



## การประเมินประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานน้ำโดยใช้ปั๊มน้ำที่มีขายทั่วไปเป็นกังหันน้ำ

## Evaluating the Efficiency of Hydroelectric Power Generation by a Commercially Available Pump as a Turbine

จิระกานต์ ศิริวิชญ์ไมตรี\*, วรารุท วุฒินิชย์

Chirakarn Sirivitmaitrie\*, Varawoot Vudhivanich

อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน, คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม, 73140

Lecturer, Department of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Nakorn Pathom, Thailand, 73140

\*Corresponding author: Tel 089-665-9984, E-mail: [fengcrk@ku.ac.th](mailto:fengcrk@ku.ac.th)

### บทคัดย่อ

ทรัพยากรน้ำเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากจะไม่สร้างมลพิษให้กับสิ่งแวดล้อมแล้วยังสามารถทดแทนการใช้เชื้อเพลิงสันเปื้อนที่ใช้อย่างสิ้นเปลืองได้เป็นอย่างดี การวิจัยนี้จึงเลือกปั๊มน้ำที่มีขายทั่วไปมาใช้เป็นกังหันน้ำในการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยไม่มีการดัดแปลงแก้ไขใดๆ กับตัวปั๊มน้ำโดยใช้วิธีการ Pump As Turbine (PAT) ได้ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการชลศาสตร์เพื่อหา Water Horsepower (WHP), Break Horsepower (BHP) และทำการทดลองผลิตกระแสไฟฟ้า สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุดที่ 808.5 Watt คิดเป็นประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานน้ำไปเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ 57.66% ซึ่งหลังจากคำนวณต้นทุนค่าใช้จ่ายที่ใช้ในโครงการนี้เปรียบเทียบกับข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จะมีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ประมาณ 1 ปี จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าปั๊มน้ำที่มีขายทั่วไป สามารถนำมาใช้งานได้มีประสิทธิภาพ โดยไม่จำเป็นต้องสร้างกังหันน้ำขึ้นมาใหม่ ทำให้การทำโครงการลักษณะนี้ง่ายขึ้นมาก เพราะนอกจากจะมีต้นทุนที่ต่ำแล้ว วัสดุทั้งหมดที่ใช้ในโครงการเป็นของที่มีขายทั่วไปในท้องตลาด สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้ผลอย่างดี โดยไม่ต้องมีการดัดแปลงแก้ไขชิ้นส่วนใดๆ ทำให้วัสดุมีความคงทน สามารถประหยัดแรงงานและเวลาได้มาก

คำสำคัญ: ปั๊มน้ำเป็นกังหันน้ำ, ไฟฟ้าพลังงานน้ำ, พลังงานหมุนเวียน

### Abstract

Water resources are renewable energy sources that can be used to generate electricity efficiently. It can also be used as a good replacement for the fossil fuel and do not produce pollution to the environment. In this research, a commercial centrifugal pump was used without any modifications as water turbines for generating electricity by using the Pump As Turbine (PAT) method. In the hydraulic laboratory experiment, the Water Horsepower (WHP), Break Horsepower (BHP) and the electricity generation experiments were conducted. The maximum power output of 808.5 Watts with 57.66% hydro-to-electricity conversion efficiency were achieved. The one year break-even point of the project was calculated based on the investment cost and to the electricity produced. The results show that the commercially available pumps can be used as water turbines effectively without any modification or need of a turbine constructed. This project can be easily implemented by using the commercial available materials with several advantages such as low cost, the availability of parts and materials, durability, time saving and no modification.

Keyword: Pump as turbine, Hydroelectric power, Renewable energy

Received: August 15, 2021

Revised: September 10, 2021

Accepted: September 11, 2021

Available online: May 23, 2022

## 1 บทนำ

ทรัพยากรน้ำ เป็นทรัพยากรที่หมุนเวียนไปเรื่อยๆ อย่างไม่มีวันหมดสิ้น หรือที่เรียกว่าทรัพยากรหมุนเวียนธรรมชาติ (Renewable Natural Resource) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับทรัพยากรเชื้อเพลิงประเภทอื่นๆ เช่น ก๊าซธรรมชาติ น้ำมันหรือถ่านหินที่มีปริมาณจำกัดและต้นทุนสูง ทรัพยากรน้ำจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจในการนำมาเป็นต้นทุนพลังงานเพื่อทดแทนการใช้เชื้อเพลิงสิ้นเปลืองประเภทอื่นๆ

ความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มีปริมาณสูงขึ้นเรื่อยๆ ทุกปีอย่างต่อเนื่อง เกิดจากการเจริญเติบโตทางสังคมและเศรษฐกิจของประเทศไทย ในปัจจุบันสัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของประเทศส่วนใหญ่เป็นก๊าซธรรมชาติถึง 60.74% ถ่านหินลิกไนต์ 20.54% พลังงานหมุนเวียน (พลังงานน้ำ, อื่นๆ) 16.2% น้ำมันเตา 0.1% น้ำมันดีเซล 0.1% อื่นๆ (สบ.ลาว, มาเลเซีย, ลำตะคองชลภาวัฒนา) 0.32% (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2564) จะเห็นได้ว่าการนำพลังงานหมุนเวียนตามธรรมชาติมาใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้านั้นยังมีปริมาณน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานเชื้อเพลิงสิ้นเปลือง

ในพื้นที่ทางไกลที่ไม่มีพลังงานไฟฟ้าเข้าถึงแต่เพียงพร้อมด้วยทรัพยากรน้ำ ซึ่งเป็นพลังงานต้นทุนในการผลิตกระแสไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของกังหันน้ำ โดยการใช้ปั้มน้ำเป็นกังหันน้ำ (Pump As Turbine, PAT) และหาประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟ้าในการทดลองนี้ใช้ปั้มน้ำแบบเซนติฟูกัลที่มีขายอยู่ทั่วไป มาใช้เป็นกังหันน้ำ โดยไม่มีการดัดแปลงชิ้นส่วนใดๆ ของปั้มน้ำ ปั้มน้ำดังกล่าวนี้มีข้อดีคือสามารถหาซื้อได้ทั่วไป มีความคงทน มีอะไหล่สำรอง และประหยัดเวลาในการสร้างกังหันน้ำขึ้นมาใหม่

## 2 อุปกรณ์และวิธีการ

ในการพิจารณาแหล่งน้ำที่เหมาะสมต่อการผลิตกระแสไฟฟ้าจะต้องมีปริมาณน้ำและความดันที่จะผลิตพลังงานได้เพียงพอและคุ้มค่ากับการลงทุน การประเมินศักยภาพของแหล่งน้ำสามารถทำการประมาณค่าพลังงานที่แหล่งน้ำมีโดยอาศัยสมการที่ 1 (Carravetta et al., 2018) เพื่อประมาณค่าพลังงานออกมาในเบื้องต้นได้ดังนี้

$$P = 9,810HQ\eta \quad (1)$$

โดยที่  $P$  = พลังงาน (Watt)  
 $Q$  = อัตราการไหล ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ )  
 $\eta$  = ประสิทธิภาพ  
 $H$  = ความดันน้ำ (m)

ในการทดลองนี้ได้เลือกใช้อุปกรณ์ปั้มน้ำไฟฟ้าขนาด 5.5 kW สองตัวเป็นแหล่งน้ำจ่ายให้ปั้มน้ำที่ใช้เป็นกังหันน้ำเพื่อทำการทดสอบระบบในห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ โดยทำการทดสอบ

ประสิทธิภาพของกังหันน้ำ และจากนั้นจึงทำการทดลองผลิตกระแสไฟฟ้า

### 2.1 ส่วนอุปกรณ์และเครื่องมือ

การจัดวางอุปกรณ์ในการทดลองประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ดังแสดงใน Figure 1. ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์หลักๆ ดังนี้

1) ปั้มน้ำขนาด 5.5 kW 2 เครื่อง ขนาดท่อ 4 นิ้ว มีค่า Power factor ( $\cos\theta$ ) = 0.75 ปั้มน้ำทั้งสองตัวต่ออนุกรมกันทำหน้าที่เป็นแหล่งพลังงานน้ำต้นทุน จำลองพลังงานน้ำที่ความความดันต่าง ๆ

2) ปั้มน้ำแบบเซนติฟูกัล ขนาดท่อเข้าและออกขนาด 3 นิ้ว 1 เครื่องที่สามารถหาซื้อได้ทั่วไป ดังแสดงใน Figure 2. ทำหน้าที่เป็นกังหันน้ำ ให้น้ำไหลผ่านในทิศย้อนกลับ โดยจะต่อท่อเข้าที่ทางออกของปั้มน้ำ น้ำจะไหลออกที่ช่องตรงศูนย์กลางใบพัด ความดันน้ำจะทำให้ใบพัดในตัวเรือนปั้มน้ำ การวัดความเร็วรอบการหมุนจะวัดที่มู่เลย์ที่เชื่อมต่อกับใบพัด

3) เครื่องชั่งดิจิตอล 2 ตัว เชื่อมต่อกับสายพานเพื่อวัดแรงดึงของสายพานที่คล้องมู่เลย์ขณะใบพัดหมุน เพื่ออ่านค่าแรงดึงเครื่องชั่งทั้งสองข้าง เพื่อคำนวณพลังงานที่ผลิตได้

4) ถังน้ำ 2 ถังใช้ในการเก็บน้ำและใช้ตวงปริมาณน้ำที่ไหลออกจากกังหันน้ำ

5) เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 1 เฟส ขนาด 3 kW 1 เครื่อง เพื่อใช้ทดสอบประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟ้า

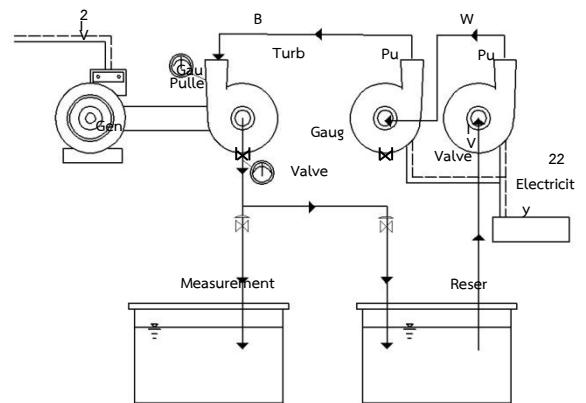


Figure 1 Experimental diagram.

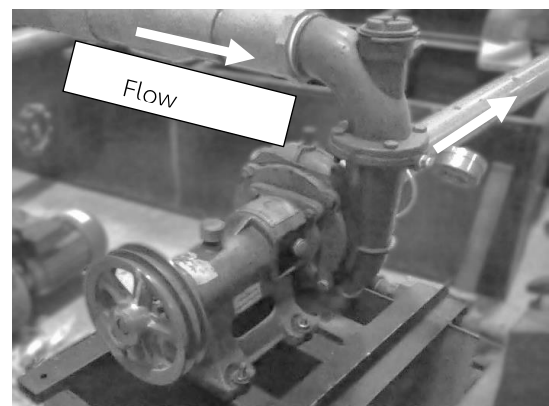


Figure 2 A commercial pump used as a turbine.

การทดสอบการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้ปั๊มเป็นกังหันน้ำนี้ มีการออกแบบให้สามารถให้ทดสอบได้ใน 3 กรณีคือ 1. การทดสอบหา Water Horsepower เป็นการหาพลังงานของแหล่งพลังงานน้ำ 2. การทดสอบหา Break Horsepower เพื่อหาค่ากำลังของกังหันน้ำ และ 3. การทดสอบหาประสิทธิภาพของกังหันน้ำ และการผลิตกระแสไฟฟ้า เพื่อเป็นตัวชี้วัดคุณภาพการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยการใช้ปั๊มน้ำเป็นกังหันน้ำ

## 2.2 วิธีการทดสอบ

### 2.2.1 การทดสอบเพื่อหาค่า Water Horsepower (WHP) ของระบบที่มีความดันต่าง ๆ

แหล่งน้ำจำลองที่ใช้ปั๊มน้ำเข้าสู่ระบบ ถูกควบคุมความดันด้วยวาล์วน้ำก่อนที่จะเข้าสู่กังหันน้ำ ทำการวัดความดันที่ทางเข้าและออกของกังหันน้ำและใช้การตรวจปริมาณน้ำในถังวัดน้ำ เพื่อตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำที่ไหลผ่านตัวปั๊ม ตัวกังหันน้ำที่ใช้เป็นกังหัน มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 23 cm. มีใบพัดภายใน(Main blade) ทั้งหมด 8 ใบ มีความหนาของใบพัด (Blade width) 2.5 cm. ดังแสดงใน Figure 3.

การทดลองจะเริ่มจากความดันสูงสุดที่ 2.4 bar แล้วทำการวัดค่าระดับน้ำในถังตวงเพื่อวัดอัตราการไหลต่อเวลา เพื่อคำนวณหาอัตราการไหลและพลังงานที่ได้ออกมา ในการทดสอบนี้จะค่อยๆ ปรับลดความดันน้ำลงครั้งละ 0.2 bar ทำซ้ำจนค่าความดันเหลือ 0.80 bar โดยพลังงานที่คำนวณได้มาจากการคำนวณของวิธี Water Horsepower จะใช้สมการที่ 2 (Matthias et al., 2019) ดังนี้

$$WHP = \gamma QH \quad (2)$$

โดยที่  $WHP$  = กำลังตามทฤษฎี (Watt)  
 $\gamma$  = น้ำหนักจำเพาะของน้ำ ( $Nm^{-3}$ )  
 $Q$  = อัตราการไหล ( $m^3s^{-1}$ )  
 $H$  = ความดันน้ำ (m)

การหาประสิทธิภาพของระบบ สามารถหาได้จากสมการที่ 3 และ 4 (Phuttarat, 2019) ดังนี้

$$P_{input} = \sqrt{3} \times PF \times I_{input} \times V_{input} \quad (3)$$

โดยที่  $P_{input}$  = กำลังไฟฟ้า 3 เฟส (Watt)  
 $PF$  = Power factor ( $\cos\theta$ )  
 $I_{input}$  = กระแสไฟฟ้า (A)  
 $V_{input}$  = ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)

$$\text{และ } Efficiency_{WHP} = \frac{WHP}{P_{input}} \times 100 \quad (4)$$

โดยที่  $Efficiency_{WHP}$  = ประสิทธิภาพ (%)

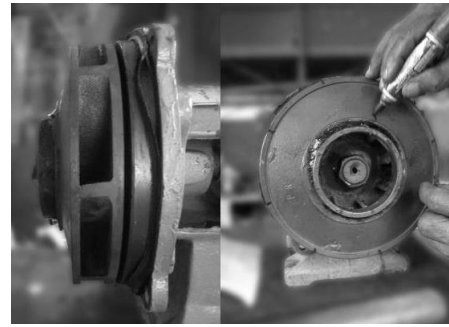


Figure 3 Pump propeller.

### 2.2.2 การทดสอบเพื่อหาค่า Break Horsepower ของระบบที่มีความดันต่าง ๆ

หลังจากการทดสอบหาค่า Water Horsepower ของระบบแล้ว จึงนำชุดเครื่องซึ่งติดตั้งเข้ากับมู่เล่ย์ด้านท้ายของตัวกังหันน้ำ ในการทดสอบ Break Horsepower (BHP) นี้จะทำการควบคุมความดันน้ำด้านต้นทางก่อนเข้าสู่ตัวกังหันน้ำ โดยเริ่มต้นที่ความดันน้ำสูงสุดที่ 2.4 bar อ่านค่าความดันหลังจากออกจากกังหันน้ำ ได้ประมาณ 0.7 bar ได้ผลต่างความดันน้ำระหว่างทางเข้าและออกกังหันน้ำสุทธิที่ 1.7 bar การอ่านค่าความเร็รรอบการหมุนของมู่เล่ย์ แสดงใน Figure 4. ใช้เครื่องวัดรอบแบบออปติคัล อ่านด้านข้างมู่เล่ย์ที่ตำแหน่งที่ทำเครื่องหมายเอาไว้ ทำซ้ำสามครั้ง การอ่านค่าแรงดึงของเครื่องซึ่งน้ำหนักทั้งสองที่คล้องสายพานรอบเพลลา ดังแสดงใน Figure 5. จะใช้การอ่านค่าน้ำหนักสามครั้งแล้วนำค่าที่ได้มาหารเพื่อหาค่าเฉลี่ย การตรวจวัดค่าอัตราการไหลของน้ำ รอกจนกว่าระบบทำงานได้คงที่ กังหันน้ำหมุนที่ความเร็วคงที่ หรือไม่เปลี่ยนแปลงมาก ถึงจะทำการปรับทิศทางการไหลของน้ำลงสู่ถังตวงปริมาตร แล้วจับเวลา นำค่าต่างๆ ที่บันทึกได้จากการทดลองมาคำนวณหา ค่าพลังงานตรวจวัดจากกังหันน้ำ จากนั้นจึงเพิ่มแรงดึงของเครื่องซึ่งให้มากขึ้น ความเร็วการหมุนของกังหันน้ำจะลดลง อ่านค่าผลต่างของเครื่องซึ่งและความเร็รรอบการหมุนนำมาคำนวณพลังงานที่ได้ออกมาเหมือนเดิม เมื่อทำซ้ำโดยการเพิ่มแรงดึงที่เครื่องซึ่งขึ้นไปเรื่อยๆ จะเห็นว่าค่าความเร็รรอบของมู่เล่ย์ที่หมุนจะลดลงเรื่อยๆ



Figure 4 Pulley speed measurement.

การคำนวณพลังงานที่ได้จากการวัดความเร็วรอบและค่าแรงดึงของเครื่องชั่งของการทดลอง Break Horsepower จะใช้สมการที่ 5 ดังนี้ (นิมิตร, 2543)

$$BHP = 2\pi r n F \quad (5)$$

โดยที่  $BHP$  = กำลังที่ขับเคลื่อนใบพัด (Watt)  
 $r$  = รัศมีของมู่เลย์ (m)  
 $n$  = จำนวนรอบต่อวินาที (rps)  
 $F$  = ผลต่างแรงดึงของตาชั่งดิจิตอล(N)

การหาประสิทธิภาพของกังหันน้ำในสภาวะมีภาระที่สายพาน ( $Efficiency_{turbine}$ ) สามารถหาได้จากสมการ ที่ 6 และ 7 (นิมิตร 2543) ดังนี้

$$WHP_2 = (Gauge_{in} - Gauge_{out}) \times 10.2 \times Q \times 9,810 \quad (6)$$

โดยที่  $WHP_2$  = กำลังที่นำไปใช้ (Watt)  
 $Gauge_{in}$  = ความดันน้ำเข้ากังหันน้ำ (bar)  
 $Gauge_{out}$  = ความดันน้ำขาออกจากกังหันน้ำ (bar)  
 $Q$  = อัตราการไหล ( $m^3 s^{-1}$ )

$$Efficiency_{turbine} = \frac{BHP}{WHP_2} \times 100 \quad (7)$$

โดยที่  $Efficiency_{turbine}$  = ประสิทธิภาพกังหัน (%)

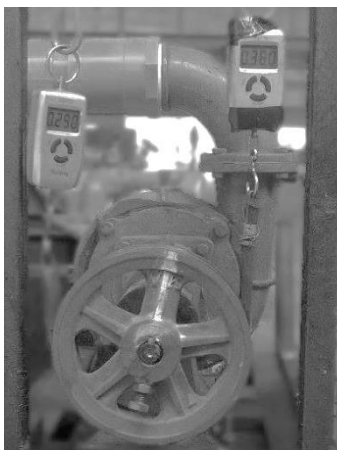


Figure 5 Break Horsepower measurement.

### 2.2.3 การทดสอบเพื่อหาค่าประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟ้า

การทดสอบนี้จะนำชุดเครื่องชั่งดิจิตอลออก ทำการติดตั้งชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับมู่เลย์กังหันน้ำ โดยนำค่าพลังงานสูงสุดที่ได้จากการทำสอบ BHP มาคำนวณค่าอัตราทดของมู่เลย์ใหม่ให้ความเร็วรอบของกังหันน้ำที่ได้พลังงานสูงสุดใกล้เคียงกับความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ จึงจำเป็นต้องปรับขนาดมู่เลย์ที่ต่อกับกังหันน้ำให้เหมาะสม ซึ่ง

มู่เลย์ขนาดเดิมของกังหันมีขนาด 2.63 นิ้ว ได้ค่า BHP มากที่สุดที่ความเร็วรอบ 1,125 rpm เป็นความเร็วการหมุนที่ไม่เหมาะสมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพราะไม่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าออกมาได้ จำเป็นต้องปรับขนาดมู่เลย์ของกังหันน้ำเพิ่มขึ้นเป็น 1.33 เท่าของขนาดเดิม เพื่อให้ได้จำนวนรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพิ่มขึ้นให้ใกล้เคียง 1,500 rpm จากนั้นทำการเชื่อมต่อมู่เลย์กังหันน้ำกับมู่เลย์เครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยสายพานเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าดังที่แสดงใน Figure 6.

การทดสอบระบบ จะเริ่มเปิดวาล์วน้ำให้น้ำไหลเข้าสู่กังหันน้ำเมื่อถึงรอบที่เหมาะสมจึงทดลองเชื่อมต่อโหลดไฟฟ้าเพื่อทดสอบการผลิตกระแสไฟฟ้า จากนั้นทำการวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ( $V_{load}$ ) และค่ากระแสไฟฟ้า ( $I_{load}$ ) เพื่อคำนวณหาค่าพลังไฟฟ้า ( $P_{load}$ ) จากนั้นค่อยๆ เพิ่มโหลดไฟฟ้าขึ้นเรื่อยๆ และวัดค่าต่างๆ เข้าเพื่อคำนวณหาประสิทธิภาพของการทดลอง หลังจากนั้นปรับเปลี่ยนความดันน้ำ แล้วทำการทดลองซ้ำอีก

การหาประสิทธิภาพของการผลิตกระแสไฟฟ้า สามารถหาได้จากสมการที่ 8 (นิมิตร, 2543) ดังนี้

$$Efficiency_{generator} = \frac{P_{load}}{BHP} \times 100 \quad (8)$$

โดยที่  $Efficiency_{generator}$  = ประสิทธิภาพไฟฟ้า

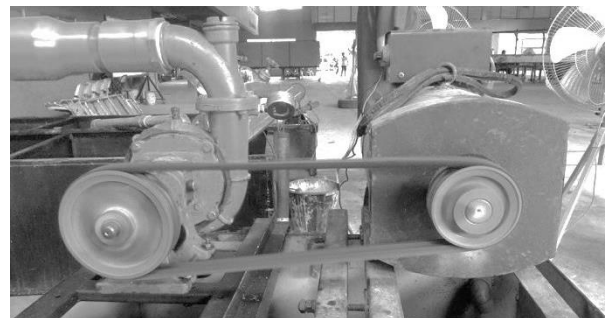


Figure 6 Generator powered by water turbine.

## 3 ผลและวิจารณ์

### 3.1 ผลการทดสอบหาค่า Water Horsepower (WHP) ของระบบที่ความดันต่าง ๆ

ในการทดลองหาค่า WHP เป็นการวัดค่าต่างๆ เช่น ความเร็วการหมุนของมู่เลย์ กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้ปั้มน้ำ อัตราการไหลและแรงดันน้ำ เป็นต้น โดยที่ไม่มีแรงดึงกระทำต่อมู่เลย์ จะได้ค่าพลังงานของน้ำในสภาวะที่กังหันน้ำไม่มีภาระ (No load) การปรับอัตราการไหลเพื่อทดสอบค่าพลังงานออกมาที่ความดันต่างๆ ผลการทดสอบ WHP ดังแสดงใน Figure 7. ผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่าความดันจากปั้มน้ำต้นพลังมีผลต่อความเร็วรอบการหมุนฟรี (Slip) ของมู่เลย์ และส่งผลโดยตรงต่อค่าพลังงานที่ได้ออกมาด้วย โดยเมื่อความดันจากปั้มน้ำต้นพลังลดลง ค่าความเร็วรอบของมู่เลย์จะลดลงและทำให้ได้ค่าพลังงานที่ได้น้อยลงจากการทดสอบที่ความดันสูงสุดที่ 2.4 bar มีอัตราการไหล

เท่ากับ  $0.0167 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  จากการทดลองทั้งหมดสามารถคำนวณกำลังงานสูงสุดได้ 4,003 Watt ซึ่งเป็นค่าที่มากที่สุดในสภาวะไม่มีภาระ

การคำนวณพลังไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง ทำโดยการวัดค่ากระแสและความต่างศักย์ไฟฟ้า แล้วทำการคำนวณพลังงานที่ใช้โดยสมการที่ 3 จากข้อมูลการทดลองสามารถวัดกำลังไฟฟ้าที่ปรากฏได้ 11,725 VA คิดเป็นกำลังไฟฟ้าที่ใช้จริง 8,793.7 Watt คิดเป็นประสิทธิภาพพลังไฟฟ้าเท่ากับ 45.5% ซึ่งระบบมีการสูญเสียพลังงานไปกับความร้อน แรงเสียดทานและแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในการทดลอง

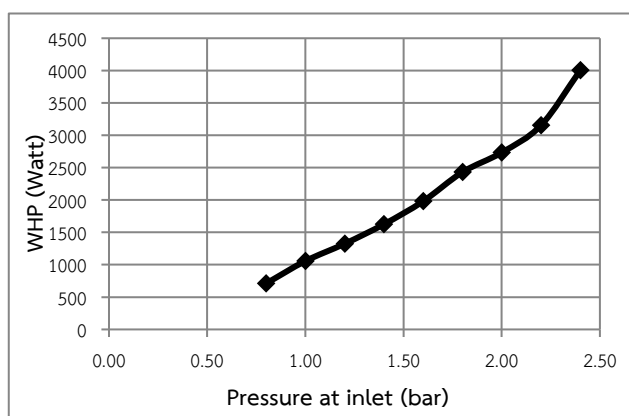


Figure 7 Water Horsepower produced by water pumps.

ใบพัดของปั้มน้ำแบบเซนติฟูกัลมีทิศทางการหมุนและความโค้งของใบพัดที่จะผลักดันให้น้ำไหลเข้าตรงกลางใบพัดถูกผลักออกสู่ออกนอกโดยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่เกิดจากการหมุนของใบพัด ทำให้ปั้มน้ำแบบเซนติฟูกัลมีประสิทธิภาพในการเพิ่มความดันและอัตราการไหลของน้ำ โดยรูปการหมุนแสดงใน Figure 8. (a) ส่วนกังหันน้ำที่ใช้ในการทดลองนี้ เป็นใบพัดของปั้มน้ำแบบเซนติฟูกัลที่ไม่มีการดัดแปลงแก้ไขใดๆ นำมาใช้เป็นกังหันน้ำโดยการกลับทิศทางการไหลของน้ำภายในช่อง โดยการจ่ายน้ำเข้าที่ทางออกด้านบนของช่อง น้ำจะไหลเข้าจากด้านบนแล้วหมุนวนภายในช่องก่อนจะไหลออกตรงกลางของช่อง ทิศทางการหมุนของกังหันน้ำจึงมีทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ดังแสดงใน Figure 8.(b)

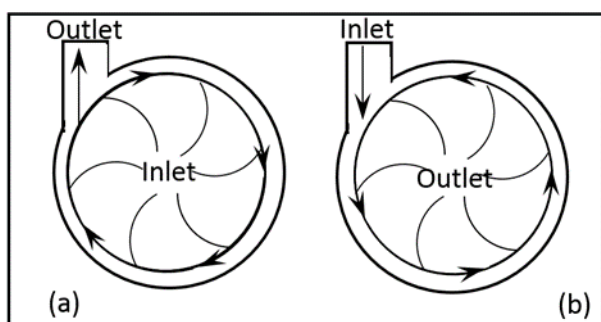


Figure 8 Rotation direction of centrifugal pump (a) and rotation direction of Pump as Turbine (b).

ซึ่งทิศทางการหมุนของกังหันเป็นทิศทางการหมุนที่กลับทิศทางการกับการหมุนปกติของปั้มน้ำแบบเซนติฟูกัล จึงส่งผลให้การไหลมีประสิทธิภาพต่ำกว่าที่ควรจะเป็น ใบกังหันแบบนี้จะทำให้การไหลของน้ำที่อยู่รอบนอกเข้าสู่กึ่งกลางของใบกังหันได้ยากกว่าปกติ จะส่งผลให้รอบความเร็วการหมุนและแรงที่ได้จากกังหันน้ำในการทดลองนี้น้อยกว่าใบพัดของกังหันน้ำปกติ โดยกังหันน้ำปกติจะมีทิศทางการโค้งใบพัดตั้งรับความดันและทิศทางการไหลของน้ำได้ดีกว่าใบพัดของปั้มน้ำ ดังแสดงในภาพ Figure 9.

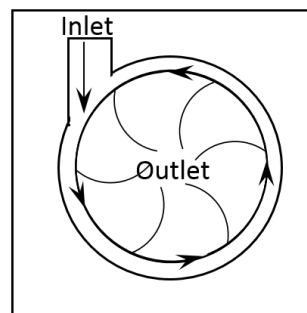


Figure 9 Rotation direction of a water turbine.

### 3.2 ผลการทดสอบหาค่า Break Horsepower ของระบบที่มีความดันต่างๆ

ในการทดสอบ Break Horsepower เมื่อเริ่มทำการทดลองที่ความดันน้ำสูงสุดที่ 2.4 bar จะได้ผลต่างความดันระหว่างทางเข้าและทางออกที่ 1.7 bar และไม่มีแรงดึงที่สายพานคล่องมู่เล่ย์ จะได้ความเร็วรอบการหมุนของมู่เล่ย์สูงสุดที่ประมาณ 2,036 rpm จากนั้นเริ่มทำการเพิ่มแรงดึงที่สายพานคล่องมู่เล่ย์ ค่าความเร็วรอบของมู่เล่ย์ค่อยๆ ลดลงเหลือ 1,918 rpm สามารถคำนวณกำลังงานได้ 268 Watt ดังแสดงใน Figure 10. เมื่อเพิ่มแรงดึงที่สายพานไปเรื่อยๆ ค่ากำลังงานที่สามารถคำนวณออกมาได้จะค่อยๆ มีค่าเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ จนถึงจุดที่มีความเร็ว 1,125 rpm มีค่าพลังงานที่คำนวณได้สูงสุดที่ประมาณ 1,408.08 Watt พลังงานที่จุดนี้เป็นความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นระหว่างความเร็วรอบการหมุนของมู่เล่ย์และแรงดึงที่สายพานที่ส่งผลให้เกิดค่ากำลังงานสูงสุดและเป็นความเร็วรอบการหมุนที่เลือกใช้ในการปรับแก้อัตราทดของมู่เล่ย์เมื่อทำการผลิตกระแสไฟฟ้าในการทดสอบต่อไป จากนั้นเมื่อเพิ่มค่าแรงดึงที่สายพานอีกทำให้ความเร็วรอบการหมุนลดลง และจะได้ค่าพลังงานที่ลดลงไปเรื่อยๆ หลังจากทำการทดลองซ้ำที่ความดันความดันอื่นๆ ผลการทดลองทั้งหมดแสดงใน Table 1.

เมื่อเปรียบเทียบกับค่าพลังงาน WHP<sub>2</sub> กับ BHP จะได้ค่าประสิทธิภาพของกังหันน้ำที่ความดัน แสดงใน Figure 11. ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของกังหันน้ำ มีความสอดคล้องกับผลของการทดสอบในความดันอื่นๆ คือที่ความดันน้ำสูงสุดมีค่าประสิทธิภาพสูงสุด เมื่อคิดเป็นประสิทธิภาพออกมาจะได้สูงสุดที่ 49.45%

จากกราฟใน Figure 10. แสดงให้เห็นเส้นโค้งของพลัง BHP ที่ความดันน้ำต่างๆ ที่คำนวณได้จากการทดลอง แต่ละเส้นจะมีจุดที่มีค่าพลังงานสูงสุดหรือ Peak Power (PP) อยู่ 1 จุด ซึ่งเป็นจุดที่แสดงให้เห็นถึงความเร็วรอบของกังหันที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในแต่ละความดันน้ำ ซึ่งเมื่อลากเส้นเชื่อมจุดสูงสุดเหล่านี้ จะได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและค่า BHP สูงสุดที่แรงต่างๆ ที่เป็นลักษณะเฉพาะของกังหันตัวนี้ สมการนี้สามารถใช้ในการประมาณค่าประสิทธิภาพสูงสุดของกังหันน้ำที่ความดันอื่นๆ ที่ไม่ได้ทำการทดลองได้

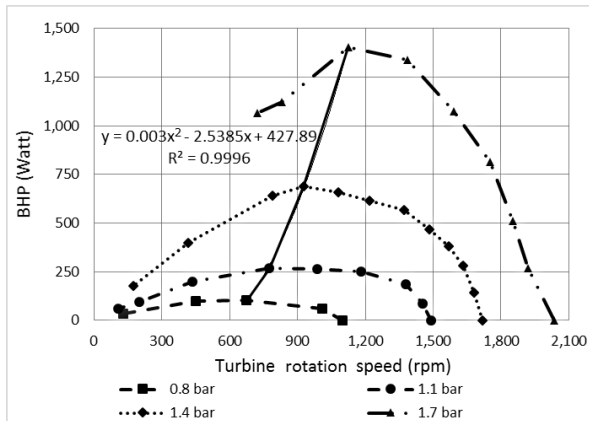


Figure 10 Break Horsepower at various rotation speeds.

Table 1. Shows details of the turbine efficiency.

| Pressure of turbine |                    |                           | WHP2     | BHP      | Turbine Efficiency |
|---------------------|--------------------|---------------------------|----------|----------|--------------------|
| Gauge inlet (bar)   | Gauge outlet (bar) | Pressure difference (bar) | (Watt)   | (Watt)   | (%)                |
| 2.4                 | 0.7                | 1.7                       | 2,835.57 | 1,402.08 | 49.45              |
| 2                   | 0.6                | 1.4                       | 1,913.6  | 687.98   | 35.95              |
| 1.6                 | 0.5                | 1.1                       | 1,362.01 | 263.76   | 19.37              |
| 1                   | 0.2                | 0.8                       | 845.29   | 102.47   | 12.12              |

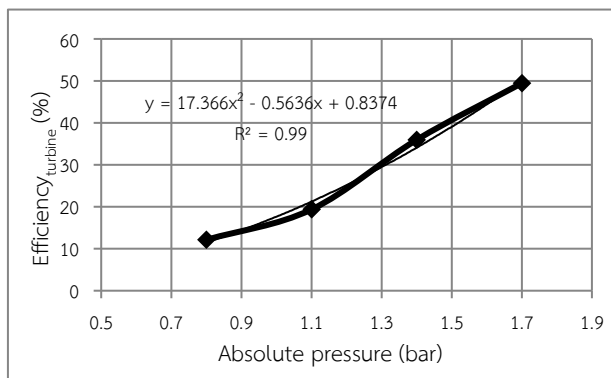


Figure 11 Efficiency of turbine at various pressures.

### 3.3 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟ้า

ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟ้าแสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มค่าความดันน้ำ ค่ากระแสไฟฟ้าและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากการทดลองจะเพิ่มขึ้น ความสัมพันธ์ระหว่างความดันน้ำและพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้แสดง Figure 12. จากกราฟแสดงค่าที่ความดันเริ่มต้นที่ความดันน้ำที่ทางเข้า 2.4 bar และ 0.7 bar ที่ทางออก ได้ความดันน้ำสุทธิได้ที่ 1.7 bar สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าสูงสุดได้ 808.5 Watt ที่ความดันสุทธิ 1.4 bar สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 432.5 Watt ส่วนที่ความดันสุทธิ 1.1 bar สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 123.2 Watt และที่ความดันสุทธิ 0.8 bar ไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อนำไปใช้งานได้ เนื่องจากมีความเร็วรอบต่ำกว่าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองนี้ จะสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าออกมาได้ ถ้าจะใช้พลังงานในความเร็วรอบที่ต่ำ จะต้องทำการเปลี่ยนขนาดอัตราทดโดยการลดขนาดมู่เล่ย์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ให้มีความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นจึงจะสามารถใช้งานได้

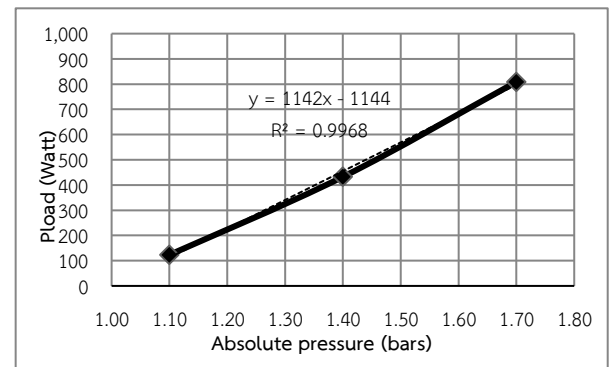


Figure 12 Generated electricity at various heads.

ในส่วนของการประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟ้านั้นมีความสัมพันธ์ดัง Figure 13. ความสัมพันธ์นี้แสดงถึงความดันน้ำสุทธิกับประสิทธิภาพเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยที่ความดัน 1.7 bar มีประสิทธิภาพ 57.66% ที่ความดัน 1.4 bar มีประสิทธิภาพ 62.87% และที่ความดัน 1.1 bar มีประสิทธิภาพ 46.75% ซึ่งประสิทธิภาพของการผลิตกระแสไฟฟ้าแสดงให้เห็นถึงความเร็วรอบที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองนี้ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละตัวจะมีความต้องการความเร็วรอบที่แตกต่างกันออกไป การเลือกความเร็วรอบใช้งานที่เหมาะสมจะทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพสูงสุด

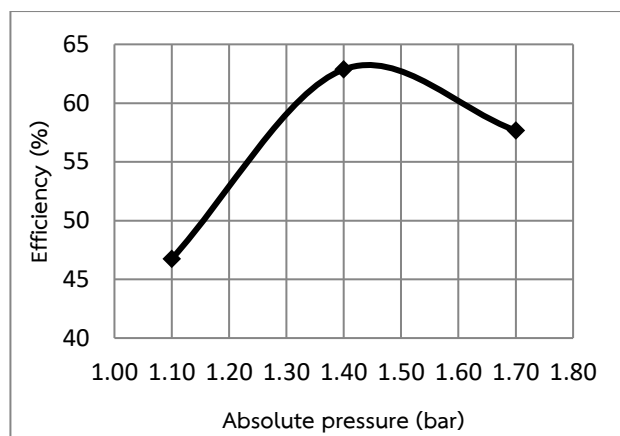


Figure 13 Efficiency of generator at various pressures.

#### 4 สรุป

จากผลการทดลองกังหันน้ำแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้ปั๊มเป็นกังหันน้ำ (Pump as turbine) ตั้งแต่การจ่ายพลังงานกระแสไฟฟ้าต้นทางจนถึงปลายทาง จากผลการทดสอบพบว่าในการทดสอบหาค่า WHP นั้น ความดันของน้ำมีผลต่อค่า WHP ที่ได้ออกมาโดยเมื่อความดันเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ได้ค่า WHP เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งจากการทดสอบได้ประสิทธิภาพ WHP สูงที่สุด 45.5% ในส่วนของการทดสอบหาค่า BHP เมื่อความเร็วรอบการหมุนของมอเตอร์เพิ่มขึ้น ค่า BHP ที่ได้จะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดแล้วจึงค่อยๆ ลดลง โดยจะมีค่า BHP สูงสุดหนึ่งค่าเสมอ จากการทดสอบได้ค่า BHP สูงสุดเท่ากับ 1,402.08 Watt คิดเป็นประสิทธิภาพ 49.45 % และการทดสอบหาประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟ้าที่ความดันต่างๆ พบว่าค่าความดันน้ำมีผลต่อค่าพลังงานไฟฟ้าที่จะได้ออกมา โดยเมื่อค่าความดันเพิ่มขึ้นค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้ก็จะมากขึ้นตามไปด้วย จากการทดสอบได้ค่าพลังงานไฟฟ้ามากที่สุด 808.50 Watt คิดเป็นประสิทธิภาพ 57.66% ได้ประสิทธิภาพสูงกว่าการทดลองของ Phuttarat (2019) ได้ประสิทธิภาพ 45.5% ส่วนหนึ่งเกิดจากการทดลองนี้เลือกใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพราะมีประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าได้ดีกว่าการใช้มอเตอร์สามเฟสมาดัดแปลงเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (นที และคณะ, 2552) การใช้มอเตอร์สามเฟสดัดแปลงเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมีต้นทุนที่ต่ำกว่าและมีขนาดให้เลือกหลากหลายมากกว่าการใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (นระ, 2546)

ผลการทดลองผลิตกระแสไฟฟ้านี้ มีการลงทุนโดยประมาณ 20,000 บาท สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่องที่ 0.8 หน่วยต่อชั่วโมง หรือ 576 หน่วยต่อเดือน ซึ่งเมื่อคำนวณเปรียบเทียบกับค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่ประมาณ 4 บาทต่อหน่วย (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2561) จะมีค่าเท่ากับ 3.2 บาทต่อชั่วโมง โครงการจะมีความคุ้มค่าเป็นระยะเวลาประมาณ 260 วัน หรือถ้ารวมค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาอาจจะทำให้จุดคุ้มทุนอยู่ที่ 1 ปี หากมีการนำไปพัฒนาการผลิตไฟฟ้าโดยใช้ปั๊มน้ำแทนกังหันน้ำแบบนี้ ให้เหมาะสมกับพื้นที่ที่มีแหล่งน้ำต้นทุนปริมาณมากและระดับความดันน้ำที่มากกว่า 15 เมตรขึ้น

ไปจะสามารถนำพลังงานน้ำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่จำเป็นต้องสร้างกังหันน้ำขึ้นมาใหม่ทำให้การทำโครงการลักษณะนี้ตายตัวขึ้นมาก เพราะนอกจากจะมีต้นทุนที่ต่ำแล้วยังสามารถประยุกต์ใช้อุปกรณ์ที่มีขายในท้องตลาดมาใช้งานได้เลย โดยไม่ต้องมีการดัดแปลงใดๆ ทำให้ประหยัดแรงงาน และเวลาที่จะใช้ไปได้อย่างมาก

#### 5 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิจัยชลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่สนับสนุนงบประมาณและเครื่องมือ อีกทั้งอนุเคราะห์สถานที่ในการดำเนินงานวิจัย

#### 6 เอกสารอ้างอิง

- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย 2564. สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงผลิตพลังงานไฟฟ้าในระบบของ กฟผ. แหล่งข้อมูล: [https://www.egat.co.th/index.php?option=com\\_content&view=article&id=2455&Itemid=116](https://www.egat.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=2455&Itemid=116) เข้าถึงเมื่อ 2 กันยายน 2563
- การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค 2561. อัตราค่าไฟฟ้า แหล่งข้อมูล: <https://www.mea.or.th/minisite/doingbusinessinbkk/download/view/1000495> เข้าถึงเมื่อ 2 กันยายน 2563
- นที ศรีทอง, คมสัน หุตะแพทย์, และ ญัฐภูมิ สุดแก้ว. 2552. กังหันลม กังหันน้ำ ผลิตไฟฟ้าใช้เอง. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์เกษตรกรรมธรรมชาติ.
- นิมิตร เติตฉันทพิพัฒน์. 2543. กลศาสตร์ของไหล. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- นระ คมนามูล. 2546. เทคโนโลยีเครื่องกังหันน้ำ. เทคโนโลยีพลังงานหมุนเวียน การพัฒนาไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : บริษัทเซเวนพรีนติ้ง กรุ๊ป จำกัด. 39-54.
- วัฒนา ถาวร. 2555. โรงไฟฟ้าพลังน้ำ. โรงต้นพลังไฟฟ้า พิมพ์ครั้งที่ 19. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น). 55-82.
- Matthias, K., Terheiden K., Silke W., 2019. Pumps as turbines for efficient energy recovery in water supply networks, Journal of Renewable Energy, 122.
- Phuttarat, S. 2019. Pump as turbine with induction generator for pico hydropower generation. Ph.D. dissertation, Naresuan University.
- Carravetta, A., Houreh, D., Ramos, M.H., 2018. Pumps as turbines : fundamentals and applications. E-book, Springer. pp.15-16.