การออกแบบกังหันน้ำแรงเสียดทานต่ำรูปแบบผสม สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำ กรณีศึกษา: บ้านห้วยมง อำเภอเมืองปาน จังหวัดลำปาง

Mixed flow condition low friction water turbine design for Hydroelectric power generation. Case study: Huay Mong village, Muang pan district, Lampang province

วศินว์วิโรตม์ เนติศักดิ์[1*] และพงษ์ศักดิ์ อยู่มั่น[2]
Wasivirot Netisak[1*] and Pongsak Youmun[2]
[1*,2]สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
119 หมู่ 9 ถนนลำปาง-แม่ทะ ตำบลชมพู อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง 52100
โทรศัพท์ 0 5431 6748 โทรสาร 0 5431 6748 E-mail : wasivirot@lpru.ac.th
[1*,2]Energy Technology Program. Industrial Technology Faculty. Lampang Rajabhat University.
119 moo 9 Lampang – Meatha road Tumbon chompu Amphur Muang Lampang
Tel. 0 5431 6748 Fax. 0 5431 6748 E-mail : wasivirot@lpru.ac.th

วันที่รับบทความ 28 กันยายน 2563 **วันที่รับแก้ไขบทความ** 19 ธันวาคม 2563 **วันที่ตอบรับบทความ** 28 ธันวาคม 2563
Received: Sep. 28, 2020 **Revised:** Dec. 19, 2020 **Accepted:** Dec. 28, 2020

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้มีจุดประสงค์ เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพกังหันน้ำแรงเสียดทานต่ำรูปแบบผสมที่เหมาะสมการใช้งานกับแหล่งน้ำธรรมชาติ พัฒนาระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ให้เพียงพอกับการใช้งาน และถ่ายทอดเทคโนโลยี ใช้เป็นแหล่งเรียนรู้ทางด้านพลังงานทดแทนให้กับชุมชนบ้านห้วยมง อำเภอเมืองปาน จังหวัดลำปาง และผู้สนใจทั่วไป ซึ่งโครงการวิจัยได้พัฒนารูปแบบของกังหันน้ำแรงเสือดทานต่ำ ให้มีประสิทธิภาพในการขับเคลื่อนตัวกำเนิดไฟฟ้า ในรูปแบบของกังหันน้ำแบบเพลตัน ซึ่งมีการออกแบบใบพัดให้มีความเหมาะสมในการรับน้ำ และการกระจายตัวของน้ำในเครื่องผลิตไฟฟ้า ซึ่งใช้วิธีการจำลองรูปแบบที่เหมาะสมด้วยเทคนิคไฟไนท์อีลีเม้นท์ (Finite Element) และควบคุมค่าพารามิเตอร์ เงื่อนไขต่าง ๆ ให้มีความเหมาะสมใกล้เคียงกับพื้นที่เป้าหมาย โดยการทำแรงดันขาเข้าและหัวฉีดเปิดภายใต้ความดันบรรยากาศ ในรูปแบบผสม (Mixed flow Condition) มีการใช้สมการนาเวียร์-สโตกส์ (Navier–Stokes equations) รวมกับทฤษฎีคาเรยโนล (Reynolds number) เฉลี่ยเพื่อที่จะแก้สมการซึ่งพิจารณาน้ำเป็นของไหลที่อัดตัวไม่ได้ที่สภาวะเสถียร โดยมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วของน้ำที่ไหลเข้ากระทบกังหัน โดยการปรับระดับการเปิดของหัวฉีดเป็น 4/4, 3/4, 2/4 และ 1/4 พบว่าการปรับระดับการเปิดของหัวฉีดน้ำ (Nozzle) ให้บังคับอัตราการไหลของน้ำให้สามารถขับกังหันที่ทำการวิเคราะห์ขึ้น จะสามารถทำให้ประสิทธิภาพที่กังหันมีค่าสูงเท่ากับร้อยละ 66.11 และเมื่ออัตราการไหลของน้ำให้ลดลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพของกังหันทางด้านขาออกลดลงตาม ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าประสิทธิภาพของกังหันสูงสุดที่ได้จากการทดสอบมีค่าเท่ากับร้อยละ 57.56

คำสำคัญ: ไฟฟ้าพลังงานน้ำ, กังหันน้ำ, บ้านห้วยมง

Abstract

The purposes of this research are to improve the efficiency of the low-friction turbine for natural water resources and to develop hydroelectricity systems working along with solar power generation systems. Additionally, to establish the renewable energy learning center for educating locals in Huay Mong village, Muang pan district, Lampang, or general interest. In this research, the developed low-friction turbine, based on the Pelton turbine model, is used for maximizing the efficiency of driving the generator which is suitable for water intake and dispersion in the generator. Moreover, the researcher using the Finite Element simulation technic by setting the parameter similar to the condition of the actual target area. It made the turbine is practically able to be used in the target area by using the inlet pressure and open the nozzle under pressured atmospheric by using fluid mixed-flow method, as well as, The Navier-Stokes equation and Reynolds number are used to solve the equation. The theory considered the water as an incompressible fluid in stable conditions by adjusting the velocity of the water flowing into the turbine by adjusting the nozzle opening level to 4/4, 3/4, 2/4, and 1/4. It was found that adjusting the opening level of the nozzle to force the water flow rate to drive the designed turbine. It can make the turbine efficiency as high as 66.11%. Conversely, when the water flow rate is reduced, resulting in decreased efficiency of the turbine. Therefore, the output which compared with the maximum turbine efficiency value obtained from the test was 57.56%.
Keywords: Hydroelectricity, Water Turbine, Huay Mong village

1. บทนำ

พื้นที่บ้านห้วยมง อำเภอเมืองปาน จังหวัดลำปาง เป็นที่อยู่อาศัยของ กลุ่มชนเผ่าปกากะญอหรือกะเหรี่ยง โดยหมู่บ้านห้วยมงเป็นหมู่บ้านที่ไม่มีไฟฟ้าใช้ โดยตั้งอยู่ในภูมิประเทศที่มีภูเขาล้อมรอบ อยู่ห่างจากจังหวัดลำปางประมาณ 90 กิโลเมตรไปทางทิศเหนือ และไม่มีโอกาสที่จะได้รับการจัดสรรการจ่ายกระแสไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเข้าไปยังหมู่บ้าน เนื่องจากไม่คุ้มค่ากับการลงทุนของหน่วยงาน ซึ่งชุมชนมีจำนวน 27 ครัวเรือน มีประชากรทั้งสิ้น 97 คน ประกอบอาชีพเกษตรกรรมและรับจ้างทั่วไป ซึ่งการที่ไม่มีไฟฟ้าใช้ทำให้ชีวิตความเป็นอยู่ของชาวบ้านในชุมชนลำบากมาก คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง จึงได้สร้างและพัฒนาระบบประจุพลังงานไฟฟ้าแบตเตอรี่สำหรับไฟฟ้าส่องสว่างในชุมชนจากพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 2 กิโลวัตต์ เพื่อแก้ปัญหาการขาดแคลนไฟฟ้าใช้งานในหมู่บ้านห้วยมง แต่ก็ยังไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้พลังงาน

ในการนี้นักวิจัยได้เห็นถึงแหล่งพลังงานที่มีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจากลำน้ำแม่สอยที่ไหลผ่านบริเวณหมู่บ้านตลอดทั้งปี ซึ่งมีอัตราการไหลเฉลี่ย 7.57 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที (Upper Northern

Region Irrigation Hydrology Center, 2013) จึงเกิดแนวคิดในการผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์เดิมที่มีอยู่

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้เล็งเห็นถึงศักยภาพของการผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำ จึงจัดทำโครงการวิจัยนี้ เพื่อเป็นการมุ่งเน้นการแก้ไขปัญหาขาดแคลนพลังงาน และขยายต่อยอดการใช้ประโยชน์แหล่งพลังงานทดแทนในชุมชนบ้านห้วยมง เพื่อให้เป็นชุมชนที่สามารถพึ่งพาตนเองได้ในด้านของพลังงานได้อย่างยั่งยืนต่อไป

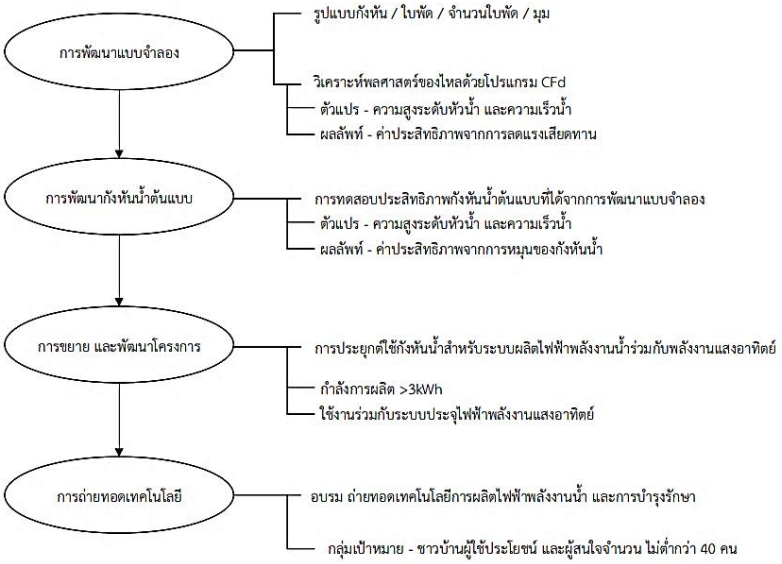
2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อพัฒนากังหันน้ำแรงเสียดทานต่ำรูปแบบผสมที่เหมาะสมการใช้งานกับแหล่งน้ำธรรมชาติในบริเวณหมู่บ้านห้วยมง

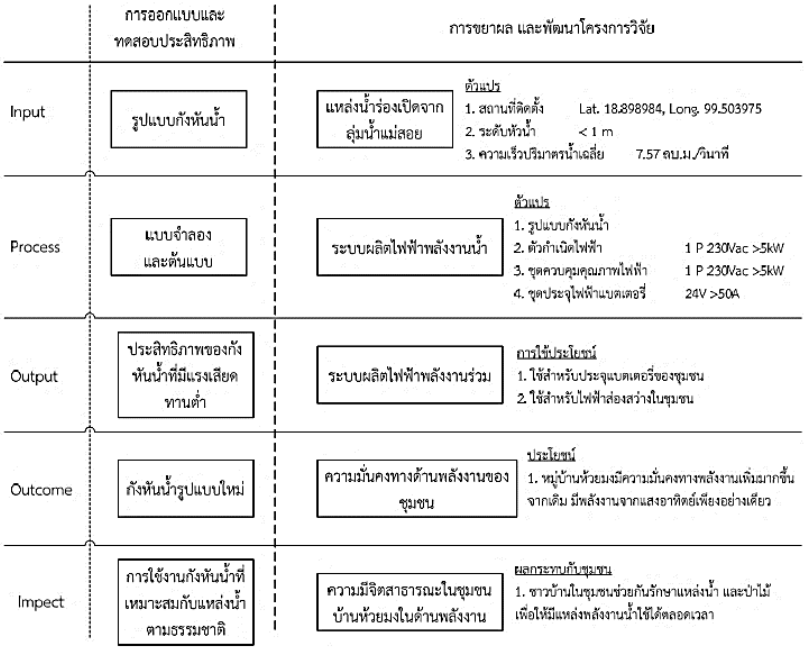
2.2 เพื่อพัฒนาระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขึ้นมาใช้งานร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เดิมให้เพียงพอกับการใช้งานของหมู่บ้านห้วยมง

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

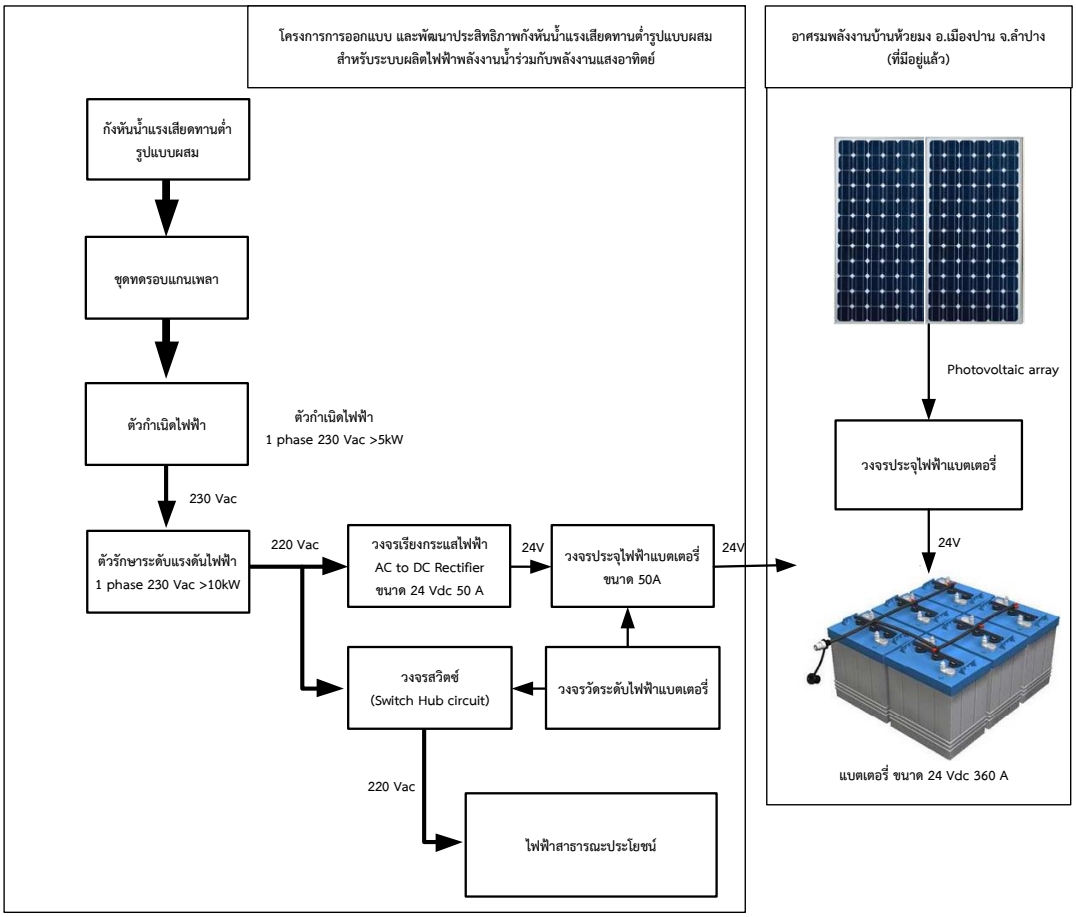
การดำเนินโครงการวิจัยนี้ได้ออกแบบกรอบแนวคิดกระบวนการวิจัยได้ ดังภาพที่ 1 แสดงถึงการพัฒนาแบบจำลองกังหันน้ำแรงเสียดทานต่ำ สำหรับการวิเคราะห์พลศาสตร์ของไหลเพื่อหาประสิทธิภาพรูปแบบที่มีความเหมาะสมกับแหล่งน้ำตามธรรมชาติที่มีระดับหัวน้ำและความเร็วของกระแสน้ำต่ำ จากนั้นดำเนินการสร้างและทดสอบประสิทธิภาพของกังหันน้ำในห้องปฏิบัติการตรวจวัดค่าตัวแปรต่าง ๆ เมื่อมีความเร็วน้ำที่เปลี่ยนแปลงไป เช่น ความเร็วรอบของกังหัน แรงบิดเพลา เป็นต้น เพื่อนำผลที่ได้ไปขยายโครงการวิจัยให้เกิดประโยชน์กับชุมชนท้องถิ่นที่ขาดแคลน และมีความต้องการในการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมาก โดยการพัฒนาระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งมีการออกแบบระบบดังภาพที่ 3 และเมื่อดำเนินการเสร็จสิ้นผู้วิจัยจะจัดกิจกรรมการอบรมเพื่อการถ่ายทอดเทคโนโลยีแก่ชุมชนต่อไป



ภาพที่ 1 แผนภาพแสดงกรอบแนวคิดของงานวิจัย



ภาพที่ 2 แผนภาพแสดงกรอบแนวคิดในการพัฒนากังหันน้ำ

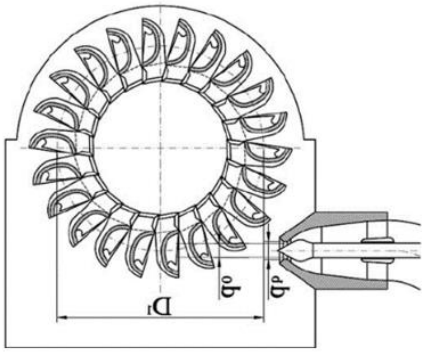


ภาพที่ 3 แนวคิดระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์

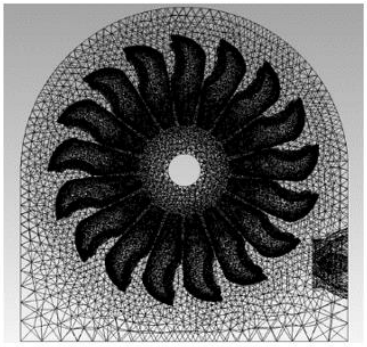
4. ผลการดำเนินโครงการวิจัย

4.1 ผลการจำลองกังหันน้ำ และวิเคราะห์พลศาสตร์

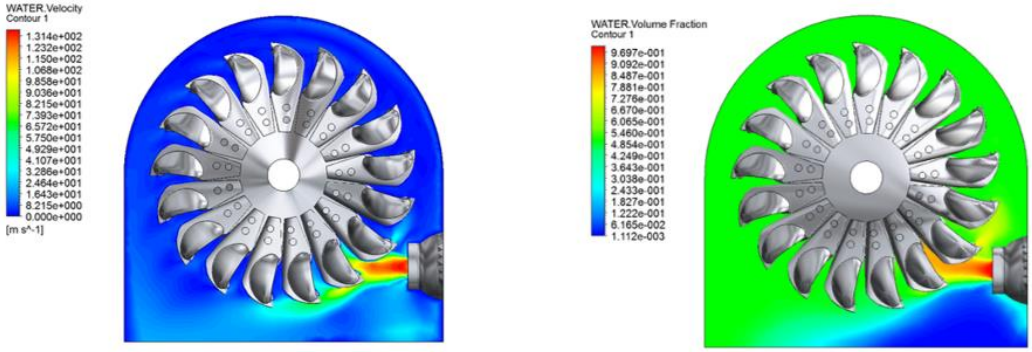
จากการออกแบบกังหันน้ำแรงเสียดทานต่ำแล้วนั้น ดังภาพที่ 4 คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการสร้างแบบจำลอง เพื่อวิเคราะห์ผลทางพลศาสตร์ด้วยเทคนิคไฟไนท์อีลีเม้นท์ (Finite Element Technique) ด้วยโปรแกรม CFD Simulation (Computational Fluid Dynamics Simulation) สร้างแบบจำลองของกังหันที่ใช้ทดสอบ จากนั้นทำการแบ่งชิ้นงานเป็นโครงสร้างตาข่าย (Meshing) เป็นรูปทรงกรวยสามเหลี่ยม ซึ่งเป็นโครงสร้างแบบไม่เป็นระเบียบและได้ทำการปรับปรุงจุดของตาข่ายให้มีคุณภาพที่ดีขึ้น พบว่า โครงสร้างตาข่ายจำนวน 175,339 ช่อง เป็นโครงสร้างที่เป็นของเหลว 95,885 ช่อง ของแข็งจำนวน 19,214 ช่อง เป็นโครงสร้างตาข่ายบางส่วนจำนวน 60,240 ช่อง ดังภาพที่ 4 (ข) และในการวิเคราะห์กระบวนการไหลสามารถแยกได้เป็นการไหลแบบราบเรียบและการไหลแบบปั่นป่วน หรือแบบผสมและพิจารณาการหมุนของใบพัด ผลกระทบหัวฉีด ผลกระทบจากน้ำ สภาวะขอบเขตของไหลเป็นการไหลแบบปั่นป่วน และสมมติให้การไหลเป็นการไหลแบบคงที่ จากนั้นทำการกำหนดขอบเขต โดยการทำแรงดันขาเข้าและหัวฉีดเปิดภายใต้ความดันบรรยากาศ โดยให้ของไหลไหลแบบผสม (Mixed flow Condition) ใช้สมการนาเวียร์-สโตกส์ (Navier–Stokes equations) รวมกับทฤษฎีคาเรยโนล (Reynolds number) เฉลี่ยเพื่อที่จะแก้สมการ ซึ่งพิจารณาน้ำเป็นของไหลที่อัดตัวไม่ได้ที่สภาวะเสถียร โดยมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วของน้ำที่ไหลเข้ากระทบกังหัน โดยการปรับระดับการเปิดของหัวฉีดเป็น 4/4, 3/4, 2/4 และ 1/4 ดังภาพที่ 4 (ค) และภาพที่ 4 (ง) เพื่อหาค่าประสิทธิภาพของกังหัน กำหนดเงื่อนไข คือ ความสูงหัวน้ำเฉลี่ย 30 เมตร น้ำ และใบพัดกังหันหมุนด้วยความเร็วรอบ 1,500 รอบต่อนาที ผิวระหว่างโซนคงที่ (Stationary zone) กับโซนเคลื่อนไหว (Moving zone) ใช้เงื่อนไขผสม (Mixing plane) เปนเงื่อนไขของการไหลข้ามโซน ใช้การไหลแบบคงที่ (Steady flow) และการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulence flow) และ คาที่เหลือ (Residual) เท่ากับ 10^{-5} ได้ผลการจำลองประสิทธิภาพดังตารางที่ 1



(ก)



(ข)



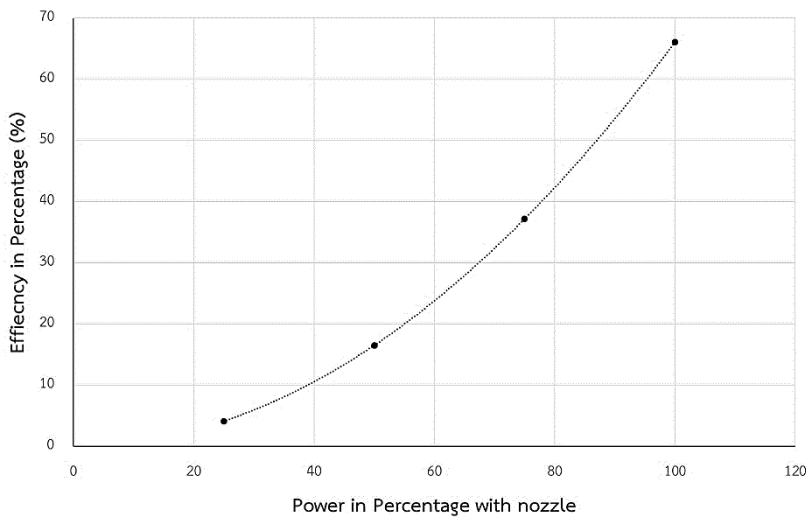
(ค) (ง)

ภาพที่ 4 ผลการจำลองกังหันน้ำ และการวิเคราะห์ผลทางพลศาสตร์ของไหล

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ

ที่	ปรับระดับหัวฉีด (%)	ขนาดช่องว่างหัวฉีด (mm)	อัตราการไหลของน้ำผ่านหัวฉีด (m^3/s)	กำลังงานขาเข้า (kW)	กำลังงานขาออก (kW)	ประสิทธิภาพ (%)
1	100	40	0.9100	267.1012	176.5779	66.1090
2	75	30	0.6825	200.3259	74.4938	37.1863
3	50	20	0.4550	133.5506	22.0722	16.5272
4	25	10	0.2275	66.7753	2.7590	4.1318

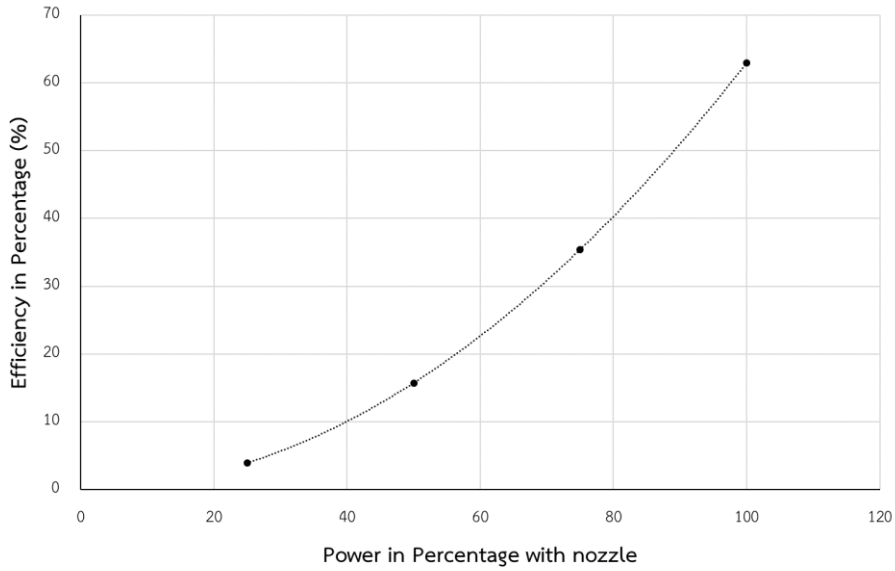
จากผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของกังหันน้ำโดยการจำลองด้วยเทคนิค CFD ซึ่งกำหนดค่าพารามิเตอร์ และเงื่อนไขต่าง ๆ ขึ้น โดยอ้างอิงจากการวางแผน และออกแบบการดำเนินโครงการในพื้นที่ ซึ่งพบว่า ในการปรับระดับการเปิดของหัวฉีดน้ำ ให้บังคับอัตราการไหลของน้ำให้สามารถขับกังหันที่ทำการวิเคราะห์ขึ้น จะสามารถทำให้ประสิทธิภาพที่กังหันมีค่าสูงเท่ากับร้อยละ 66.11 และเมื่อมีการควบคุมอัตราการไหลของน้ำให้ลดลง จะทำให้ประสิทธิภาพของกังหันทางด้านขาออกแปรผันตามอัตราการไหลของน้ำด้วย



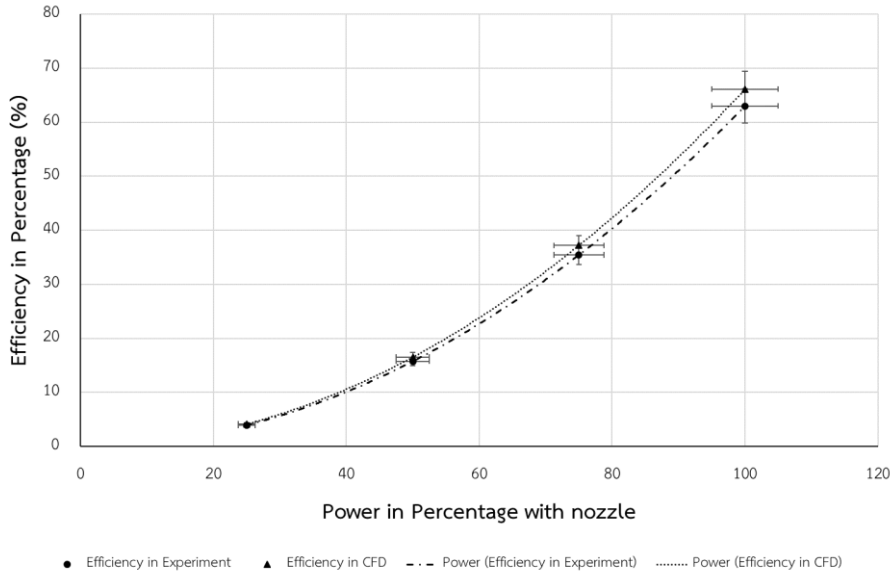
ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังและประสิทธิภาพของเครื่องกันหันน้ำโดยการจำลอง (CFD)

4.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพกังหันน้ำ

การทดสอบประสิทธิภาพกำลังงานของกังหัน โดยกำหนดขอบเขตของค่าพารามิเตอร์และเงื่อนไขต่าง ๆ ให้มีความใกล้เคียงกับการจำลองที่กล่าวข้างต้น ซึ่งได้ผลการทดสอบดังภาพที่ 6 พบว่า ประสิทธิภาพของกังหันสูงสุดเท่ากับร้อยละ 57.56 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าการจำลองเนื่องจากค่าระดับช่องว่างของหัวฉีดมีขนาดที่ใหญ่กว่า และการควบคุมอัตราการไหลของน้ำมีการควบคุมที่ยาก ทำให้มีปริมาณน้ำที่ไหลผ่านหัวฉีดไม่เท่ากับแบบจำลอง ประกอบกับค่าอัตราสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบ



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังและประสิทธิภาพของเครื่องกันหันน้ำโดยการทดสอบ



ภาพที่ 7 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างกำลังและประสิทธิภาพของเครื่องกันหันน้ำโดยการจำลองและการทดสอบ

4.3 ผลการขยายผลของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำ

คณะผู้วิจัยร่วมกับชาวบ้านในชุมชน และนักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ได้วางระบบส่งจ่ายน้ำด้วยท่อพีวีซี ขนาด 4 นิ้ว และ 3 นิ้ว สำหรับการลำเลียงน้ำจากลุ่มน้ำแม่สอย เพื่อเข้าสู่ตัวกำเนิดไฟฟ้ามีท่อเข้า ขนาด 3 นิ้ว โดยมีวาว์ลปรับระดับอัตราการไหลของน้ำระหว่างกลาง และก่อนเข้าโรงเรือนเก็บอุปกรณ์ไฟฟ้าในโครงการ ดังภาพที่ 8 ซึ่งมีระยะทางรวม 1.4 กิโลเมตร มีระยะความสูงของหัวน้ำระหว่างจุดต้นทางถึงปลายทางเป็นระยะรวม 34 เมตร

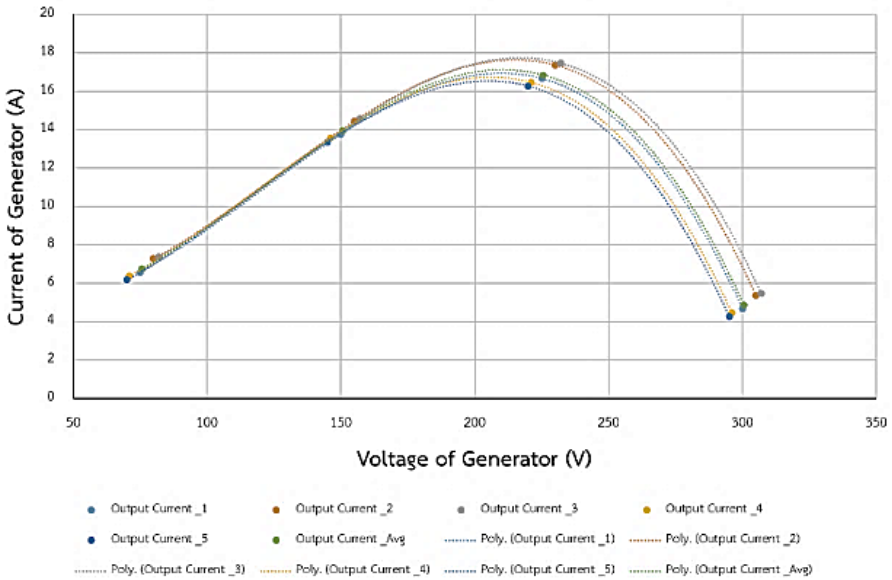
(ก) (ข)

(ค) (ง)

ภาพที่ 8 การดำเนินงานสร้างระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำ

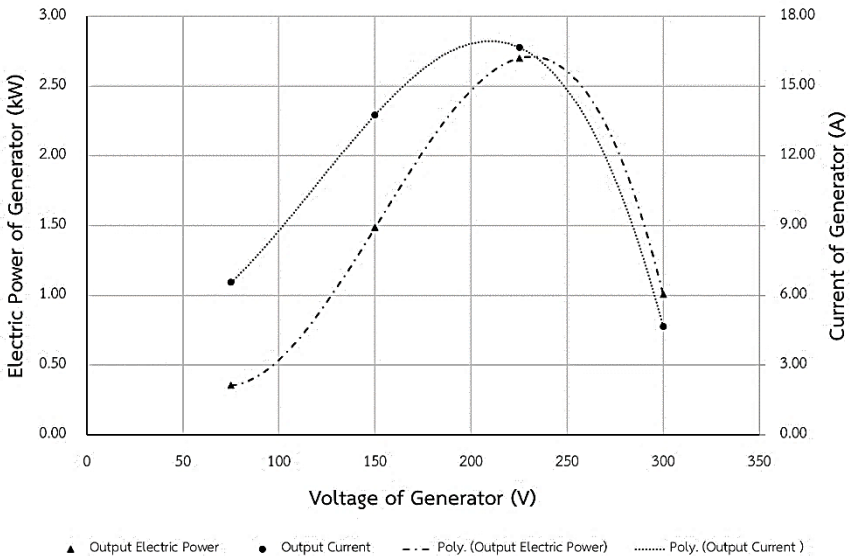
และทำการทดสอบการทดสอบระบบไฟฟ้าจากตัวกำเนิดไฟฟ้า โดยอาศัยหลักการกำหนดค่าพารามิเตอร์และเงื่อนไขต่าง ๆ ตามที่ได้จากการทดสอบข้างต้นและมีการเปลี่ยนแปลงค่าระดับหัวน้ำที่ใช้ในการทดสอบเท่ากับ 34 เมตร และทดสอบการอัตราการไหลของน้ำในพื้นที่ โดยวิธีการเปิดวาล์วน้ำแบบร้อยละ 100 จากนั้นนำถังน้ำขนาด 20 แกลลอน ตวงน้ำที่ไหลผ่านท่อแบบเต็มพื้นที่หน้าตัดจนเต็มจำนวน 10 ครั้ง และจับเวลาเพื่อหาค่าเฉลี่ย และคำนวณหาความเร็ว (v) และอัตราการไหลของน้ำ (Q) โดยกำหนดให้พื้นที่หน้าตัดของท่อส่งน้ำก่อนเข้าตัวกำเนิดไฟฟ้ามีขนาด 0.0508 ตารางเมตร พบว่า ความเร็วน้ำและอัตราการไหลของน้ำที่ไหลผ่านท่อในช่วงเวลา

ที่ได้ทำการทดสอบคิดเป็นค่าเฉลี่ยเป็น 17.91 เมตรต่อวินาที และ 0.91 ลูกบากศ์เมตรต่อวินาที ตามลำดับ และทำการทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำด้วยการปรับระดับการเปิดของหัวฉีด เท่ากับ 4/4, 3/4, 2/4 และ 1/4 สำหรับการใช้มิเตอร์วัดค่าแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าในแต่ละเงื่อนไข



ภาพที่ 9 ผลการทดสอบแรงดันและกระแสไฟฟ้าทางด้านขาออกของตัวกำเนิดไฟฟ้าในพื้นที่

ในการติดตั้งและการใช้งานระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำในพื้นที่ร่วมกับกังหันน้ำแรงเสียดทานต่ำ ต้องมีการควบคุมอัตราการไหลของน้ำที่ไหลเข้าหัวฉีดในระดับ 3/4 (ร้อยละ 75) จึงสามารถทำให้ตัวกำเนิดไฟฟ้ามีกำลังงานในการผลิตไฟฟ้าได้สูงสุดที่ 2.7 กิโลวัตต์ เมื่อเทียบกับคุณลักษณะของตัวกำเนิดไฟฟ้าซึ่งมีขนาด 3 กิโลวัตต์ สำหรับใช้งานในพื้นที่ต่อไปได้



ภาพที่ 10 คุณลักษณะของกำลังงานไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบร่วมกับกังหันน้ำ

5. สรุปผลการวิจัย

จากโครงการวิจัยเพื่อพัฒนากังหันน้ำแรงเสียดทานต่ำสำหรับการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำภายในชุมชน ผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนารูปแบบกังหันน้ำแรงเสียดทานต่ำให้มีประสิทธิภาพในการขับเคลื่อนตัวกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้รูปแบบของกังหันน้ำเพลตัน ซึ่งได้ทำการออกแบบใบพัดให้มีความเหมาะสมในการรับน้ำและการกระจายตัวของน้ำในเครื่องผลิตไฟฟ้า โดยการปรับระดับการเปิดของหัวฉีดน้ำ ส่งผลให้ประสิทธิภาพของกังหันสูงสุดเท่ากับร้อยละ 57.56 ให้บังคับอัตราการไหลของน้ำให้สามารถขับกังหันที่ทำการวิเคราะห์ขึ้น ทำให้ตัวกำเนิดไฟฟ้ามีกำลังงานในการผลิตไฟฟ้าได้สูงสุดที่ 2.7 กิโลวัตต์ ซึ่งประสิทธิภาพกังหันมีค่าสูง และอัตราการสูญเสียที่เกิดขึ้นนั้นเนื่องจากองค์ประกอบทางด้านคุณสมบัติของวัสดุและองค์ประกอบทางด้านต่าง ๆ ทำให้ส่งผลต่อค่าประสิทธิภาพรวมของระบบ ซึ่งการนำไปใช้งานในพื้นที่อื่น ๆ ควรคำนึงถึงอัตราการสูญเสียของกำลังไฟฟ้าที่จะสูญเสียไปตามระยะทางของสายไฟฟ้าด้วย

6. กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุลวงไปได้ด้วยดีด้วยความรวมมือของคณะผู้วิจัย และสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปางที่ได้ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยฉบับนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้บริหารทุกท่านที่ให้การสนับสนุน และอำนวยความสะดวกในการเดินทางไปราชการ ประกอบกับคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ของคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ทุกท่านที่ให้คำปรึกษา อำนวยความสะดวกเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดสอบผลการทดสอบในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

Boonbumrung, U. (2010). Power + work in the form of thinking: small hydro. **Journal of Health Policy Foundation**, 6.

Saniso, E. (2011). Simple micro hydroelectric power generation system for households: Ban Lacosukae, Taling Chan Sub-district, Bannang Sata District, Yala Province. **Journal of Spatial Development Research**, 4 (2).

Somchitchob, S. (2011). **Efficiency test of friction-reducing vertical axis hydroelectric turbine**. Nakhon Pathom: Faculty of Engineering Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus.

Supakittiwong, Y. (2013). **Hydroelectricity**. [online], Available: http://www.yp.co.th /201010-03-06-35-34/88--hydroelectricity.html. access on June 4, 2013.

Hydrology and Water Management Center Upper North. (2013). **Water quantity monthly - yearly**, [data file].

La Amornchai, W. (2009). **Appropriate variable study for small, low-head power generating turbines by means of fluid dynamics analysis using a computer program**. Pathum Thani: Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Thanyaburi.