บทความวิจัย

พลังงานน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดจิ๋ว : การติดตั้งและทดสอบระบบ ณ มูลนิธิสุข-แก้ว แก้วแดง

Pico-Hydropower Generator : The Setup and Test of System at The Suk-kaew Kaewdang Foundation

อีลีหย๊ะ สนิโซ[1*]

Eleeyah Saniso[1*]

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้จึงมุ่งออกแบบ ติดตั้ง และทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดจิ๋ว ณ มูลนิธิสุข-แก้ว แก้วแดง ต.ลำพะยา อ.เมือง จ.ยะลา เพื่อเป็นแหล่งเรียนรู้ในท้องถิ่น จากการศึกษาพบว่า บริเวณลำธารสายที่หนึ่งสามารถติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดจิ๋วแบบคอยาว (กังหันน้ำคาปลาน) ขนาดกำลัง 1 กิโลวัตต์ เมื่อทดสอบระบบพบว่า สามารถให้แรงเคลื่อนและความถี่ไฟฟ้าได้เฉลี่ยเท่ากับ 217.43 ± 2.70 V และ 47.52 ± 2.12Hz ตามลำดับ และสามารถใช้งานได้จริงกับครัวเรือนหรือชุมชนในท้องถิ่น 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้

คำสำคัญ : พลังงานทดแทน พลังงานน้ำ กังหันน้ำ มูลนิธิสุข-แก้ว แก้วแดง

Abstract

The objective of this research is to design, setup and test of the pico-hydroelectric generator system for rural education area at the Suk-kaew Kaewdang Foundation, Tambon Lampaya, Amipher Muang, Yala. The result showed that the first stream area is suitable to set up 1 kW long neck pico-hydroelectric generator system (Kaplan hydroturbine). From the system testing was showed the average of electrical voltage and frequency of 217.43 ± 2.70 V and 47.52 ± 2.12 Hz, respectively. Finally, the systems can be applied to household of rural in the southernmost of Thailand.

Keywords : Alternative Energy, Hydropower, Hydroturbine, Suk-kaew Kaewdang Foundation

---

[1] อาจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา อ.เมือง จ.ยะลา 95000

[*] Corresponding author : โทรศัพท์: 086-2960787 e-mail: saniso.e@hotmail.com

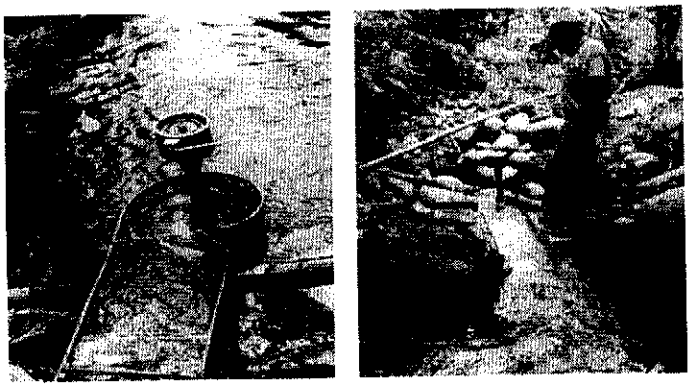
บทนำ

กังหันน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดจิ๋วแบบคอยาว (Kaplan hydroturbine) สามารถใช้กับลำน้ำที่มีความสูงของหัวน้ำต่ำ กล่าวคือ สามารถเริ่มทำงานได้ที่ระดับหัวน้ำประมาณ 1 m จึงสามารถประยุกต์ใช้ได้กับลำน้ำจากลำธาร ลำห้วย และคลองส่งน้ำ แต่ต้องสร้างทางหรือรางรับน้ำ หลักการทำงานจะอาศัยน้ำหนักของน้ำเป็นตัวขับกังหันที่ต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งทำให้ได้ไฟฟ้าออกมา [1] กังหันน้ำแบบคอยาวมีขนาดกำลังผลิตไฟฟ้าตั้งแต่ 200 W จนถึง 3,000 W [2] กังหันน้ำแบบคอยาวมีการพัฒนาและติดตั้งสำหรับครัวเรือนและชุมชนเล็ก ๆ ในประเทศต่างๆ ทั้งในทวีปเอเชีย เช่น ประเทศลาว เวียดนาม ฟิลิปปินส์ และจีน ทวีปยุโรป เช่น อังกฤษ โปแลนด์ และเนเธอร์แลนด์ และทวีปอเมริกา เช่น ประเทศเอกวาดอร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ที่อยู่ห่างไกลจากเมืองหลวงแต่มีน้ำไหลผ่านตลอดเวลา เช่น ในหุบเขา บริเวณที่ราบเชิงเขา หรือในทุ่งหญ้าที่กว้างใหญ่ไพศาลแต่เต็มไปด้วยแหล่งน้ำ ดังรูปที่ 1 และ 2

จากรายงานการวิจัยที่ผ่านมา พบว่า การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำขนาดเล็กและขนาดจิ๋วมีการศึกษาวิจัยอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะในทวีปเอเชียและทวีปยุโรป ดังรายงานของ [3-9] ขณะเดียวกันประเทศไทยก็ได้มีการวิจัยและสร้างระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดจิ๋วเช่นเดียวกันแต่ยังไม่แพร่หลายเท่าที่ควร อาทิเช่น ในงานวิจัยของ ชาติชาย [10] ที่ได้พัฒนาอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำแบบทุ่นลอยตามแนวพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว พบว่า อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นเสียค่าบำรุงรักษาน้อยสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 15 A ความต่างศักย์ 13 V และสามารถให้แสงสว่างแก่หน่วยงานของชลประทานเขตสองพี่น้อง จ.สุพรรณบุรี ในตอนกลางคืนได้ ในขณะที่ Laodee et al. [11] ได้ศึกษาการใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดจิ๋วจำนวน 19 เครื่องของประชาชนในหมู่บ้านท่าแปน เมืองหลวงพระบาง สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว จำนวน 50 ครัวเรือน พบว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถให้พลังงานรวมทั้งสิ้น 22 kW ส่วนใหญ่ใช้ไฟฟ้าในช่วง 18.00-07.00 น. ภาระทางไฟฟ้าส่วนใหญ่จะเป็นหลอดไฟฟ้าขนาด 5-100 W วิทยุ และโทรทัศน์ เมื่อคิดค่าการลงทุน พบว่า มีค่าประมาณ 5-10 Baht/W ซึ่งต่ำมากเมื่อเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต้องลงทุนประมาณ 150-200 Baht/W

ทำนองเดียวกัน Laodee et al. [12] ยังได้สาธิตการใช้งานระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำที่แตกต่างกัน 3 รูปแบบ ได้แก่ ระบบแบบอิสระที่ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 1 เครื่อง ระบบแบบผสมผสานที่ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 300 W ร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 120 W และระบบแบบเชื่อมต่อเข้าระบบจำหน่าย ณ หน่วยพิทักษ์อุทยานแห่งชาติแม่วงก์ ที่ มว. 4 (แม่ราว) อ.แม่เร่ จ.นครสวรรค์ พบว่า ระบบแบบอิสระสามารถจ่ายไฟให้กับระบบแสงสว่างบริเวณสำนักงานหน่วยพิทักษ์อุทยานแห่งชาติแม่วงก์ได้ ในขณะที่ระบบแบบผสมผสานสามารถจ่ายกระไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ เช่น คอมพิวเตอร์ และโทรทัศน์ ในสำนักงานหน่วยพิทักษ์อุทยานแห่งชาติแม่วงก์ และมีประสิทธิภาพมากกว่าระบบแบบอิสระ ส่วนระบบแบบเชื่อมต่อเข้าระบบจำหน่ายสามารถเชื่อมต่อได้กับระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำที่มีอุปกรณ์หลัก คือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาด 1,000 W และเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าขนาด 2,500 W โดยไฟฟ้าที่ผลิตได้จะถูกปรับให้มีแรงดันไฟฟ้าที่สม่ำเสมอขนาด 220 ± 33 V สอดคล้องกับความถี่ของสายส่ง 50 ± 3 Hz

ดังนั้น พลังงานน้ำเป็นพลังงานทางเลือกหนึ่งที่เป็นไปได้ในการนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า โดยเฉพาะการใช้งานในระดับครัวเรือนและชุมชนขนาดเล็กที่อยู่ใกล้แม่น้ำ ลำธาร หรือสายน้ำ ในพื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้ ผู้วิจัยจึงออกแบบ สร้าง และทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดจิ๋ว ณ มูลนิธิ สุข-แก้ว แก้วแดง ต.ลำพะยา อ.เมือง จ.ยะลา



(ก) (ข)

รูปที่ 1 กังหันน้ำแบบคอยาวขนาด 200 W ที่ติดตั้งในประเทศ (ก) ฟิลิปปินส์ และ (ข) ประเทศเวียดนาม [2]

รูปที่ 2 กังหันน้ำแบบคอยาวขนาด 200 W สำหรับครัวเรือนที่ติดตั้งในประเทศเอกวาดอร์ [2]

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ

การออกแบบและติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดจิ๋ว ณ มูลนิธิ สุข-แก้ว แก้วแดง ทำได้โดยทำรางไม้ขนาดความกว้าง 30.00 cm ยาว 12.0 m ลอดผ่านอุโมงค์ระบายน้ำที่อยู่ใต้ถนนลูกรังซึ่งตัดผ่านบริเวณกลางพื้นที่มูลนิธิ แล้วนำท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25.40 cm มาวางบนรางไม้ให้ลอดผ่านอุโมงค์ระบายน้ำดังกล่าว จากนั้นนำชุดกังหันน้ำแบบคอยาวที่มีใบพัดจำนวน 8 ใบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15.24 cm รองรับอัตราการไหลของน้ำสูงสุด 120 l/s โดยประมาณ ที่เชื่อมต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับจากแม่เหล็กถาวรขนาด 220 V ความถี่ 50 Hz น้ำหนัก 55 kg ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 1,000 W มาประกอบเข้ากับปลายท่อซึ่งอยู่สูงกว่าพื้นระดับประมาณ 1.5 m จากนั้นทำการสร้าง

โรงเรือนครอบชุดระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดจิ๋ว ดังรูปที่ 3

การทดสอบระบบทำได้โดยทดลองผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดจิ๋วที่สร้างขึ้น ด้วยการปล่อยน้ำให้ไหลผ่านท่อพีวีซีที่ต่อเข้ากับชุดกังหันและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยแบ่งการปล่อยน้ำออกเป็น 3 รูปแบบ คือ ปล่อยน้ำผ่านท่อในปริมาตร 30% (ประมาณหนึ่งในสามของท่อ) 50% (ประมาณหนึ่งในสองของท่อ) และ 100% (เต็มท่อ) แล้ววัดแรงเคลื่อนและความถี่ไฟฟ้าด้วยเครื่องมัลติมิเตอร์ดิจิตอล (Digital multimeter) ยี่ห้อ UNAOHM รุ่น 9400 ความละเอียดทศนิยม 2 ตำแหน่ง โดยทำการวัดต่อเนื่องเป็นเวลา 5 h ทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง แล้วใช้ค่าเฉลี่ย จากนั้นวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดจิ๋วที่ได้ติดตั้งขึ้นในรูปของแรงเคลื่อนและความถี่ไฟฟ้าตามสมการ (1) และ (2) ดังนี้

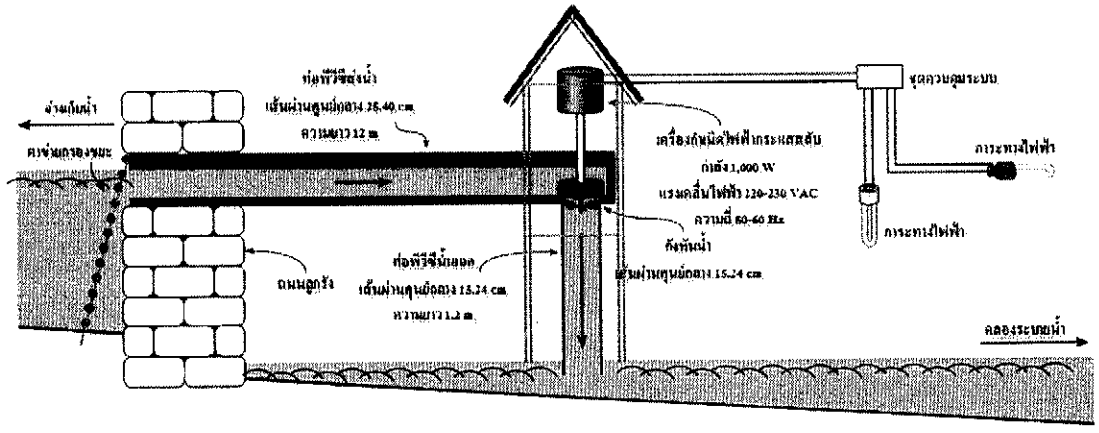
$$\eta_E = \frac{E_{out}}{E_{in}} \times 100 \qquad (1)$$

$$\eta_f = \frac{f_{out}}{f_{in}} \times 100 \qquad (2)$$

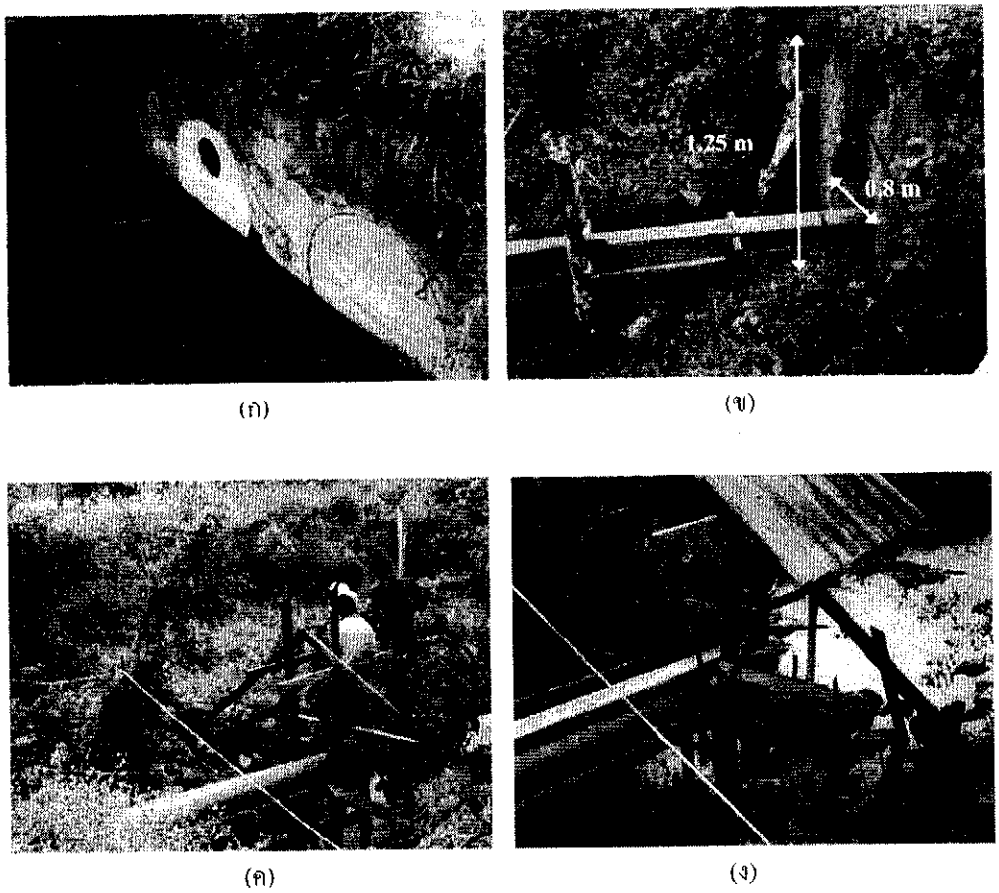
เมื่อ η_E คือ ประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดจิ๋วในรูปของแรงเคลื่อนไฟฟ้า (%) η_f คือ ประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดจิ๋วในรูปของความถี่ไฟฟ้า (%) E_{out} คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้ (V) E_{in} คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถผลิตได้ (V) f_{out} คือ ความถี่ไฟฟ้าที่วัดได้ (Hz) และ f_{in} คือ ความถี่ไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถผลิตได้ (Hz)

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำแบบคอยาวขนาด 1 kW ณ มูลนิธิ สุข-แก้ว แก้วแดง โดยการทำรางไม้แล้ววางท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 m ยาว 12 m ลอดผ่านอุโมงค์ระบายน้ำช่องที่ 2 (ช่องกลาง) ได้ถนนลูกรังที่กว้าง 5.00 m สูง 1.4 m แสดงได้ดังรูปที่ 4 จากการทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดจิ๋วโดยการวัดแรงเคลื่อนและความถี่ไฟฟ้าขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้ายกเว้นหลอดไส้ขนาด 40 W จำนวน 1 หลอด พบว่า เมื่อปล่อยน้ำผ่านท่อในปริมาตร 30% (ประมาณหนึ่งในสามของท่อ) จะไม่สามารถวัดแรงเคลื่อนและ



รูปที่ 3 ภาพจำลองระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดจิ๋ว ณ มูลนิธิ สุข-แก้ว แก้วแดง



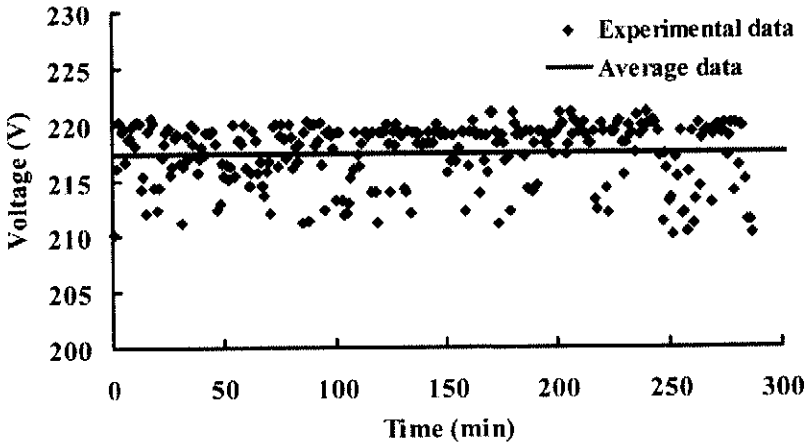
(ก) (ข)

(ค) (ง)

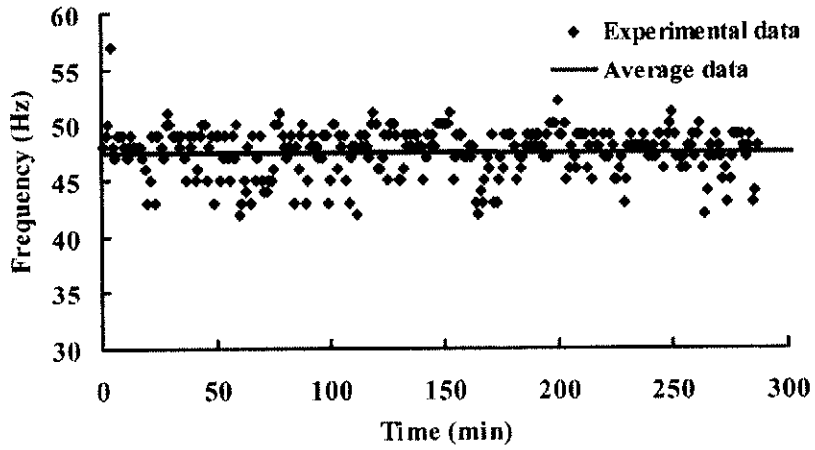
รูปที่ 4 การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดจิ๋ว (ก) การปิดอุโมงค์ระบายน้ำ (ข) การทำรางไม้ (ค) การวางท่อพีวีซี และ (ง) การสร้างหลังคา

ความถี่ไฟฟ้าได้ เนื่องจากแรงดันน้ำมีไม่เพียงพอต่อการทำงานของระบบ แต่เมื่อปล่อยน้ำผ่านท่อในปริมาตร 50% (ประมาณหนึ่งในสองของท่อ) สามารถวัดแรงเคลื่อนและความถี่ไฟฟ้าได้ โดยแรงเคลื่อนและความถี่ไฟฟ้าที่วัดได้มีค่าอยู่ในช่วง 116.80-131.00 V และ 16.0-29.0 Hz ตามลำดับ เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาค่าเฉลี่ย พบว่า มีค่าเท่ากับ 125.18 ± 2.33 V และ 25.93 ± 1.98 Hz ตามลำดับ ในขณะที่การปล่อยน้ำผ่านท่อในปริมาตร 100% (เต็มท่อ) แรงเคลื่อนและความถี่ไฟฟ้าที่วัดได้มีค่าอยู่ในช่วง 210.00-218.90 V และ 42.0-57.0 Hz ตามลำดับ ดังรูปที่ 5 เมื่อคำนวณหาค่าเฉลี่ย พบว่า มีค่าเท่ากับ 217.43 ± 2.70 V และ 47.52 ± 2.12 Hz ตามลำดับ

จากผลการทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดจิ๋วข้างต้น สามารถวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดจิ๋วที่ได้สร้างขึ้นในรูปของแรงเคลื่อนและความถี่ไฟฟ้า โดยอาศัยสมการ (1) และ (2) เมื่อปล่อยน้ำผ่านท่อในปริมาตร 50% (ประมาณหนึ่งในสองของท่อ) สามารถหาประสิทธิภาพการเปลี่ยน



(ก)



(ข)

รูปที่ 5 (ก) แรงเคลื่อนไฟฟ้า และ (ข) ความถี่ไฟฟ้า เมื่อปล่อยน้ำผ่านท่อปริมาตร 100% (เต็มท่อ)

พลังงานน้ำเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดจิ๋วได้ร้อยละ 56.90 ในขณะเดียวกันสามารถหาประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานน้ำเป็นความถี่ไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดจิ๋วได้ร้อยละ 51.86 ทำนองเดียวกันเมื่อปล่อยน้ำผ่านท่อในปริมาตร 100% (เต็มท่อ) จะสามารถหาประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานน้ำเป็นแรงเคลื่อนและความถี่ไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดจิ๋วได้ร้อยละ 98.83 และ 95.04 ตามลำดับ

จากผลการวิจัยข้างต้นชี้ให้เห็นว่า ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดจิ๋วที่ได้ออกแบบ สร้าง และติดตั้งขึ้น ณ มูลนิธิ สุข-แก้ว แก้วแดง ต.ลำพะยา อ.เมือง จ.ยะลา สามารถใช้เป็นชุดทดลองการจัดการเรียนการสอนที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญสำหรับการศึกษาขั้นพื้นฐานและระดับอุดมศึกษา เป็นระบบต้นแบบในการถ่ายทอดเทคโนโลยีพลังงานน้ำขนาดจิ๋ว ให้กับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นและประชาชนในพื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้ ที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ที่เป็นภูเขาสูงห่างไกลจากเมือง อาทิเช่น พื้นที่บางส่วนของ อ.ธารโต อ.บันนังสตา และ อ.เบตง จ.ยะลา อ.ศรีสาคร อ.จะแนะ อ.แว้ง อ.สุไหง-โกลก และอ.สุไหง-ปาดี จ.นราธิวาส ซึ่งอาจประยุกต์ใช้ไม้ไผ่ เศษไม้ หรือก้อนหิน และอุปกรณ์ต่างๆ ที่มีอยู่ในท้องถิ่น เพื่อสร้างระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กๆ ดังรูปที่ 6 ที่สามารถใช้งานได้จริงกับครัวเรือนหรือชุมชน ซึ่งสอดคล้องกับรายงานเรื่อง ระบบผลิตไฟฟ้าพลังน้ำระดับหมู่บ้านเพื่อชุมชนพึ่งตนเองของ กองบรรณาธิการ [13] เครื่องผลิตไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กแบบไทย ๆ ของ คมสัน [14] และรายงานเรื่อง ไฟฟ้าพลังน้ำขนาดจิ๋วจากไดชาร์ทซึ่งเป็นกังหันน้ำที่สร้างได้ง่ายและต้นทุนต่ำของ ณัฐภูมิ [15]

รูปที่ 6 ผลการติดตั้งและทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดจิ๋ว ณ มูลนิธิ สุข-แก้ว แก้วแดง

สรุป

บริเวณลำธารสายที่หนึ่งสามารถติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดจิ๋วแบบคอยาวขนาด 1 kW ด้วยการทำรางไม้แล้ววางท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 m ยาว 12 m ลอดผ่านอุโมงค์ระบายน้ำใต้ถนนลูกรัง โดยระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดจิ๋วที่ติดตั้งขึ้น ณ มูลนิธิ สุข-แก้ว แก้วแดง เมื่อปล่อยน้ำผ่านท่อในปริมาตร 50% (ประมาณหนึ่งในสองของท่อ) สามารถวัดแรงเคลื่อนและความถี่ไฟฟ้าค่าเฉลี่ยเท่ากับ 125.18 ± 2.33 V และ 25.93 ± 1.98 Hz ตามลำดับ เมื่อปล่อยน้ำผ่านท่อในปริมาตร 100% (เต็มท่อ) สามารถให้แรงเคลื่อนและความถี่ไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 217.43 ± 2.70 V และ 47.52 ± 2.12 Hz ตามลำดับ และสามารถใช้งานได้จริงกับครัวเรือนหรือชุมชนในท้องถิ่น 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้ได้รับสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินบำรุงการศึกษา (บก.ศ.) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2552 จากสถาบันวิจัยและพัฒนาชายแดนภาคใต้ (Southernmost Research and Development Institute, S.R.D.I.) มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ขอขอบคุณท่าน ดร.รุ่ง แก้วแดง ประธานมูลนิธิสุข-แก้ว แก้วแดง ที่ให้คำแนะนำและอำนวยความสะดวกในการใช้สถานที่ ขอบคุณ ผศ.มะรูดิง กาซา ที่แนะนำเทคนิค และวิธีการออกแบบการทดลอง ขอบคุณเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ และนักศึกษาสาขาวิชาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ที่ให้ความช่วยเหลือในการลงพื้นที่เก็บข้อมูล จนการวิจัยสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] **เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานน้ำแบบคอยาว** สืบค้นเมื่อ 12 เมษายน 2552 จาก http://engineo.co.th/.

[2] John, G., Manuel, F., Kavita, R. and Simon, T. (2005). **Stimulating the picohydropower market for lowincome households in Ecuador.** Energy sector management assistance program. 1-8.

[3] Alexander, K.V. and Giddens, E.P. (2008). Microhydro: Cost-effective, modular systems for low heads. **Renewable Energy. 33**, 1379-1391.

[4] Baidya, G. (2006). Deverlopment of small hydro. **Himalayan small hydropower summit.** 12-13 October, India. 34-43.

[5] Balat, H. (2007). A renewable perspective for sustainable energy development in Turkey : The case of small hydropower plants. **Renewable and Sustainable Energy Reviews. 11**, 2152-2165.

[6] Date, A. and Akbarzadeh, A. (2009). Design and cost analysis of low head simple reaction hydro turbine for remote area power supply. **Renewable Energy. 34**(2), 409-415.

[7] Kaldellis, J.K. (2007). The contribution of small hydro power stations to the electricity generation in Greece : Technical and economic considerations. **Energy Policy. 35**, 2187-2196.

[8] Ogayar, B. and Vidal, P.G. (2009). Cost determination of the electro-mechanical equipment of a small hydro-power plant. **Renewable Energy. 34**, 6-13.

[9] Ponta, F.L. and Jacovkis, P.M. (2008). Marine-current power generation by diffuser-augmented floating hydro-turbines. **Renewable Energy. 33**, 665-673.

[10] ชาติชาย ยมะคุปต์. (2549). กังหันน้ำผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้ในระบบแสงสว่าง. **วิศวกรรมสาร มก. 58** (19), 34-39.

[11] Laodee, P., Ketjoy, N., Rakwichian, W., Engelke, W.R. and Suponthan, W. (2005). **Pico hydro power generation : Case study of Ban Thapan, Luang Pha Bang, LAO PDR.** The 1st Conference on Energy Network of Thailand. 11-13 May 2005. Cholburi.

[12] Laodee, P., Ketjoy, N., Rakwichian, W. (2006). **Pico hydro power generation demonstration : Case study of the Maewong National Park Sub Station Maerewa, Nakhonsawan Province.** The 2nd Conference on Energy Network of Thailand. 22-29 July 2006. Nakorn Rajsima.

[13] กองบรรณาธิการ. (2551). ระบบผลิตไฟฟ้าพลังน้ำระดับหมู่บ้านพลังงานทดแทนเพื่อชุมชนพึ่งตนเอง. **เกษตรกรรมธรรมชาติ. 11**(9), 22-25.

[14] คมสัน หุตะแพทย์. (2551). เครื่องผลิตไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กแบบไทย ๆ. **เกษตรกรรมธรรมชาติ.** 11(9), 11-13.

[15] ณัฐภูมิ สุดแก้ว. (2551). ไฟฟ้าพลังน้ำขนาดจิ๋วจากไดชาร์ท: กังหันน้ำสร้างได้ง่ายต้นทุนต่ำ. **เกษตรกรรมธรรมชาติ. 11**(9), 14-21.