

5ER-O25: การประเมินประสิทธิภาพปั้มน้ำโดยวิธีการคำนวณพลศาสตร์ของไหล เปรียบเทียบกับผลการประเมินประสิทธิภาพจากการทดลอง

Performance Assessment of Centrifugal Pumps by CFD Compared The experiment

เจตนาริน สนวนทอง^{1*} และ กิติพงษ์ เจาจารึก¹
Jetnarin Sounthong^{1*} and Kitipong Jaojaruek¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาความคลาดเคลื่อนของการนำเครื่องมือช่วยออกแบบปั้มน้ำ เข้ามาใช้งานในการออกแบบ หรือพัฒนาปั้มน้ำ ด้วยวิธีการคำนวณพลศาสตร์ของไหลโดยการใช้ CFX turbo machinery ในการสร้างแบบจำลองการทำงานของปั้มน้ำ โดยอ้างอิงกับปั้มน้ำที่มีขายในอุตสาหกรรมแบบหนึ่งที่มีความเร็วของการหมุนอยู่ที่ 2500, 2600 และ 2700 รอบต่อนาทีและนำผลที่ได้จากการจำลองภายใต้เงื่อนไขเดียวกันของการทดลองจากปั้มน้ำอ้างอิง เพื่อหากราฟสมรรถนะ ประสิทธิภาพ ที่รอบ และ อัตราการไหล เดียวกัน นำมาเปรียบเทียบกับเพื่อหาค่าความแม่นยำ ในการนำเครื่องมือช่วยออกแบบทางวิศวกรรมเข้ามาใช้งานว่ามีค่าเท่าใด ผลการศึกษา และ ข้อมูลที่ได้ จะได้เป็นแนวทางปฏิบัติ หรือข้อสังเกตในการนำเครื่องมือช่วยออกแบบทางวิศวกรรมเข้ามาใช้งานในงานจริง

คำสำคัญ: ปั้มน้ำ พลศาสตร์ของไหล แบบจำลอง

Abstract

This research was to study the error of water pump design tool adoption. Coming into use in design or develop a water pump by calculating fluid dynamics using CFX turbo machinery. To create a working model of the pump. With reference to a type of industrial water pump with rotational speeds of 2500, 2600 and 2700 rpm. The results were simulated under the same conditions of the reference pump experiment to find the performance curve. The efficiency at the same cycle and flow rate were compared to determine the accuracy of engineering design aids. Will be a guideline or observations in bringing a machine to help design engineering into use in real work

Keywords: Centrifugal pump, Fluid dynamics, Model

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน

¹ Faculty of Engineering Kamphaengsaen, Kasetsart University KamphaengSaen Campus, Nakhon Pathom, Thailand

* Corresponding author. E-mail: jetnarin.ape7@gmail.com

บทนำ

ปั๊มน้ำหอยโข่งจัดเป็นอุปกรณ์เครื่องมืออีกชนิดหนึ่งที่มีความเกี่ยวข้องกับชีวิตความเป็นอยู่ของมนุษย์อย่างมากเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยจัดส่งน้ำเพื่อการอุปโภค บริโภค การเกษตร คมนาคม อุตสาหกรรม ตลอดจนการบำบัดน้ำเสีย เพื่อรักษาสีแฉดล้อม เนื่องจากมีข้อดีหลายอย่าง และค่าใช้จ่ายค่อนข้างถูก การบำรุงรักษาน้อย การติดตั้ง ใช้งานง่าย และปั๊มน้ำมีหลายแบบหลายขนาดให้เลือก โดยหลักการทำงานพื้นฐานและ การประยุกต์ใช้ปั๊มน้ำทำงานเริ่มมีการศึกษามาแต่ประมาณปี ค.ศ. 1930 [1] การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีปั๊มน้ำหอยโข่งขนาดเล็กยังมีความเหมาะสมสำหรับชุมชนห่างไกลที่มีเงื่อนไขใกล้เคียงกับแหล่งน้ำ [2-3]

ปั๊มน้ำหอยโข่งที่มีการใช้งานในประเทศไทยส่วนใหญ่ไม่ได้ใช้งานปั๊มน้ำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ปัญหาดังกล่าวนี้มีสาเหตุมาจากการขาดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับทางทฤษฎี การใช้งานปั๊มน้ำหอยโข่งให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด จำเป็นต้องไปผ่านระบบการทดสอบปั๊มน้ำเพื่อวิเคราะห์การสร้างความดันน้ำ อัตราการไหล และรวมไปถึงการใช้พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับปั๊มน้ำหอยโข่ง แต่การทดสอบหาสมรรถนะปั๊มน้ำนั้นเป็นสิ่งที่ต้องใช้อุปกรณ์ในการทดสอบที่ค่อนข้างจะยุ่งยากและมีค่าใช้จ่ายสูงในการทดสอบ

ปั๊มน้ำหอยโข่ง (Centrifugal Pumps) คือเครื่องมือที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานน้ำโดยอยู่ในรูปแบบของความดันและอัตราการไหลของน้ำโดยกำลังของน้ำสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$P_w = \gamma QH$$

โดยที่

P_w คือกำลังของน้ำมีหน่วยเป็น *Watt*

γ คือน้ำหนักจำเพาะของน้ำมีหน่วยเป็น N/m^3

Q คืออัตราการไหลของน้ำมีหน่วยเป็น m^3/sec

H คือระดับความสูงที่ปั๊มน้ำสามารถทำได้มีหน่วย เป็น m

ระดับความสูงที่ปั๊มน้ำสามารถทำได้สามารถหาได้จากสมการ

$$P_p = \rho gH$$

โดยที่

P_p คือความดันของน้ำที่ปั๊มน้ำสามารถทำได้มีหน่วยเป็น kg/m^2

ρ คือความหนาแน่นของน้ำมีหน่วยเป็น kg/m^3

g คือค่าแรงโน้มถ่วงของโลกมีหน่วยเป็น m^2/sec

ปัจจุบันเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์มีความก้าวหน้าสามารถคำนวณได้รวดเร็วและค่าใช้จ่ายไม่สูงมาก ประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์เพื่อคำนวณพลศาสตร์ของไหล (CFD) จึงเป็นที่นิยมกันมากขึ้นทำให้สามารถลดค่าใช้จ่าย และใช้เวลาในการออกแบบน้อยลง มีหลายงานวิจัยที่ได้อธิบายคุณลักษณะ และ ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพสูงสุดของการทำงานของปั๊มน้ำบนพื้นฐานข้อมูลที่ได้จากการทดลอง และการวิเคราะห์ทางทฤษฎี [4, 5] นอกจากนี้ ยัง มีการประยุกต์ใช้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) เพื่อทำนายประสิทธิภาพของปั๊มน้ำหอยโข่ง [6, 7]

การจำลองการไหลที่เกิดขึ้นภายในเครื่องสูบน้ำ จะใช้สมการของ นาเวียร์-สโตก (Navier-Stoke equations) ร่วมกับทฤษฎีค่าเฉลี่ยของเรย์โนลด์เพื่อแก้สมการจะได้สมการนาเวียร์-สโตกส์จากการเฉลี่ยของเรย์โนลด์ (Reynolds-averaged Navier-Stokes equation, RANS) คือ

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial \bar{x}_i} = 0$$

และ

$$\frac{\partial \rho \bar{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial \rho \bar{u}_i \bar{u}_j}{\partial x_j} = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial \bar{x}_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\mu \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \right] + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j}$$

สำหรับค่า Reynolds stress คือ $\tau_{ij} = -\rho \overline{u'_i u'_j}$ ซึ่งตามสมมุติฐานของ Boussinesq จะได้ว่า

$$\tau_{ij} = \mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \left(\rho k + \mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right) \delta_{ij}$$

และสำหรับค่าความหนืดของความปั่นป่วน (Turbulent eddy viscosity, μ_t) จะแทนด้วยแบบจำลองความปั่นป่วน

$k - \varepsilon$ คือ $\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}$ สามารถเขียนสมการใหม่เป็น

$$\rho \frac{Dk}{Dt} = \frac{\partial}{\partial \bar{x}_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + P - \rho \varepsilon$$

และ

$$\rho \frac{D\varepsilon}{Dt} = \frac{\partial}{\partial \bar{x}_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} P - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k}$$

เมื่อ P คือ Production of turbulent kinetic energy

$\sigma_k, \sigma_\varepsilon, C_{1\varepsilon}$ และ $C_{2\varepsilon}$ คือค่าคงที่

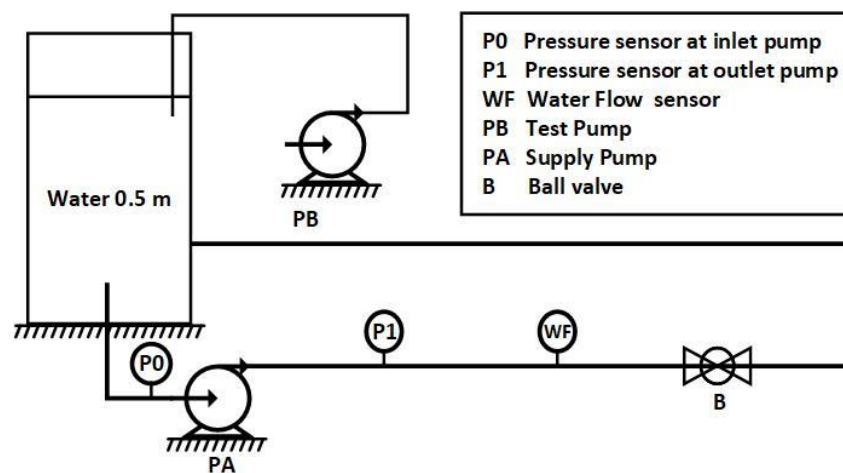
บทความนี้มีจุดมุ่งหมายในการที่จะนำเสนอ ผลการประเมินประสิทธิภาพโดยวิธีการคำนวณพลศาสตร์ของไหลโดยใช้ CFX turbo machinery ในการสร้างการจำลองการทำงานของปั๊มน้ำและนำผลที่ได้จากการจำลองภายใต้เงื่อนไขเดียวกันของการทดสอบจากปั๊มน้ำอ้างอิง เพื่อทำนายหากราฟสมรรถนะ ประสิทธิภาพ ที่ความเร็วรอบนั้นๆ และ อัตราการไหล เดียวกันของปั๊มน้ำขนาด 1 แรงม้า ใบพัดประเภทแบบปิด

วิธีการศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นการศึกษาเชิงทดลอง (experimental research) และศึกษาเชิงคำนวณโดยการประยุกต์ใช้พลศาสตร์ของไหล(CFD) ประเมินหากราฟสมรรถนะและ ประสิทธิภาพที่รอบและอัตราการไหลเดียวกัน โดย ทำการทดสอบปั๊มหอยโข่ง (Centrifugal Pumps) ที่มีใบพัดแบบปิด (closed impeller) เป็นการศึกษาเชิงทดลอง (experimental research) เป็นการทดสอบปั๊มน้ำขนาด การทดสอบหาจุดที่ปั๊มน้ำหอยโข่งทำงานที่ประสิทธิภาพ

สูงสุดโดยจะการสร้างชุดทดสอบด้วยติดตั้งถังน้ำสำหรับให้ปั้มน้ำหอยโข่งดูดน้ำโดยจะมีการรักษาระดับน้ำคงที่ขณะทำการทดสอบปั้มน้ำหอยโข่งเพื่อจะรักษาความดันของน้ำให้คงที่ และติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อจะทำการรักษาความเร็วรอบให้คงที่อยู่ที่ 2500, 2600 และ 2700 รอบต่อนาที จากนั้นทำการเก็บค่าแรงดันของน้ำด้วยเซ็นเซอร์วัดความดันขนาด 0-30 psi ที่เชื่อมต่ออยู่กับ PLC และอ่านค่าผ่านทางหน้าจอแสดงผล การวัดอัตราการไหลของที่ปั้มน้ำจะเป็นการรองน้ำใส่ถังด้วยเวลาที่กำหนดแล้วนำไปชั่งน้ำหนักเพื่อนำไปคำนวณหาอัตราการไหล และการใช้พลังงานไฟฟ้า

ของน้ำจัดเป็นการใช้เครื่องมือวัด Watt meter เก็บข้อมูลจะเป็นการบันทึกลงในระบบคอมพิวเตอร์ เพื่อคำนวณหาประสิทธิภาพปั้มน้ำที่อัตราการไหลในช่วงต่างๆ โดยรูปแบบการติดตั้งอุปกรณ์จะแสดงอยู่ใน รูปที่ 1



รูปที่ 1 ภาพรวมชุดทดสอบประสิทธิภาพปั้มน้ำ

การศึกษาเชิงคำนวณโดยการประยุกต์ใช้พลศาสตร์ของไหล(CFD) เป็นการสร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม Ansys ของภาควิชาเครื่องกล โดยการสร้างแบบจำลองจะเป็นการสร้างแบบจำลองโดยใช้ CFX Turbo Machinery Mode ขั้นแรกจะเป็นการสร้างแบบจำลองโดยการกำหนดลักษณะและขนาดของใบพัดให้เหมือนกับปั้มน้ำที่ใช้ทำการทดสอบ จากนั้นทำการกำหนดค่าอัตราการไหลและความเร็วรอบของใบพัดให้ตรงกับการทดสอบเพื่อที่หาหาความคลาดเคลื่อนของตัวแบบจำลอง จากนั้นทำให้แบบจำลองการทดลองในภายใต้เงื่อนไขใบพัดเดียวกัน อัตราการไหลเดียวกันแต่จะแตกต่างกันออกไปที่ความเร็วรอบคือ 2500, 2600 และ 2700 รอบต่อนาที

ผลการศึกษา

ผลการทดสอบปั้มน้ำ

การทดสอบปั้มน้ำโดยทำการต่อเข้ากับเซ็นเซอร์วัดอัตราการไหลและเซ็นเซอร์วัดความดันน้ำโดยกำหนดเงื่อนไข ระดับน้ำทางด้านดูดของปั้มน้ำมีความดันคงที่ที่ระดับน้ำความสูงคงที่และ ความเร็วรอบของปั้มน้ำอยู่ที่ 2500 ,2600 และ2700 Rpm ทำการทดสอบโดยการเปิดบอลวาล์วที่ 100 % ทำการบันทึกค่าที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์อัตราการไหลและความดัน จากนั้นทำการลดระดับการเปิดของบอลวาล์วที่อัตราการไหลต่างๆ จนมีอัตราการไหลมีค่าเท่ากับ 0 Lpm

ตารางที่ 1 ผลการคำนวณประสิทธิภาพรวมของปั้มน้ำหอยโข่งที่ความเร็ว 2500 รอบต่อนาที

อัตราการไหล (Lpm)	ความดัน (Psi)	พลังงานที่ใช้ (w)	ประสิทธิภาพ(%)
31.8	18.59994	500	13.56098
52.2	18.49997	545	20.3127
135	17.79994	721	38.20669
196	15.65589	849	41.43321
250	12.80001	950	38.61438

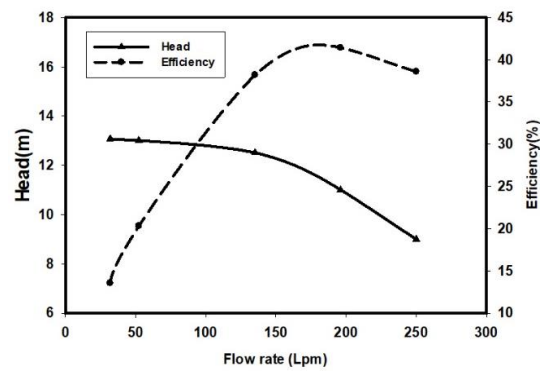
ตารางที่ 2 ผลการคำนวณประสิทธิภาพรวมของปั้มน้ำหอยโข่งที่ความเร็ว 2600 รอบต่อนาที

อัตราการไหล (Lpm)	ความดัน (Psi)	พลังงานที่ใช้ (w)	ประสิทธิภาพ(%)
32.4	19.69429	550	13.2998
56	19.60001	603	20.86649
141.6	18.70005	805	37.70791
212	15.90004	949	40.71837
252	13.79994	1013	39.35416

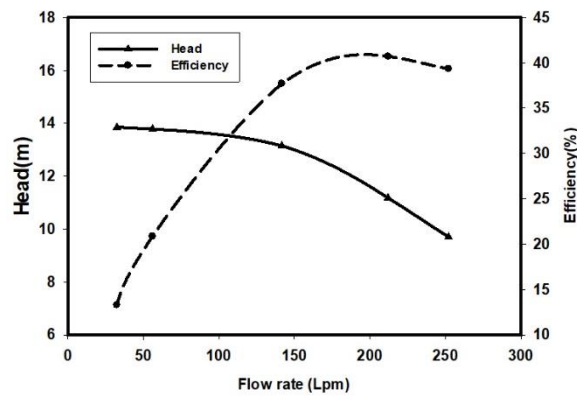
ตารางที่ 3 ผลการคำนวณประสิทธิภาพรวมของปั้มน้ำหอยโข่งที่ความเร็ว 2700 รอบต่อนาที

อัตราการไหล (Lpm)	ความดัน (Psi)	พลังงานที่ใช้ (w)	ประสิทธิภาพ(%)
34.2	21.47175	614	13.71032
61.2	21.29998	682	21.91132
150	20.13993	895	38.69445
224	16.80001	1032	41.80231
260	14.49997	1089	39.68579

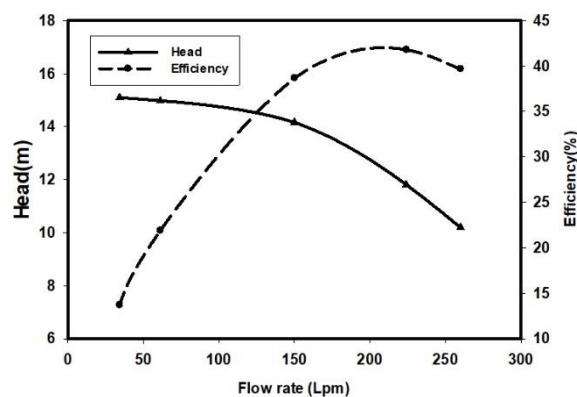
จากตารางที่ 1 2 และ 3 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์กันระหว่างอัตราการไหลและความดันที่สภาวะการทำงานที่ความเร็วรอบเดียวกันพบว่า เมื่อทำการควบคุมอัตราการไหลให้ลดลงทำให้ความดันเกิดการแปรผกผันกัน มีผลทำให้ค่าความดันมีการเพิ่มมากขึ้นโดยจะสอดคล้องกับสมการที่ 1 กล่าวได้ว่าการควบคุมอัตราการไหลของน้ำ เป็นการลดพลังงานจลน์ของน้ำที่ได้รับมาจากพลังงานกลของปั้มน้ำก็จะเปลี่ยนเป็นพลังงานศักย์ตามกฎการอนุรักษ์พลังงาน ประสิทธิภาพของปั้มน้ำมีที่ความเร็ว 2500 รอบต่อนาที พบว่าที่อัตราการไหล 196 Lpm มีประสิทธิภาพ 41.43 % เป็นค่าที่สูงที่สุดจากการทดลอง จากตารางที่ 1 สามารถนำข้อมูลมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลต่อแรงดันน้ำ และประสิทธิภาพได้ดังในรูปที่ 2 ประสิทธิภาพของปั้มน้ำมีที่ความเร็ว 2600 รอบต่อนาที พบว่าที่อัตราการไหล 212 Lpm มีประสิทธิภาพ 40.71 % เป็นค่าที่สูงที่สุดจากการทดลอง จากตารางที่ 2 สามารถนำข้อมูลมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลต่อแรงดันน้ำ และประสิทธิภาพได้ดังในรูปที่ 3 ประสิทธิภาพของปั้มน้ำมีที่ความเร็ว 2700 รอบต่อนาที พบว่าที่อัตราการไหล 224 Lpm มีประสิทธิภาพ 41.08 % เป็นค่าที่สูงที่สุดจากการทดลอง จากตารางที่ 3 สามารถนำข้อมูลมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลต่อแรงดันน้ำ และประสิทธิภาพได้ดังในรูปที่ 4



รูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลต่อแรงดันน้ำ และประสิทธิภาพที่ความเร็ว 2500 รอบต่อนาที



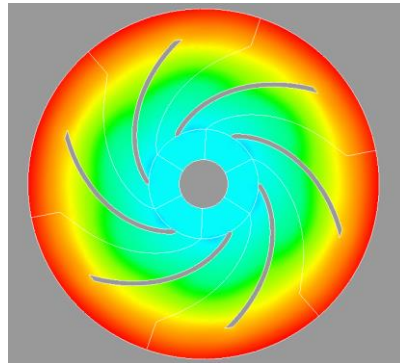
รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลต่อแรงดันน้ำ และประสิทธิภาพที่ความเร็ว 2600รอบต่อนาที



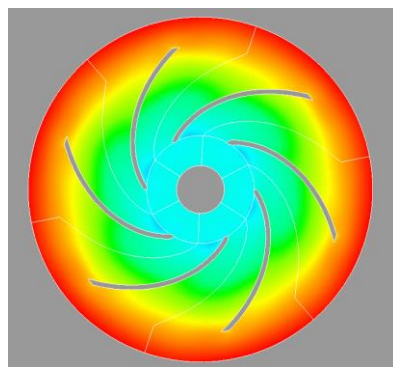
รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลต่อแรงดันน้ำ และประสิทธิภาพที่ความเร็ว 2700รอบต่อนาที

ผลการสร้างแบบจำลองพลศาสตร์

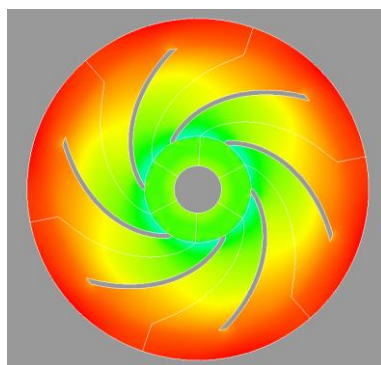
แบบจำลองเป็นแบบจำลองการหมุนของใบพัดขนาดเทียบเท่ากับความเป็นจริงโดยแบบจำลองพลศาสตร์นั้นก็จะทำการกำหนดความเร็วรอบที่ 2500 2600 และ 2700 Rpm โดยแต่ละความเร็วรอบก็จะกำหนดอัตราการไหลให้ตรงกับการทดลอง โดยแบบจำลองจะแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมการกระจายตัวของความดันในแต่้อัตราการไหลที่ความเร็วรอบเท่ากันแต่้อัตราการไหลถูกควบคุมไม่ให้ไหลออกได้อย่างอิสระทำให้เกิดแรงดันสะสมอยู่บริเวณปลายของใบพัด เมื่อทำการเพิ่มอัตราการไหลก็จะเป็นการระบายแรงดันที่สะสมอยู่จึงทำให้แรงดันลดลงทำให้แรงดันสามารถกระจายตัวได้อย่างเสมอกันดังรูปที่ 5 ถึงรูปที่



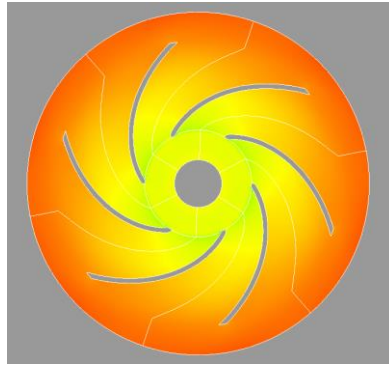
รูปที่ 5 แสดงพฤติกรรมการกระจายตัวของความดันในแต่้อัตราการไหล 31.08 Lpm ที่ความเร็ว 2500 รอบต่อนาที



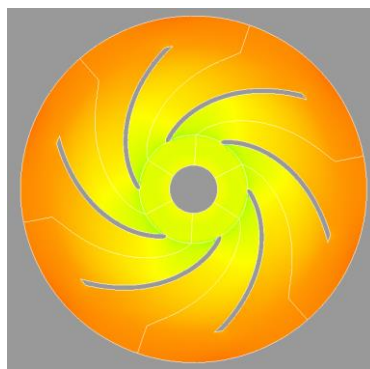
รูปที่ 6 แสดงพฤติกรรมการกระจายตัวของความดันในแต่้อัตราการไหล 52.2 Lpm ที่ความเร็ว 2500 รอบต่อนาที



รูปที่ 7 แสดงพฤติกรรมการกระจายตัวของความดันในแต่้อัตราการไหล 135 Lpm ที่ความเร็ว 2500 รอบต่อนาที



รูปที่ 8 แสดงพฤติกรรมการกระจายตัวของความดันในที่อัตราไหล 196 Lpm ที่ความเร็ว 2500 รอบต่อนาที



รูปที่ 9 แสดงพฤติกรรมการกระจายตัวของความดันในที่อัตราไหล 250 Lpm ที่ความเร็ว 2500 รอบต่อนาที

การสร้างแบบจำลองเป็นเพียงจำลองในพัดให้หมุนอยู่ในความเร็วรอบที่กำหนดจะสามารถค่าหาได้เพียงค่าความดันที่ใบพัดสามารถสร้างได้ไม่สามารถจะคำนวณการให้พลังงานไฟฟ้าของแบบจำลองได้โดยวิธีคำนวณประสิทธิภาพก็จะคำนวณจาก อัตราการไหลและแรงดันของน้ำโดยจะเทียบกับแหล่งพลังที่ทำการทดสอบ โดยผลการจำลองที่แต่ละอัตราการไหลที่ความเร็ว 2500 ,2600 และ 2700 Rpm จะแสดงอยู่ตารางที่ 4 ถึง 6 ตามลำดับ

ตารางที่ 4 ผลของแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลที่ความเร็วรอบ 2500 รอบต่อนาที

อัตราการไหล (Lpm)	ความดัน (Psi)	พลังงานที่ใช้ (w)	ประสิทธิภาพ(%)
31.80	24.87069	500	18.1329
52.20	24.60008	545	27.01052
126	23.32031	721	50.0559
196	21.04516	849	55.69587
250	18.20122	950	53.62155

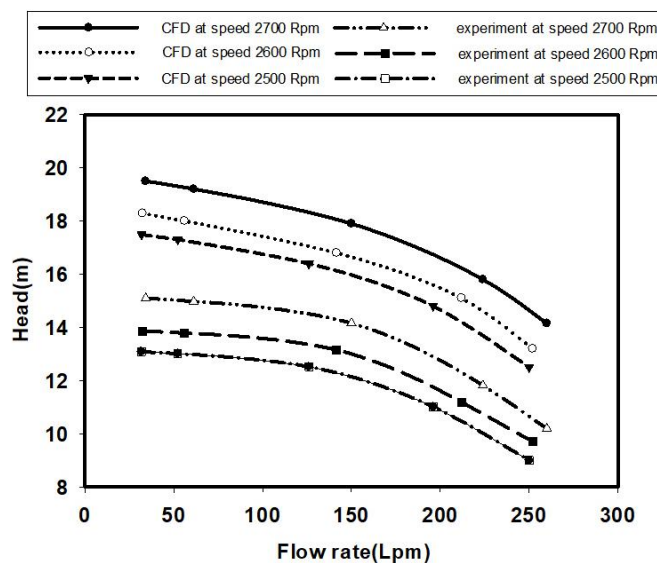
ตารางที่ 5 ผลของแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลที่ความเร็วรอบ 2600 รอบต่อนาที

อัตราการไหล (Lpm)	ความดัน (Psi)	พลังงานที่ใช้ (w)	ประสิทธิภาพ(%)
32.4	26.00812	550	17.56361
56	25.59546	603	27.24935
141.6	23.8891	805	48.17143
212	21.47175	949	54.98693
252	19.33879	1013	53.52762

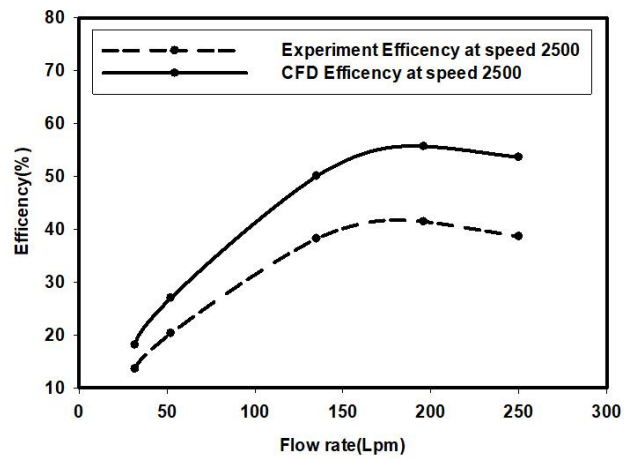
ตารางที่ 6 ผลของแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลที่ความเร็วรอบ 2700 รอบต่อนาที

อัตราการไหล (Lpm)	ความดัน (Psi)	พลังงานที่ใช้ (w)	ประสิทธิภาพ(%)
34.2	27.71676	614	17.69794
61.2	27.30183	682	28.08544
150	25.45327	895	48.90285
224	22.46713	1032	55.90341
260	20.61857	1089	55.06997

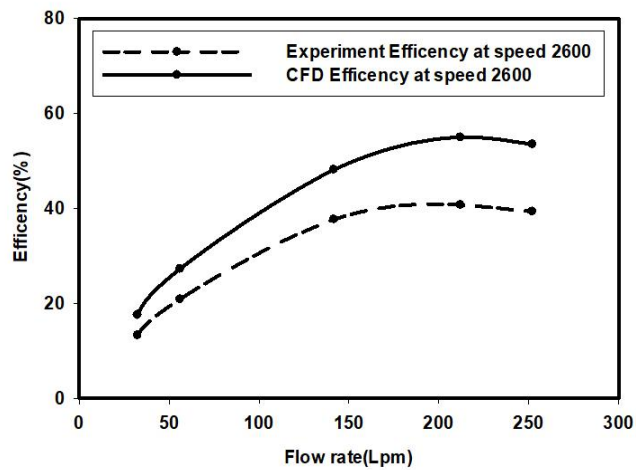
ของไหลที่ความเร็วรอบเดียวการทดสอบเมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ทำการทดสอบจริง พบว่ามีค่าของความดันมีการคลาดเคลื่อนอันมีผลเนื่องมาจากไม่มีการคิดค่าการสูญเสียของพลังงานเลยเนื่องจากแบบจำลองเป็นแบบจำลองในอุดมคติความดันที่ได้จากแบบจำลองที่อัตราการไหล 2500, 2600 และ 2700 จะแสดงความสัมพันธ์ดังรูปที่ 10 เมื่อความดันเพิ่มขึ้นจากแบบจำลองก็จะได้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับค่าพลังงานจากการทดลองจะแสดงความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นที่ 2500, 2600 และ 2700 ได้ดังรูปที่ 11 ถึง 13 ตามลำดับ



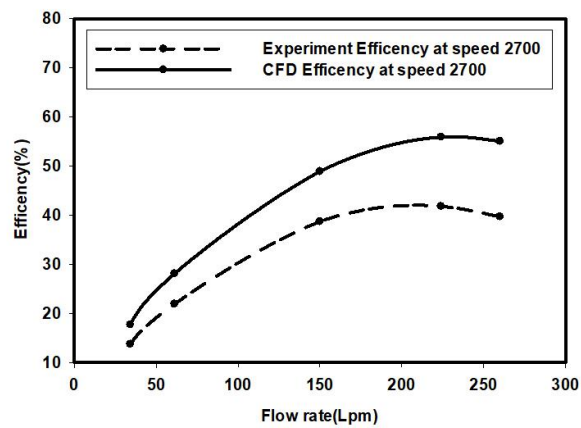
รูปที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ของความสูงที่ปั้มน้ำหอยโข่งผลิตได้ระหว่างค่าที่ได้จากการทดสอบและจากแบบจำลอง



รูปที่ 11 แสดงความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพระหว่างค่าที่ได้จากการทดสอบและจากแบบจำลองที่ความเร็ว 2500 Rpm



รูปที่ 12 แสดงความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพระหว่างค่าที่ได้จากการทดสอบและจากแบบจำลองที่ความเร็ว 2600 Rpm



รูปที่ 13 แสดงความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพระหว่างค่าที่ได้จากการทดสอบและจากแบบจำลองที่ความเร็ว 2700 Rpm

สรุป

จากแบบจำลองที่ความเร็วรอบ 2500 Rpm พบความคลาดเคลื่อนที่อัตราไหล 31.80 ,52.20 ,126 ,196 และ 250 กิโลกรัมต่อนาที คือ 33.71 ,32.97 ,31.01 ,34.42 และ 38.86 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ แบบจำลองที่ความเร็ว 2600 Rpm พบความคลาดเคลื่อนที่อัตราไหล 32.4 ,56 ,141.6 ,212 และ 252 กิโลกรัมต่อนาที คือ 32.06 ,30.59 ,27.75 ,35.04 และ 36.02 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และแบบจำลองที่ความเร็ว 2700 Rpm พบความคลาดเคลื่อน 29.08 ,28.18 ,26.3 ,33.73 และ 38.76 เปอร์เซ็นต์

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้การสนับสนุนและเอื้อเฟื้อการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Joshi, S., Gordon, A., Holloway, L., Chang, L. and Kojabadi, H. M. 2005. Development of a Stand Alone Micro-Hydro System using Pump as Turbine Technology for Low Head Sites in Remote Areas. Proceedings of the 20th International Power System Conference 2005.
- [2] Arriaga, M. 2009. Pump as Turbine – A pico-hydro alternative in Lao People's Democratic Republic. Renewable Energy, 35: 1109-1115.
- [3] Chuenchooklin, S. 2006. Development of Pico - Hydropower Plant for Farming Village in Upstream Watershed Thailand. Proceedings of the Prosperity and Poverty in a Globalised World Challenges for Agricultural Research, Tropentag, October 11-13, 2006.
- [4] Gantar, M. 1988. Propeller Pumps Running as Turbines. Proceeding of the Hydraulic Machinery, Ljubljana, Yugoslavia, 1988.
- [5] Williams, A. 2003. Pumps as Turbines Users Guide, International Technology Publications, London, U.K.
- [6] Rawal, S and Kshirsagar, J. T. 2007. Numerical Simulation on a Pump Operating in a Turbine Mode. Proceedings of the 23rd International Pump Users Symposium, 2007.
- [7] Derakhshan, S and Nourbakhsh, A. 2008. Theoretical, Numerical and Experimental Investigation of Centrifugal Pumps in Reverse Operation. Experimental Thermal and Fluid Science, 32: 1620-1627.