 1300 rpm

ตารางที่ 5.5 ลักษณะเฉพาะและประสิทธิภาพของชุดใบจักรรูปแบบใหม่จากการทดสอบที่รอบ 1000 rpm

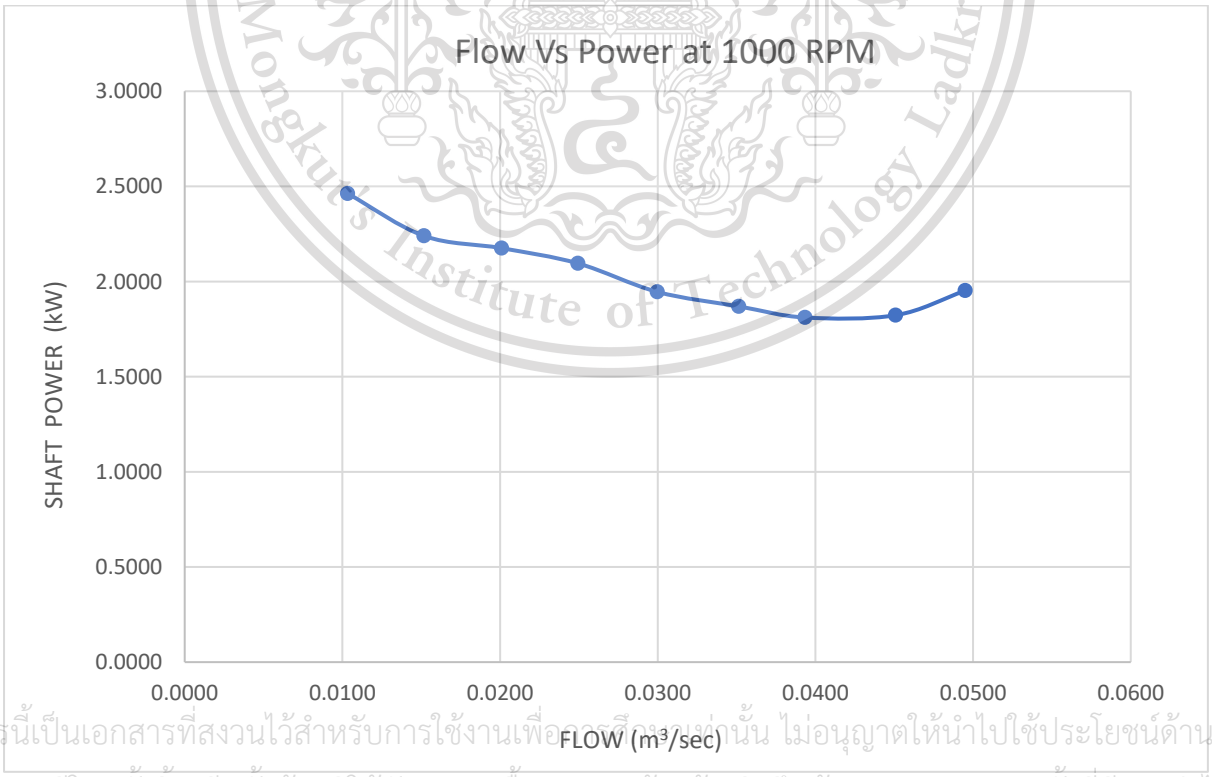
Characteristic															
Test No.	Q (m^3/s)	Velocity (m/s)	Hd (m)	Hv (m)	Renolds: Re	Friction factor: f	Major Loss (m)	Minor Loss (m)	Total Head (m)	Pw (W)	Torque (J)	ω (rad /s)	Ps (W)	η_{pump}	η_{pump} (%)
1	0.0495	1.5264	1.3917	0.1188	3.48E+05	0.0145	0.0172	0.0392	1.7701	859.55	18.6609	104.60	1951.88	0.4404	44.0372
2	0.0451	1.3904	1.6475	0.0985	3.17E+05	0.0146	0.0144	0.0325	1.9962	882.98	17.3999	104.78	1823.09	0.4843	48.4329
3	0.0393	1.2133	1.9754	0.0750	2.77E+05	0.0149	0.0112	0.0248	2.2896	883.77	17.2852	104.77	1811.00	0.4880	48.7998
4	0.0351	1.0836	2.2261	0.0598	2.47E+05	0.0152	0.0091	0.0197	2.5180	868.02	17.8457	104.75	1869.42	0.4643	46.4328
5	0.0300	0.9244	2.5366	0.0436	2.11E+05	0.0155	0.0068	0.0144	2.8045	824.78	18.5727	104.75	1945.58	0.4239	42.3922
6	0.0249	0.7691	2.9479	0.0301	1.75E+05	0.0163	0.0049	0.0099	3.1961	781.95	20.0397	104.56	2095.35	0.3732	37.3186
7	0.0201	0.6198	3.5014	0.0196	1.41E+05	0.0171	0.0033	0.0065	3.7340	736.28	20.7485	104.84	2175.30	0.3385	33.8472
8	0.0152	0.4681	4.0188	0.0112	1.07E+05	0.0179	0.0020	0.0037	4.2389	631.23	21.4003	104.66	2239.75	0.2818	28.1832
9	0.0103	0.3187	4.5868	0.0052	7.27E+04	0.0194	0.0010	0.0017	4.7979	486.53	23.5219	104.68	2462.37	0.1976	19.7586

Constant Value	
Cross-section area of pipe: A (m^2)	0.0324
Roughness [Drawn tubing]: Є (mm)	0.0025
Relative Roughness: Є/D	1.23E-05
Total Coefficient: K	0.3300
Z at outlet (m)	0.2032
Load without impeller set (kg)	0.5146

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

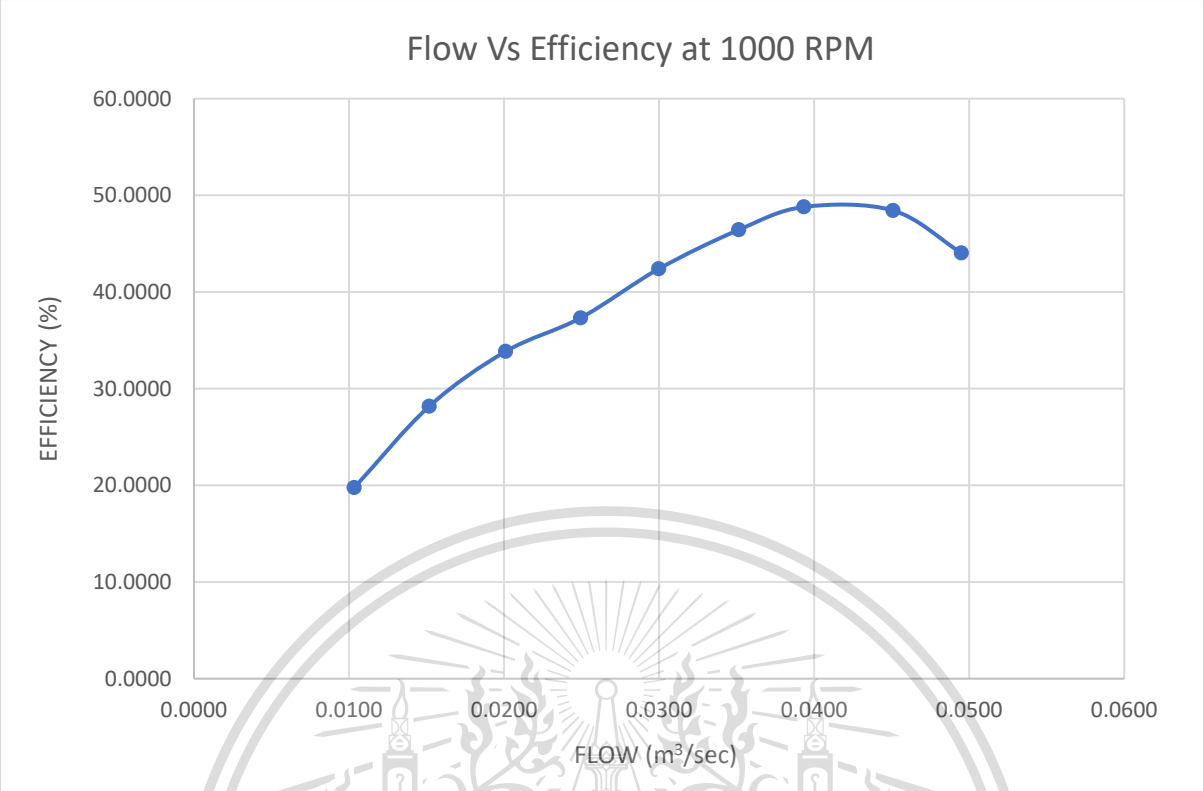


รูปที่ 5.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับเฮดเครื่องสูบน้ำรูปแบบใหม่ (Hp) ที่ 1000 rpm

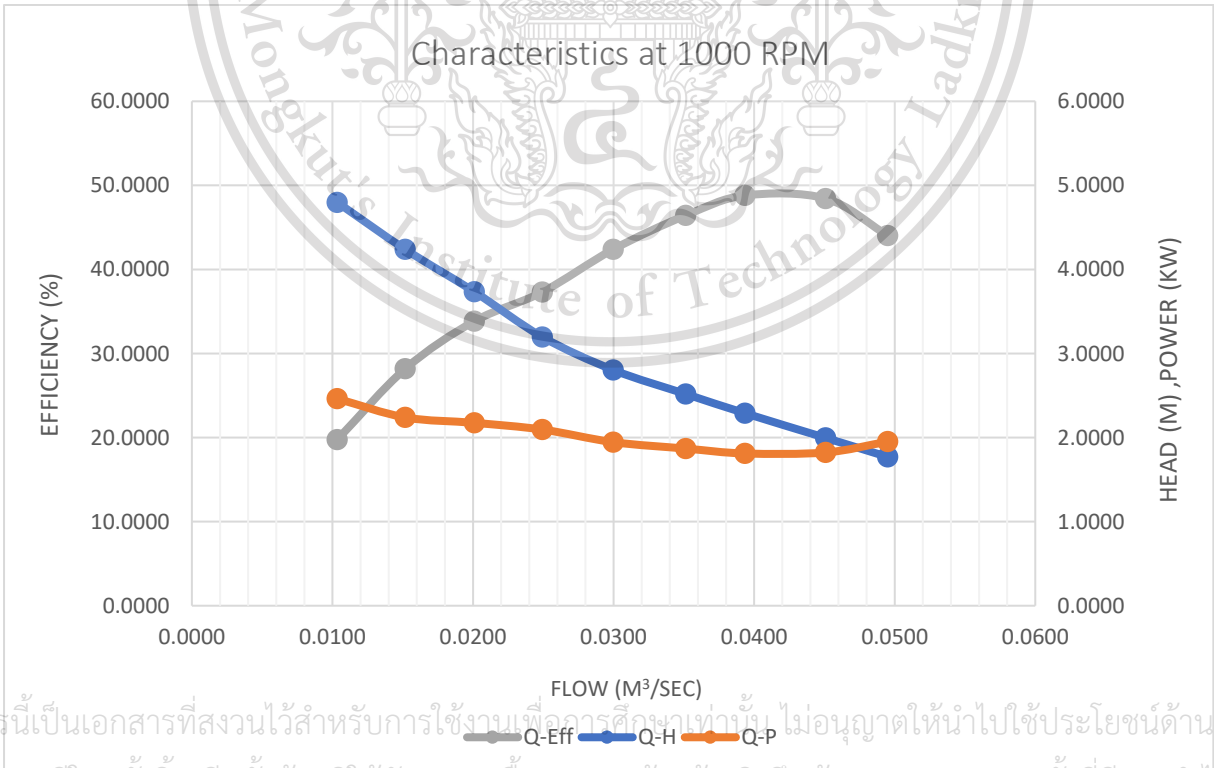


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 5.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับกำลังเพลา (P_S) ใบจักรแบบใหม่ ที่ 1000 rpm



รูปที่ 5.21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับประสิทธิภาพใบจักรแบบใหม่ (η) ที่ 1000 rpm



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

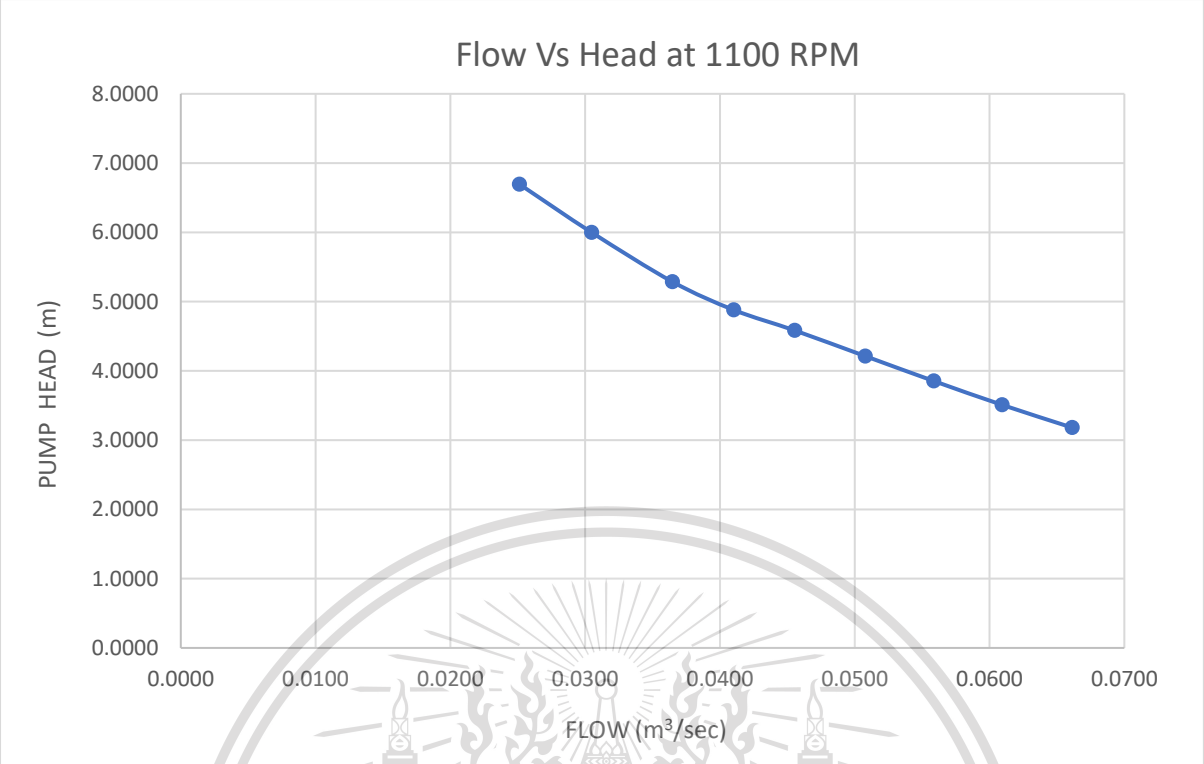
รูปที่ 5.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Q - H_p - P_S - η ของเครื่องสูบน้ำพญานาครูปแบบใหม่ ที่ 1000 rpm

ตารางที่ 5.6 ลักษณะเฉพาะและประสิทธิภาพของชุดใบจักรรูปแบบใหม่จากการทดสอบที่รอบ 1100 rpm

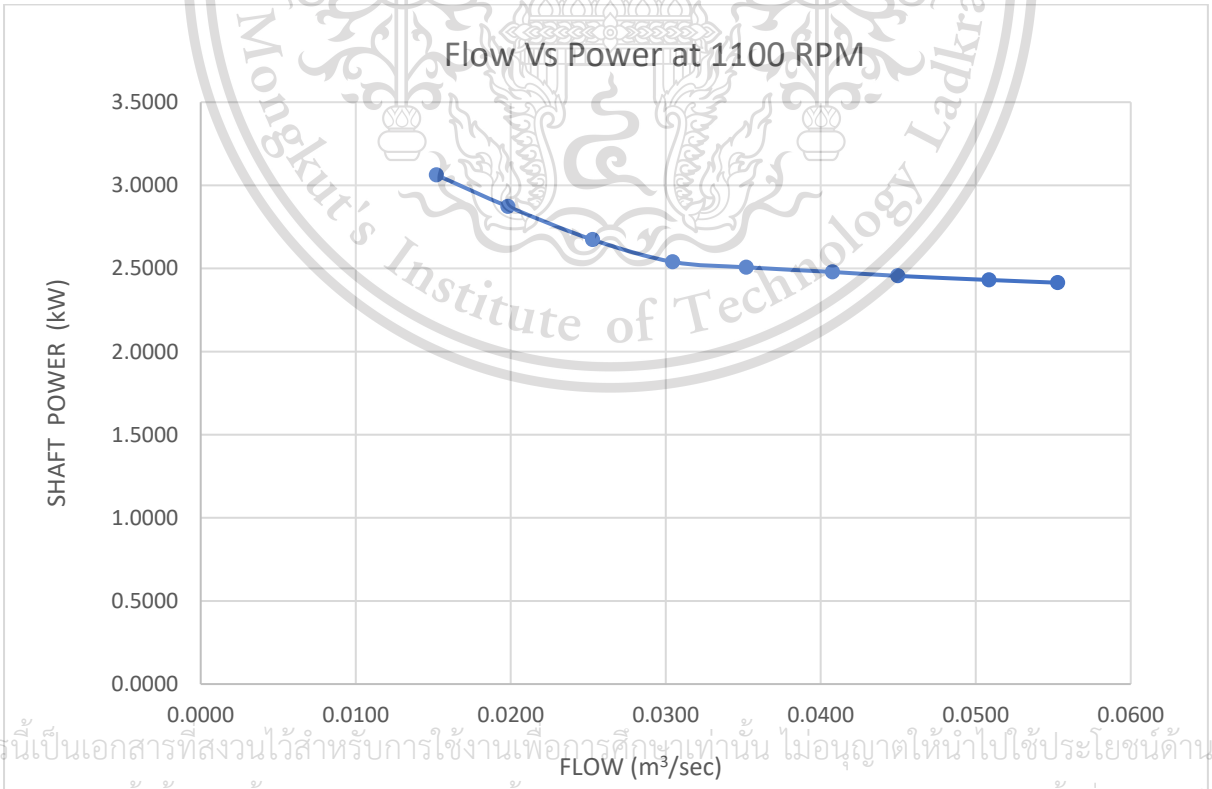
Characteristic															
Test No.	Q (m^3/s)	Velocity (m/s)	Hd (m)	Hv (m)	Renolds: Re	Friction factor: f	Major Loss (m)	Minor Loss (m)	Total Head (m)	Pw (W)	Torque (J)	ω (rad /s)	Ps (W)	η_{pump}	η_{pump} (%)
1	0.0553	1.7049	1.7690	0.1482	3.89E+05	0.0144	0.0213	0.0489	2.1906	1188.14	20.9500	115.24	2414.22	0.4921	49.2143
2	0.0509	1.5685	2.0390	0.1254	3.58E+05	0.0145	0.0182	0.0414	2.4272	1211.17	21.0874	115.27	2430.81	0.4983	49.8258
3	0.0450	1.3869	2.4140	0.0980	3.16E+05	0.0146	0.0143	0.0324	2.7619	1218.56	21.3044	115.24	2455.21	0.4963	49.6317
4	0.0408	1.2572	2.7005	0.0806	2.87E+05	0.0149	0.0120	0.0266	3.0228	1208.99	21.5106	115.24	2478.86	0.4877	48.7721
5	0.0352	1.0854	3.0549	0.0600	2.48E+05	0.0151	0.0091	0.0198	3.3471	1155.79	21.7537	115.23	2506.78	0.4611	46.1064
6	0.0304	0.9389	3.3959	0.0449	2.14E+05	0.0158	0.0071	0.0148	3.6659	1094.99	22.0448	115.21	2539.69	0.4312	43.1151
7	0.0253	0.7799	3.9691	0.0310	1.78E+05	0.0163	0.0050	0.0102	4.2186	1046.69	23.1909	115.24	2672.61	0.3916	39.1638
8	0.0198	0.6114	4.5589	0.0191	1.39E+05	0.0170	0.0032	0.0063	4.7907	931.84	24.9235	115.23	2871.97	0.3245	32.4460
9	0.0152	0.4691	5.1508	0.0112	1.07E+05	0.0178	0.0020	0.0037	5.3709	801.53	26.5900	115.16	3062.20	0.2617	26.1750

Constant Value	
Cross-section area of pipe: A (m^2)	0.0324
Roughness [Drawn tubing]: Є (mm)	0.0025
Relative Roughness: Є/D	1.23E-05
Total Coefficient: K	0.3300
Z at outlet (m)	0.2032
Load without impeller set (kg)	0.5857

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

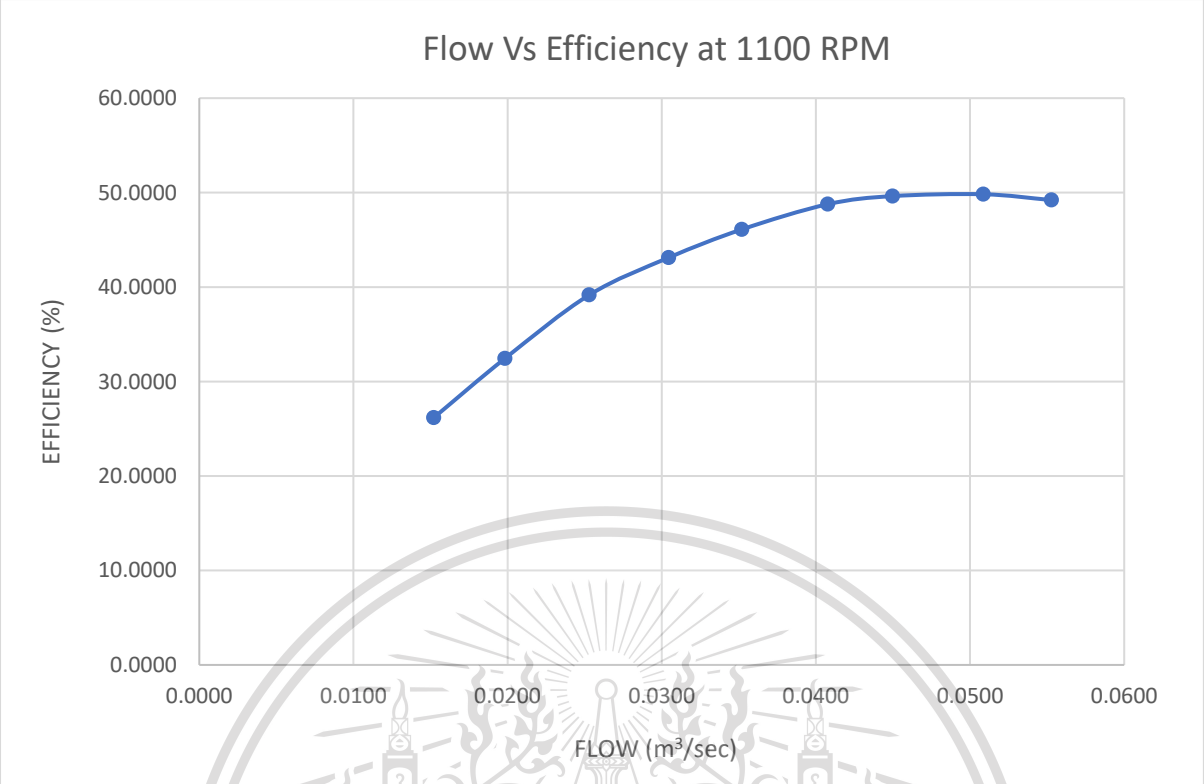


รูปที่ 5.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับเฮดเครื่องสูบน้ำรูปแบบใหม่ (Hp) ที่ 1100 rpm

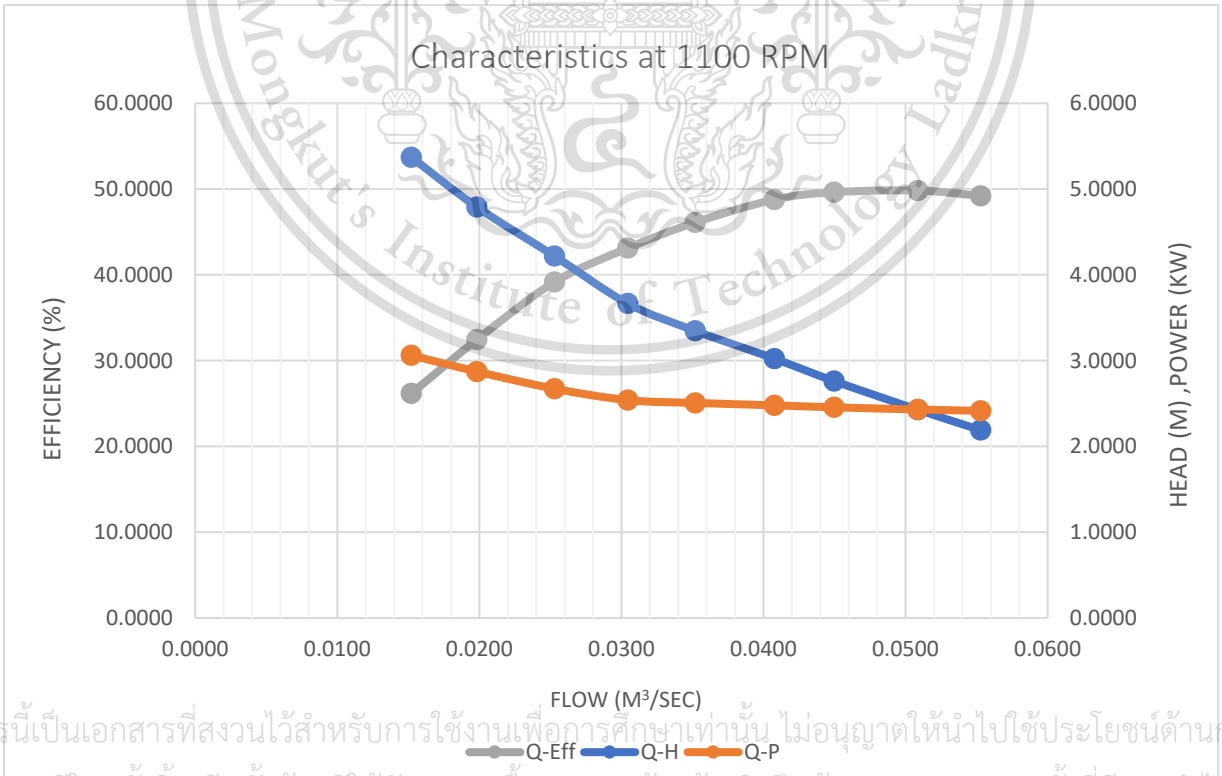


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational purposes only. Not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 5.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับกำลังเพลา (P_S) ใบจักรแบบใหม่ ที่ 1100 rpm



รูปที่ 5.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับประสิทธิภาพใบจักรแบบใหม่ (**η**) ที่ 1100 rpm



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
The materials reserved for educational use only, not allowed for commercial use. Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

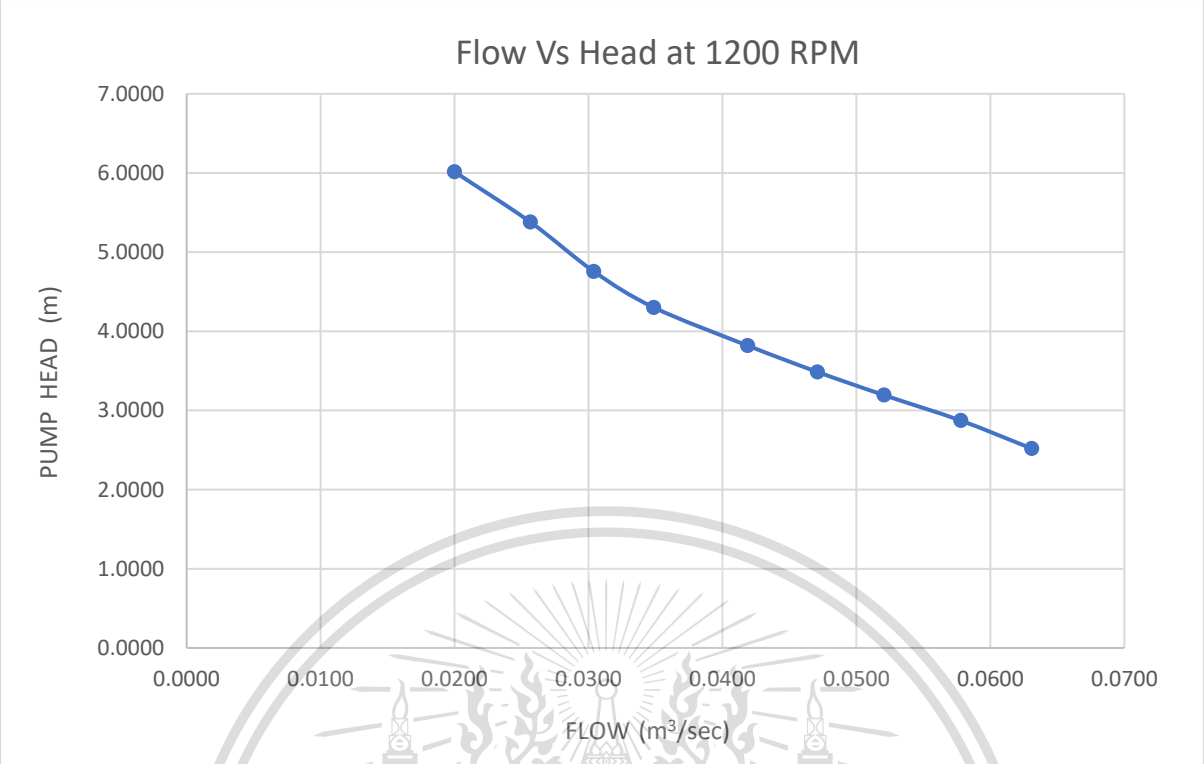
รูปที่ 5.26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Q - H_p - P_S - **η** ของเครื่องสูบน้ำพญานาครูปแบบใหม่ ที่ 1100 rpm

ตารางที่ 5.7 ลักษณะเฉพาะและประสิทธิภาพของชุดใบจักรรูปแบบใหม่จากการทดสอบที่รอบ 1200 rpm

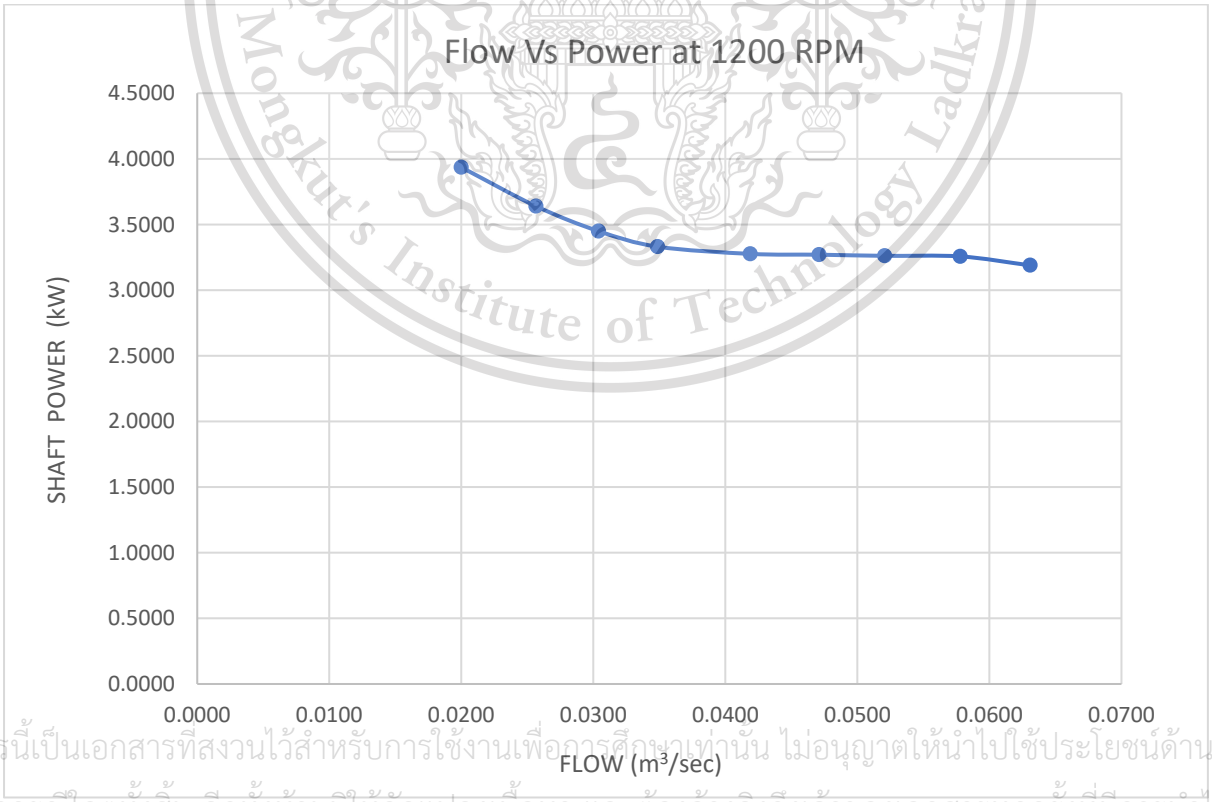
Characteristic															
Test No.	Q (m^3/s)	Velocity (m/s)	Hd (m)	Hv (m)	Renolds: Re	Friction factor: f	Major Loss (m)	Minor Loss (m)	Total Head (m)	Pw (W)	Torque (J)	ω (rad /s)	Ps (W)	η_{pump}	η_{pump} (%)
1	0.0631	1.9455	2.0315	0.1929	4.44E+05	0.0142	0.0274	0.0637	2.5186	1558.82	25.3969	125.57	3189.02	0.4888	48.8807
2	0.0578	1.7823	2.4300	0.1619	4.06E+05	0.0143	0.0232	0.0534	2.8717	1628.28	25.9108	125.69	3256.85	0.5000	49.9956
3	0.0521	1.6057	2.7962	0.1314	3.66E+05	0.0145	0.0190	0.0434	3.1931	1631.10	25.9506	125.67	3261.20	0.5002	50.0154
4	0.0471	1.4524	3.1240	0.1075	3.31E+05	0.0145	0.0156	0.0355	3.4858	1610.62	26.0252	125.65	3269.98	0.4925	49.2548
5	0.0419	1.2918	3.4896	0.0851	2.95E+05	0.0149	0.0126	0.0281	3.8186	1569.30	26.0850	125.60	3276.36	0.4790	47.8978
6	0.0349	1.0756	4.0098	0.0590	2.45E+05	0.0154	0.0091	0.0195	4.3005	1471.53	26.5503	125.46	3331.07	0.4418	44.1759
7	0.0304	0.9374	4.4856	0.0448	2.14E+05	0.0156	0.0070	0.0148	4.7554	1418.16	27.4591	125.62	3449.42	0.4111	41.1131
8	0.0257	0.7913	5.1287	0.0319	1.80E+05	0.0162	0.0052	0.0105	5.3795	1354.16	28.9457	125.73	3639.40	0.3721	37.2083
9	0.0200	0.6167	5.7817	0.0194	1.41E+05	0.0171	0.0033	0.0064	6.0140	1179.96	31.4094	125.30	3935.75	0.2998	29.9804

Constant Value	
Cross-section area of pipe: A (m^2)	0.0324
Roughness [Drawn tubing]: Є (mm)	0.0025
Relative Roughness: Є/D	1.23E-05
Total Coefficient: K	0.3300
Z at outlet (m)	0.2032
Load without impeller set (kg)	0.6520

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

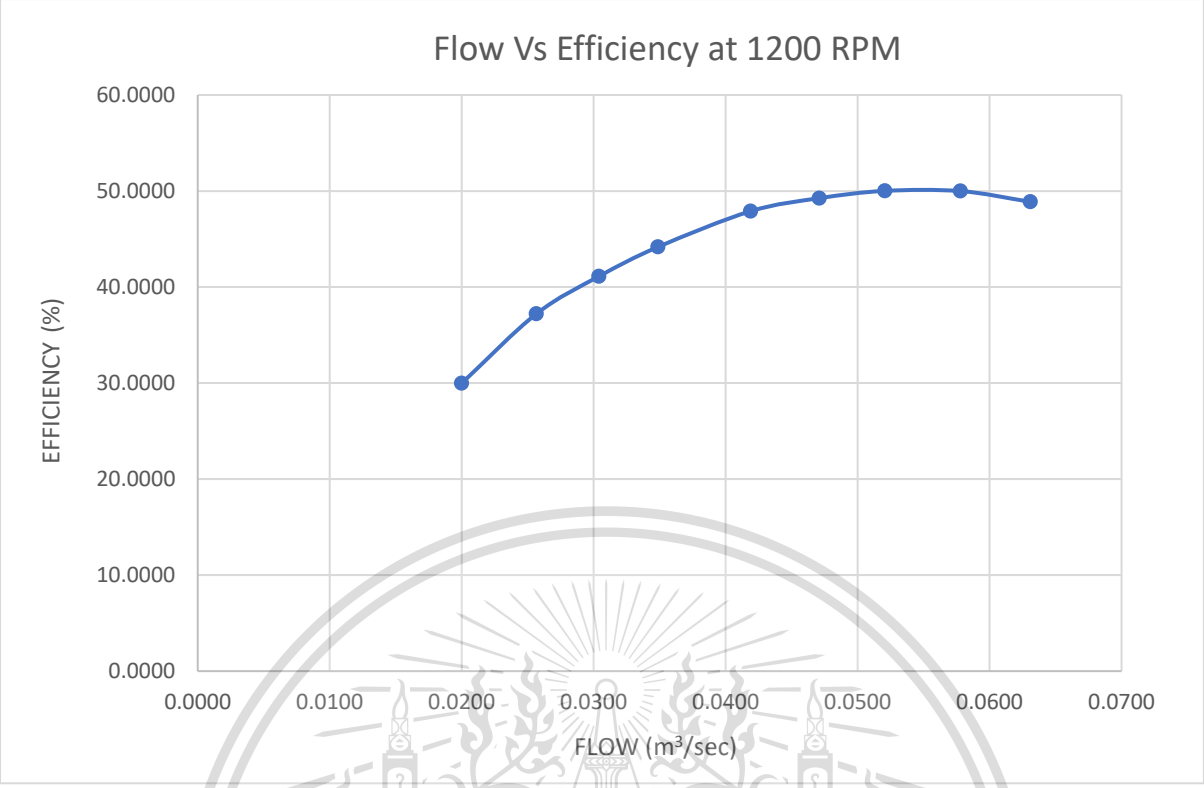


รูปที่ 5.27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับเฮดเครื่องสูบน้ำรูปแบบใหม่ (Hp) ที่ 1200 rpm

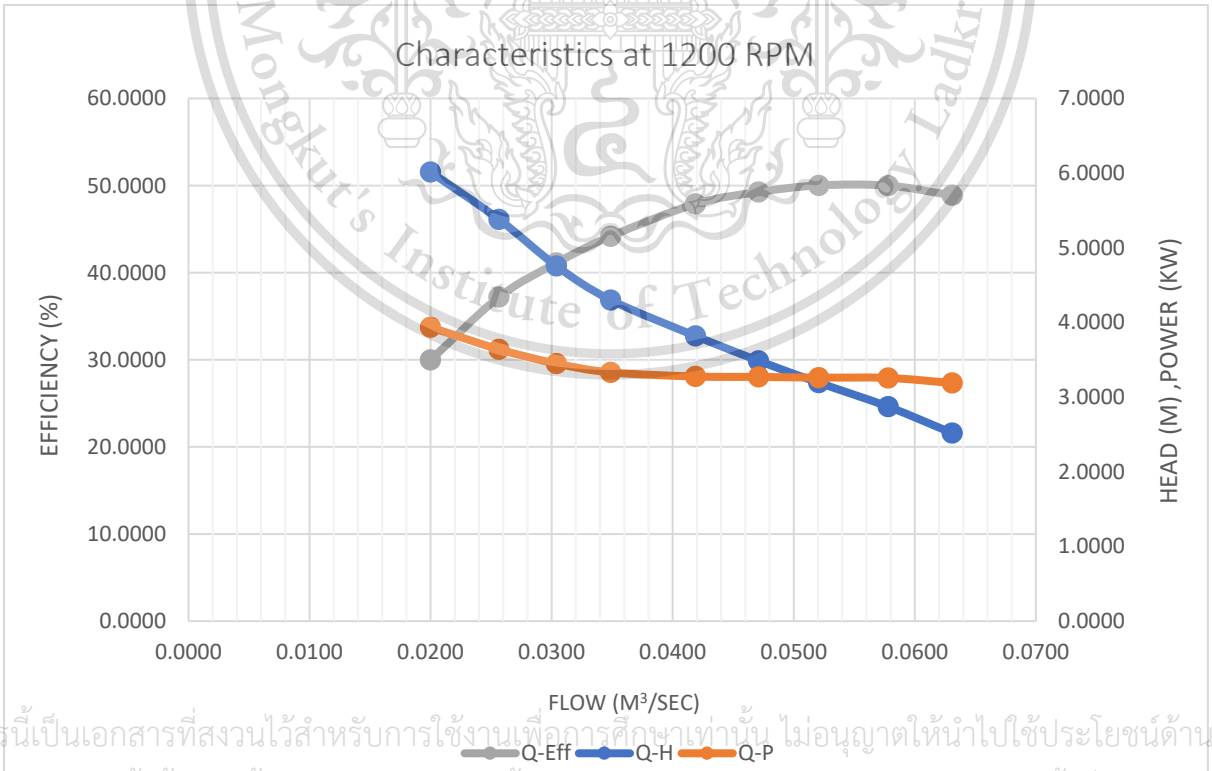


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational purposes only. Not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 5.28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับกำลังเพลา (P_S) ใบจักรแบบใหม่ ที่ 1200 rpm



รูปที่ 5.29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับประสิทธิภาพใบจักรแบบใหม่ (η) ที่ 1200 rpm



รูปที่ 5.30 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Q - H_p - P_S - η ของเครื่องสูบน้ำพญานาครูปแบบใหม่ ที่ 1200 rpm

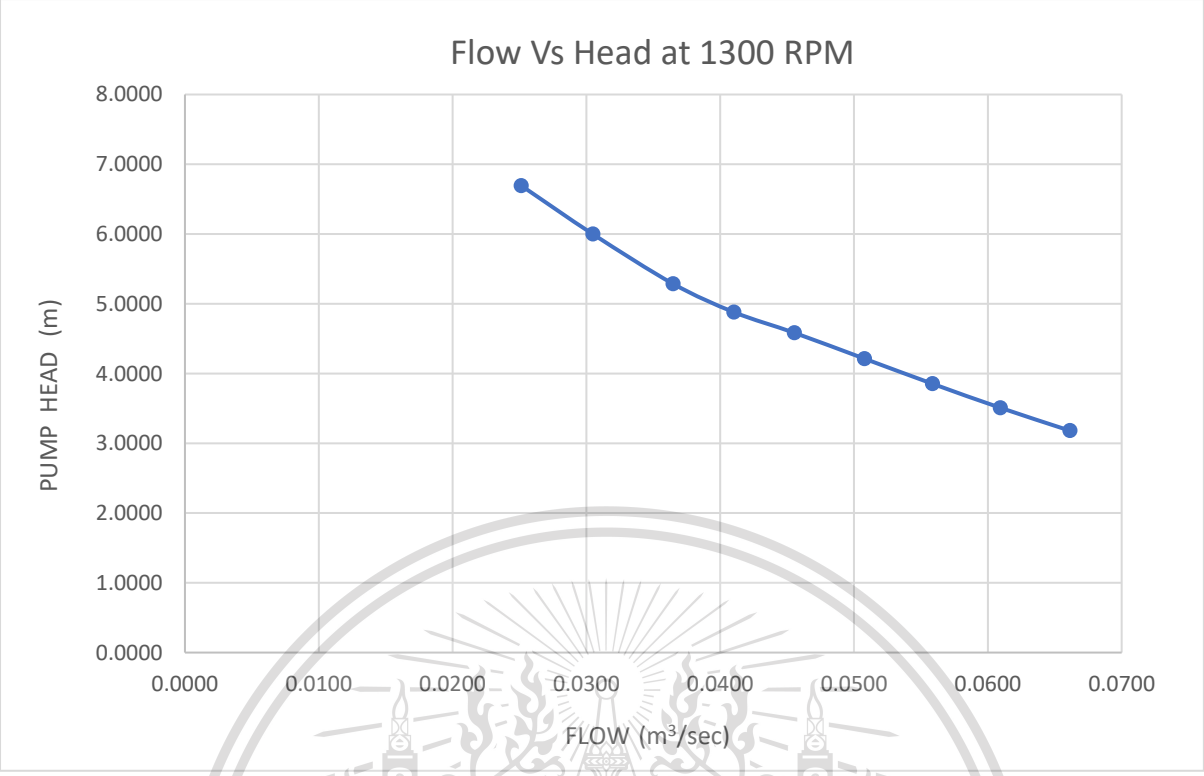
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
The materials reserved for educational use only, not allowed for commercial use. Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 5.8 ลักษณะเฉพาะและประสิทธิภาพของชุดใบจักรรูปแบบใหม่จากการทดสอบที่รอบ 1300 rpm

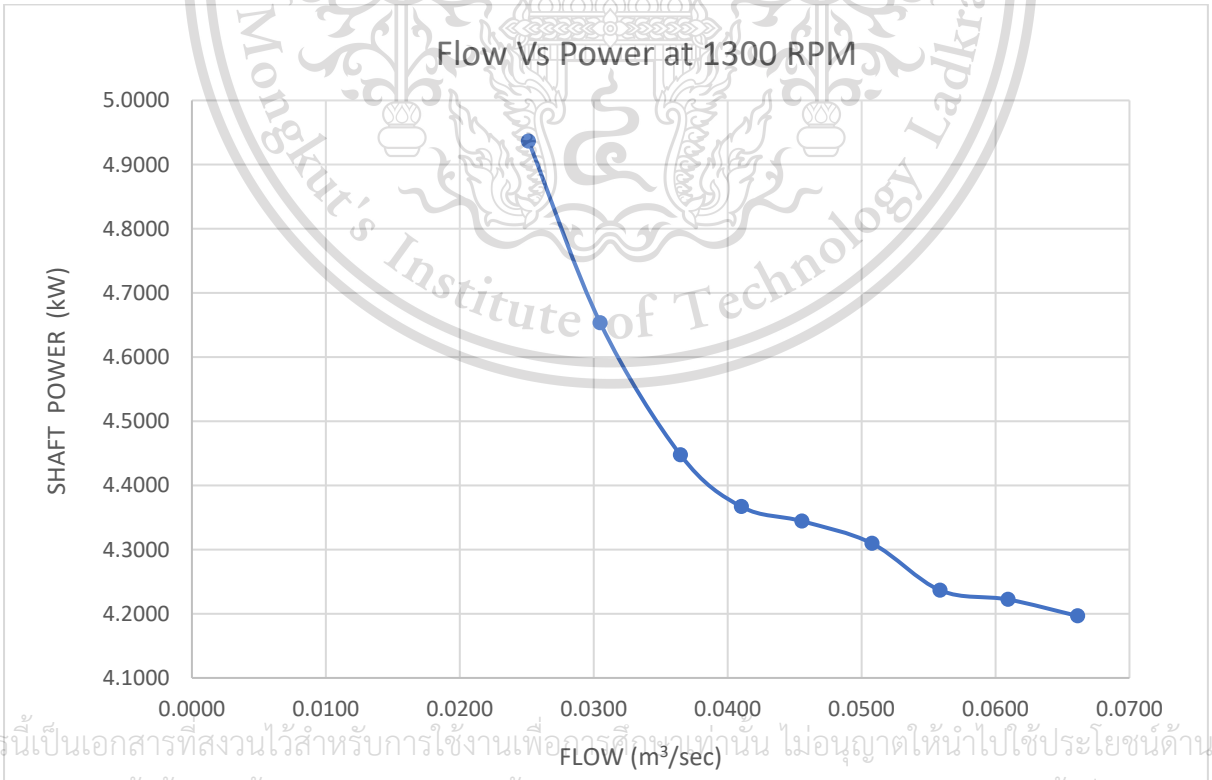
Characteristic															
Test No.	Q (m^3/s)	Velocity (m/s)	Hd (m)	Hv (m)	Renolds: Re	Friction factor: f	Major Loss (m)	Minor Loss (m)	Total Head (m)	Pw (W)	Torque (J)	ω (rad /s)	Ps (W)	η_{pump}	η_{pump} (%)
1	0.0661	2.0395	2.6652	0.2120	4.65E+05	0.0141	0.0299	0.0700	3.1804	2063.53	30.8646	135.97	4196.56	0.4917	49.1719
2	0.0609	1.8794	3.0400	0.1800	4.29E+05	0.0142	0.0256	0.0594	3.5082	2097.52	31.0528	135.97	4222.19	0.4968	49.6784
3	0.0559	1.7229	3.4269	0.1513	3.93E+05	0.0144	0.0217	0.0499	3.8530	2111.80	31.1316	136.08	4236.46	0.4985	49.8482
4	0.0508	1.5660	3.8250	0.1250	3.57E+05	0.0145	0.0181	0.0412	4.2126	2098.73	31.6461	136.18	4309.58	0.4870	48.6991
5	0.0455	1.4046	4.2318	0.1005	3.20E+05	0.0147	0.0147	0.0332	4.5835	2048.04	31.9218	136.09	4344.31	0.4714	47.1432
6	0.0410	1.2653	4.5555	0.0816	2.89E+05	0.0149	0.0121	0.0269	4.8794	1964.14	32.1181	135.96	4366.83	0.4498	44.9788
7	0.0365	1.1250	4.9873	0.0645	2.57E+05	0.0150	0.0097	0.0213	5.2860	1891.78	32.6742	136.12	4447.55	0.4254	42.5354
8	0.0305	0.9402	5.7276	0.0451	2.14E+05	0.0157	0.0071	0.0149	5.9978	1793.98	34.2085	136.03	4653.35	0.3855	38.5524
9	0.0251	0.7752	6.4438	0.0306	1.77E+05	0.0163	0.0050	0.0101	6.6927	1650.42	36.2767	136.07	4936.30	0.3343	33.4344

Constant Value	
Cross-section area of pipe: A (m^2)	0.0324
Roughness [Drawn tubing]: Є (mm)	0.0025
Relative Roughness: Є/D	1.23E-05
Total Coefficient: K	0.3300
Z at outlet (m)	0.2032
Load without impeller set (kg)	0.5897

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

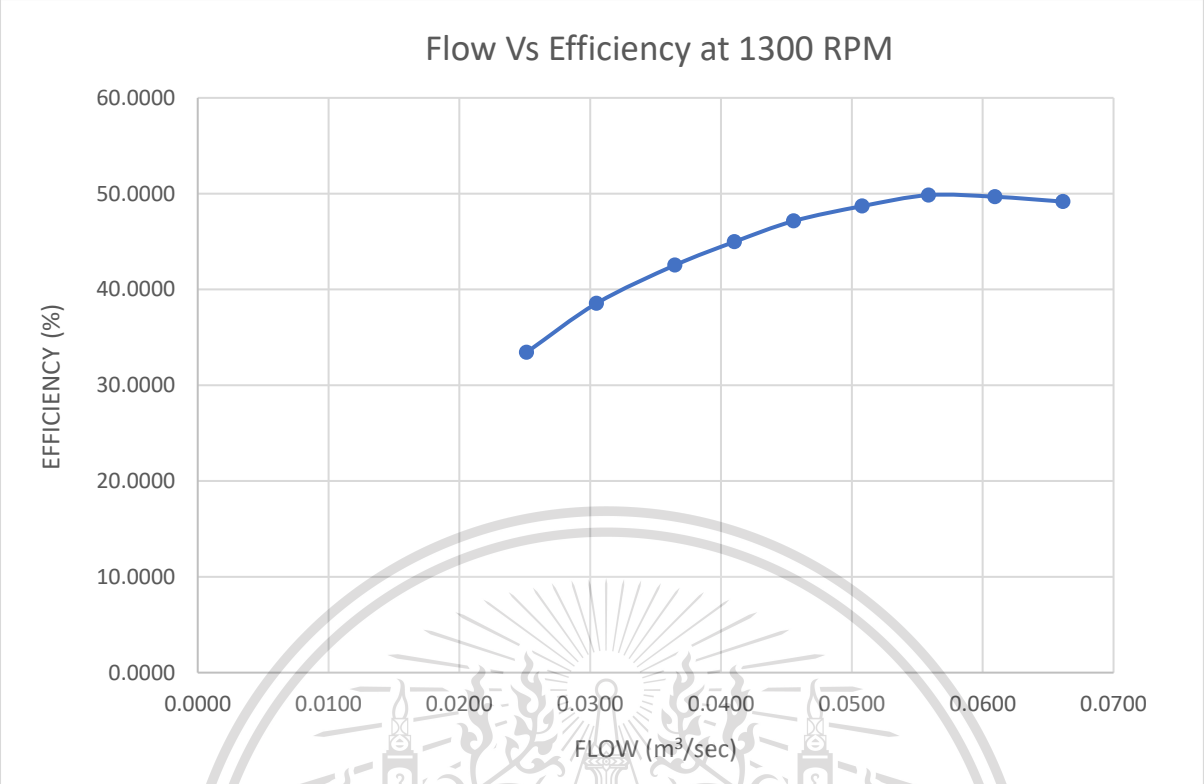


รูปที่ 5.31 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับเฮดเครื่องสูบน้ำรูปแบบใหม่ (Hp) ที่ 1300 rpm

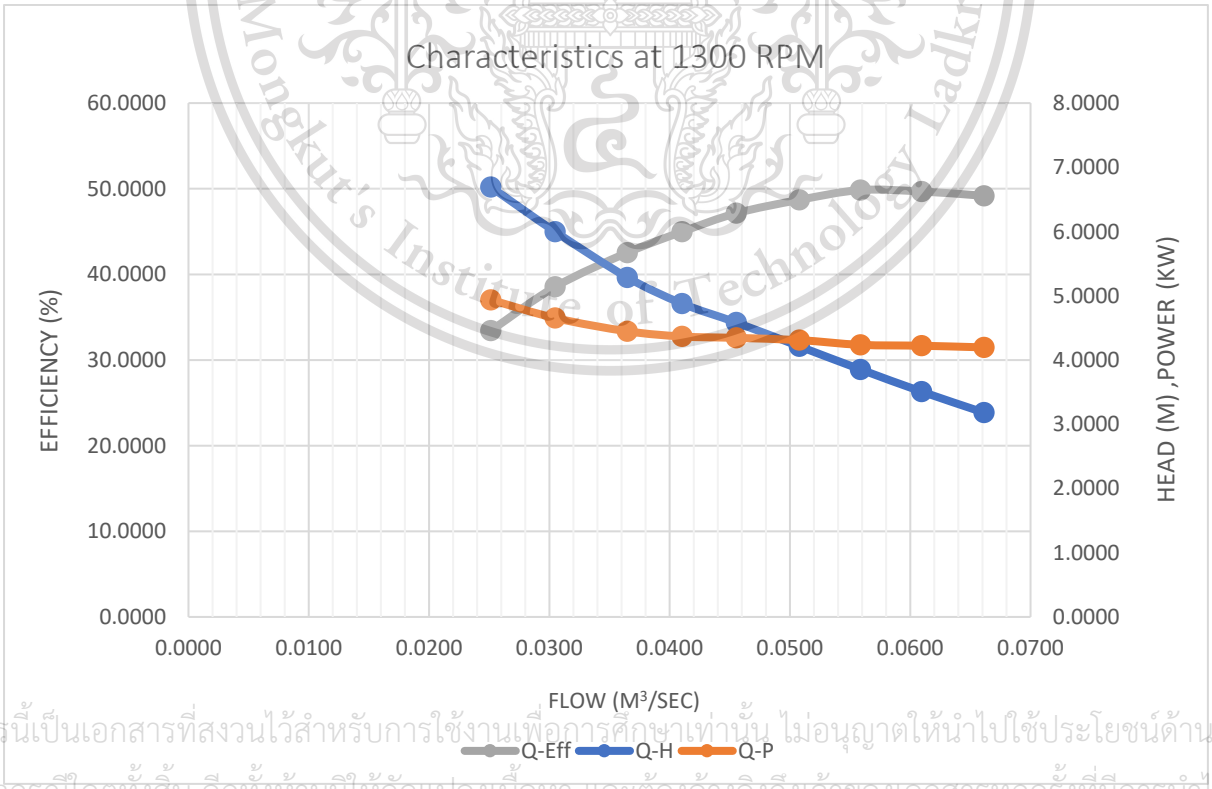


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This thesis is for educational purposes only. Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 5.32 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับกำลังเพลา (P_S) ใบจักรแบบใหม่ ที่ 1300 rpm



รูปที่ 5.33 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับประสิทธิภาพใบจักรแบบใหม่ (η) ที่ 1300 rpm



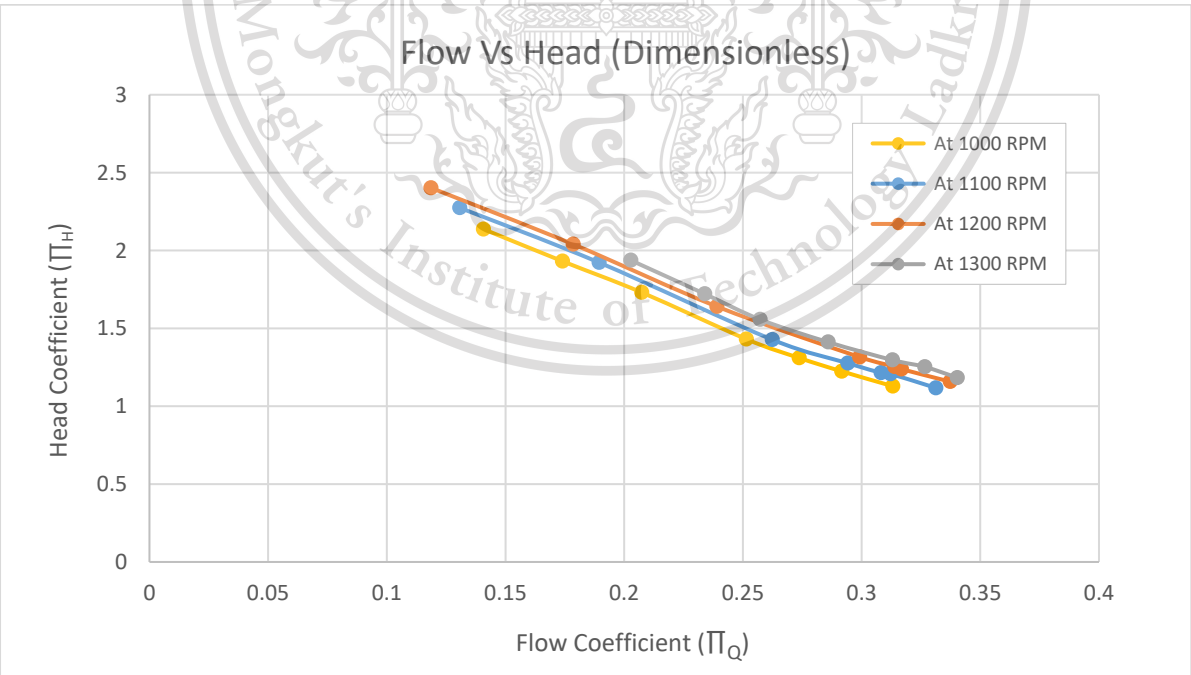
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
The materials reserved for educational use only, not allowed for commercial use. Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 5.34 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Q - H_p - P_S - η ของเครื่องสูบน้ำพญานาครูปแบบใหม่ ที่ 1300 rpm

5.2 การตรวจสอบและเปรียบเทียบผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

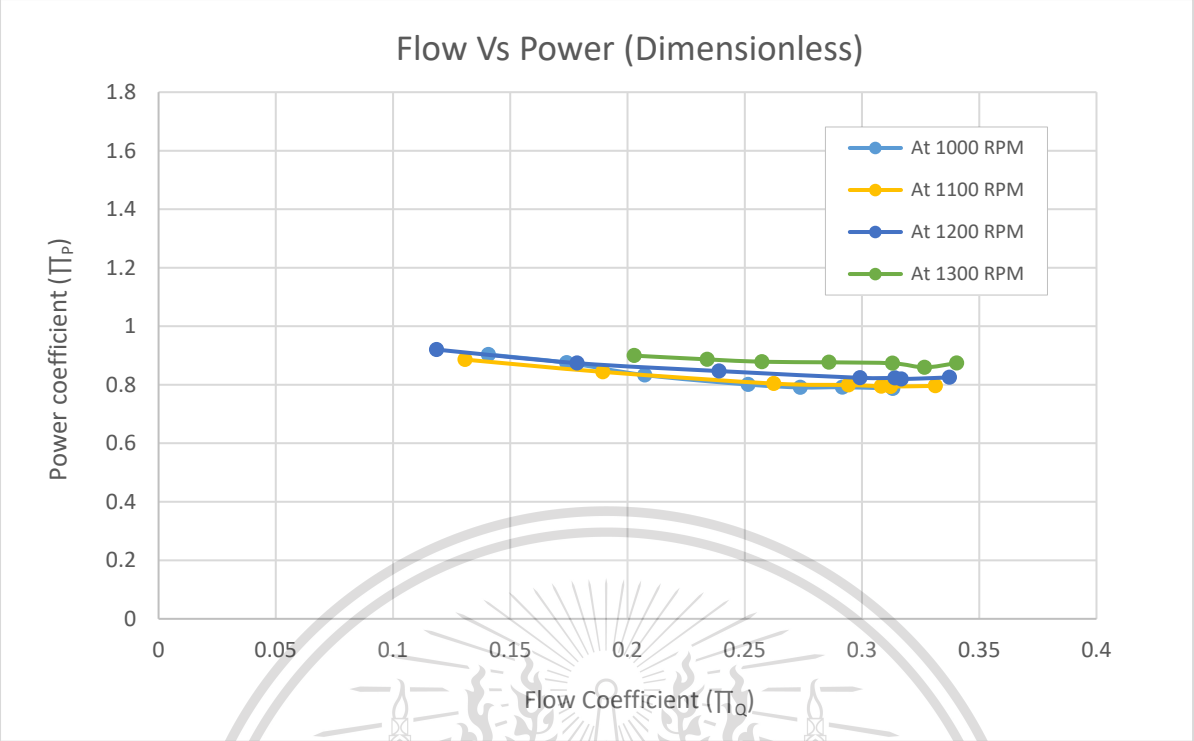
จากการบันทึกค่าตัวแปรที่สำคัญของเครื่องสูบน้ำด้วยโปรแกรม LabVIEW ในระหว่างที่ทำการทดสอบชุดใบจักรของเครื่องสูบน้ำพญานาคด้วยชุดทดสอบสมรรถนะนั้น สามารถที่จะตรวจสอบความสอดคล้องของข้อมูลตัวแปรดังกล่าวได้ โดยในขั้นแรกคือการนำตัวแปรดังกล่าวไปทำการคำนวณหาค่าเฮดความดันรวมของเครื่องสูบน้ำ ค่ากำลังของเพลา และค่าประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำ จากนั้นในขั้นตอนถัดมาจึงทำการจัดรูปให้ค่าอัตราการไหล ค่าเฮดความดันรวม และค่ากำลังของเพลาอยู่ในรูปแบบของตัวแปรที่ไร้มิติ โดยการทำให้ค่าอัตราการไหลอยู่ในรูปของ Flow Coefficient ค่าเฮดความดันรวมอยู่ในรูปของ Head Coefficient และ ค่ากำลังของเพลาอยู่ในรูปของ Power Coefficient แล้วจึงนำไปสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ในรูปแบบตัวแปรไร้มิติ ระหว่าง Flow Coefficient กับ Head Coefficient, ระหว่าง Flow Coefficient กับ Power Coefficient, และระหว่าง Flow Coefficient กับ Efficiency (%) ดังแสดงในรูปที่ 5.35, 5.36 และ 5.37 ตามลำดับ สำหรับชุดใบจักรรูปแบบเก่า และดังแสดงในรูปที่ 5.38, 5.39 และ 5.40 ตามลำดับ สำหรับชุดใบจักรรูปแบบใหม่ ทั้งนี้ เรายังสามารถที่จะตรวจสอบความแม่นยำของข้อมูลจากการทดสอบได้ โดยการคำนวณค่า Uncertainty หรือค่าความไม่แน่นอน ซึ่งต้องสอดคล้องตามมาตรฐานอุตสาหกรรมญี่ปุ่นหรือ Japanese Industrial Standards (JIS) ดังที่แสดงรายละเอียดในหัวข้อ 5.2.3

5.2.1 ผลการทดสอบในรูปแบบตัวแปรไร้มิติ (Dimensionless) ของชุดใบจักรแบบเก่า

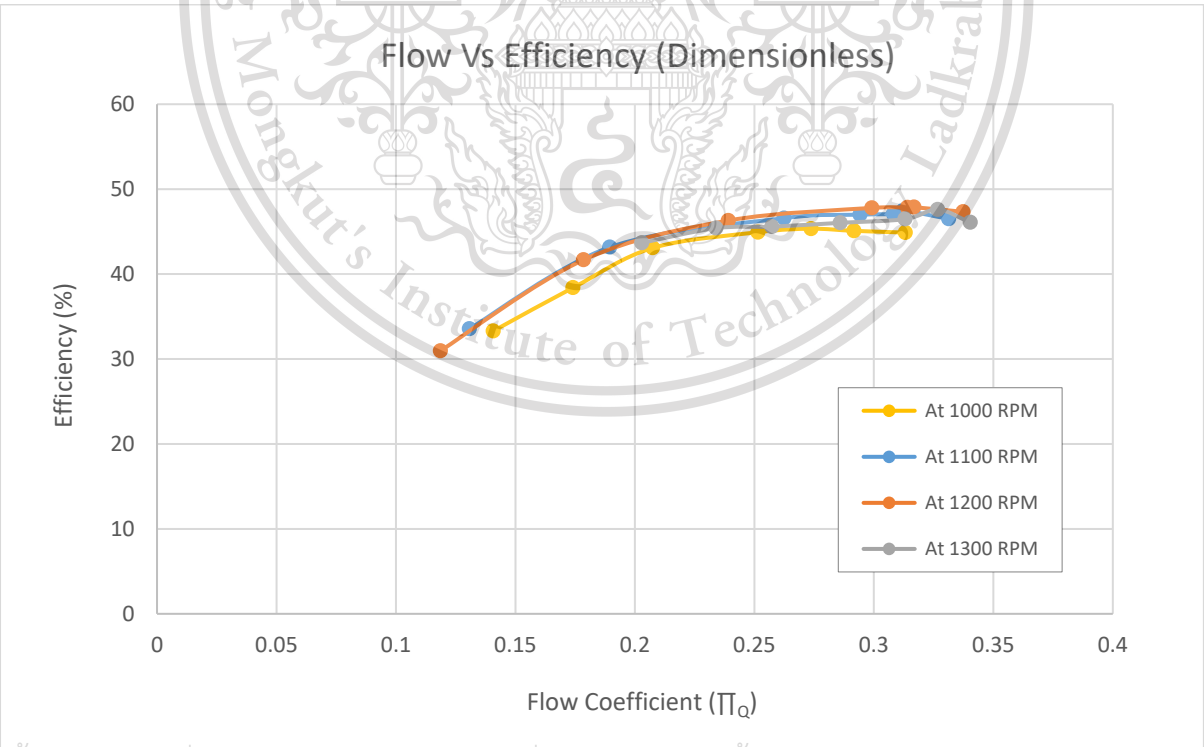


รูปที่ 5.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Flow Coefficient กับ Head Coefficient ของใบจักรแบบเก่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 5.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Flow Coefficient กับ Power Coefficient ของใบจักรแบบเก่า



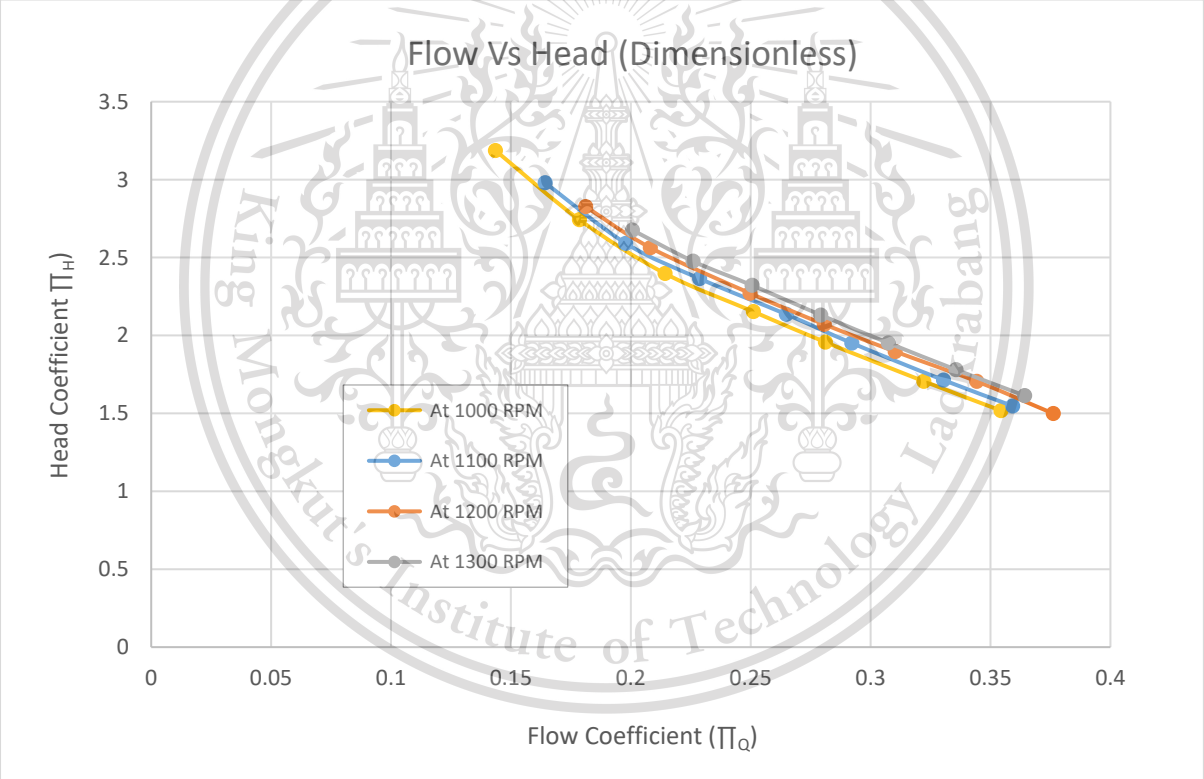
รูปที่ 5.37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Flow Coefficient กับ Efficiency ของใบจักรแบบเก่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น การอ้างอิงหรือสำเนาส่วนใดส่วนหนึ่งของเอกสารนี้ต้องได้รับอนุญาตจากผู้เขียนเท่านั้น
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรไร้มิติของชุดใบจักรรูปแบบเก่า ดังแสดงในรูปที่ 5.35 5.36 และ 5.37 ตามลำดับ จะแสดงให้เห็นว่า ลักษณะเส้นกราฟของชุดข้อมูลไร้มิติซึ่งคำนวณได้จากค่าที่บันทึกขณะทำการทดสอบ มีความสอดคล้องกันของข้อมูลในทุกรอบความเร็ว ซึ่งได้แก่ 1000 ถึง 1300 รอบ/นาที ตามลำดับ

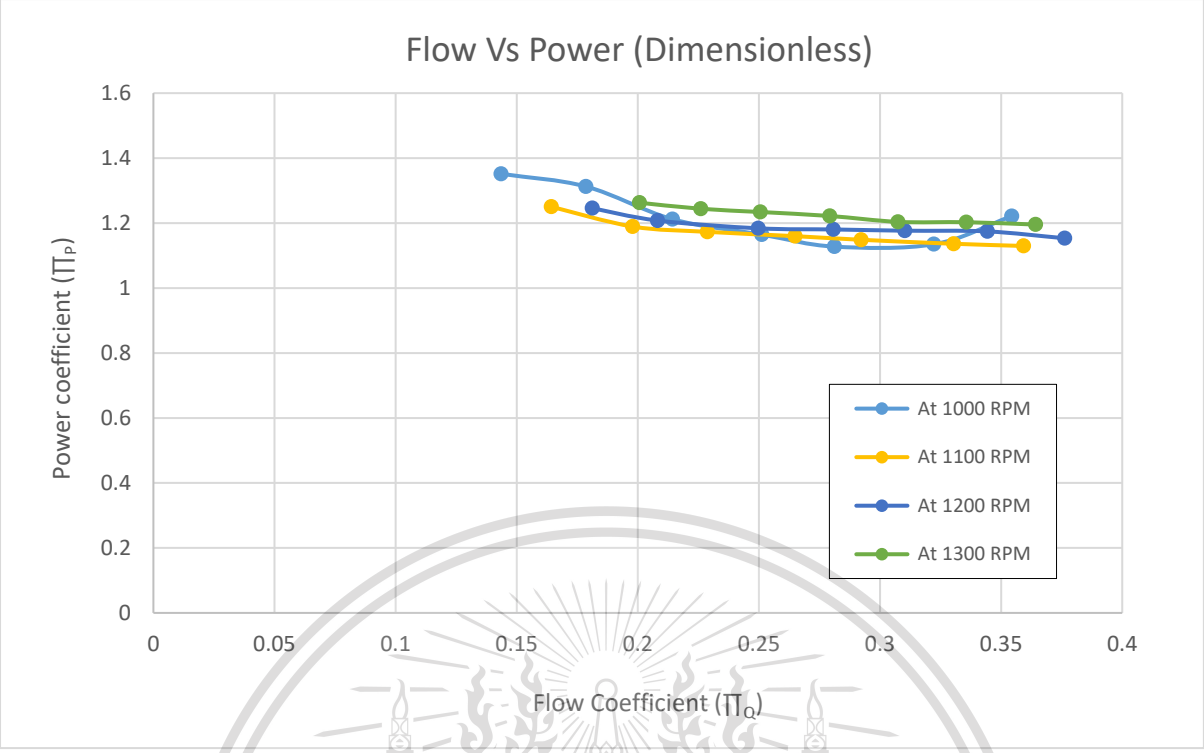
5.2.2 ผลการทดสอบในรูปแบบตัวแปรไร้มิติ (Dimensionless) ของชุดใบจักรแบบใหม่

เมื่อพิจารณากราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรไร้มิติของชุดใบจักรรูปแบบใหม่ ที่ความเร็วรอบ 1000 1100 1200 และ 1300 รอบ/นาที ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 5.38 ถึง 5.40 จะพบว่า ลักษณะเส้นกราฟของชุดข้อมูลไร้มิติซึ่งคำนวณได้จากค่าที่บันทึกขณะทำการทดสอบด้วยโปรแกรม LabVIEW มีความสอดคล้องกันของค่าตัวแปรในทุกรอบความเร็ว

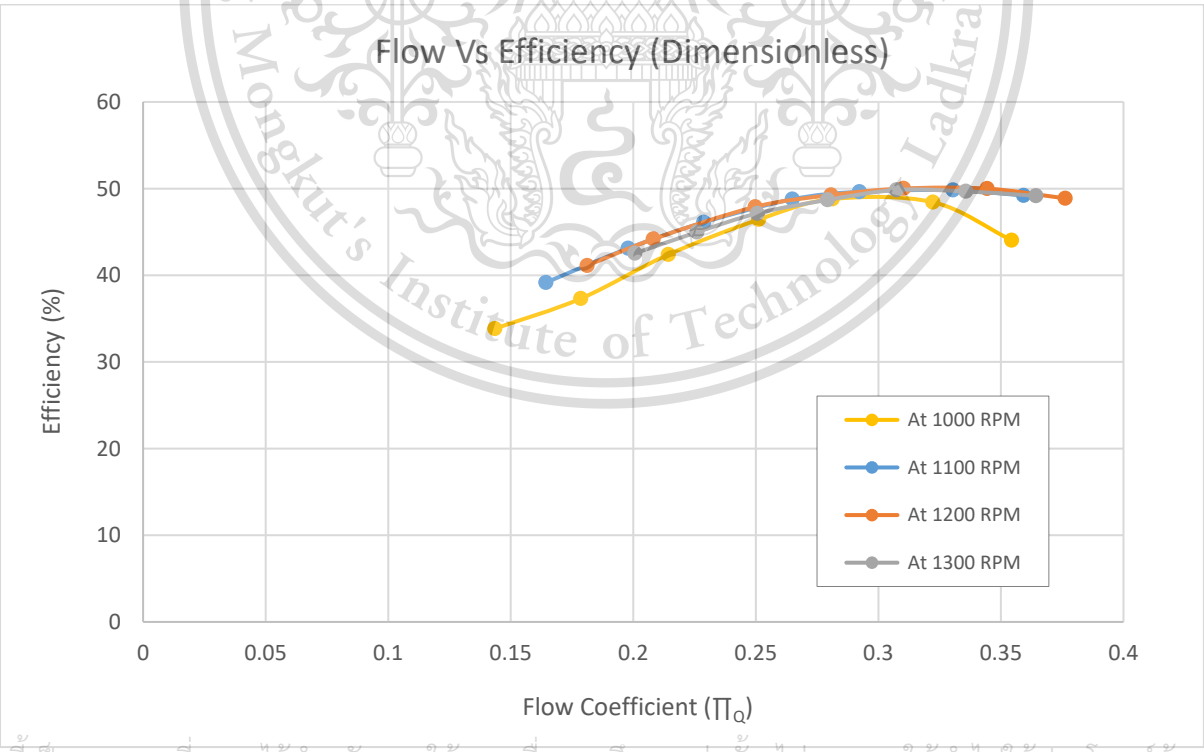


รูปที่ 5.38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Flow Coefficient กับ Head Coefficient ของใบจักรแบบใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 5.39 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Flow Coefficient กับ Power Coefficient ของใบจักรแบบใหม่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น การใช้ประโยชน์ด้านการค้า ต้องได้รับอนุญาตก่อนนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 5.40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Flow Coefficient กับ Efficiency ของใบจักรแบบใหม่

5.2.3 การตรวจสอบความแม่นยำของข้อมูลด้วยค่า Uncertainty ตามมาตรฐาน JIS

ค่าความไม่แน่นอนโดยรวมของการทดสอบนั้น เป็นค่าที่บ่งบอกถึงค่า Error โดยรวมของค่าที่ได้จากการทดสอบ ซึ่งค่าความไม่แน่นอนนี้เป็นผลรวมของค่า Bias Error (คือ Error ที่เป็นผลมาจากความไม่แม่นยำของเครื่องมือวัด) และ Precision Error (คือ Error ที่มาจากการเก็บค่าใน Condition เดิม เป็นจำนวนหลายค่าแล้วแต่ละค่ามีความไม่เที่ยงตรงต่อกัน) นอกจากนี้ยังมีการใช้ความรู้ทางด้าน Finite Static คือเรื่องการใช้ตาราง Student-t Distribution มาใช้ประกอบการคำนวณด้วย ซึ่งผลการคำนวณค่าความไม่แน่นอนของการทดสอบประสิทธิภาพชุดใบจักรนั้นแสดงได้ดังนี้

ตารางที่ 5.9 ค่าความไม่แน่นอนโดยรวมของประสิทธิภาพชุดใบจักรเครื่องสูบน้ำพญานาครูปแบบเก่า

Rotational Speed (rpm)	Uncertainty of Pump Efficiency (%)	Grade of JIS B 8301 2000
1000	$\pm$0.471	1
1100	$\pm$0.601	1
1200	$\pm$0.654	1
1300	$\pm$0.734	1

ตารางที่ 5.10 ค่าความไม่แน่นอนโดยรวมของประสิทธิภาพชุดใบจักรเครื่องสูบน้ำพญานาครูปแบบใหม่

Rotational Speed (rpm)	Uncertainty of Pump Efficiency (%)	Grade of JIS B 8301 2000
1000	$\pm$0.489	1
1100	$\pm$0.626	1
1200	$\pm$0.642	1
1300	$\pm$0.688	1

สำหรับค่า Uncertainty of Pump Efficiency ที่คำนวณได้เป็น % สามารถที่จะเปรียบเทียบค่า % ดังกล่าวให้ไปเป็นเกรดตามมาตรฐาน JIS B 8301 2000 ได้ ดังที่แสดงรายละเอียดในตารางที่ 5.11

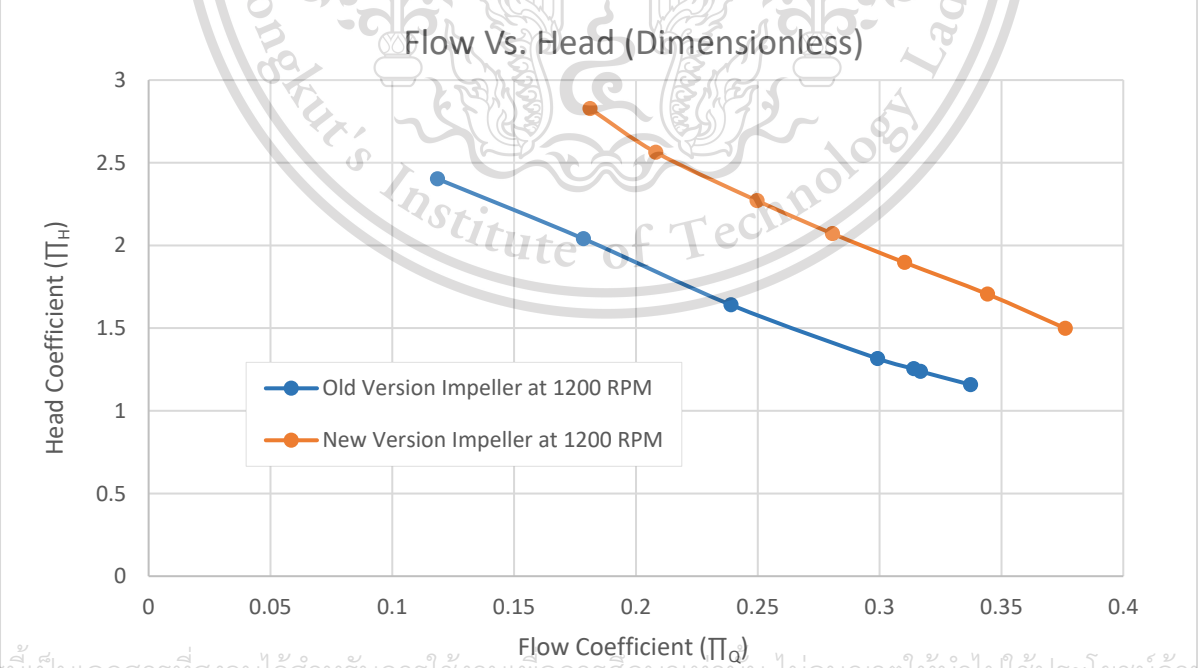
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 5.11 ค่าความไม่แน่นอนโดยรวมของประสิทธิภาพ จาก JIS B 8301 2000 Unit :%

Quantity	Symbol	Grade 1	Grade 2
Overall efficiency (computed from $Q, H, \mathrm{P_{gr}}$)	$e_{\eta_{gr}}$	$\pm$ 2.9	$\pm$ 6.1
Pump efficiency (computed from Q, H, T, N)	e_{η}	$\pm$ 2.9	$\pm$ 6.1
Pump efficiency (computed from $Q, H, \mathrm{P_{gr}}, \eta_{motor}$)	e_{η}	$\pm$ 3.2	$\pm$ 6.4

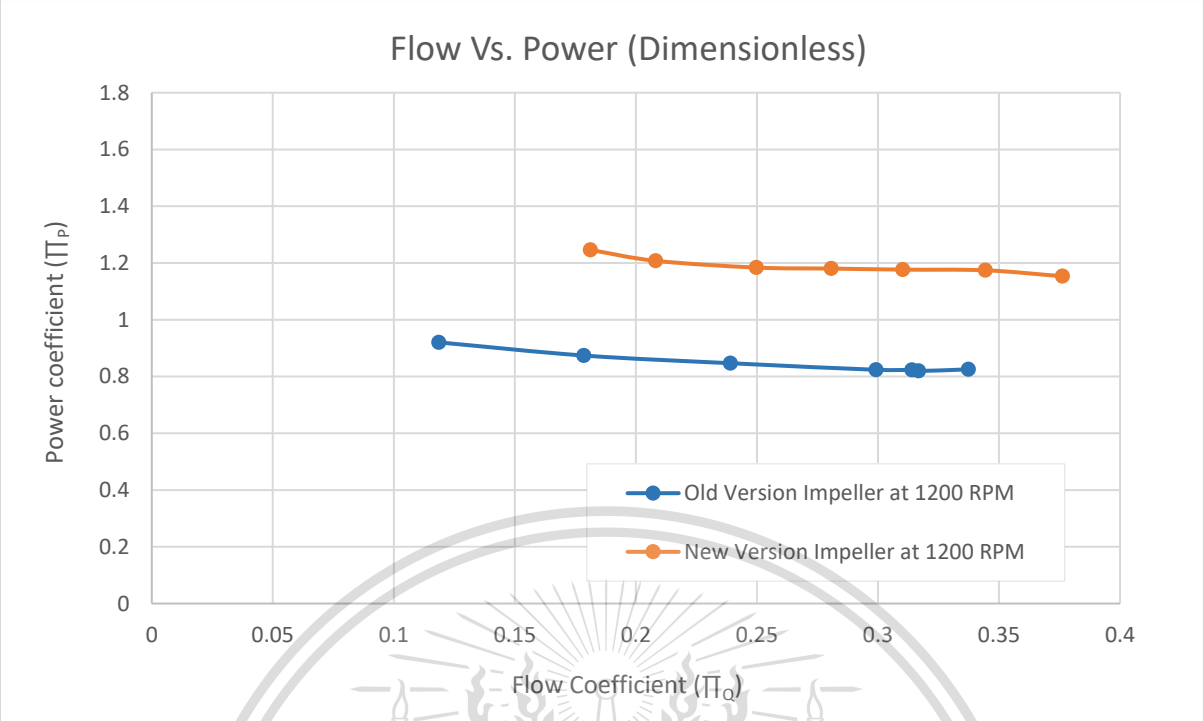
5.2.4 การเปรียบเทียบผลการทดสอบในรูปแบบตัวแปรไร้มิติที่ Best Efficiency Point (BEP)

จากผลการทดสอบหาสมรรถนะการทำงานของเครื่องสูบน้ำพญานาค โดยใช้ชุดใบจักรรูปแบบเก่าและรูปแบบใหม่ พบว่าแสดงประสิทธิภาพการทำงานสูงสุด (Best Efficiency point) ที่ 1200 รอบต่อนาที และสามารถแสดงสรรถนะการทำงานของเครื่องสูบน้ำพญานาคแบบไร้มิติ (Dimensionless) ดังในรูปที่ 5.41 ถึง 5.43 ได้ โดยแบ่งพิจารณาข้อมูลออกเป็น 3 ส่วน คือ Flow Coefficient (Π_Q) กับ Head Coefficient (Π_H), Flow Coefficient (Π_Q) กับ Power Coefficient (Π_P) และ Flow Coefficient (Π_Q) กับ Efficiency (η) เพราะเส้นกราฟสรรถนะการทำงานของเครื่องสูบน้ำแบบไร้มิติสามารถใช้อธิบายคุณลักษณะการทำงานของเครื่องสูบน้ำแต่ละแบบและสามารถนำข้อมูลสมรรถนะการทำงานที่ดีที่สุดของแต่ละชุดใบจักรมาเปรียบเทียบกันได้ เนื่องจากไม่มีผลในเรื่องของจำนวนใบ และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบจักร

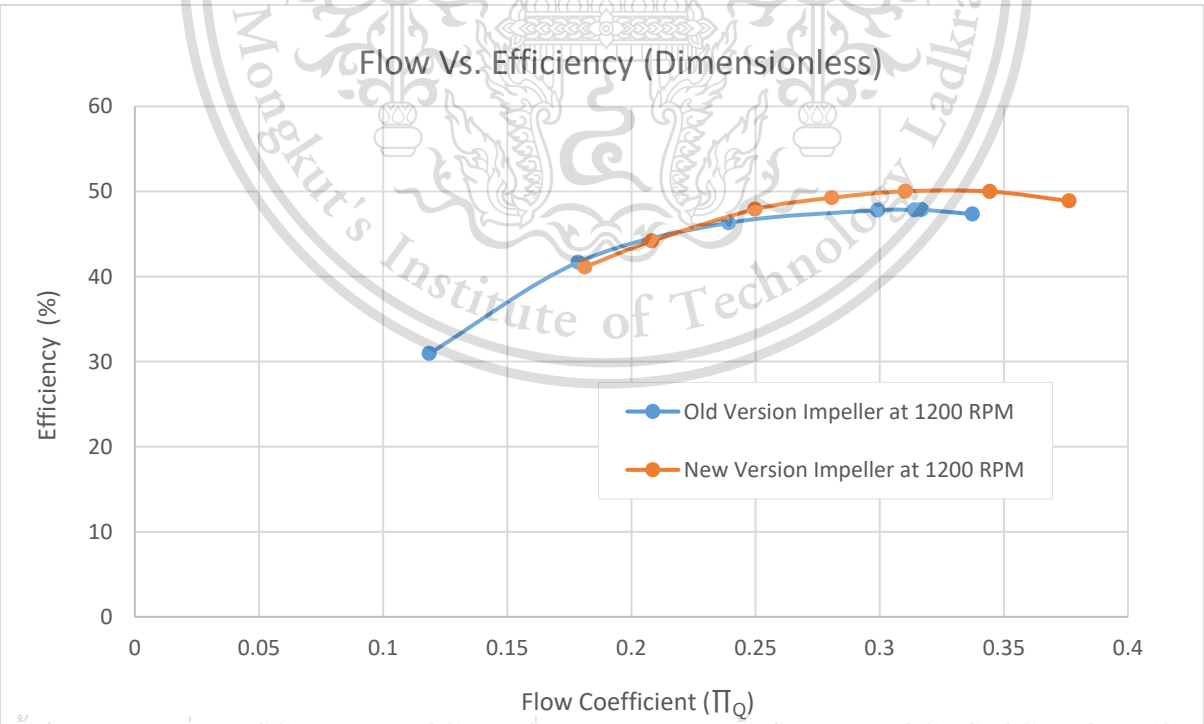


รูปที่ 5.41 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่าง Flow Coefficient (Π_Q) กับ Head Coefficient (Π_H) ของชุดใบจักร 2 รูปแบบ ที่ Best Efficiency Point

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
The material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 5.42 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่าง Flow Coefficient (Π_Q) กับ Power Coefficient (Π_P) ของชุดใบจักร 2 รูปแบบ ที่ Best Efficiency Point

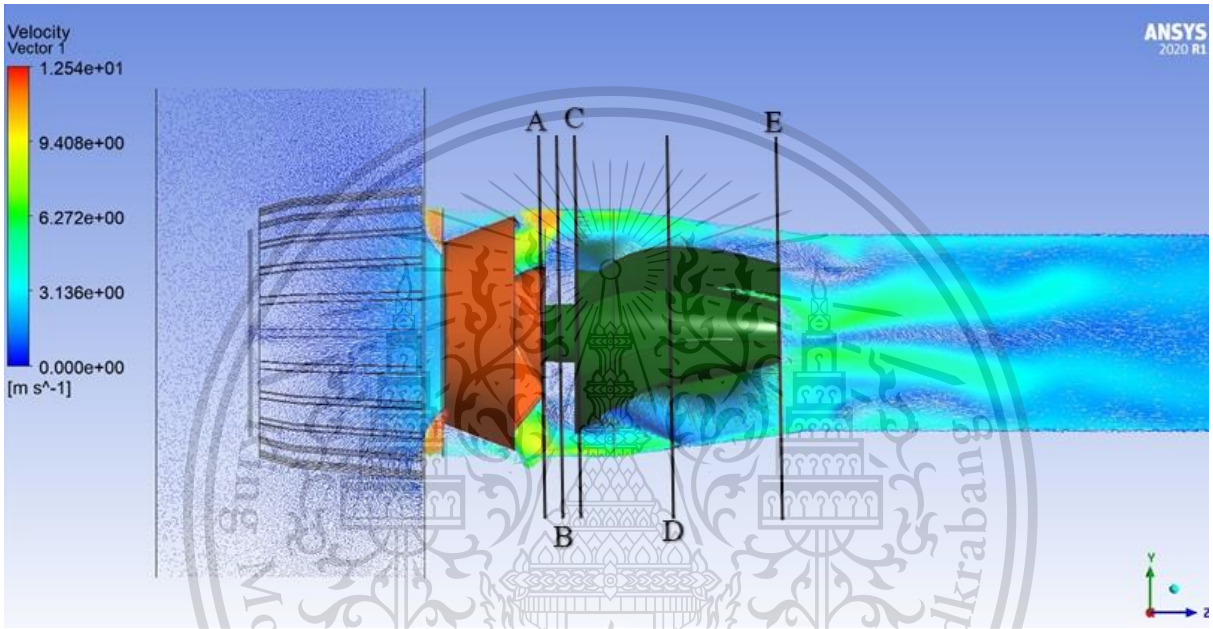


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is provided for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 5.43 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่าง Flow Coefficient (Π_Q) กับ Efficiency (η) ของชุดใบจักร 2 รูปแบบ ที่ Best Efficiency Point (BEP)

5.3 ผลการจำลองชุดใบจักรรูปแบบใหม่ด้วยโปรแกรม Ansys CFX

เนื่องด้วยผลการทดสอบมีข้อจำกัดที่ไม่สามารถเห็นรายละเอียดลักษณะการไหลภายในได้ หรือหากทำได้ก็ต้องใช้เงินทุนและชุดทดสอบที่มีความยุ่งยากสูง ดังนั้นในการวิเคราะห์สภาพการทำงานของใบจักรที่สภาวะการทำงานต่างๆ สามารถทำได้โดยใช้การจำลองการไหล เพราะสามารถแสดงลักษณะของการไหลภายในเครื่องสูบน้ำพญานาคที่แต่ละบริเวณได้อย่างละเอียด ดังแสดงในรูปที่ 5.44



รูปที่ 5.44 แสดงลักษณะของการไหลของ Fluid ที่แต่ละบริเวณ

หน้าตัด A แสดงทางการไหลที่ออกของ Impeller

หน้าตัด B แสดงทางการไหลผ่าน Drive Shaft Boot

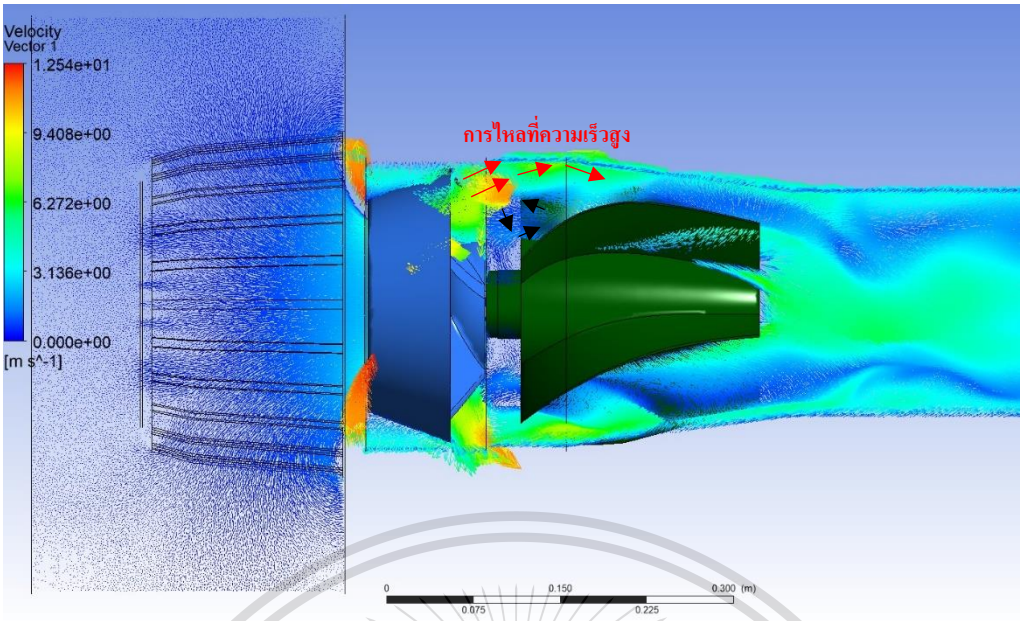
หน้าตัด C แสดงทางการไหลที่ทางเข้า Guide vane

หน้าตัด D แสดงทางการไหลระหว่าง Guide vane

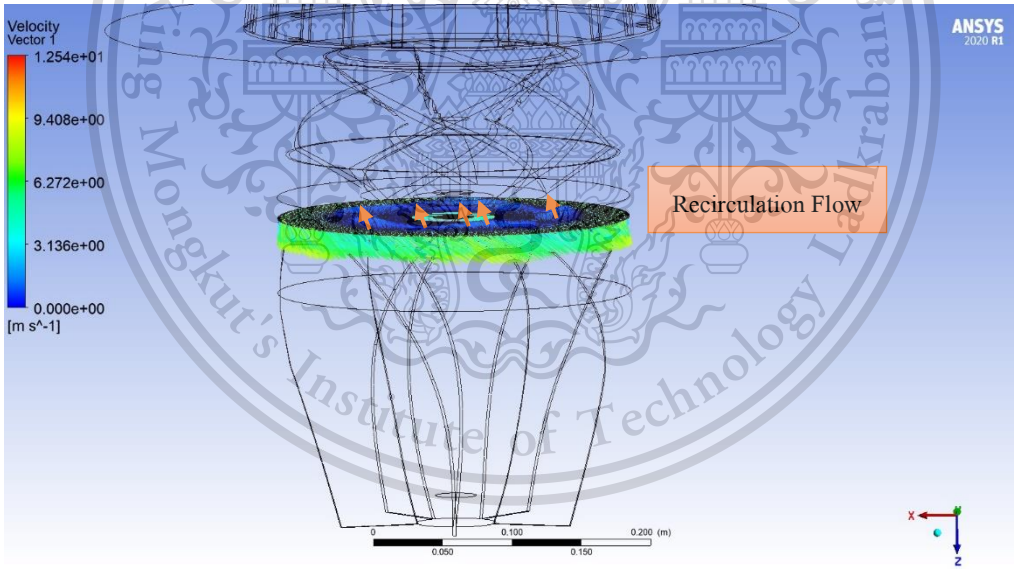
หน้าตัด E แสดงทางการไหลที่หลังจากผ่าน Guide vane

โดยผลจากการจำลองทำให้ทราบถึงแนวการไหลที่มีความเร็วสูงและการไหลแบบหมุนวนหลังออกจากใบจักร เนื่องจากพื้นที่การไหลขยายเพิ่มขึ้นระหว่าง Drive Shaft Boot ดังแสดงในรูปที่ 5.45 และยังพบการไหลแบบหมุนวนที่บริเวณก่อนเข้ากลีบเรียงกระแสน้ำ (Guide vane) หรือที่หน้าตัด C อีกด้วย ดังแสดงในรูปที่ 5.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



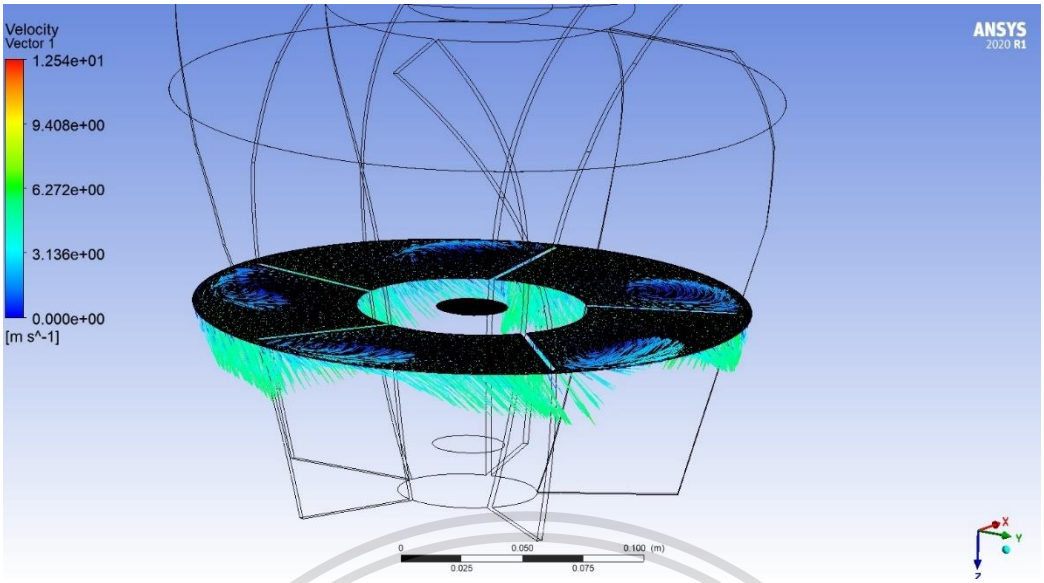
รูปที่ 5.45 แสดงแนวการไหลที่ความเร็วสูงหลังออกจากใบพัด (แนวลูกศรสีแดง) และการไหลแบบหมุนวน (ลูกศรดำ) เนื่องจากพื้นที่ที่ขยายขึ้นระหว่าง Drive Shaft Boot



รูปที่ 5.46 แสดงการไหลแบบหมุนวน (Recirculation Flow) ที่บริเวณหน้าตัด C (ก่อนเข้า Guide vane)

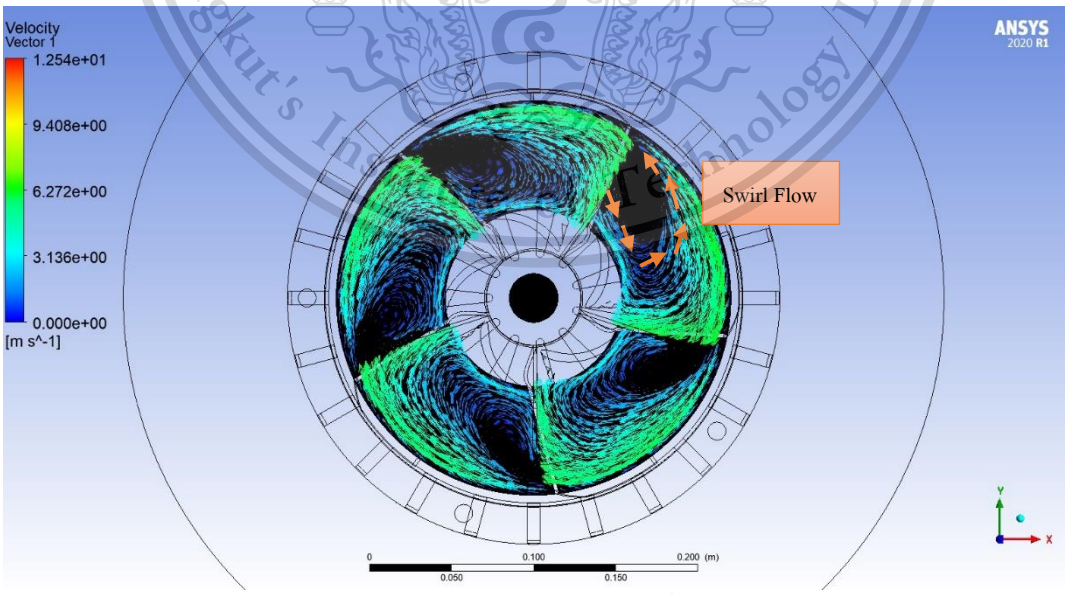
จากการออกแบบช่องทางการไหลของใบจักร และแนววัสดุทึบ (Bluff body) ดังรูปที่ 3.14 ในบทที่ 3 ซึ่งจะช่วยลดการเกิด Swirl Flow และ Recirculation flow โดยปรากฏรายละเอียดดังในงานวิจัยจากบทที่ 3 ซึ่งแสดงดังในรูปที่ 3.12 และ 3.14 ตามลำดับพบว่า New Model สามารถลดการเกิด Recirculation Flow ได้ที่บริเวณหน้าตัด D ดังแสดงในรูปที่ 5.47

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



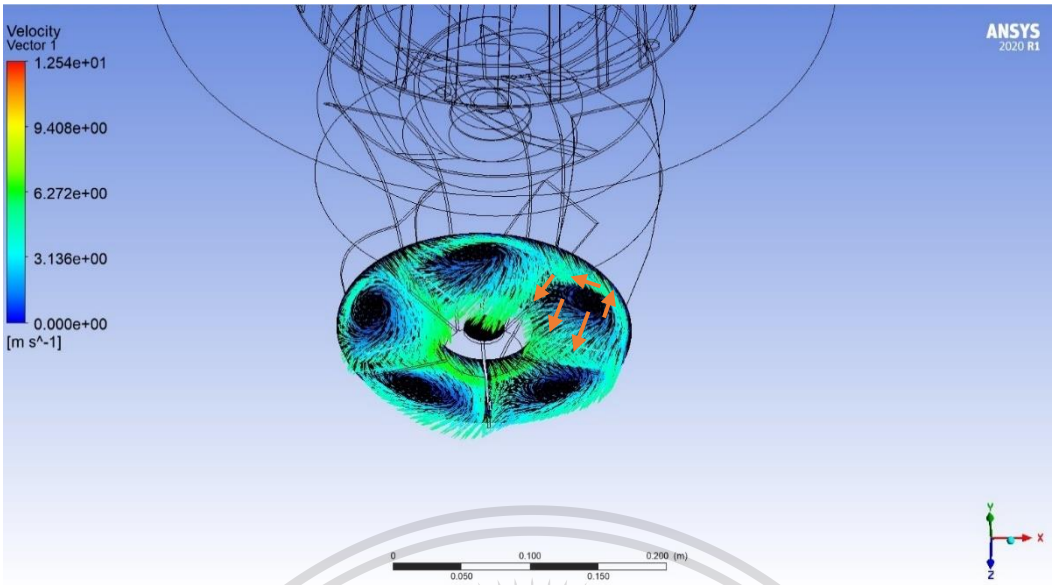
รูปที่ 5.47 แสดงการลดลงของการไหลแบบหมุนวน (Recirculation Flow) ที่บริเวณหน้าตัด D

เมื่อปรับรูปทรงของกลีบเรียงกระแสน้ำ (Guide vane) ให้มีความเหมาะสมกับทิศทางของกระแสน้ำที่ไหลมาจากใบจักร กลีบเรียงกระแสนี้จะช่วยลดการเกิดการไหลแบบหมุนควง (Swirl Flow) ด้วยการเปลี่ยนความเร็วจากการไหลที่มีลักษณะหมุนควงให้ปลายเป็นพลังงานในรูปแบบของความดัน (Stagnation pressure) ดังในรูปที่ 4.8 และ 4.9 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการลดลงของ Swirl Flow หลังจากผ่าน Guide vane (**บริเวณหน้าตัด E**)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 5.48 แสดงการเกิดการไหลแบบหมุนควง (Swirl Flow) ที่บริเวณหน้าตัด D



รูปที่ 5.49 แสดงการลดลงของการเกิดการไหลแบบหมุนควง (Swirl Flow) ที่บริเวณหน้าตัด E

จากการ Simulation เพื่อวิเคราะห์ชุดใบจักรรูปแบบใหม่ โดยมีการกำหนด Boundary Condition ดังที่แสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.4 จากหัวข้อ 4.3.2 นั้น ทำให้ได้ค่าตัวแปรที่สำคัญต่างๆของเครื่องสูบน้ำ ซึ่งสามารถนำไปคำนวณหาลักษณะเฉพาะและประสิทธิภาพของชุดใบจักรรูปแบบใหม่ได้ ดังแสดงในตารางที่ 5.12

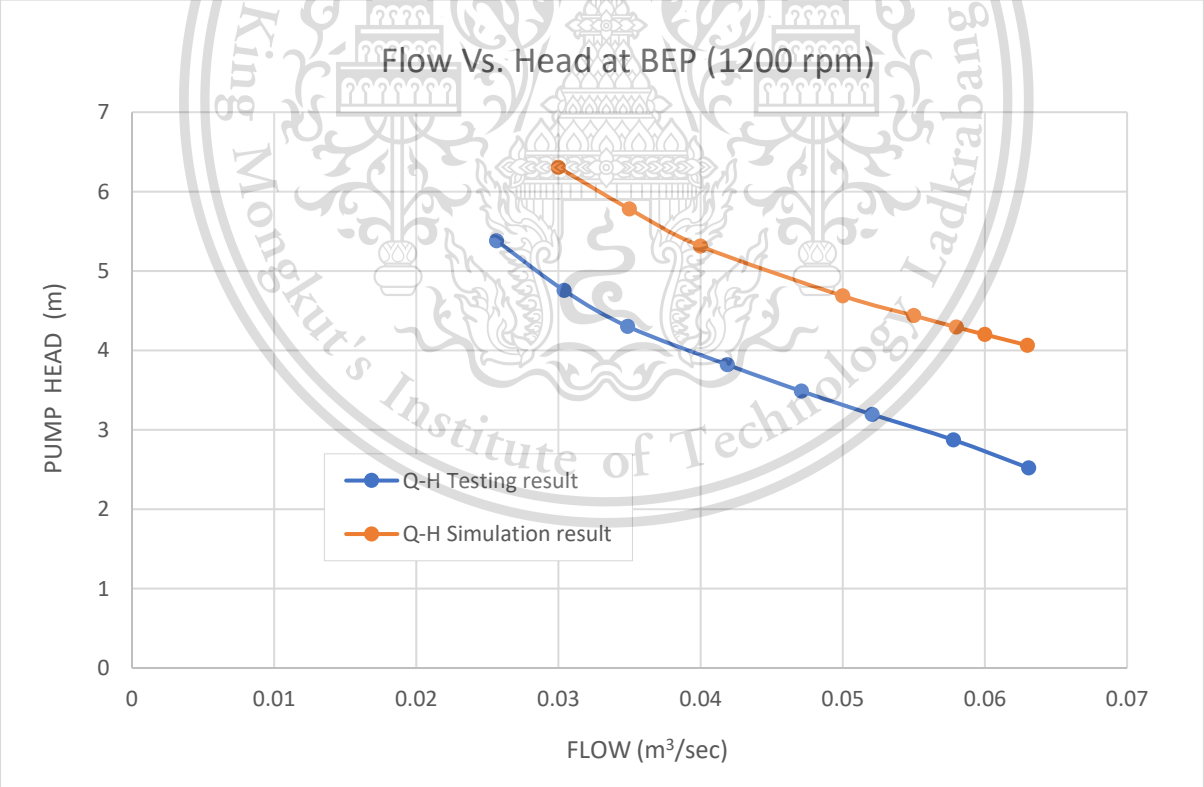
ตารางที่ 5.12 ลักษณะเฉพาะและประสิทธิภาพของชุดใบจักรรูปแบบใหม่ จากการจำลองที่รอบ 1200 rpm

Characteristic								
No.	Q (m^3/s)	Velocity (m/s)	Torque (J)	Stagnation Head (m)	Major Loss (m)	Minor Loss (m)	Total Head (m)	η_{pump} (%)
1	0.060	1.9381	38.310	4.1876	0.0134	0.0345	4.2355	51.7847
2	0.058	1.8510	37.423	4.2806	0.0123	0.0314	4.3243	52.3200
3	0.055	1.7462	37.959	4.4274	0.0110	0.0280	4.4664	50.5200
4	0.050	1.5725	37.046	4.6774	0.0090	0.0227	4.7091	49.6163
5	0.040	1.2352	37.103	5.3069	0.0057	0.0140	5.3266	44.8291
6	0.035	1.0970	39.786	5.7760	0.0046	0.0110	5.7917	39.7743
7	0.030	1.0301	42.835	6.3015	0.0042	0.0097	6.3154	34.5291

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

5.4 การวิเคราะห์ผลการจำลองของชุดใบจักรรูปแบบใหม่เปรียบเทียบกับผลการทดสอบ

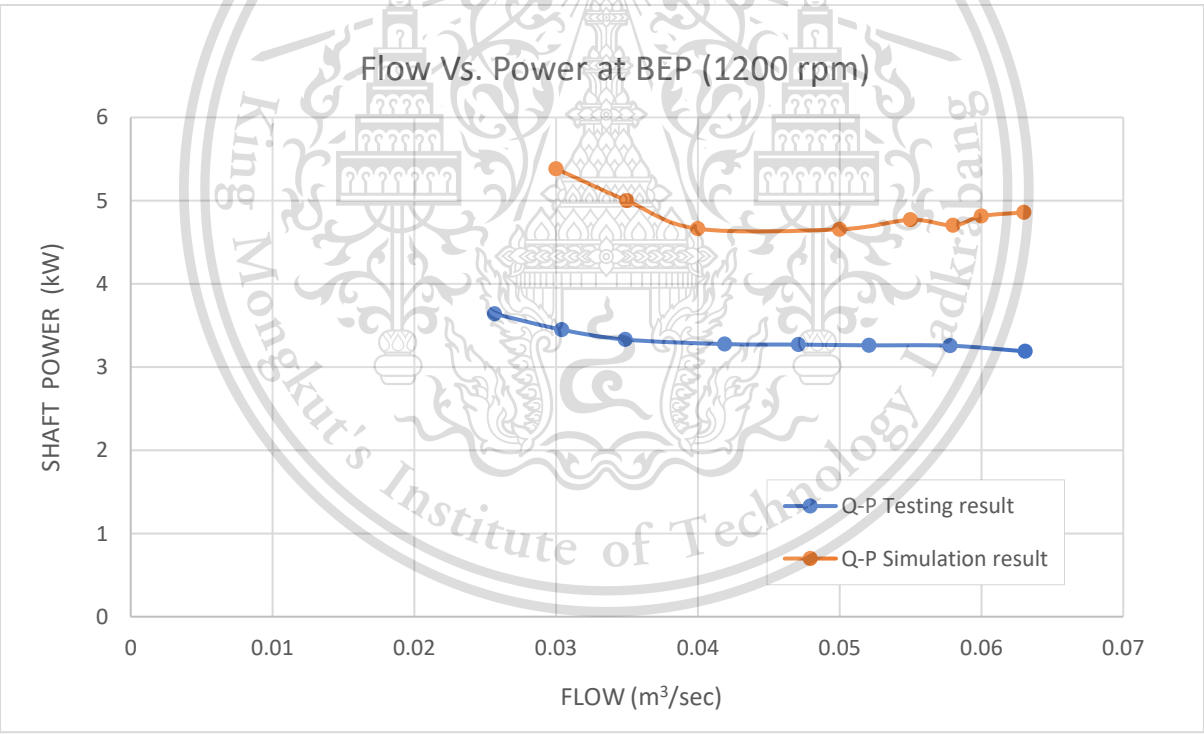
จากการทดสอบชุดใบจักรของเครื่องสูบน้ำพญานาคในห้องปฏิบัติการ แล้วนำค่าที่บันทึกได้จากโปรแกรม LabVIEW อาทิเช่น อัตราการไหล (Q), ผลต่างของความดันที่ทางเข้าและทางออกเครื่องสูบน้ำ (ΔP), ภาระทางกล (Load) เป็นต้น ไปคำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำ พบว่า ณ จุดที่มีประสิทธิภาพการทำงานสูงสุด (Best Efficiency point) ของที่รอบความเร็ว 1200 รอบต่อนาที ชุดใบจักรรูปแบบใหม่มีค่าประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำสูงกว่าชุดใบจักรรูปแบบเก่าอยู่ที่ 2.1464 % ดังที่สามารถสังเกตความแตกต่างดังกล่าวได้จากค่าประสิทธิภาพในตารางที่ 5.3 เปรียบเทียบกับตารางที่ 5.7 ทั้ง ๆ ที่ผลจากการจำลองเพื่อวิเคราะห์ชุดใบจักรรูปแบบใหม่ด้วยโปรแกรม Ansys CFX นั้น พบว่าประสิทธิภาพของชุดใบจักรรูปแบบใหม่มีค่าสูงกว่าชุดใบจักรรูปแบบเก่าอยู่ที่ 4.0608 % ดังที่สามารถสังเกตความแตกต่างดังกล่าวได้จากค่าประสิทธิภาพในตารางที่ 5.3 เปรียบเทียบกับในตารางที่ 5.12 ซึ่งหมายความว่าค่าประสิทธิภาพเครื่องสูบน้ำของชุดใบจักรรูปแบบใหม่ที่คำนวณได้จากผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการนั้น มีค่าน้อยกว่าประสิทธิภาพเครื่องสูบน้ำที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม Ansys CFX อยู่ 1.9144 % ดังที่สามารถสังเกตความแตกต่างดังกล่าวได้จากค่าประสิทธิภาพในตารางที่ 5.7 เปรียบเทียบกับในตารางที่ 5.12 โดยตรง



รูปที่ 5.50 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับเฮดเครื่องสูบน้ำ (Hp) ที่ BEP เพื่อเปรียบเทียบผลการจำลองกับผลการทดสอบ ของใบจักรรูปแบบใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

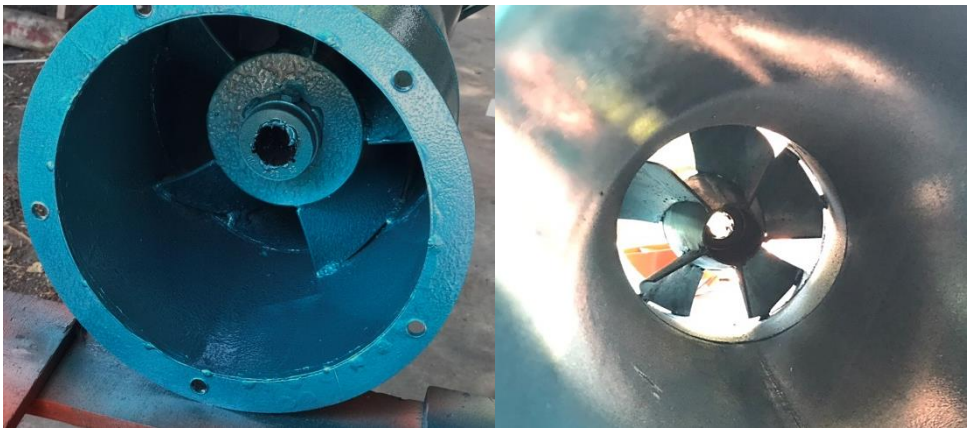
ซึ่งเมื่อทำการวิเคราะห์ว่า เหตุใดค่าประสิทธิภาพเครื่องสูบน้ำของชุดใบจักรรูปแบบใหม่ที่ได้จากผลการทดสอบกับที่ได้ผลการจำลองจึงมีค่าไม่เท่ากัน อีกทั้งยังมีค่าแตกต่างกันอยู่ 1.9144 % นั้น พบว่าอาจเกิดขึ้นได้จาก 3 สาเหตุ ซึ่งได้แก่ สาเหตุที่ 1 คือ ใบจักรรูปแบบใหม่ที่ได้จากกระบวนการผลิตจริงมีตัวดุมที่มีขนาดใหญ่กว่า CAD Model ในการจำลอง ซึ่งส่งผลกระทบต่อมุมปะทะของของไหลที่กำลังไหลเข้า ใบจักรนี้ โดยทำให้มุมปะทะของของไหลที่ปะทะกับใบจักรที่ได้จากกระบวนการผลิตจริงมีค่าน้อยกว่าใน CAD Model จากการจำลอง ส่งผลให้ภาระทางกลมีค่าน้อยกว่า ดังนั้นเมื่อนำไปคำนวณค่า Torque และค่า Shaft power จึงมีค่าน้อยกว่าด้วยเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 5.51 ส่วนสาเหตุที่ 2 คือ ใบจักรรูปแบบใหม่ที่ได้จากกระบวนการผลิตจริง มีระยะห่างระหว่างตัวใบจักรกับกลีบเรียงกระแสน้ำมากกว่าชุดใบจักรต้นแบบใน CAD Model ซึ่งส่งผลให้น้ำที่ไหลออกจากใบจักรเกิดการไหลแบบหมุนวน (Recirculation flow) ที่บริเวณดังกล่าวมากกว่าผลที่ได้จากการจำลอง จึงทำให้มีการเสียดสีระหว่างของไหลที่มีความเร็วสูงกับของไหลที่มีความเร็วต่ำ หรือเกิด Jet-Wake Structure ซึ่งถูกจัดว่าเป็นการสูญเสียพลังงานหรือ Internal dissipation ในสมการทรงพลังงาน ดังที่สามารถสังเกตเห็นความแตกต่างระหว่างค่าเฮดความดันรวมจากผลการจำลองและผลการทดสอบ ในรูปที่ 5.50 นั่นเอง



รูปที่ 5.51 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับกำลังของเพลา (P_S) ที่ BEP เพื่อเปรียบเทียบผลการจำลองกับผลการทดสอบ ของใบจักรรูปแบบใหม่

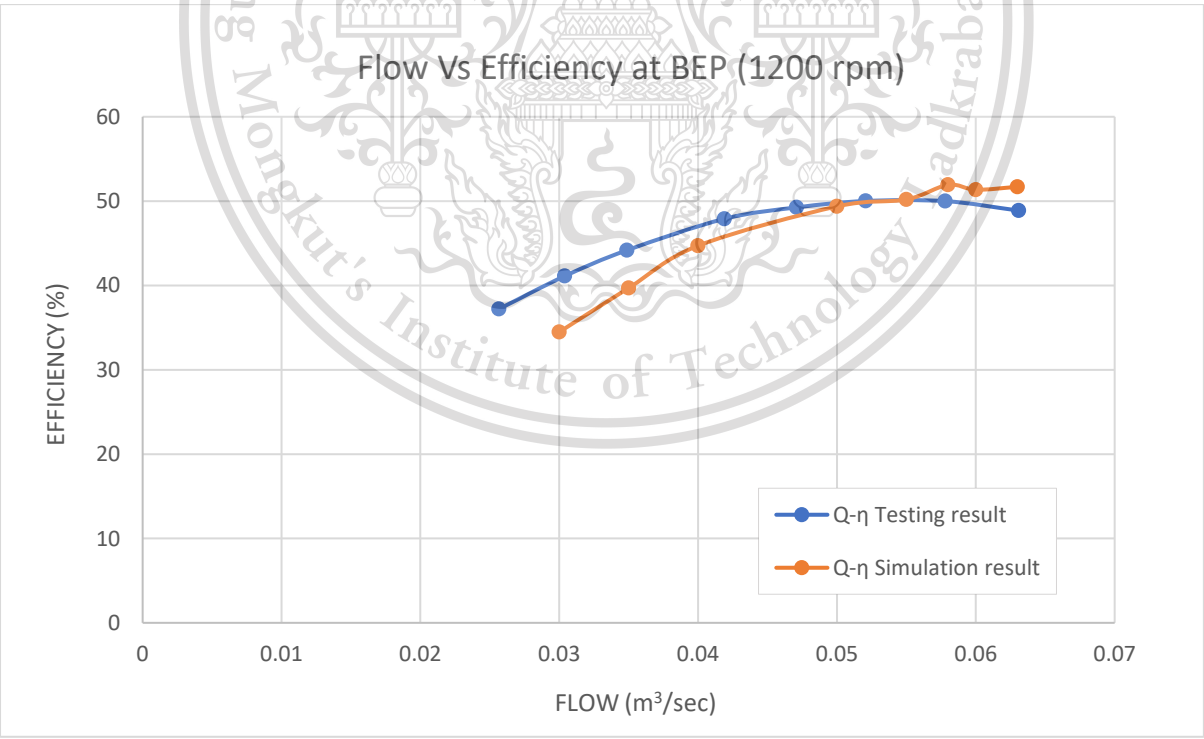
และสาเหตุที่ 3 ก็คือการมีช่องว่างระหว่างขอบของกลีบเรียงกระแสน้ำ (Guide vane) กับผนังของท่อด้านดูดจากการเชื่อมที่ไม่สมบูรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 5.52 ซึ่งอาจส่งผลกระทบให้กลีบเรียงกระแสน้ำช่วยลดการไหลแบบหมุนควง (Swirl flow) ได้ไม่ดีเท่าที่ออกแบบไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น และห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา หรือนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น
This thesis is for personal use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 5.52 แสดงลักษณะของช่องว่างระหว่างขอบของกลีบเรียงกระแสน้ำกับผนังของท่อด้านดูด

จากสาเหตุของความบกพร่องในกระบวนการผลิตของชุดใบจักรรูปแบบใหม่ทั้ง 3 ประการข้างต้น ทำให้ค่าความดันรวมและกำลังของเพลาที่ได้จากผลการทดสอบ น้อยกว่าผลจากการจำลอง ดังนั้นเมื่อนำไปคำนวณหาค่าประสิทธิของเครื่องสูบน้ำ จึงพบว่าประสิทธิภาพเครื่องสูบน้ำที่ BEP จากผลคำนวณที่ได้จากผลการทดสอบจะมีค่าน้อยกว่าประสิทธิภาพที่ได้จากการจำลอง ดังแสดงในรูปที่ 5.53



รูปที่ 5.53 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับประสิทธิภาพเครื่องสูบน้ำ (η) ที่ BEP เพื่อเปรียบเทียบผลการจำลองกับผลการทดสอบ ของใบจักรรูปแบบใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 6
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 บทสรุป

จากผลการทดสอบหาสมรรถนะการทำงานของเครื่องสูบน้ำพญานาคทั้ง 2 รูปแบบ สามารถสรุปผลได้ดังนี้

ชุดใบจักรรูปแบบเก่า พบว่า ที่ความเร็วรอบ 1000 1100 1200 และ 1300 รอบต่อนาที ณ จุดที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด (BEP) อยู่ที่ 45.34$\pm$0.471%, 47.49$\pm$0.601%, 47.87$\pm$0.654% และ 47.60$\pm$0.734% ที่ความสูง (เฮด) 1.53, 1.71, 2.09 และ 2.47 เมตร ตามลำดับ ซึ่งใช้กำลังเพลา 1270.65, 1698.36, 2272.55 และ 3017.54 วัตต์ โดยมีค่า Specific speed (Ns) เท่ากับ 2.17 3.05 3.01 และ 3.04 ตามลำดับ

ชุดใบจักรรูปแบบใหม่ พบว่า ที่ความเร็วรอบ 1000 1100 1200 และ 1300 รอบต่อนาที ณ จุดที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด (BEP) อยู่ที่ 48.80$\pm$0.489%, 49.83$\pm$0.626%, 50.02$\pm$0.642% และ 49.85$\pm$0.688% ที่ความสูง (เฮด) 2.29, 2.43, 3.19 และ 3.85 เมตร ตามลำดับ ซึ่งใช้กำลังเพลา 1811.00, 2430.81, 3261.20 และ 4236.46 วัตต์ โดยมีค่า Specific speed (Ns) เท่ากับ 2.02 2.41 2.17 และ 2.11 ตามลำดับ

จากการเปรียบเทียบชุดใบจักรทั้ง 2 รูปแบบ พบว่า ชุดใบจักรรูปแบบใหม่ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำสูงกว่าชุดใบจักรรูปแบบเก่า ที่ทุกรอบของการทดสอบในห้องปฏิบัติการ เนื่องจากมีลักษณะของชุดใบจักรที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ได้แก่ มุมทางเข้าและทางออกใบจักร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบจักร ระยะของช่องว่างระหว่างใบจักรกับท่อด้านดูด และลักษณะของกลีบเรียงกระแสน้ำ ซึ่งพารามิเตอร์ต่างๆเหล่านี้ เป็นพารามิเตอร์สำคัญที่ถูกใช้ในการออกแบบชุดใบจักร ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อสรรถนะการทำงานของเครื่องสูบน้ำและเหมาะสมกับจุดทำงานที่เกษตรกรใช้โดยทั่วไป ซึ่งรายละเอียดที่ได้ศึกษาการปรับปรุงชุดใบจักรมีด้วยกัน 3 ส่วนคือ

1) ส่วนของทางเข้า พบว่ามีการลดช่องว่างของทางเข้าให้เล็กลง เพื่อให้ลักษณะการไหลเข้าขนานไปกับใบจักร

2) ส่วนของใบจักร พบว่ามีการปรับปรุงที่บริเวณดุมของใบจักรและกลีบใบเพื่อเพิ่มพื้นที่การไหล ซึ่งช่วยลดการไหลวน และการไหลย้อนกลับภายในใบจักร โดยมีการปรับมุมทางเข้าใบเพิ่มขึ้น เพื่อทำให้ใบจักรสามารถเพิ่มการสร้างเฮดความดันได้มากขึ้นกว่าเดิม

3) ส่วนของกลีบเรียงกระแสน้ำ พบว่ามีการทำวัสดุทึบให้ลักษณะเป็นทรงกรวย เพื่อช่วยให้การไหลที่ไหลออกจากใบจักรมีความราบเรียบมากขึ้น และช่วยลดการไหลวนของน้ำที่บริเวณด้านหลังใบจักรแล้วเปลี่ยนมาเป็นพลังงานจากหมุนของใบจักรในรูปเฮดความดันเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้จึงเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

นอกจากการศึกษารายละเอียดการออกแบบเพื่อแก้ไขจุดบกพร่องในชุดใบจักรรูปแบบเก่าของโครงการวิจัย P1851268 และการนำไปทดสอบจริงแล้วนั้น ก็ได้มีการศึกษาปรากฏการณ์ของการไหลภายในเครื่องสูบน้ำโดยการจำลองการไหลแบบ CFD โดยใช้โปรแกรม Ansys CFX เพื่อทำความเข้าใจลักษณะการสูญเสียความดันสุทธิ (Total pressure) ของสนามการไหล โดยการสูญเสียพลังงานดังกล่าว มีสาเหตุมาจากแรงเสียดทานภายในเนื้อของไหล ซึ่งเกิดจากความแตกต่างของขนาดความเร็วในบริเวณต่างๆของช่องทางการไหล หรือที่เรียกว่าเกร-เดียนท์ความเร็ว โดยเกร์เดียนท์ความเร็วที่สูงนั้น นอกจากจะทำให้เกิดแรงเสียดทานที่สูงแล้ว ยังก่อให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนอีกด้วย ซึ่งลักษณะการไหลที่มีแรงเสียดทานสูงนี้ ได้แก่ การไหลแบบหมุนควง (Swirl flow), การไหลแบบหมุนวน (recirculation flow) , การไหลที่มีความแตกต่างของความเร็วสูง (Jet-wake structure)

เมื่อเปรียบเทียบจุดที่มีประสิทธิภาพสูงสุดของเครื่องสูบน้ำพญานาคที่ได้รับการปรับปรุง ซึ่งอยู่ที่ 50.02 % อัตราการไหล 0.0532 ลูกบาศก์เมตร/วินาที เฮด 3.19 เมตร และกำลังที่ใช้ 3261.20 วัตต์ และเปรียบเทียบกับใบจักรรูปแบบเก่า มีประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ที่ 47.87 % อัตราการไหล 0.0521 ลูกบาศก์เมตร/วินาที เฮด 2.09 เมตร และกำลังที่ใช้ 2272.55 วัตต์ พบว่าผลต่างของประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นในจุดที่มีประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ที่ 2.1464 % แต่ถ้าทำการเปรียบเทียบใบจักรที่ได้รับการปรับปรุงกับใบจักรรูปแบบเก่า จะมีการเพิ่มการใช้งานพลังงานของต้นกำลังจากเดิม 30% ทั้งนี้ มีสาเหตุจากข้อบกพร่องบางประการที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต ซึ่งพบได้จากผลการวิเคราะห์ด้วย CFD ของชุดใบจักรรูปแบบใหม่ เปรียบเทียบกับผลการทดสอบ ซึ่งได้แก่

สาเหตุที่ 1 คือ ใบจักรที่ได้จากกระบวนการผลิตจริงมีตัวดุมที่มีขนาดใหญ่กว่า CAD Model ในการจำลอง ซึ่งส่งผลกระทบต่อมุมปะทะของของไหลที่ไหลเข้าใบจักรนี้ ส่งผลให้ภาระทางกลของใบจักรรูปแบบใหม่มีค่ามากกว่าภาระทางกลของใบจักรรูปแบบเก่า

สาเหตุที่ 2 คือ ใบจักรรูปแบบใหม่ที่ได้จากกระบวนการผลิตจริง มีระยะห่างระหว่างตัวใบจักรกับกลีบเรียงกระแสน้ำมากกว่าชุดใบจักรต้นแบบใน CAD Model ซึ่งส่งผลให้น้ำเกิดการไหลแบบหมุนวน (Recirculation flow) ที่บริเวณดังกล่าวมากกว่าผลที่ได้จากการจำลอง จึงทำให้มีการเสียดสีระหว่างของไหลที่มีความเร็วสูงกับของไหลที่มีความเร็วต่ำหรือ Jet-Wake Structure ซึ่งจัดเป็นการสูญเสียพลังงานหรือ Internal dissipation

สาเหตุที่ 3 คือ การมีช่องว่างระหว่างขอบของกลีบเรียงกระแสน้ำกับผนังของท่อด้านดูด จากการเชื่อมที่ไม่สมบูรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 5.52 ซึ่งอาจส่งผลกระทบให้กลีบเรียงกระแสน้ำช่วยลดการไหลแบบหมุนควง (Swirl flow) ได้ไม่ดีเท่าที่ออกแบบไว้

จากสาเหตุของความบกพร่องในกระบวนการผลิตของชุดใบจักรรูปแบบใหม่ทั้ง 3 ประการข้างต้น ทำให้ค่าความดันรวมและกำลังของเพลาของชุดใบจักรรูปแบบใหม่ที่ได้จากผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ มีค่าน้อยกว่าผลจากการจำลองด้วย CFD และเมื่อนำผลการจำลองไปคำนวณหาค่าประสิทธิของเครื่องสูบน้ำ จึงพบว่าประสิทธิภาพที่ BEP มีค่าเท่ากับ 51.9298 % ดังนั้นผลการคำนวณประสิทธิภาพเครื่องสูบน้ำที่ได้จากผลการทดสอบมีค่าน้อยกว่าประสิทธิภาพที่ได้จากผลการจำลองอยู่ที่ 1.9144 % ด้วยสาเหตุ 3 ประการดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

6.2 ข้อเสนอแนะ

1) จากการศึกษาและการใช้งานชุดทดสอบสมรรถนะเครื่องสูบน้ำพญานาคให้ห้องปฏิบัติการ พบว่า ถ้าหากมีการเพิ่มเติมการควบคุมอัตราการไหลด้วยระบบไฟฟ้าและใช้รอกไฟฟ้าช่วยเหลือในขณะที่ทำการถอดประกอบเพื่อเปลี่ยนชุดใบจักร รวมไปถึงเพิ่มเติมระบบเติมน้ำและถ่ายน้ำออกจากบ่อทดสอบแบบอัตโนมัติ ก็จะช่วยทำให้มีความสะดวกในการทดสอบเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้สามารถใช้งานชุดทดสอบได้อย่างรวดเร็วมากยิ่งขึ้น

2) จากการศึกษา การทดสอบ และการจำลองชุดใบจักรของเครื่องสูบน้ำพญานาครูปแบบที่ได้รับการปรับปรุง (ชุดใบจักรรูปแบบใหม่) ด้วย Ansys CFX พบว่า ถ้าหากสามารถปรับปรุงชุดใบจักรในกระบวนผลิตให้มีความสอดคล้องกับชุดใบจักรต้นแบบใน CAD Model มากยิ่งขึ้น อาทิเช่น ลดขนาดดุมของใบจักร, ปรับมุมปะทะของกลีบใบจักร, ลดระยะ Drive Shaft Boot ระหว่างใบจักรกับชุดกลีบเรียงกระแสน้ำ เป็นต้น จะช่วยเพิ่มประสิทธิให้กับชุดใบจักรในการใช้งานจริงมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้ สำหรับโครงงานในอนาคต ควรทำการจำลองแบบ Transient เพื่อให้สามารถศึกษาลักษณะการไหลที่เกิดขึ้นภายในชุดใบจักรได้อย่างละเอียดมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เอกสารอ้างอิง

[1] วิบูลย์ บุญยธโรกุล, **ปั๊มและระบบสูบน้ำ**, ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน, 2555.

[2] จารุวัตร เจริญสุข, วันชัย อัศวภูษิตกุล, กำธร เสพย์ธรรม, กิตติภาส วศินารมณ, วิทวัฒน์ แสงหิรัญ, และวิศาล ลิลาวิวัฒน, **โครงการพัฒนาชุดทดสอบสมรรถนะ และการปรับปรุงประสิทธิภาพชุดใบจักร สำหรับเครื่องสูบน้ำพญานาค**, สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม, 2563.

[3] Automated Environmental Systems TM, **Siemens SITRANS F M MAG 5100 W Electromagnetic Flow Meter** [Online], Available : https://www.automatedenvironmentalsystems.co.uk [7 พฤศจิกายน 2563].

[4] PT.BINTANG BARUTAMA, **Mitsubishi SF-JRV 4P 10HP** [Online], Available : http://www.bintangbarutama.co.id [7 พฤศจิกายน 2563].

[5] Japanese Industrial Standard, **Rotadynamic pumps – Hydraulic Performance Acceptance Tests – Grades 1 and 2**, JIS, B 8301 : 2000, Tokyo, Japan, pp. 47-67, 2000.

[6] White, F. M., **Fluid Mechanics, 6th Ed.**, McGraw-Hill, New York, pp. 759-784, 2008.

[7] KUNAL DEWANGAN, **Turbomachinery Fundamentals** [Online], Available : https://www.youtube.com/watch?v=8i5NA5cfI1w Turbomachinery fundamentals 71 [10 พฤศจิกายน 2563].

[8] คู่มือผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (โรงงาน) พ.ศ.2553, **การอนุรักษ์พลังงานสำหรับเครื่องสูบน้ำ** [Online], Available : http://www2.dede.go.th/bhrd/old/Download/file_handbook/Pre_Fac/Fac_10.pdf [21 พฤศจิกายน 2563].

[9] Wikimedia Commons, **Centrifugal Pump** [Online], Available : https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Centrifugal_Pump.png [21 พฤศจิกายน 2563].

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

[10] PYI Inc., **How Do Axial Flow Pumps Work?** [Online], Available : https://www.pyiinc.com/pss-seals-fpi-case-study.html [21 พฤศจิกายน 2563].

[11] Chegg Inc., **The Student's T Distribution Table** [Online], Available : https://www.chegg.com/homework-help/questions-and-answers/student-s-t-distribution-table-gives-critical-values-student-s-t-distribution-use-appropri-q22699485#question-transcript [1 มีนาคม 2564].

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก ก

ข้อมูลที่บันทึกด้วยโปรแกรม LabVIEW จากการทดสอบชุดใบจักรในห้องปฏิบัติการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ผลการทดสอบชุดใบจักรรูปแบบเก่า

ตารางที่ ก.1 ผลการทดสอบชุดใบจักรรูปแบบเก่า ที่รอบ 1000 rpm

Experimental Data (Average value from 300 data per Test No.)							
Test No.	Q (L/s)	P (bar)	Pm (kW)	N (rpm)	M (kg)	Tin (deg C)	Tout (deg c)
1	43.8261	0.0962	1.8629	1000.68	4.3889	34.9720	28.1780
2	40.8199	0.1089	1.8576	1000.59	4.4094	34.9687	28.1649
3	38.3048	0.1202	1.8629	1000.56	4.4059	34.9664	28.0693
4	35.1925	0.1356	1.8775	1000.54	4.4541	34.9649	28.0627
5	29.0235	0.1728	1.9265	1000.50	4.6146	34.9630	28.0615
6	24.3598	0.1975	1.9304	1000.37	4.8232	34.9613	28.0607
7	19.6757	0.2221	1.9829	999.35	4.9523	34.9604	28.0601

ตารางที่ ก.2 ผลการทดสอบชุดใบจักรรูปแบบเก่า ที่รอบ 1100 rpm

Experimental Data (Average value from 300 data per Test No.)							
Test No.	Q (L/s)	P (bar)	Pm (kW)	N (rpm)	M (kg)	Tin (deg C)	Tout (deg c)
1	50.9877	0.1170	2.3302	1099.66	5.3394	34.9580	28.1579
2	48.0616	0.1317	2.3545	1101.19	5.3238	34.9547	28.3553
3	47.4370	0.1329	2.3315	1099.19	5.3349	34.9578	28.1578
4	45.2840	0.1429	2.3305	1098.96	5.3607	34.9571	28.1575
5	40.3812	0.1668	2.3472	1098.58	5.3905	34.9567	28.2034
6	29.1513	0.2409	2.4638	1100.35	5.6191	34.9560	28.2567
7	20.1197	0.2930	2.5710	1099.75	5.8797	34.9557	28.2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ก.3 ผลการทดสอบชุดใบจักรรูปแบบเก่า ที่รอบ 1200 rpm

Experimental Data (Average value from 300 data per Test No.)							
Test No.	Q (L/s)	P (bar)	Pm (kW)	N (rpm)	M (kg)	Tin (deg C)	Tout (deg c)
1	56.5726	0.1486	2.9380	1199.79	6.5126	0.0110	28.0674
2	53.1772	0.1648	2.9535	1200.07	6.4875	34.9630	28.0613
3	52.7011	0.1677	2.9598	1200.46	6.5092	10.0679	28.0645
4	50.2038	0.1796	2.9603	1200.29	6.5103	34.9667	28.0632
5	40.1016	0.2393	3.0493	1201.27	6.6643	34.9616	28.0604
6	29.9132	0.3096	3.1331	1200.36	6.8405	34.9608	28.0598
7	19.8967	0.3737	3.3051	1199.03	7.2019	34.9600	28.1376

ตารางที่ ก.4 ผลการทดสอบชุดใบจักรรูปแบบเก่า ที่รอบ 1300 rpm

Experimental Data (Average value from 300 data per Test No.)							
Test No.	Q (L/s)	P (bar)	Pm (kW)	N (rpm)	M (kg)	Tin (deg C)	Tout (deg c)
1	61.8043	0.1821	3.7432	1299.83	7.8073	34.9714	27.6676
2	59.3183	0.1976	3.7589	1301.86	7.6759	34.9571	27.7582
3	56.8865	0.2085	3.7714	1300.37	7.8179	34.9668	27.6648
4	52.0018	0.2349	3.7873	1300.00	7.8639	34.9651	27.6638
5	46.7659	0.2662	3.8104	1299.76	7.8670	34.9638	27.6630
6	42.4829	0.3001	3.9034	1301.02	8.1064	34.9623	27.6620
7	36.8736	0.3458	3.9579	1300.24	8.1133	34.9610	27.6611

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ผลการทดสอบชุดใบจักรรูปแบบใหม่

ตารางที่ ก.5 ผลการทดสอบชุดใบจักรรูปแบบใหม่ ที่รอบ 1000 rpm

Experimental Data (Average value from 300 data per Test No.)							
Test No.	Q (L/s)	P (bar)	Pm (kW)	N (rpm)	M (kg)	Tin (deg C)	Tout (deg c)
1	49.4649	0.1365	2.8444	998.83	6.5534	0.0110	27.4690
2	45.0945	0.1616	2.8605	1000.54	6.1453	0.0110	27.5650
3	39.3471	0.1938	2.8637	1000.50	6.1082	0.0110	27.5645
4	35.1438	0.2184	2.8895	1000.33	6.2896	0.0110	27.5641
5	29.9790	0.2488	2.8869	1000.33	6.5249	0.0110	27.5637
6	24.9493	0.2892	2.9872	998.47	6.9996	0.0110	27.6500
7	20.1003	0.3435	3.2234	1001.16	7.2290	0.0110	27.6622
8	15.1856	0.3942	3.4152	999.43	7.4399	0.0110	27.6771
9	10.3368	0.4500	3.6359	999.66	8.1265	0.0110	27.7614

ตารางที่ ก.6 ผลการทดสอบชุดใบจักรรูปแบบใหม่ ที่รอบ 1100 rpm

Experimental Data (Average value from 300 data per Test No.)							
Test No.	Q (L/s)	P (bar)	Pm (kW)	N (rpm)	M (kg)	Tin (deg C)	Tout (deg c)
1	55.2895	0.1735	3.7079	1100.43	7.3653	0.0110	28.8704
2	50.8666	0.2000	3.7318	1100.78	7.4098	0.0110	28.8567
3	44.9747	0.2368	3.7632	1100.50	7.4800	0.0110	28.8568
4	40.7701	0.2649	3.7838	1100.45	7.5467	0.0110	28.9556
5	35.2000	0.2997	3.7942	1100.41	7.6254	0.0110	28.9556
6	30.4480	0.3331	3.8444	1100.13	7.7196	0.0110	28.9598
7	25.2919	0.3894	4.0412	1100.50	8.0905	0.0110	29.0554
8	19.8279	0.4472	4.3093	1100.38	8.6512	0.0110	29.0554
9	15.2127	0.5053	4.5762	1099.73	9.1905	0.0110	29.1548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ก.7 ผลการทดสอบชุดใบจักรรูปแบบใหม่ ที่รอบ 1200 rpm

Experimental Data (Average value from 300 data per Test No.)							
Test No.	Q (L/s)	P (bar)	Pm (kW)	N (rpm)	M (kg)	Tin (deg C)	Tout (deg c)
1	63.0903	0.1993	4.7054	1199.08	8.8707	0.0110	27.8679
2	57.8531	0.2384	4.8110	1200.29	9.0370	0.0110	27.9603
3	52.0711	0.2743	4.8213	1200.06	9.0498	0.0110	27.9598
4	47.1304	0.3065	4.8162	1199.84	9.0740	0.0110	28.0161
5	41.8927	0.3423	4.8351	1199.42	9.0934	0.0110	28.0582
6	34.8817	0.3934	4.8875	1198.08	9.2439	0.0110	28.0577
7	30.4031	0.4400	5.0577	1199.59	9.5380	0.0110	28.0913
8	25.6632	0.5031	5.4134	1200.65	10.0191	0.0110	28.1561
9	20.0222	0.5672	5.7280	1196.57	10.8164	0.0110	28.1557

ตารางที่ ก.8 ผลการทดสอบชุดใบจักรรูปแบบใหม่ ที่รอบ 1300 rpm

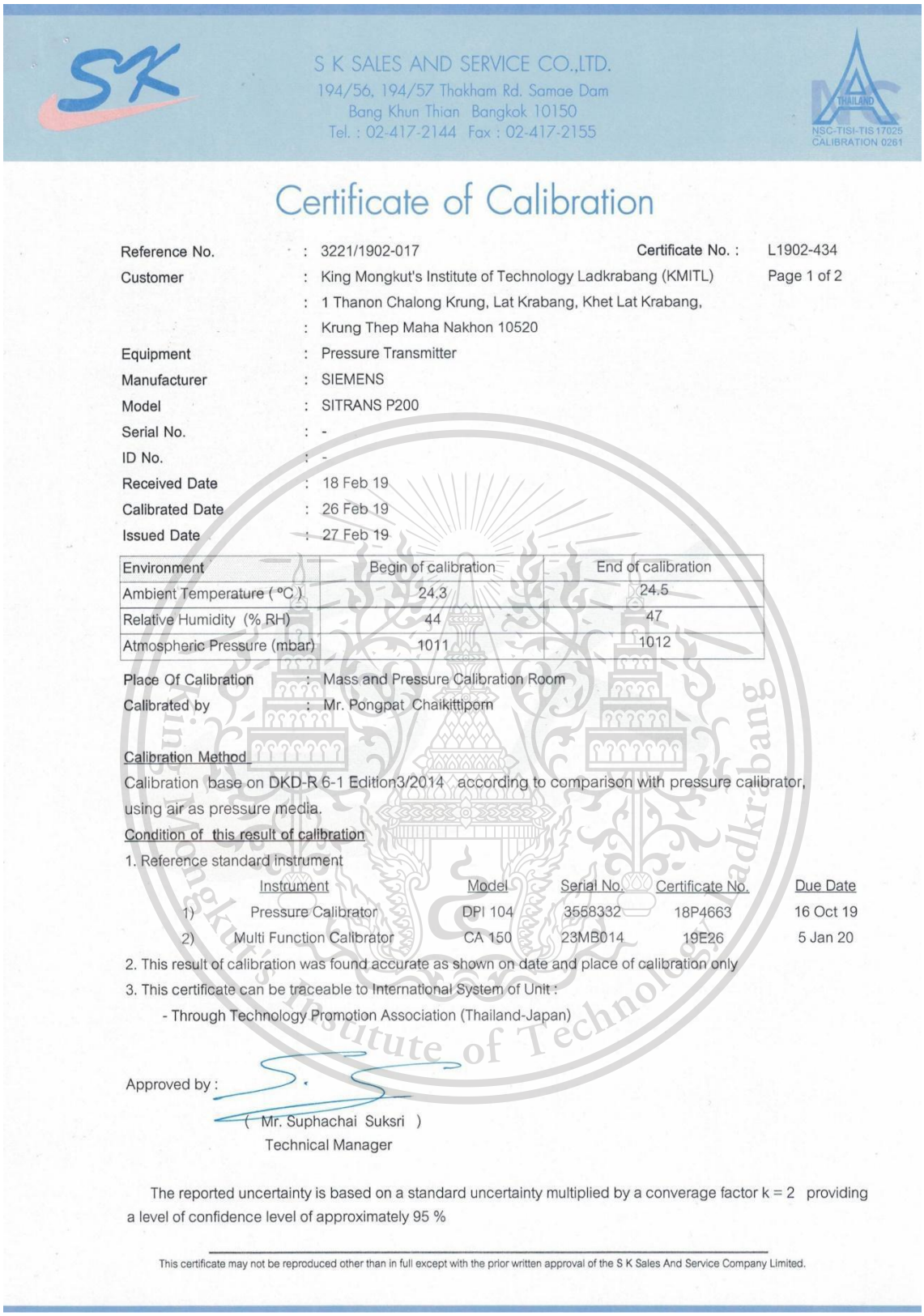
Experimental Data (Average value from 300 data per Test No.)							
Test No.	Q (L/s)	P (bar)	Pm (kW)	N (rpm)	M (kg)	Tin (deg C)	Tout (deg c)
1	66.1403	0.2615	6.0110	1298.39	10.5778	0.0110	28.3650
2	60.9466	0.2982	6.0708	1298.40	10.6387	0.0110	28.3625
3	55.8710	0.3362	6.1217	1299.49	10.6642	0.0110	28.3608
4	50.7857	0.3752	6.1832	1300.43	10.8307	0.0110	28.3595
5	45.5488	0.4151	6.2192	1299.58	10.9199	0.0110	28.3607
6	41.0337	0.4469	6.2127	1298.34	10.9834	0.0110	28.4576
7	36.4817	0.4893	6.3328	1299.83	11.1634	0.0110	28.4570
8	30.4899	0.5619	6.6401	1298.98	11.6599	0.0110	28.5004
9	25.1378	0.6321	7.0779	1299.41	12.3292	0.0110	28.5550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือแสวงหาประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก ข

ผลการสอบเทียบเครื่องมือวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



S K SALES AND SERVICE CO.,LTD.
194/56, 194/57 Thakham Rd. Samae Dam
Bang Khun Thian Bangkok 10150
Tel. : 02-417-2144 Fax : 02-417-2155

NSC-TISI-TIS 17025
CALIBRATION 0261

Certificate of Calibration

Reference No. : 3221/1902-017 Certificate No. : L1902-434
Customer : King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL) Page 1 of 2
: 1 Thanon Chalong Krung, Lat Krabang, Khet Lat Krabang,
: Krung Thep Maha Nakhon 10520
Equipment : Pressure Transmitter
Manufacturer : SIEMENS
Model : SITRANS P200
Serial No. : -
ID No. : -
Received Date : 18 Feb 19
Calibrated Date : 26 Feb 19
Issued Date : 27 Feb 19

Environment	Begin of calibration	End of calibration
Ambient Temperature (°C)	24.3	24.5
Relative Humidity (% RH)	44	47
Atmospheric Pressure (mbar)	1011	1012

Place Of Calibration : Mass and Pressure Calibration Room
Calibrated by : Mr. Pongpat Chaikittiporn

Calibration Method
Calibration base on DKD-R 6-1 Edition3/2014 according to comparison with pressure calibrator, using air as pressure media.

Condition of this result of calibration
1. Reference standard instrument

	Instrument	Model	Serial No.	Certificate No.	Due Date
1)	Pressure Calibrator	DPI 104	3558332	18P4663	16 Oct 19
2)	Multi Function Calibrator	CA 150	23MB014	19E26	5 Jan 20

2. This result of calibration was found accurate as shown on date and place of calibration only
3. This certificate can be traceable to International System of Unit :
- Through Technology Promotion Association (Thailand-Japan)

Approved by :
(Mr. Suphachai Suksri)
Technical Manager

The reported uncertainty is based on a standard uncertainty multiplied by a converage factor k = 2 providing a level of confidence level of approximately 95 %

This certificate may not be reproduced other than in full except with the prior written approval of the S K Sales And Service Company Limited.

รูปที่ ก.1 แสดงผลการสอบเทียบของ Pressure transmitter [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Certificate No : L1902-434 Page 2 of 2

Description of UUC : Input Range : 0 to 1 bar
Output Signal : 4 to 20 mA
Air Density : 1.18 kg/m^3
Calibration Sequence : B

Increasing Pressure

Applied Pressure	Require UUC Output	Actual UUC Output		UUC Error	Uncertainty
bar	mA	mA	bar	bar	± bar
0.0000	4.000	4.017	0.001	0.001	0.012
0.1000	5.600	5.618	0.101	0.001	0.012
0.2000	7.200	7.223	0.201	0.001	0.012
0.3000	8.800	8.814	0.301	0.001	0.012
0.4000	10.400	10.418	0.401	0.001	0.012
0.5000	12.000	12.018	0.501	0.001	0.012
0.6000	13.600	13.615	0.601	0.001	0.012
0.7000	15.200	15.220	0.701	0.001	0.012
0.8000	16.800	16.820	0.801	0.001	0.012
0.9000	18.400	18.440	0.903	0.003	0.012
1.0000	20.000	20.018	1.001	0.001	0.012

Decreasing Pressure

Applied Pressure	Require UUC Output	Actual UUC Output		UUC Error	Uncertainty
bar	mA	mA	bar	bar	± bar
0.0000	4.000	4.017	0.001	0.001	0.012
0.1000	5.600	5.618	0.101	0.001	0.012
0.2000	7.200	7.220	0.201	0.001	0.012
0.3000	8.800	8.815	0.301	0.001	0.012
0.4000	10.400	10.420	0.401	0.001	0.012
0.5000	12.000	12.020	0.501	0.001	0.012
0.6000	13.600	13.615	0.601	0.001	0.012
0.7000	15.200	15.220	0.701	0.001	0.012
0.8000	16.800	16.830	0.802	0.002	0.012
0.9000	18.400	18.440	0.903	0.003	0.012
1.0000	20.000	20.018	1.001	0.001	0.012

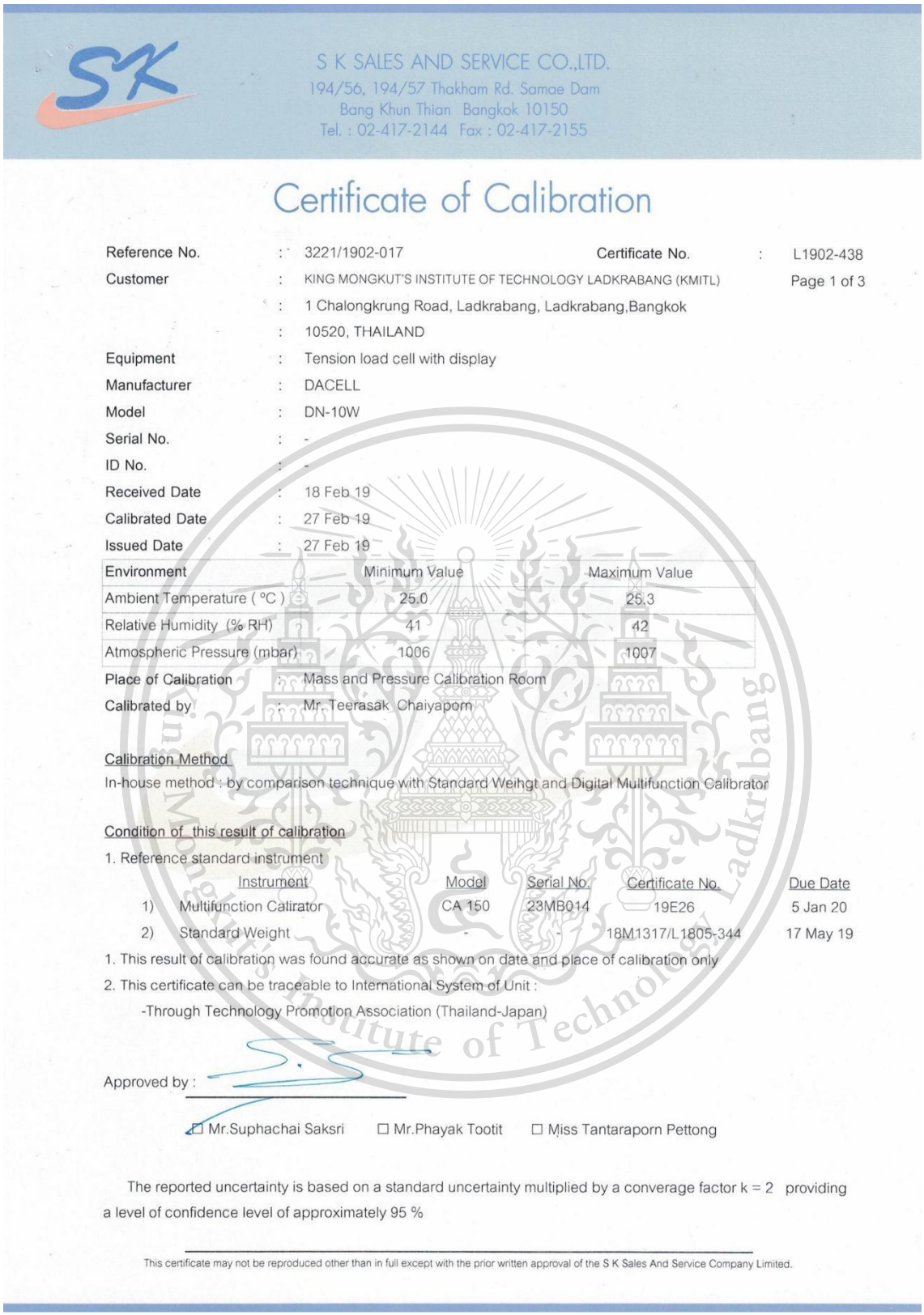
This Instrument was installed in vertical and end of fitting was use as the referencelevel.
The conversion factor is 1kPa = 0.01 bar

STD = Standard , UUC = Unit Under Calibration

** End of Calibration Report **

รูปที่ ก.2 แสดงผลการสอบเทียบของ Pressure transmitter [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



S K SALES AND SERVICE CO.,LTD.
194/56, 194/57 Thakham Rd. Samae Dam
Bang Khun Thian Bangkok 10150
Tel. : 02-417-2144 Fax : 02-417-2155

Certificate of Calibration

Reference No. : 3221/1902-017 Certificate No. : L1902-438
Customer : KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG (KMITL) Page 1 of 3
: 1 Chalongkrung Road, Ladkrabang, Ladkrabang,Bangkok
: 10520, THAILAND
Equipment : Tension load cell with display
Manufacturer : DACELL
Model : DN-10W
Serial No. : -
ID No. : -
Received Date : 18 Feb 19
Calibrated Date : 27 Feb 19
Issued Date : 27 Feb 19

Environment	Minimum Value	Maximum Value
Ambient Temperature (°C)	25.0	25.3
Relative Humidity (% RH)	41	42
Atmospheric Pressure (mbar)	1006	1007

Place of Calibration : Mass and Pressure Calibration Room
Calibrated by : Mr. Teerasak Chaiyaporn

Calibration Method
In-house method : by comparison technique with Standard Weihgt and Digital Multifunction Calibrator

Condition of this result of calibration
1. Reference standard instrument

	Instrument	Model	Serial No.	Certificate No.	Due Date
1)	Multifunction Calirator	CA 150	23MB014	19E26	5 Jan 20
2)	Standard Weight	-	-	18M1317/L1805-344	17 May 19

1. This result of calibration was found accurate as shown on date and place of calibration only
2. This certificate can be traceable to International System of Unit :
-Through Technology Promotion Association (Thailand-Japan)

Approved by :
☑ Mr.Suphachai Saksri ☐ Mr.Phayak Tootit ☐ Miss Tantaraporn Pettong

The reported uncertainty is based on a standard uncertainty multiplied by a converage factor k = 2 providing a level of confidence level of approximately 95 %

This certificate may not be reproduced other than in full except with the prior written approval of the S K Sales And Service Company Limited.

รูปที่ ก.3 แสดงผลการสอบเทียบของ Tension load cell with display [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Certificate No. : L1902-438 Page 2 of 3

Table 1 :Result of Calibration mA Output

Applied Temperature (kg)	Required UUC Output (mA)	UUC Output (mA)	UUC Error (mA)	Measurement Uncertainty (±mA)
0	4.000	4.018	0.018	0.010
1	4.533	4.553	0.020	0.010
3	5.600	5.613	0.013	0.010
6	7.200	7.260	0.060	0.010
9	8.800	8.796	-0.004	0.010
12	10.400	10.391	-0.009	0.010
15	12.000	11.986	-0.014	0.010
18	13.600	13.581	-0.019	0.010
21	15.200	15.181	-0.019	0.010
24	16.800	16.779	-0.021	0.010
27	18.400	18.379	-0.021	0.010
30	20.000	19.977	-0.023	0.010

รูปที่ ก.4 แสดงผลการสอบเทียบของ Tension load cell with display [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Certificate No. : L1902-438 Page 3 of 3

Description of UUC

Capacity : 30 kg

Resolution : 0.01 kg

Table 2: Departure from nominal value

Applied weight (kg)	UUC reading (kg)	Correction (kg)	Uncertainty (± kg)
Zero setting	0.00	0.00	0.0082
1	1.00	0.00	0.0082
3	3.00	0.00	0.0082
6	6.00	0.00	0.0082
9	9.00	0.00	0.0082
12	12.00	0.00	0.0082
15	15.00	0.00	0.0082
18	18.00	0.00	0.0082
21	21.00	0.00	0.0082
24	24.00	0.00	0.0082
27	27.00	0.00	0.0082
30	30.00	0.00	0.0082

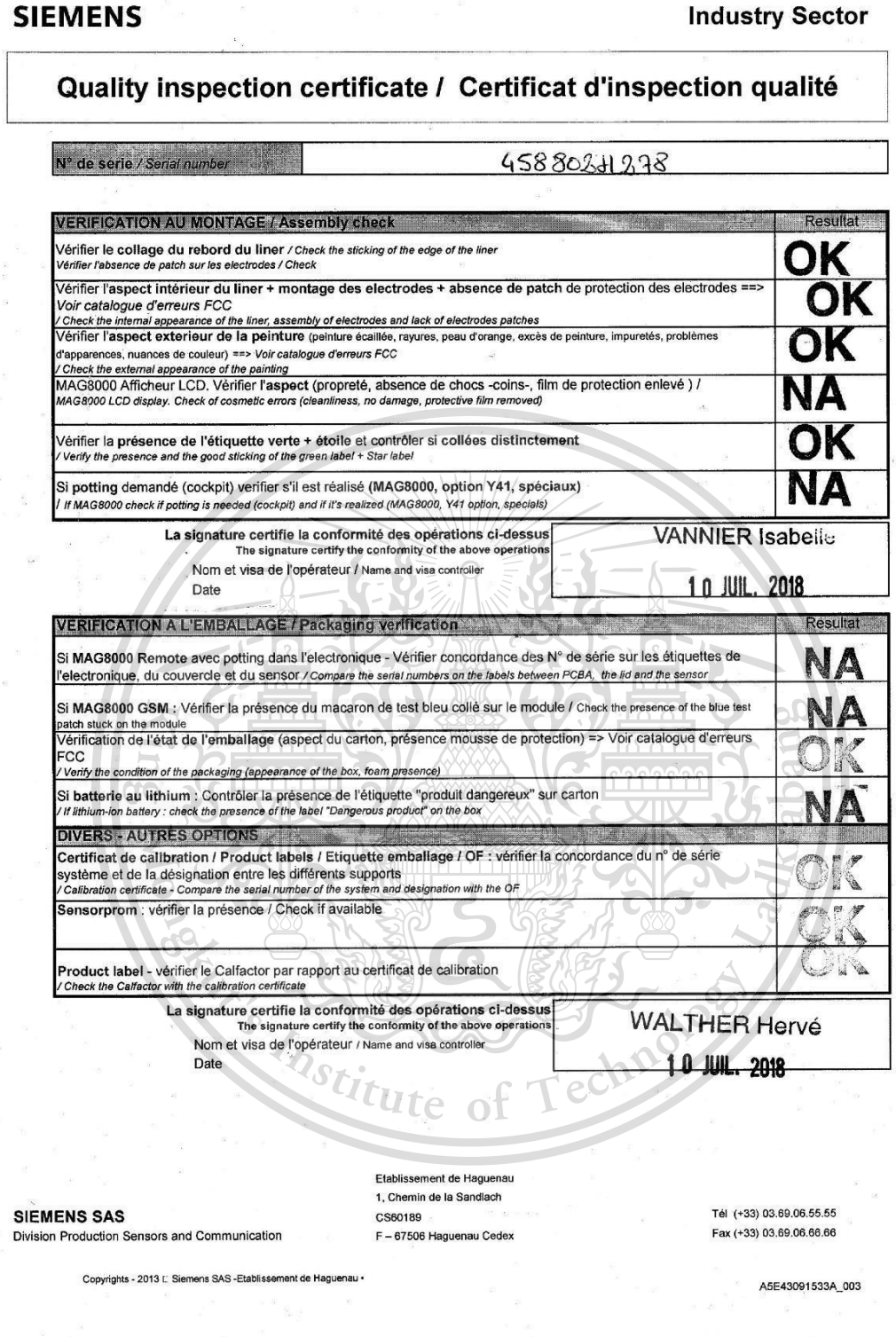
STD= Standard

UUC= Unit Under Calibration

** End of Calibration Report **

รูปที่ ก.5 แสดงผลการสอบเทียบของ Tension load cell with display [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



SIEMENS Industry Sector

Quality inspection certificate / Certificat d'inspection qualité

N° de serie / *Serial number*	458802d1278

VERIFICATION AU MONTAGE / Assembly check	Resultat
Vérifier le **collage du rebord du liner** / *Check the sticking of the edge of the liner* *Vérifier l'absence de patch sur les electrodes / Check*	OK
Vérifier l'**aspect intérieur du liner + montage des electrodes + absence de patch** de protection des electrodes ==> *Voir catalogue d'erreurs FCC* */ Check the internal appearance of the liner, assembly of electrodes and lack of electrodes patches*	OK
Vérifier l'**aspect exterieur de la peinture** (peinture écaillée, rayures, peau d'orange, excès de peinture, impuretés, problèmes d'apparences, nuances de couleur) ==> *Voir catalogue d'erreurs FCC* */ Check the external appearance of the painting*	OK
MAG8000 Afficheur LCD. Vérifier l'**aspect** (propreté, absence de chocs -coins-, film de protection enlevé) / *MAG8000 LCD display. Check of cosmetic errors (cleanliness, no damage, protective film removed)*	NA
Vérifier la **présence de l'étiquette verte + étoile** et contrôler si **collées distinctement** */ Verify the presence and the good sticking of the green label + Star label*	OK
Si **potting** demandé (cockpit) verifier s'il est réalisé **(MAG8000, option Y41, spéciaux)** */ If MAG8000 check if potting is needed (cockpit) and if it's realized (MAG8000, Y41 option, specials)*	NA

La signature certifie la conformité des opérations ci-dessus
The signature certify the conformity of the above operations
Nom et visa de l'opérateur / Name and visa controller: VANNIER Isabelle
Date: 10 JUIL. 2018

VERIFICATION A L'EMBALLAGE / Packaging verification	Resultat
Si **MAG8000 Remote** avec potting dans l'electronique - Vérifier concordance des N° de série sur les étiquettes de l'electronique, du couvercle et du sensor */ Compare the serial numbers on the labels between PCBA, the lid and the sensor*	NA
Si **MAG8000 GSM** : Vérifier la présence du macaron de test bleu collé sur le module / Check the presence of the blue test patch stuck on the module	NA
Vérification de l'**état de l'emballage** (aspect du carton, présence mousse de protection) => Voir catalogue d'erreurs FCC */ Verify the condition of the packaging (appearance of the box, foam presence)*	OK
Si **batterie au lithium** : Contrôler la présence de l'étiquette "produit dangereux" sur carton */ If lithium-ion battery : check the presence of the label "Dangerous product" on the box*	NA
DIVERS - AUTRES OPTIONS	
Certificat de calibration / Product labels / Etiquette emballage / OF : vérifier la concordance du n° de série système et de la désignation entre les différents supports */ Calibration certificate - Compare the serial number of the system and designation with the OF*	OK
Sensorprom : vérifier la présence / Check if available	OK
Product label - vérifier le Calfactor par rapport au certificat de calibration */ Check the Calfactor with the calibration certificate*	OK

La signature certifie la conformité des opérations ci-dessus
The signature certify the conformity of the above operations
Nom et visa de l'opérateur / Name and visa controller: WALTHER Hervé
Date: 10 JUIL. 2018

SIEMENS SAS
Division Production Sensors and Communication

Etablissement de Haguenau
1, Chemin de la Sandlach
CS60189
F – 67506 Haguenau Cedex

Tél (+33) 03.69.06.55.55
Fax (+33) 03.69.06.66.66

Copyrights - 2013 © Siemens SAS -Etablissement de Haguenau •

A5E43091533A_003

รูปที่ ก.6 แสดงผลการสอบเทียบของ Electromagnetic flow meter [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

SIEMENS **Industry Sector**

Factory Calibration Certificate / Werkskalibrierungszertifikat / Certificat d'étalonnage usine

Topic / Thema / Sujet: SITRANS F Flowmeter / Durchflussmessgerät / Débitmètre

Object / Betreff / Objet:

Siemens order / Siemensauftrag / Commande Siemens	:	0001658383/000090
Flowmeter type / Durchflussmessgerättyp / Type de débitmètre	:	Sitrans FM MAG5100 W
Nominal sensor diameter / Messaufnehmer-Nennweite / Diamètre nominal de capteur	:	DN 200 (8")
Product order No. / Produktbestellnummer / N° de référence d'appareil	:	7ME65204PB122AA1-Z
Options ordered / Bestellten Optionen / Options commandées	:	N02
System serial No. / System Seriennummer / N° de série du systeme	:	458802H278

Technical data / Technische Daten / Données techniques:

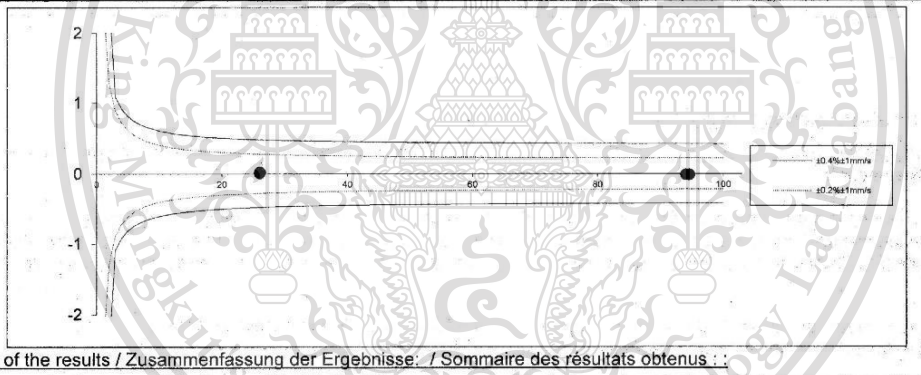
Calibration factor / Kalibrierungsfaktor / Facteur d'étalonnage	:	24.03957158
Calibration medium / Kalibriermedium / Moyen de calibration	:	Water / Wasser / Eau
Calibrated full scale flow / Kalibrierter Messbereichsendwert / Fin de plage de mesure étalonnée	:	550 m^3/h / 2421.581 US gpm
Calibration rig / Kalibrierstand / Plate-forme d'étalonnage	:	Banc HNU 3

Standards / Normen / Normes:

Reference meter method (reference meter calibrated according to ISO 4185-1980) / Referenzmessgerätmethode (Referenzgerät kalibriert laut ISO 4185-1980) / Méthode avec compteur de référence (étalonné suivant ISO 4185-1980)

Results / Ergebnisse / Résultats:

Point # / Messpunkt nr. / Point mesure n°	Flowrate / Durchfluss / Débit	Fluid temperature / Flüssigkeitstemperatur / Température du fluide		Reference flow value / Referenz Durchflusswert / Débit de référence		Flowmeter output / Duchflussmessgerätausgang / Sortie de débitmètre		
						Flowrate / Durchflussmenge / Débit		Error / Fehler / Erreur
	[%]	[°C]	[°F]	[m^3/h]	[US gpm]	[m^3/h]	[US gpm]	[%]
1	94	16.2	61.2	517.19	2277.14	517.15	2276.92	-0.01
2	95	16.3	61.3	520.07	2289.81	520.02	2289.59	-0.01
3	26	16.3	61.3	143.32	631.02	143.35	631.14	0.02
4	26	16.3	61.3	143.09	629.99	143.11	630.08	0.01



Summary of the results / Zusammenfassung der Ergebnisse: / Sommaire des résultats obtenus : :

- The measured values are within the specified limits / Die gemessenen Werte liegen innerhalb der Toleranzen / Les résultats de mesure se trouvent dans les tolérances définies

Siemens SAS Etablissement de Haguenau	Issued by / Erstellt von / émis par Grosse J	Date / Datum / Date 2018/07/10

Page 1

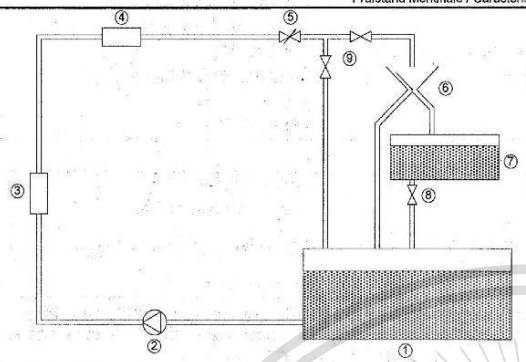
รูปที่ ก.7 แสดงผลการสอบเทียบของ Electromagnetic flow meter [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

SIEMENS **Industry Sector**

Factory Calibration Certificate / Werkskalibrierungszertifikat / Certificat d'étalonnage usine

Test rig characteristics
Prüfstand Merkmale / Caractéristiques de la plate-forme de test



1) Reservoir / Tank / Réservoir
2) Pump / Pumpe / Pompe
3) One or more reference meters / Ein oder mehrer Referenz Messgeräte / un ou plusieurs débitmètres de référence
4) Meter under test / Messgerät unter Prüfung / Débitmètre en test
5) Control valve / Kontrollventil / Vanne de régulation
6) Diverter / Kippschaltung / Bascule
7) Weighing tank / Gewichtsmessungstank / Cuve de mesure
8) Drain valve / Abflussventil / Vanne de vidange
9) Valve to switch between reference meter method and static/dynamic weighing method / Ventile zom switchen zwischen Referenz Methode und statische/dynamische Gewichtmessung Methode / Vanne de basculement entre méthode avec débitmètres de référence et méthode par pesée statique or dynamique

Test rig ID / Prüfstand ID / ID de la plate-forme de test	**Banc HNU 3**
Fluid / Flüssigkeit / Fluide	**Water** / Wasser / Eau
Fluid temperature / Flüssigkeit Temp. / Temp. du fluide	**10-30 °C** / 50-86 °F
Test rig capacity / Prüfstand Kapazität / Capacité de la plate-forme	**DN 200...600** / 8"...24"
Max. Flowrate / Max. Durchfluss / Débit max.	**2500 m^3/h** / 11007 US gpm
Min. Flowrate / Min. Durchfluss. / Débit min	**1 m^3/h** / 4.4 US gpm
Max. Mass / Max.Masse / Masse max.	**20000 kg** / 44092 lb
Uncertainty / Ungenauhigkeit / Incertitude	**Max. 0,15 %**

Traceability / Rückverfolgbarkeit / Traçabilité

The Siemens flowmeter calibration process is ISO9001-certified, ensuring the entire calibration procedure is controlled to the highest quality standards.

All primary measuring instrumentation used by the Siemens Flow Laboratory during the performance of its calibrations, has been calibrated with international standards traceability referring directly to the physical unit of measurement according to the International System of Units (SI). Therefore the calibration certificate ensures recognition of the test results worldwide, including the US (NIST traceability).

Der Siemens Kalibrierungsprozess für Durchflussmessgeräte ist ISO9001 zertifiziert, sicherstellend, dass das ganze Kalibrierungsverfahren nach den höchsten Qualitätsstandards kontrolliert ist.

Alle Hauptmessinstrumente, die zur Durchführung der Kalibrierungen vom Siemens Durchfluss Laboratorium genutzt werden, sind kalibriert, um eine Rückverfolgbarkeit auf internationale Normen sicherzustellen. Dies bezieht sich direkt auf die Maßeinheit gemäß dem Internationalen Einheitensystem (SI). Das Kalibrierungszertifikat gewährleistet daher die Anerkennung der Prüfergebnisse weltweit, einschließlich in den USA (NIST-Rückverfolgbarkeit).

Le processus d'étalonnage des débitmètres Siemens est certifiée ISO9001 et est contrôlé périodiquement selon les normes qualités en vigueur les plus élevées.

Tous les instruments de mesure primaires utilisés dans les laboratoires Siemens Flow durant les opérations d'étalonnage ont été étalonnés en conformité avec les normes internationales relatives à l'unité de mesure physique, conformément au système international d'unités (SI). Le certificat d'étalonnage garantit ainsi que les résultats obtenus lors des essais sont conformes aux normes internationales, y compris NIST (USA).

Siemens SAS

Etablissement de Haguenau
1, Chemin de la Sandlach
CS60189
F – 67506 Haguenau Cedex

Tel (+33) 03.69.06.55.55
Fax (+33) 03.69.06.66.66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ ก.8 แสดงผลการสอบเทียบของ Electromagnetic flow meter [2]