การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25
19-21 ตุลาคม 2554 จังหวัดกระบี่

การผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดจิ๋วจากมอเตอร์เครื่องซักผ้าสำหรับครัวเรือน

Pico-hydropower electrical generator from washing machine motors for households

อีลีหย๊ะ สนิโซ[1]*, สือกรี เต๊ะ[1] และ พารินด๊ะ หมัดแมเราะ[1]

[1] สาขาวิชาฟิสิกส์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา
133 ถนนเทศบาล 1 ตำบลสะเตง อำเภอเมือง จังหวัดยะลา 95000
*ผู้ติดต่อ: E-mail: saniso.e@hotmail.com, เบอร์โทรศัพท์ : 08 6296 0787

บทคัดย่อ

พลังงานน้ำเป็นหนึ่งในแหล่งพลังงานทดแทนที่มากด้วยประสิทธิภาพ และมีความเหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้โดยเฉพาะพลังงานน้ำขนาดจิ๋วที่ไม่มีความสลับซับซ้อน ราคาการผลิตต่อหน่วย (กิโลวัตต์ชั่วโมง) ถูกกว่าพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ การวิจัยนี้จึงมุ่งออกแบบและสร้างระบบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดจิ๋ว ณ บ้านลาคอซูแก ต.ตลิ่งชัน อ.บันนังสตา จ.ยะลา โดยใช้มอเตอร์เครื่องซักผ้าขนาด 800-1000 วัตต์ เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับซึ่งต่อเข้ากับกังหันน้ำแบบคาปลาน จากการศึกษาพบว่า สามารถติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดจิ๋วแบบคอยาว (กังหันน้ำคาปลาน) ที่ผลิตไฟฟ้าได้สูงสุดเท่ากับ 217 โวลต์ ความถี่ 48 เฮิร์ทซ ความเร็วรอบเท่ากับ 650 รอบต่อนาที ซึ่งใช้ได้กับหลอดไฟฟ้าขนาด 40-60 วัตต์ โทรทัศน์ขนาด 85-100 วัตต์ พัดลมขนาด 45 วัตต์ และ อื่นๆ ประมาณ 100 วัตต์ แสดงให้เห็นว่าระบบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดจิ๋วจากมอเตอร์เครื่องซักผ้าเป็นเทคโนโลยีพื้นฐานที่สามารถปรับปรุงและพัฒนาเพื่อผลักดันให้เป็นนวัตกรรมของท้องถิ่นในประเทศได้ เนื่องจากระบบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดจิ๋วมีความเหมาะสมกับการใช้งานในครัวเรือนชนบท ซึ่งสามารถประดิษฐ์ได้ง่าย ใช้เงินลงทุนต่ำ ไม่ยุ่งยากในการติดตั้งและสามารถควบคุมดูแลระบบได้โดยครัวเรือนชนบท

คำหลัก: พลังงานทางเลือก พลังงานน้ำขนาดจิ๋ว มอเตอร์เครื่องซักผ้า ครัวเรือน

Abstract

The hydropower is one of the most efficient renewable energy sources. It is particularly suited to small-scale applications typically being far cheaper per unit (kWh) of electricity produced than wind power and solar power. The objective of this research is to novel picohydropower system design and construct at the Banlakosukae, Tambon Talingchan, Ampher Bannangsata, Yala province. The generating electrical power of 800-1000 W, on using a AC of washing machine motor, as a generator and a small kaplan wheel runner as turbine. The result in addition, the long neck picohydroelectric generator (Kaplan hydroturbine) can be set up appropriately. The alternator as a generator produces a maximum of 217 V / 48 Hz at speed of 650 rpm. The generated power can be used for lighting about fluorescent lamps of 40-

60 W, TV of 85-100 W, electrical fan of 45 W and each another about 100 W. Finally, the picohydropowers system from washing machine motor, as a generator are base improved technology systems that have potential for improvement with scope for local innovations that have been gaining momentum in the country. Picohydropower is much more suitable and affordable by the rural community due to it's comparatively low investment, disturbs little to local setting and can easily be operated and managed by local community.

Keywords: Alternative Energy, Pico hydro power, Washing machine motor, Households.

1. บทนำ

รัฐบาลได้มีนโยบายที่หลากหลายเพื่อให้ประชาชนมีจิตสำนึกที่จะประหยัดพลังงาน ลดภาระการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศโดยเฉพาะการนำเข้าน้ำมันที่ต้องใช้เงินจำนวนมหาศาลในการนำเข้าแต่ละปี ในเดือนเมษายน 2554 ประเทศไทยใช้พลังงานขั้นสุดท้าย (Final energy consumption) เพิ่มขึ้น 0.5% จากช่วงเดียวกันของปีก่อน คิดเป็นมูลค่าการใช้พลังงาน 155,474 ล้านบาท มีภาคอุตสาหกรรมใช้พลังงานสูงสุดคิดเป็น 36.4% ของการใช้พลังงานทั้งหมด และมีก๊าซธรรมชาติเป็นแหล่งเชื้อเพลิงหลักคิดเป็น 67.2% ของแหล่งเชื้อเพลิงทั้งหมด อย่างไรก็ตามพลังงานทดแทนที่ผลิตในประเทศก็มีการใช้เพิ่มขึ้นจากช่วงเดียวกันของปีก่อน ทั้งในรูปไฟฟ้าและความร้อนที่ผลิตได้จากพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ ชีวมวล ก๊าซชีวภาพ ขยะ เอทานอล และ ไบโอ โดยการใช้พลังงานทดแทนเพิ่มขึ้นจากช่วงเดียวกันของปีก่อน 5.3% คิดเป็น 10.9% ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายทั้งหมด [1] จึงต้องหันมาวิจัยและพัฒนาแหล่งพลังงานทดแทน (Renewable energy) ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เช่น พลังงานน้ำ (Hydro energy) [2-4]

การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำขนาดเล็กมีการศึกษาวิจัยอย่างกว้างขวางทั่วโลกโดยเฉพาะอย่างยิ่งในทวีปยุโรป ดังตัวอย่างรายงานการศึกษาวิจัยของ Alexander and Giddens [2] Ogayar and Vidal [3] Ponta and Jacovkis [4] Baidya [5] Balat [6] Date and Akbarzadeh [7] และ Kaldellis [8] ในขณะเดียวกันประเทศไทยก็ได้มีการวิจัยและสร้างระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กเช่นเดียวกันแต่ยังไม่เป็นที่แพร่หลายเท่าที่ควร เช่น อีลีหยัะ และคณะ [9] ได้ศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดจิ๋ว ณ มูลนิธิสุข-แก้ว แก้วแดง ตำบลลำพะยา อำเภอเมือง จังหวัดยะลา เพื่อเป็นแหล่งเรียนรู้ในชุมชน พบว่า มูลนิธิสุข-แก้ว แก้วแดง (Sukkeow keowdang foundation) มีสายน้ำจากภูเขาลำพะยาไหลผ่านตลอดทั้งปี โดยพื้นที่บริเวณมูลนิธิสุข-แก้ว แก้วแดง มีลำธารไหลผ่าน 2 สาย สายแรกไหลผ่านกลาง ในขณะที่สายที่สองไหลผ่านด้านหน้าพื้นที่มูลนิธิ ลำธารทั้ง 2 สายสามารถติดตั้งอุปกรณ์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานน้ำขนาดจิ๋วได้ โดยสายแรกสามารถติดตั้งอุปกรณ์ผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานน้ำขนาดจิ๋วที่ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 1 kW ซึ่งสามารถใช้เป็นฐานจัดการเรียนรู้และถ่ายทอดเทคโนโลยีเกี่ยวกับพลังงานน้ำในชุมชนได้

ในขณะที่ ชาติชาย [10] ได้พัฒนาอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าพลังน้ำตามแนวพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวแบบทุ่นลอย เพื่อศึกษา ความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ พบว่า อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 15 A ความต่างศักย์ 13 V สามารให้แสงสว่างแก่หน่วยชลประทานเขตสองพี่น้อง จ.สุพรรณบุรี ในตอนกลางคืนได้ตามวัตถุประสงค์เพราะสร้างครั้งเดียวสามารถใช้ได้ตลอดเสียค่าบำรุงรักษาน้อย และ Laodee *et al.* [11] ได้ศึกษาการใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดจิ๋วจำนวน 19 เครื่อง ให้หลังคาเรือนจำนวน 50 ครัวเรือนของประชาชนในหมู่บ้านท่าแปน เมืองหลวงพระบาง สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว พบว่า เครื่อง

กำเนิดไฟฟ้าสามารถให้พลังงานรวมทั้งสิ้น 22 กิโลวัตต์ โดยครัวเรือนส่วนใหญ่จะใช้ไฟฟ้าในช่วง 18.00-07.00 น. ที่ภาระทางไฟฟ้าส่วนใหญ่จะเป็นหลอดไฟฟ้าขนาด 5-100 W วิทยุ และโททัศน์สี และมีปัญหาเรื่องแรงดันไฟฟ้าที่ไม่สม่ำเสมอและเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีความเสียหายเมื่อเครื่องทำงานขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้า ทางผู้วิจัยจึงทำการแก้ไขปัญหาโดยติดตั้งระบบควบคุมแรงดันไฟฟ้าและโหลดเทียม (Dummy load) พบว่า สามารถแก้ปัญหาได้เป็นอย่างดีและเมื่อคิดค่าการลงทุน พบว่า มีค่าประมาณ 5-10 Baht/W ซึ่งต่ำมากเมื่อเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต้องลงทุนประมาณ 150-200 Baht/W

อย่างไรก็ดี การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำข้างต้นได้ใช้ไดนาโมหรือมอเตอร์ผลิตไฟฟ้าจากร้านจำหน่ายหรือผู้ผลิตโดยตรงซึ่งมีต้นทุนที่สูงประมาณ 18,000-25,000 บาท ต่อเครื่อง ในขณะที่พลังงานน้ำเป็นพลังงานทางเลือกหนึ่งที่เป็นไปได้ในการนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิง โดยเฉพาะการใช้งานในระดับครัวเรือนและชุมชนขนาดเล็กที่อยู่ใกล้แม่น้ำลำธาร จึงควรมีการส่งเสริมและสนับสนุนการสร้างระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดจิ๋วที่ใช้ไดนาโมหรือมอเตอร์ราคาถูกเพื่อเป็นต้นแบบแก่ชุมชน ผู้วิจัยเห็นความสำคัญดังกล่าว จึงได้ออกแบบ สร้าง ติดตั้ง และทดสอบชุดผลิตไฟฟ้าพลังน้ำจากมอเตอร์เครื่องซักผ้าอย่างง่ายที่สามารถใช้งานได้จริงสำหรับครัวเรือน

2. วิธีการ

2.1 ทฤษฎี

การวิจัยเริ่มโดยลงพื้นที่วัดขนาดแหล่งน้ำ หมู่บ้านลาดอชูแก ต.ตลิ่งชัน อ.บันนังสตา จ.ยะลา (รูปที่ 1) เพื่อคำนวณปริมาณน้ำ อัตราการไหลและความเร็วของน้ำแล้ววิเคราะห์และประเมินความเป็นไปได้ของการพัฒนาระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดจิ๋วที่เหมาะสมตามแหล่งน้ำขนาดต่าง ๆ โดยอาศัยหลักการทางฟิสิกส์ที่ว่าด้วยกฎทรงพลังงาน (Energy conservation) กล่าวคือ น้ำจะสะสมพลังงานอยู่ในรูปของพลังงานศักย์ [9] ซึ่งคำนวณได้ ดังนี้

$$E_p = mgh \quad (1)$$

และ $$E_k = (1/2)mv^2 \quad (2)$$

โดยที่ $$E_p = E_k \quad (3)$$

จะได้ $$v = (2gh)^{1/2} \quad (4)$$

เมื่อ E_K และ E_P คือ พลังงานจลน์และพลังงานศักย์ของน้ำ (J) m คือ มวลของน้ำ (kg) g คือ ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก มีค่าเท่ากับ 9.81 m/s^2 h คือ ความสูงของน้ำเหนือระดับอ้างอิง (m) และ v คือ ความเร็วของน้ำที่ไหลผ่าน (m/s)

รูปที่ 1 การสำรวจแหล่งน้ำ

เปลี่ยนค่าพลังงานให้อยู่ในรูปของกำลัง (Power, P) หรือค่าพลังงานต่อหนึ่งหน่วยเวลาจะได้กำลังของน้ำขนาด 1 m^3 มวล 1,000 kg ตามความสัมพันธ์ ดังนี้

$$P = 1000Qgh \quad (5)$$

เมื่อ P คือ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ (W) และ Q คือ ปริมาตรการไหลของน้ำ (m^3/s)

พิจารณาอัตราการไหล (Flow rate) ของลำน้ำที่พุ่งผ่านพื้นที่หน้าตัด A ด้วยความเร็ว v จะคำนวณอัตราการไหลของน้ำเชิงปริมาตร (Volume flow rate, Q) ได้ดังสมการต่อไปนี้

$$Q = Av \quad (6)$$

จากสมการ (5) และ (6) จะได้ความสัมพันธ์ของปริมาตรการไหล พื้นที่หน้าตัด และระดับความสูงของน้ำ ดังสมการต่อไปนี้

$$Q = A(2gh)^{1/2} \quad (7)$$

เมื่อ A คือ พื้นที่หน้าตัดที่น้ำไหลผ่าน (m^2)

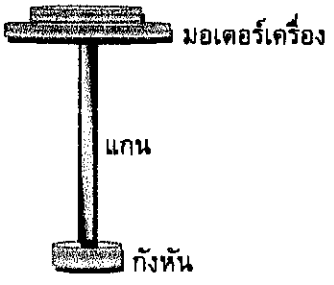
พลังงานที่สามารถแปลงได้จากกังหันน้ำเป็นสัดส่วนระหว่างผลคูณของระดับหัวน้ำและปริมาณน้ำที่ไหล ซึ่งเขียนเป็นสมการในรูปประสิทธิภาพของกังหัน (η) ได้ ดังนี้

$$\eta = P/\rho ghQ \qquad (8)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของน้ำ (kg/m^3)

2.2 การออกแบบและติดตั้งระบบ

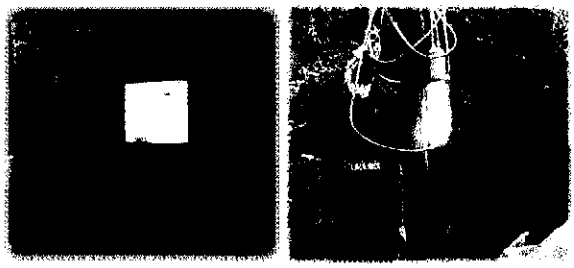
โดยอาศัยข้อมูลจากการลงพื้นที่วัดขนาดแหล่งน้ำข้างต้นประกอบกับข้อมูลทางเทคนิคจากรายงานของกองบรรณาธิการวารสารเกษตรกรรมธรรมชาติ [12] คมสัน หุตะแพทย์ [13] ณัฐภูมิ สุดแก้ว [14] และ Green *et al.* [15] ทำให้สรุปได้ว่า หมู่บ้านลาคอซูแก ต.ตลิ่งชัน อ.บันนังสตา จ.ยะลา สามารถออกแบบและติดตั้งชุดผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดจิ๋วแบบคอยาว ขนาดกำลังผลิต 1 kW โดยการขวางลำน้ำด้วยก้อนหินซ้อนกันให้ได้ความสูงประมาณ 1.5 m แล้ววางท่อพีวีซี (PVC pipe) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 m ยาว 12 m เชื่อมต่อกับถังน้ำ 200 ลิตร ที่ประกอบเข้ากับชุดผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดจิ๋วอย่างง่ายซึ่งถูกพัฒนาขึ้นโดยการประยุกต์ใช้มอเตอร์เครื่องซักผ้าเป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าแทนไดนาโมหรือมอเตอร์โดยทั่วไปเชื่อมต่อเข้ากับแกนและกังหันน้ำ ณ ห้องปฏิบัติการฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา แล้วปล่อยน้ำให้ชุดกำเนิดไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดจิ๋วอย่างง่ายทำงาน (รูปที่ 2) โดยมีหลอดกลมทำหน้าที่เป็นโหลดเทียมระหว่างที่มอเตอร์ทำงาน



รูปที่ 2 การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดจิ๋วอย่างง่าย

3. ผลและวิเคราะห์ผล

จากการติดตั้งและทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดจิ๋วอย่างง่ายสำหรับใช้ในครัวเรือน ณ หมู่บ้านลาคอซูแก ต.ตลิ่งชัน อ.บันนังสตา จ.ยะลา โดยปล่อยน้ำให้ชุดกำเนิดไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดจิ๋วอย่างง่ายทำงาน จากนั้นวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ชุดกำเนิดไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดจิ๋วอย่างง่ายผลิตได้ พบว่า ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดจิ๋วอย่างง่ายที่ได้ติดตั้งให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าในช่วง 190-230 V ความถี่ 48-55 Hz กำลังสูงสุด 980 W (รูปที่ 3) และอาศัยสมการ (8) คำนวณประสิทธิภาพของกังหันได้เท่ากับ 62% โดยระบบที่ติดตั้งขึ้นสามารถใช้งานได้จริงและไม่ต้องมีอุปกรณ์อื่นมาขยายหรือเพิ่มกำลังไฟฟ้า



รูปที่ 3 การทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดจิ๋วอย่างง่าย

ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดจิ๋วอย่างง่ายสำหรับใช้ในครัวเรือนที่ได้ติดตั้งใช้ได้กับ 2-3 หลังคาเรือน ซึ่งมีอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้กำลังไฟฟ้า 300-500 W ครัวเรือนบริเวณที่ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดจิ๋วอย่างง่าย จะมีอุปกรณ์ไฟฟ้า อาทิเช่น หลอดไฟฟ้า ขนาด 40-60 W จำนวน 3 หลอด โทรทัศน์ ขนาด 85 W จำนวน 1 เครื่อง พัดลม ขนาด 45 W จำนวน 2 เครื่อง อื่น ๆ ประมาณ 100 W รวมพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งสิ้นประมาณ 450 W ซึ่งเป็นไปในแนวทางเดียวกันกับรายงานของกองบรรณาธิการวารสารเกษตรกรรมธรรมชาติ [12] คมสัน หุตะแพทย์ [13] ณัฐภูมิ สุดแก้ว [14] และ Green *et al.* [15] โดยชุดผลิตไฟฟ้าจากมอเตอร์เครื่องซักผ้าอย่างง่ายที่พัฒนาขึ้นมีต้นทุนประมาณ 8,000-10,000 บาทต่อ

เครื่อง ซึ่งถูกกว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีขายอยู่ตามท้องตลาดทั่วไปประมาณ 16,000-25,000 บาท และที่สำคัญกังหันน้ำที่ขายอยู่ตามท้องตลาดเป็นแบบสำเร็จรูปไม่สามารถแยกซื้อเฉพาะส่วนได้ แต่ชุดผลิตไฟฟ้าที่พัฒนาขึ้นสามารถแยกชิ้นส่วนได้จึงสะดวกและง่ายต่อการซ่อมบำรุง

4. กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณแบแซ และชาวบ้าน หมู่บ้านลาคอซูแก ต.ตลิ่งชัน อ.บันนังสตา จ.ยะลา ที่ให้ความร่วมมือและช่วยเหลือในการเตรียมพื้นที่และติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดจิ๋วอย่างง่ายจนการวิจัยสำเร็จได้ด้วยดี

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากธนาคารไทยพาณิชย์ จำกัด (มหาชน) ในการแข่งขันโครงงาน "กล้าใหม่...สร้างสรรค์ชุมชน" ครั้งที่ 5 ประจำปี 2553

5. เอกสารอ้างอิง

[1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2554). *สถานการณ์พลังงานของประเทศไทย*. กลุ่มสถิติและข้อมูลพลังงาน ศูนย์สารสนเทศข้อมูลพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา http://www.dede.go.th, เข้าดูเมื่อวันที่ 29/06/2554.

[2] Alexander, K.V. and Giddens, E.P. (2009). Microhydro : Cost-effective, modular systems for low heads, *Renewable Energy*, vol. 33(6), pp. 1379-1391.

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

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

[5] Baidya, G. (2006). Development of small hydro, *Himalayan small hydropower summit*, 12-13 October, India.

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

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

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

[9] อีลียะ สนิโซ เซ็ดตระกูล, หอมจำปา สุนิตย์ โรจนสุวรรณ, ฮูเซ็ง ชายดานา และลุกมัน สือนิ (2552). พลังงานน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดจิ๋วเพื่อเป็นศูนย์เรียนรู้ท้องถิ่น, *การนำเสนอผลงานวิจัยแห่งชาติ 2552 (Thailand Research Expo 2009)*, 26-30 สิงหาคม, ศูนย์ประชุมบางกอกคอนเวนชันเซ็นเตอร์ เซ็นทรัลเวิลด์ ราชประสงค์ กรุงเทพฯ.

[10] ชาติชาย ยมะคุปต์ (2549). กังหันน้ำผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้ในระบบแสงสว่าง, *วิศวกรรมสาร มก*, 58(19), หน้า 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, Ambassador City Jomtien, Phataya, Cholburi, Thailand.

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

[13] คมสัน หุตะแพทย์ (2551). เครื่องผลิตไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กแบบไทย ๆ, *เกษตรกรรมธรรมชาติ*, 11(9), หน้า 11-1.

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

[15] Green, J., Fuentes, M., Rai, K. and Taylor, S. (2005). *Stimulating the picohydropower market for low-income households in Ecuador*, The international bank for reconstruction and development/THE WORLD BANK. Washington D.C., U.S.A.