



งานศึกษาสมรรถนะพร้อมออกแบบเครื่องกังหันน้ำชนิด 2 Jets Turgo Turbine  
สำหรับใช้งานในพื้นที่ห่างไกลระบบสายส่งในประเทศไทย

The study of 2 jets turgo turbine performance and it design  
for rural area in Thailand

กิตติพร ไร่ข้าว

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

17 ถ.พระราม 1 แขวงรองเมือง เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร. 0-2223-0021-9 ต่อ 1470

E-mail: kposew@gmail.com

**บทคัดย่อ**

งานศึกษาสมรรถนะพร้อมออกแบบเครื่องกังหันน้ำชนิด 2 Jets Turgo Turbine เพื่อใช้งานในพื้นที่ห่างไกลระบบสายส่งในประเทศไทย ได้ดำเนินการเพื่อให้ได้มาซึ่งเครื่องกังหันน้ำที่มีรูปแบบง่าย ๆ และมีสมรรถนะที่ดี เหมาะสมกับการผลิตใช้งานได้ในประเทศไทย และมีราคาไม่แพง งานศึกษานี้ได้ดำเนินการร่วมกับโครงการไฟฟ้าพลังน้ำระดับหมู่บ้าน บ้านแสนใหม่ อำเภอแม่จัน จังหวัดเชียงราย ขนาดกำลังผลิต 25 กิโลวัตต์ ความสูงหัวน้ำสุทธิ 47 เมตร อัตราการไหลของน้ำ 80 ลิตรต่อวินาที ท่อส่งน้ำมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 300 มิลลิเมตร ความยาวท่อส่งน้ำ 1,100 เมตร ควบคุมการผลิตไฟฟ้าด้วย Electronic Load Controller จากผลจากการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องกังหันน้ำชนิด 2 Jet Turgo Turbine ที่ได้รับการออกแบบ และพัฒนาในครั้งนี้มีประสิทธิภาพ 85%

คำสำคัญ: Turgo Turbine, ไฟฟ้าพลังน้ำ

Received: Oct 15, 2013

Revised: Nov 29, 2013

Accepted: Dec 08, 2013

## Abstract

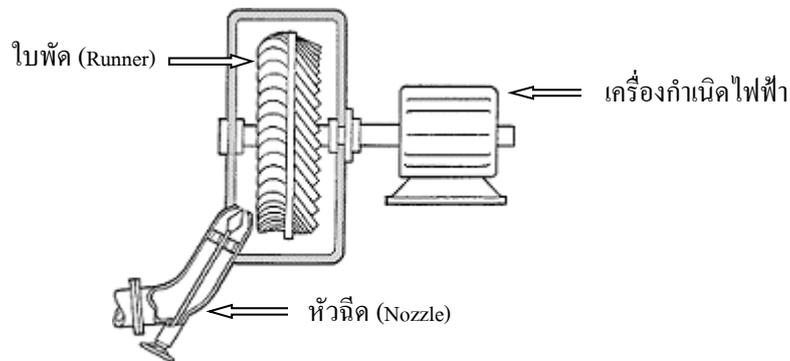
The study of 2 jets turgo turbine performance and its design for the area which far from transmission line system in Thailand was performed to obtain water turbines with a simple model and with good performance appropriate to manufacture in local. This study was conducted at the san-mai village scale hydropower project, Mae Chan District, Chiang Rai Province. (The Village Scale hydroelectric project has been built for develop rural area. The villager has to be participating in the construction of weir, Head race, Penstock, Powerhouse. The finished power plant was operating in the co-operation form. The village scale hydroelectric project was limited to 0-200 kW. 30 Year pass, all project were operated well for support the village activity. However, The Cross flow turbine which used in the project has low efficiency and not strong enough for the heavy duty operation. The purpose of this research was developing the 2 jet turgo type turbine.) With the capacity of 25 kW, The Project condition is 47 meters net head, 80 liters per second of water flow. 300 millimeter Pipe diameter, 1,100 meters pipe length. The control system is Electronic Load Controller. The manufactured turbine has 85 % efficiency. Corrosion resistance and can support for the heavy duty operation.

**Keywords:** Turgo Turbine, hydropower.

## 1. บทนำ

เครื่องกังหันน้ำชนิด Turgo Turbine จัดเป็นเครื่องกังหันน้ำแบบแรงกระทบชนิดหนึ่ง เช่นเดียวกับเครื่องกังหันน้ำชนิด Pelton Turbine เครื่องกังหันน้ำชนิด Turgo Turbine เหมาะที่จะนำมาใช้แทนเครื่องกังหันน้ำชนิด Pelton Turbine ที่มีหลายหัวฉีด ซึ่งใช้กับโครงการที่มีความสูงหัวน้ำต่ำๆ [2] หรือใช้แทนเครื่องกังหันน้ำชนิด Francis Turbine ที่ประสิทธิภาพไม่ดีในช่วงที่มีการจ่ายโหลดน้อยๆ [2] เครื่องกังหันน้ำชนิด Turgo turbine สามารถใช้กับโครงการที่มีความสูงหัวน้ำ 15-300 เมตร [3] เนื่องจากมีค่าประสิทธิภาพที่ค่อนข้างคงที่ตลอดช่วงที่ปริมาณน้ำแตกต่างกัน ทำให้สามารถใช้งานได้ดีกับกรณีที่ต้องการใช้ไฟฟ้าและปริมาณน้ำเปลี่ยนแปลงมากๆ โดยเครื่องกังหันน้ำชนิด Turgo Turbine ถูกออกแบบครั้งแรกโดย Eric Crewdson ในปี 1919 เครื่องกังหันน้ำมีขนาด 65 กิโลวัตต์ มีประสิทธิภาพ 83.5 % น้ำถูกฉีดผ่านใบกังหันน้ำจากข้างหนึ่งและออกอีกข้างหนึ่ง (รูปที่ 1) ซึ่งจะทำให้สามารถระบายน้ำที่ใช้แล้วออกจากใบกังหันน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่ไปรบกวนน้ำด้านขาเข้าสู่ใบเครื่องกังหันน้ำ ทำให้สามารถออกแบบให้ลำน้ำที่ใช้ฉีดสู่ใบเครื่องกังหันน้ำมีขนาดใหญ่กว่า เมื่อเทียบกับ Pelton Turbine ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากัน ซึ่งเป็นผลให้ได้ค่าความเร็วจำเพาะมากกว่า และมีขนาดเล็กกว่า Pelton Turbine ทำให้ออกแบบและผลิตได้ง่าย ช่วยในการลดราคาเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีความเร็วรอบ (Rated speed) สูง จะมีจำนวนขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าน้อยกว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีความเร็วรอบ (Rated speed) ต่ำ ตามความสัมพันธ์  $N = 120f/P$  จึงทำให้ขนาดของเครื่อง

กำเนิดไฟฟ้าที่มีความเร็วรอบสูงกว่ามีขนาดเล็กกว่า เมื่อ  $P$  คือ จำนวนขั้วของขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้า  $N$  คือความเร็วรอบและ  $f$  คือค่าความถี่ทางไฟฟ้า

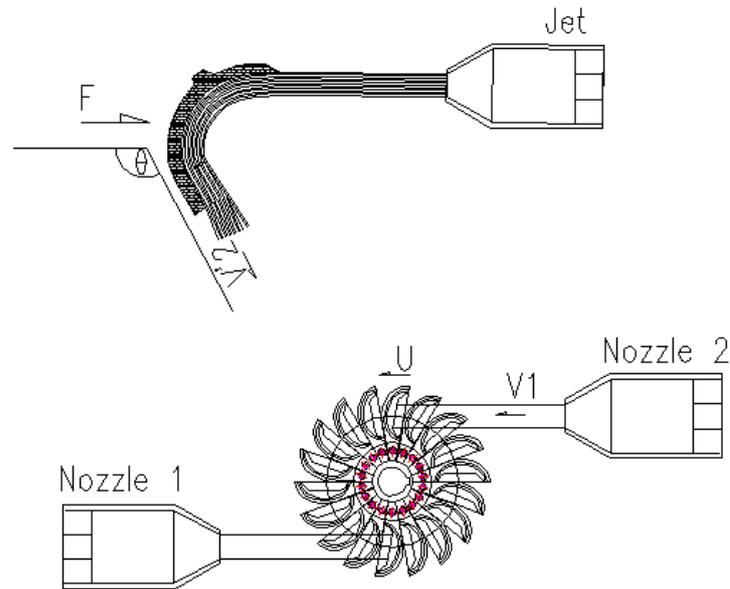


รูปที่ 1 เครื่องกังหันน้ำชนิด Turgo Turbine [4]

มีรายงานการศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบเครื่องกังหันน้ำชนิด Turgo Turbine น้อยมาก และมีบริษัทที่ผลิตเครื่องกังหันน้ำชนิดนี้น้อยมากเช่นกัน Gibson [1] ได้กล่าวถึงเครื่องกังหันน้ำชนิดนี้แต่ไม่ได้กล่าวถึงการออกแบบใบของเครื่องกังหันน้ำชนิดนี้ และรูปแบบเครื่องกังหันน้ำชนิด Turgo Turbine ที่ Eric Crewdson คิดค้นและออกแบบไว้มีเพียง 1 หัวฉีด และใบของเครื่องกังหันน้ำมีความซับซ้อนซึ่งต้องหล่อใบกังหันน้ำทั้งชุดในครั้งเดียว ทำให้การออกแบบและทำแม่พิมพ์ทำได้ยาก การศึกษาสมรรถนะพร้อมออกแบบเครื่องกังหันน้ำชนิด 2 Jets Turgo Turbine จึงมีความน่าสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากการเพิ่มจำนวนหัวฉีดของเครื่องกังหันน้ำจาก 1 หัวฉีด เป็น 2 หัวฉีด จะส่งผลให้เครื่องกังหันน้ำสามารถทำงานได้ดีและมีกำลังเพิ่มขึ้นเทียบเท่ากับเครื่องกังหันน้ำ 1 หัวฉีด ที่มีความเร็วจำเพาะเท่ากับ 1.4 เท่าของความเร็วจำเพาะเดิม [3] เนื่องจากความเร็วจำเพาะ ( $N_s$ ) แปรผันโดยตรงกับค่ากำลัง ( $P$ ) ตามความสัมพันธ์  $N_s = (N\sqrt{P}) / (H^{5/4})$  เมื่อ  $H$  คือความสูงหัวน้ำ และการหล่อใบกังหันน้ำที่ละใบและนำมาเชื่อมประกอบเป็นใบกังหันน้ำ สามารถผลิตได้ง่ายโดยใช้เทคโนโลยีภายในประเทศ

## 2. วัตถุประสงค์และวิธีดำเนินการวิจัย

เครื่องกังหันน้ำแบบแรงกระแทก (Impulse turbine) เป็นเครื่องกังหันน้ำที่หมุนได้ด้วยการรับแรงกดของน้ำภายใต้ความดันบรรยากาศ โดยน้ำจะไหลจากอ่างเก็บน้ำหรือฝายทดน้ำ (Diversion weir) ผ่านท่อส่งน้ำ (Penstock) แล้วไหลผ่านหัวฉีด (nozzle) เข้ากระแทกกับใบพัดถ้วย (Bucket) ที่ถูกเชื่อมหรือยึดด้วย Bolt & Nut อยู่รอบๆ หน้าจานรูปวงกลม พลังงานศักย์ของน้ำถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์ในการหมุนกังหัน



รูปที่ 2 แรงและความเร็วของลำน้ำที่เข้าและออกจากใบพัด

การพุ่งของลำน้ำเข้ากระทบบใบพัดตามรูปที่ 2 สามารถเขียนสมการโมเมนตัมตามทิศทางการไหลได้

[5]

$$-F = \rho Q(V_2' \cos \theta - V_1') \quad (1)$$

- เมื่อ  $F$  คือ แรงที่กระทำกับใบพัด (N)  
 $V_2'$  คือ ความเร็วน้ำออกจากใบพัด (m/s)  
 $V_1'$  คือ ความเร็วน้ำเข้าสัมผัสกับใบพัด (m/s)  
 $\rho$  คือ ความหนาแน่นของน้ำ (kg/m<sup>3</sup>)  
 $Q$  คือ อัตราการไหลของน้ำ (m<sup>3</sup>/s)  
 $\theta$  คือ มุมสะท้อนของลำน้ำ

และเมื่อลำน้ำเคลื่อนที่ผ่านผิวใบพัด ทำให้เกิดแรงเสียดทานและส่งผลให้ความเร็วของลำน้ำลดลงตามสมการ

$$V_2' = kV_1' \quad (2)$$

เมื่อ  $k$  คือสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใบพัด ปกติแล้ว  $k \leq 1$   
 แทนค่า  $V_2'$  ในสมการที่ 1 จะได้

$$\begin{aligned} -F &= \rho Q(kV_1' \cos \theta - V_1') \\ F &= \rho QV_1'(1 - k \cos \theta) \end{aligned} \quad (3)$$

เนื่องจาก  $V_1' = V_1 - U$  เมื่อแทนค่า  $V_1' = V_1 - U$  ในสมการที่ 3 จะได้

$$F = \rho Q(V_1 - U)(1 - k \cos \theta) \tag{4}$$

เมื่อ  $U$  คือ ความเร็วใบพัด (m/s)

$V_1$  คือ ความเร็วน้ำเข้าใบพัด (m/s)

เนื่องจากกำลัง (power) ที่เกิดขึ้นจากการถ่ายเทพลังงานจากลำน้ำสู่ใบพัด สามารถคำนวณได้จาก

$$P = FU \tag{5}$$

แทนค่าในสมการที่ 4 จะได้

$$P = \rho Q(V_1 - U)(1 - k \cos \theta)U \tag{6}$$

จากสมการที่ 5 พบว่าเมื่อกังหันน้ำยังไม่หมุน ( $U = 0$ ) ทำให้กำลังที่ได้เท่ากับ 0 และเมื่อกังหันน้ำหมุนด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วของลำน้ำ กำลังที่ได้ก็จะเท่ากับ 0 เช่นกัน เมื่อหาอนุพันธ์ของสมการที่ 6 เทียบกับความเร็วของเครื่องกังหันน้ำ และให้เท่ากับ 0 จะได้

$$\frac{dP}{dU} = \rho Q((1 - k \cos \theta)(V_1 - 2U)) = 0 \tag{7}$$

จากสมการที่ 7 พบว่าสมการจะเป็นจริงก็ต่อเมื่อ

$$U = \frac{V_1}{2} \tag{8}$$

แสดงว่าเมื่อกังหันน้ำหมุนด้วยความเร็ว  $U$  เท่ากับครึ่งหนึ่งของความเร็วลำน้ำ จะทำให้เกิดกำลังสูงสุด ดังนั้นเมื่อแทนค่า  $U$  ในสมการที่ 6 จะได้

$$P_{\max} = \frac{\rho Q V_1^2 (1 - k \cos \theta)}{4} \tag{9}$$

จากสมการที่ 9 จะเห็นได้ว่า เมื่อ  $k = 1$  และ  $\theta = 180^\circ$  จะทำให้เกิดกำลังสูงสุด

$$P_{\max} = \frac{\rho Q V_1^2}{2} \tag{10}$$

เลือกใช้มุมสะท้อนของกระแส น้ำเท่ากับ  $165^\circ$  เป็นมาตรฐานในการออกแบบ ความเร็วของลำน้ำอิสระที่พุ่งออกมาจากหัวฉีดสามารถหาได้จากสมการ

$$c = \phi \cdot \sqrt{2gH} \approx 0.97 \cdot \sqrt{2gH} \tag{11}$$

เมื่อ  $g$  คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก (m/s<sup>2</sup>)

$H$  คือ ความสูงหัวน้ำ (m)

$\phi$  คือ ค่าประสิทธิภาพของหัวฉีด และขนาดของหัวฉีดสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Q = \frac{\pi}{4} d^2 c \quad (12)$$

โดยทั่วไปแล้วจะต้องออกแบบให้ใบพัดรูปถ้วยมีขนาดเล็กที่สุดเพื่อลด Drag force ดังนั้น ความเร็วของเครื่องกังหันน้ำที่ดีที่สุดจะอยู่ที่ 46-47 % ของความเร็วลำนํ้า [6]

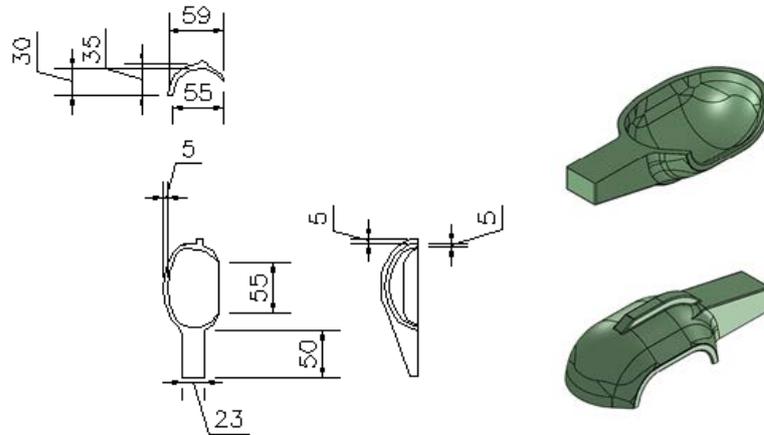
$$U_1 \approx (0.46 - 0.47) \cdot c \quad (13)$$

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$D = \frac{60U_1}{\pi n} \quad (14)$$

เมื่อ  $n$  คือ ความเร็วรอบการหมุนของเครื่องกังหันน้ำ (rpm)

ออกแบบใบของเครื่องกังหันน้ำชนิด Turgo turbine (รูปที่ 3) โดยใช้โปรแกรม Autocad และ Mechanical Desktop และทำโมดล์เพื่อหล่อใบพัดโดยใช้เหล็กเกรด ASTM-A743 CA6NM นำมาขึ้นน็อตเข้ากับหน้าแปลนรูปวงกลม ก่อนทำการเชื่อม เครื่องกังหันน้ำที่ผลิตเสร็จแล้ว นำไปติดตั้ง และทดสอบก่อนมอบให้ชาวบ้านใช้งานจริง ณ โครงการไฟฟ้าพลังน้ำบ้านแสนใหม่ จังหวัดเชียงราย (รูปที่ 4)



รูปที่ 3 การออกแบบใบกังหันน้ำและเขียนแบบด้วย โปรแกรม Autocad และ Mechanical Desktop



รูปที่ 4 ใบกังหันแบบ Turgo และภาพประกอบเมื่อติดตั้งแล้วเสร็จ

การทดสอบเครื่องกังหันน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เริ่มต้นจากการปล่อยน้ำเข้าลวดใบกังหันจนเครื่องกังหันน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีความเร็วรอบ 1,500 รอบต่อนาที จากนั้นระบบควบคุม Electronic load controller จะเริ่มทำงานควบคุมให้เครื่องกังหันน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีรอบคงที่และมีความถี่คงที่ 50 เฮิร์ต ชุดควบคุมแรงดันอัตโนมัติจะควบคุมให้แรงดันไฟฟ้าคงที่ที่ 380 โวลต์ จากนั้นติดตั้งเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำแบบ Ultrasonic flow meter ชนิด Maxiflo โมเดล Handheld (MU-HA) เข้ากับท่อส่งน้ำเพื่อวัดอัตราการไหล ติดตั้ง Pressure Gauge ที่ได้รับการ Calibrate แล้วเข้ากับท่อส่งน้ำก่อนเข้าสู่เครื่องกังหันน้ำ เมื่อทุกอย่างพร้อมแล้วเริ่มทำการทดสอบไหลจาก 0-100% โดยเพิ่มไหลขึ้นครั้งละ 25 % ในการปรับอัตราการไหลของน้ำดำเนินการโดยเปิดน้ำพร้อมกันทั้ง 2 หัวฉีด เก็บข้อมูลอัตราการไหล ความดันน้ำ กระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้า นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณเป็นค่าประสิทธิภาพของเครื่องกังหันน้ำ ผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องกังหันน้ำที่ได้จะเป็นตัวบ่งชี้ว่าเครื่องกังหันน้ำชนิด 2 หัวฉีดที่ได้ออกแบบมีคุณลักษณะที่เหมาะสมหรือไม่ เพราะหากเครื่องกังหันน้ำที่ออกแบบมีค่าความเร็วจำเพาะที่ไม่เหมาะสม เครื่องกังหันน้ำที่ออกแบบจะมีกำลังไม่ถึงตามที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งเครื่องกังหันน้ำแต่ละชนิดจะมีค่าความเร็วจำเพาะที่เหมาะสมสำหรับเครื่องกังหันน้ำชนิดนั้นๆ ดังแสดงในตารางที่ 1 สำหรับงานวิจัยนี้ได้ดำเนินการที่ขนาดกำลังผลิต 25 กิโลวัตต์ ความสูงหัวน้ำสุทธิ 47 เมตร อัตราการไหลของน้ำ 80 ลิตรต่อวินาที หากคำนวณค่าความเร็วจำเพาะตามสมการ  $N_s = (N\sqrt{P}) / (H^{5/4})$  เมื่อ  $N$  คือความเร็วของเครื่องกังหันน้ำ 1,500 rpm  $P$  คือกำลังผลิต(kW) และ  $H$  คือความสูงหัวน้ำ (m) โดยหากใช้หัวฉีดเพียง 1 หัวฉีด จะได้ความเร็วจำเพาะ 66 ซึ่งเป็นค่าความเร็วจำเพาะที่ไม่เหมาะสมตามตารางที่ 1 ซึ่งจากสมการตัวแปรต่างๆมีค่าคงที่ ยกเว้นกำลังผลิตที่จะเปลี่ยนแปลงได้ การออกแบบเครื่องกังหันน้ำที่มีความเร็วจำเพาะไม่เหมาะสมจะทำให้เครื่องกังหันน้ำที่ออกแบบมีกำลังลดลง ไม่ได้ตามที่ออกแบบไว้ เพื่อรักษาค่าความเร็วจำเพาะให้เหมาะสมกับเครื่องกังหันน้ำชนิดนั้นๆ การเพิ่มจำนวนหัวฉีดของเครื่องกังหันน้ำจาก 1 หัวฉีด เป็น 2 หัวฉีด จะส่งผลให้เครื่องกังหันน้ำสามารถทำงานได้ดีและมีกำลังเพิ่มขึ้น เทียบเท่ากับเครื่องกังหันน้ำ 1 หัวฉีด ที่มีความเร็วจำเพาะเท่ากับ 1.4 เท่าของความเร็วจำเพาะเดิม [3] กำลังของเครื่องกังหันน้ำก็จะได้ตามที่ได้ออกแบบ

ตารางที่ 1 ความเร็วจำเพาะ (Specific Speed) ของเครื่องกังหันน้ำชนิดต่างๆ [3]

Type of Runner	Specific Speed ( $N_s$ )
Pelton	12-30
Turgo	20-70
Cross Flow	20-80
Francis	80-400
Propeller and Kaplan	340-1,000

### 3. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย

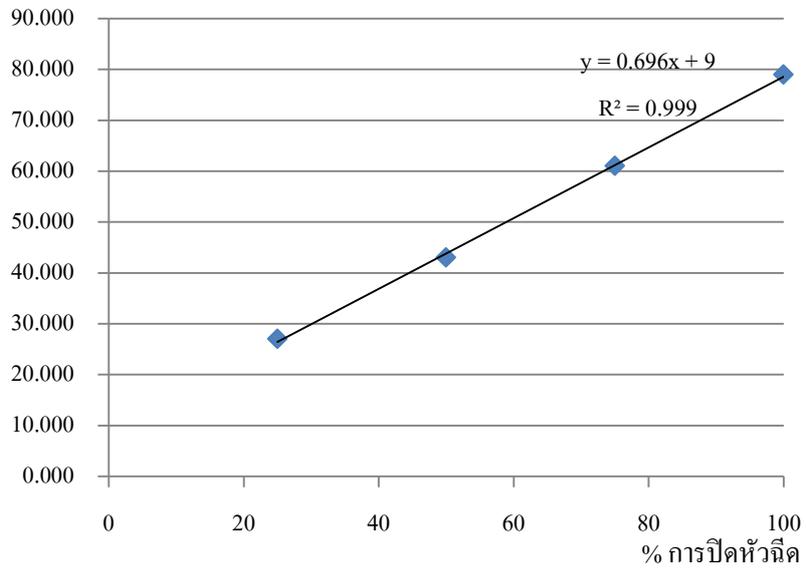
ทำการเก็บข้อมูลทุก 25 % การเปิดหัวฉีด หัวฉีดที่ออกแบบสามารถควบคุมอัตราการไหลได้เกือบ Linear

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบเดินเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้า

Nozzle (%)	$P$ (kW)	$Q$ (m <sup>3</sup> /s)	$H_1$ (m)	P.F. ( $\cos \theta$ )	Volt Generator			Amp. Generator			T/G ef (%)	Tur ef (%)
					A	B	C	A	B	C		
25	7	0.027	47	1	382	383	383	10	11	10.7	0.56	0.62
50	14	0.043	47	1	382	383	383	20.4	21.9	21	0.7	0.78
75	21	0.061	47	1	383	384	384	30.8	32	31.9	0.74	0.82
100	28	0.079	47	1	383	385	384	41.6	42.7	42.1	0.75	0.85

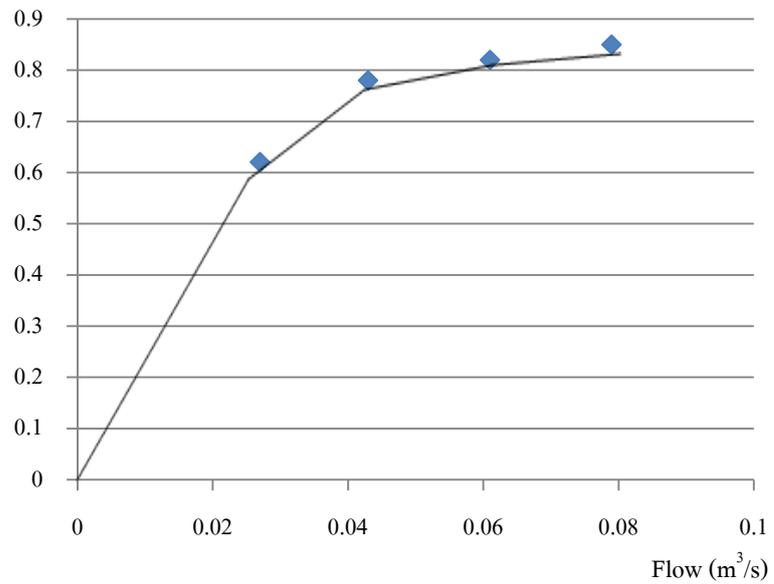
จากรูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การเปิดหัวฉีดและอัตราการไหล ซึ่งจะพบว่าความสัมพันธ์เป็นไปแบบแปรผันโดยตรง โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การเปิดหัวฉีดและอัตราการไหลเป็นไปตามสมการ  $y=0.696x+9$  ซึ่งความสัมพันธ์ที่เป็นเชิงเส้น (Linear) แบบนี้บ่งชี้ได้ว่าหัวฉีดที่ออกแบบสามารถนำไปควบคุมปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าได้ดี

อัตราการไหล (litre/s)



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การเปิดหัวฉีดและอัตราการไหล

Efficiency %



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของเครื่องกั้นน้ำและอัตราการไหล

จากรูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของเครื่องกังหันน้ำและอัตราการไหล จะพบว่า ประสิทธิภาพของเครื่องกังหันน้ำเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก และไปคงที่อยู่ที่ประมาณ 80 % ทำให้สามารถ นำเครื่องกังหันน้ำชนิดนี้ไปใช้ได้เป็นอย่างดีมีประสิทธิภาพในทุกสภาพไหล

#### 4. สรุปผลการวิจัย

จากตารางที่ 2 เครื่องกังหันน้ำชนิด 2 หัวฉีด ที่ออกแบบและผลิตและทำการทดสอบในงานวิจัยนี้ มี ประสิทธิภาพ 62% ที่อัตราการไหล 27 ลิตรต่อวินาที และเพิ่มขึ้นเป็น 78%, 82%, และ 85%, ที่อัตราการไหล 43, 61, และ 79 ลิตรต่อวินาที ตามลำดับ ค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้ 28 kW ดีกว่าที่ได้ออกแบบไว้ คือมากกว่า 25 kW มี หัวฉีดที่สามารถควบคุมการไหลของน้ำได้อย่างเป็น linear สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการพัฒนาประเทศ ต่อไป

#### 5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Gibson AH, *Hydraulics and its applications*, Constable & Co. Ltd, UK, 1952.
- [2] Harvey A, Brown A, Hettiarachi P, Inversin A et al., A guide to small-scale water power schemes, *Micro-Hydro Design Manual*, (1993), 153-185.
- [3] Inversin A, *Micro-Hydropower Sourcebook* (1986) 171-198.
- [4] A Modern Assessment of Hydraulic Turbine, University of Edinburgh Available: <http://www.see.ed.ac.uk>.
- [5] Warnick C.C, Mayo H.A, Carson J.L, Sheldon L.H, *Hydropower Engineering*, 1984.
- [6] Nechleba M, *Hydraulic Turbines. Their Design and Equipment*, 1957.