

การศึกษาประสิทธิภาพของกังหันน้ำตามแนวแกนแบบขั้นเดียว

STUDY ON SINGLE STAGE AXIAL FLOW TURBINE

มณฑล ไจกุล และ อุณัติ พิณโสภณ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

โทร 0-2326-9987 โทรสาร 0-2326-9053 อีเมล kpchamlo@kmitl.ac.th

Monton Jaikuson and Unnat Pinsopon

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Chalongkrung Rd., Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

Tel: 0-2326-9987, Fax: 0-2326-9053, E-mail: kpchamlo@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการทดสอบหาประสิทธิภาพของกังหันน้ำตามแนวแกนแบบขั้นเดียว ซึ่งใบพัดของกังหันนี้ออกแบบตามมาตรฐาน NACA 6510 การศึกษาจะมีการเปลี่ยนจำนวนใบพัด 3 ใบ 4 ใบ และ 5 ใบ พร้อมทั้งสามารถปรับมุมใบพัดของกังหันน้ำได้ จากผลการทดลองพบว่า เมื่อมุมใบพัดอยู่ระหว่าง 20 ถึง 50 องศา จำนวนใบพัดมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของกังหันน้อย และเมื่อมุมใบพัดมากกว่า 50 องศา จำนวนใบพัดยิ่งมีค่ามากจะทำให้ประสิทธิภาพของกังหันน้ำมีค่าสูงตาม ซึ่งประสิทธิภาพของกังหันจะมีค่าสูงสุดเมื่อทำการปรับมุมใบพัดอยู่ระหว่าง 70 ถึง 80 องศา สุดท้ายเมื่อทำการติดตั้งใบบังคับทิศทาง พบว่าประสิทธิภาพของกังหันน้ำที่มีการติดตั้งใบบังคับทิศทาง จะมีประสิทธิภาพสูงกว่ากังหันน้ำที่ไม่มีการติดตั้งใบบังคับทิศทาง

Abstract

This project bases on the finding of the efficiency of a single stage axial flow hydro-turbine of which blades have been properly designed and created according to the standard of NACA 6510. The studies were held in several aspects of the changing quantity of blades from 3 to 4 and 5 blades respectively. Simultaneously, the studies were also done in the differently adjusted blade angles. As the result of the experiments, it's found that the number of blades has a little influence on the efficiency of hydro-turbine in case that the blade angles are between 20 to 50 degrees. On the other hand, its influence on the efficiency of hydro-turbine becomes more important when the blades angles are more than 50 degree. The maximum efficiency of hydro-turbine is available when the blade angles are approximately

between 70 to 80 degrees. Finally, when a set of guide vane was installed, it showed that the efficiency of the hydro-turbine with guide vanes is much higher than that of the hydro-turbine without guide vanes.

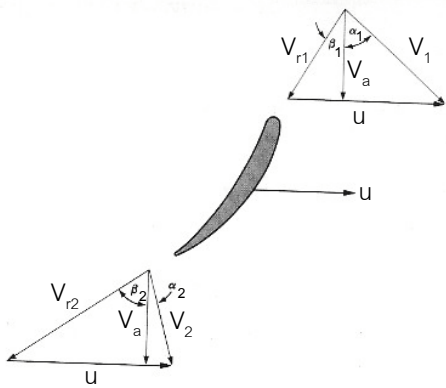
1. บทนำ

ในสถานการณ์ปัจจุบันนี้ มีการนำพลังงานไฟฟ้ามาใช้กันมาก ซึ่งพลังงานไฟฟ้าถูกผลิตได้หลายวิธี วิธีหนึ่งก็คือการใช้กังหันน้ำมาผลิต ซึ่งกังหันน้ำสามารถแปลงพลังงานของของไหลให้เป็นพลังงานเชิงกล และพลังงานเชิงกลสามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ต่อไป กังหันน้ำตามแนวแกนเป็นกังหันน้ำชนิดหนึ่งที่มีน้ำไหลผ่านตามแนวแกน เหมาะกับการทำงานภายใต้เฮดของแหล่งน้ำที่ไม่สูงมากนัก ใบพัดของกังหันน้ำชนิดนี้จะยึดติดกับแกนเพลาลงน้ำทำให้ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงมุมของใบพัดได้ตามสภาวะที่เปลี่ยนแปลงไป โดยเครื่องกังหันน้ำจะทำงานที่ประสิทธิภาพสูงสุดภายใต้สภาวะทำงานเต็มที่ ส่วนประกอบหลักของกังหันน้ำตามแนวแกนคือ ใบพัด ใบบังคับทิศทางเรือนเครื่องกังหันน้ำและท่อทางออกของน้ำ[1] กังหันน้ำตามแนวแกนแบบขั้นเดียว (Single Stage Axial Flow Turbine) เป็นกังหันที่มีใบพัดหมุน (Runner) จำนวนหนึ่งชุด ซึ่งสามารถเปลี่ยนพลังงานของของไหลไปเป็นพลังงานเชิงกลได้[2]

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและใช้ในการออกแบบ

2.1 ทฤษฎีพื้นฐานของกังหัน

กำลังงานที่ผลิตได้จากกังหันน้ำตามแนวแกนแบบหลายขั้นมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับทิศทางและความเร็วของของไหลที่ไหลผ่านใบพัดของกังหัน ซึ่งทิศทางและความเร็วของของไหลที่ไหลผ่านใบพัดสามารถแสดงให้อยู่ในรูปเวกเตอร์ความเร็ว (Velocity Triangle) ดังแสดงในรูปที่ 1 [3]

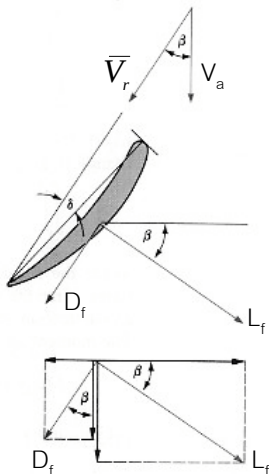


รูปที่ 1 แสดงเวกเตอร์ความเร็วเมื่อไหลผ่านใบพัด

จากสมการพลังงานและสมมติให้เป็นการไหลแบบอัดตัวไม่ได้ (Incompressible Flow) สามารถหาสมการกำลังงานที่ผลิตได้ ดังนี้

$$\text{กำลังงานที่ผลิตได้} = T\omega = \rho Q u (V_{t1} - V_{t2}) \quad (1)$$

แรงบิดจากสมการ (1) เกิดจากแรงของของไหลที่กระทำต่อใบพัด และทำให้ใบพัดของกังหันมีการหมุน แรงที่กระทำต่อใบพัดแต่ละใบมี 2 ชนิดคือ แรงยก (Lift Force) และแรงต้าน (Drag Force) ซึ่งทิศทางของแรงยกและแรงต้านที่กระทำต่อใบพัดแต่ละใบมีลักษณะดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงแรงยกและแรงต้านที่กระทำต่อใบพัด

สมการแรงยกและแรงต้านมีสมการดังข้างล่างนี้

$$\text{แรงยก} = L_f = C_L \frac{\rho \bar{V}_r^2 A_p}{2} \quad (2)$$

$$\text{แรงกด} = D_f = C_D \frac{\rho \bar{V}_r^2 A_p}{2} \quad (3)$$

โดยที่

$$\bar{V}_r = \frac{V_{r1} + V_{r2}}{2}$$

แรงทั้งสองสามารถรวมเป็นแรงลัพธ์ตามแนวแกนและแรงลัพธ์ตามแนวสัมผัสได้ดังสมการดังนี้

$$\text{แรงลัพธ์ตามแนวแกน} = F_a = L_f \sin \beta + D_f \cos \beta \quad (4)$$

และ

$$\text{แรงลัพธ์ตามแนวสัมผัส} = F_t = L_f \cos \beta - D_f \sin \beta \quad (5)$$

ประสิทธิภาพรวมของกังหันเป็นตัวแปรไร้มิติที่สำคัญที่บ่งบอกสมรรถนะของกังหัน สมการประสิทธิภาพรวมของกังหันหาได้จาก

$$\text{ประสิทธิภาพรวม} = \eta_t = \eta_{mech} \eta_{vol} \eta_{hyd} \quad (6)$$

$$\text{สำหรับ ประสิทธิภาพ Volumetric} = \eta_{vol} = 100\%$$

$$\text{จะได้ ประสิทธิภาพรวม} = \eta_t = \frac{T\omega}{\text{InputPower}} \quad (7)$$

$$\text{โดยที่ } \text{InputPower} = \rho g Q_i H_i = Q_i \left(P_i + \frac{\rho V_i^2}{2} \right)$$

2.2 การออกแบบแอร์ฟอยล์

การออกแบบแอร์ฟอยล์ (Airfoil) ที่ใช้ในการทดลองได้ออกแบบแอร์ฟอยล์ โดยใช้มาตรฐาน NACA 6510[4] ทั้งนี้เพราะรูปร่างใบพัดที่ใช้ตามมาตรฐานนี้ให้ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงยกสูงสุดและค่าสัมประสิทธิ์ของแรงต้านต่ำ

ทฤษฎีในการออกแบบแอร์ฟอยล์ตามมาตรฐาน NACA 6510 มีขั้นตอนการคำนวณดังต่อไปนี้

2.2.1 เลือกค่า x ตั้งแต่ 0 ถึงความยาวของ Chord

2.2.2 คำนวณหาค่าเฉลี่ยของเส้นโค้ง (Camber line) ในแต่ละพิกัด x

$$y_c = \frac{m(2px - x^2)}{p^2} \quad \text{เมื่อ } x = 0 \text{ ถึง } x = p \quad (8)$$

2.2.3 คำนวณการกระจายตัวของความหนาแน่นบนและด้านล่างแอร์ฟอยล์ของเส้นในแต่ละพิกัด x

$$\pm y_t = \frac{t \left(0.2969x\sqrt{x} - 0.126x - 0.3516x^2 + 0.2843x^3 - 0.1015x^4 \right)}{0.2} \quad (9)$$

2.2.4 กำหนดพิกัดสุดท้ายสำหรับหาพิกัดด้านบนและด้านล่าง

ล่าง

$$x_u = x - y_t \sin \theta$$

$$y_u = y_c + y_t \cos \theta \quad (10)$$

$$x_L = x + y_t \sin \theta$$

$$y_L = y_c - y_t \cos \theta$$

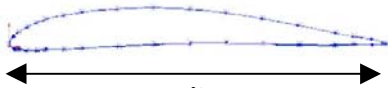
$$\text{โดยที่ } \theta = \arctan \left(\frac{dy_c}{dx} \right)$$

การออกแบบแอร์ฟอยล์ตามมาตรฐาน NACA 6510 ได้ใช้โปรแกรม DesignFOIL มาออกแบบหารูปร่างของแอร์ฟอยล์ ซึ่งความยาวแอร์ฟอยล์ของใบพัดมีรูปร่างดังแสดงในรูปที่ 3a ถึง 3c



ความยาวเท่ากับ 104.72 มม.

รูปที่ 3a แสดงรูปร่างแอร์ฟอยล์ของกังหันชนิดสามใบ



ความยาวเท่ากับ 78.54 มม.

รูปที่ 3b แสดงรูปร่างแอร์ฟอยล์ของกังหันชนิดสี่ใบ



ความยาวเท่ากับ 62.83 มม.

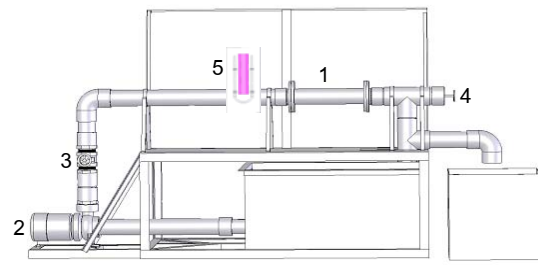
รูปที่ 3c แสดงรูปร่างแอร์ฟอยล์ของกังหันชนิดห้าใบ

3. ชุดทดลอง

ชุดทดลองเพื่อใช้ทดสอบประสิทธิภาพของกังหันตามแนวแกนแบบขึ้นเดียวมีส่วนประกอบหลักดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งการเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำทำได้โดยการปรับวาล์ว โดยมีปั้มน้ำเป็นตัวขับน้ำให้ไหลภายในท่อทดลองซึ่งภายในท่อบรรจุกังหันอยู่ภายใน อัตราการไหลน้ำที่ใช้ทดลอง คือ 900, 1020, 1200, 1430 และ 1550 ลิตร/นาที จำนวนใบพัดของกังหันที่ใช้ทดลองมีจำนวนตั้งแต่ 3, 4 และ 5 ใบ พร้อมกับสามารถปรับมุมใบพัดที่ใช้ทดลองได้จาก 20 ถึง 85 องศา

นอกจากนี้ยังได้ทำการทดลองหาประสิทธิภาพของกังหันโดยติดตั้งใบบังคับทิศทางด้วย ซึ่งใบบังคับทิศทางของกังหันสามารถทำการปรับมุมใบบังคับทิศทางจาก 10 ถึง 40 องศา

การหากำลังงานที่ผลิตได้จากกังหันจะต้องหาจากแรงบิดและความเร็วรอบของกังหัน ซึ่งการวัดแรงบิดและความเร็วรอบของกังหันสามารถวัดได้จากแรงดึงของสปริงที่ต่อกับหน้าจานที่ใช้วัดแรงบิด และจากเครื่องมือวัด Tachometer ตามลำดับ



รูปที่ 4 แสดงส่วนประกอบหลักของชุดทดลอง

ชุดทดสอบหลักมีส่วนประกอบที่สำคัญดังต่อไปนี้

1. บริเวณที่ติดตั้งกังหันน้ำตามแนวแกนเดียว
2. ปั้มน้ำ
3. วาล์วสำหรับปรับอัตราการไหล
4. หน้าจานวัดแรงบิด
5. U-tube Manometer เพื่อวัดความดันน้ำ

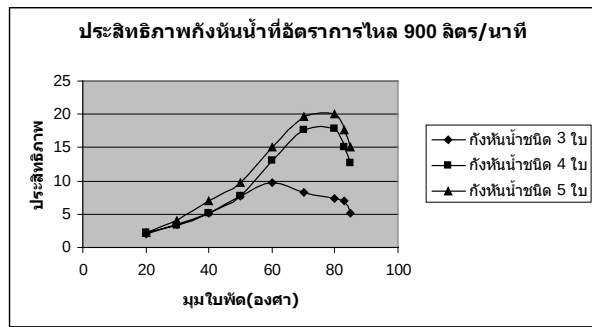


รูปที่ 5 แสดงบริเวณที่ติดตั้งกังหัน

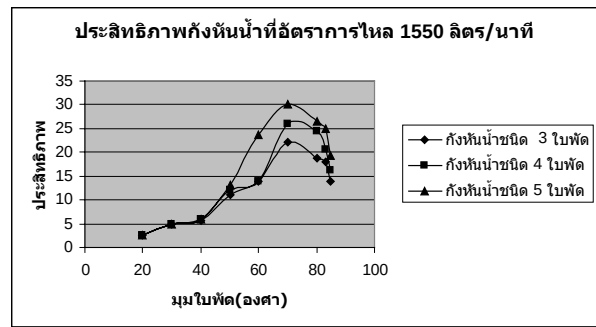
4. การวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับมุมใบพัด เมื่อไม่มีการติดตั้งใบบังคับทิศทาง

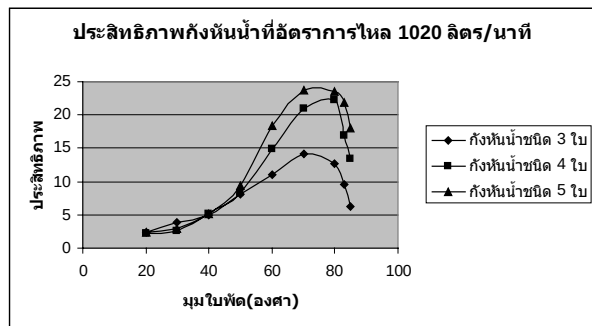
พิจารณากราฟจากรูปที่ 6a ถึง 6e ในกรณีที่ไม่มีการไหลคงที่พบว่า จำนวนใบพัดมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพน้อยเมื่อมุมใบพัดอยู่ระหว่าง 20 ถึง 50 องศา ทั้งนี้เพราะทิศทางของของไหลก่อนเข้ากังหันไม่ได้มีทิศทางไหลตามแนวแกนของท่อทั้งหมดและพื้นที่ภาพฉายของใบพัดยังมีค่าน้อย จึงมีผลทำให้ประสิทธิภาพมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก ต่อจากนั้นเมื่อทำการปรับมุมใบพัดต่อไป จำนวนใบพัดมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพมากขึ้นกล่าวคือ จำนวนใบพัดยังมีจำนวนมากประสิทธิภาพของกังหันยังมีค่าสูงขึ้นและประสิทธิภาพจะมีค่าสูงสุดอยู่ระหว่าง 70 ถึง 80 องศา ทั้งนี้เนื่องจากระยะห่างของใบพัดแต่ละใบที่แคบลงทำให้ของไหลมีการถ่ายเทพลังงานให้ใบพัดมากขึ้นซึ่งมีผลทำให้ประสิทธิภาพของกังหันที่มีจำนวนใบพัดมากมีประสิทธิภาพสูงกว่า จำนวนใบพัดน้อย หลังจากนั้นเมื่อทำการปรับมุมใบพัดมากขึ้นอีกประสิทธิภาพจะมีแนวโน้มลดลง ซึ่งประสิทธิภาพที่ลดลงนั้นเกิดจากมีแรงฉุดมากระทำต่อใบพัดมากขึ้น



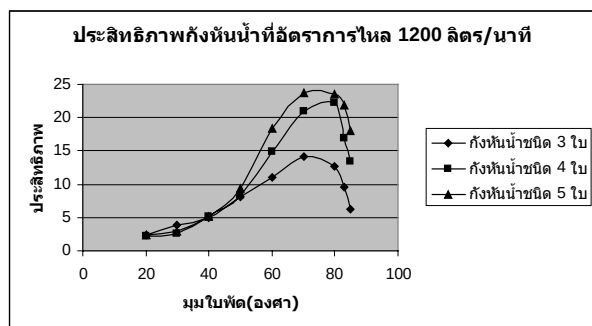
รูปที่ 6a กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับมุมใบพัดที่อัตราการไหล 900 ลิตร/นาที่



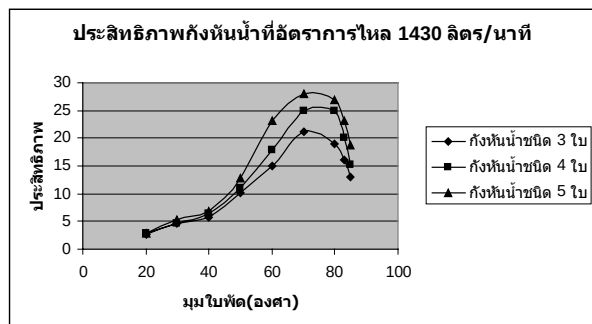
รูปที่ 6e กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับมุมใบพัดที่อัตราการไหล 1550 ลิตร/นาที่



รูปที่ 6b กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับมุมใบพัดที่อัตราการไหล 1020 ลิตร/นาที่



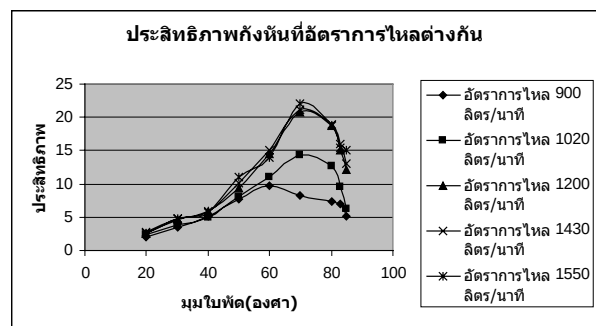
รูปที่ 6c กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับมุมใบพัดที่อัตราการไหล 1200 ลิตร/นาที่



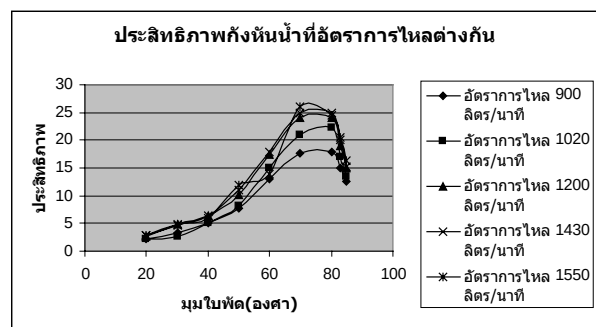
รูปที่ 6d กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับมุมใบพัดที่อัตราการไหล 1430 ลิตร/นาที่

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับมุมใบพัดที่อัตราการไหลต่างกัน

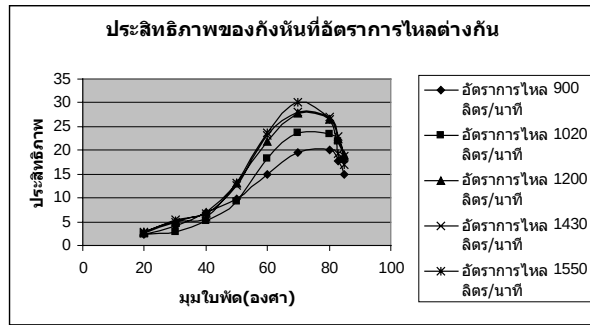
จากเส้นกราฟในรูปที่ 7 พบว่า เมื่อปรับอัตราการไหลมีค่ามากขึ้น (900, 1020 และ 1200 ลิตร/นาที่) อัตราการไหลที่มากขึ้นจะมีผลทำให้ประสิทธิภาพของกังหันสูงขึ้นตาม และ เมื่อปรับอัตราการไหลมากขึ้นอีก (1430 และ 1550 ลิตร/นาที่) อัตราการไหลที่มากขึ้นไปไม่ได้ทำให้ค่าประสิทธิภาพของกังหันมีค่าสูงตาม ทั้งนี้เนื่องจากการถ่ายเทพลังงานของของไหลให้กับใบพัดยังไม่สามารถถ่ายเทพลังงานได้อย่างเต็มที่ ซึ่งมีผลทำให้กำลังงานที่ผลิตได้จากกังหันมีค่าใกล้เคียงกัน



รูปที่ 7a กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับมุมใบพัดเมื่อกังหันมีจำนวนใบพัด 3 ใบ



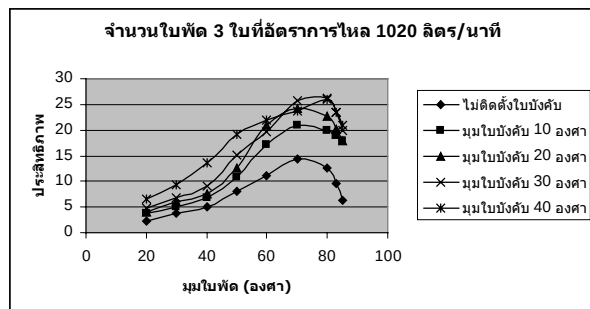
รูปที่ 7b กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับมุมใบพัดเมื่อกังหันมีจำนวนใบพัด 4 ใบ



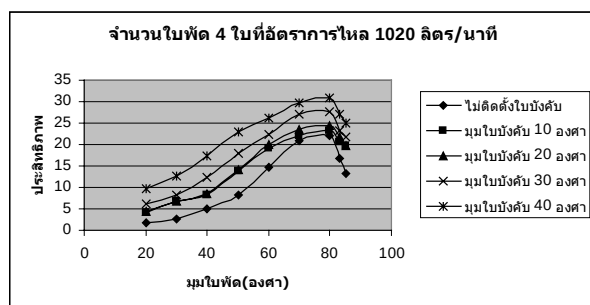
รูปที่ 7c กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับมุมใบพัดเมื่อกังหันมีจำนวนใบพัด 5 ใบ

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับมุมใบพัดเมื่อมีการติดตั้งใบบังคับทิศทาง

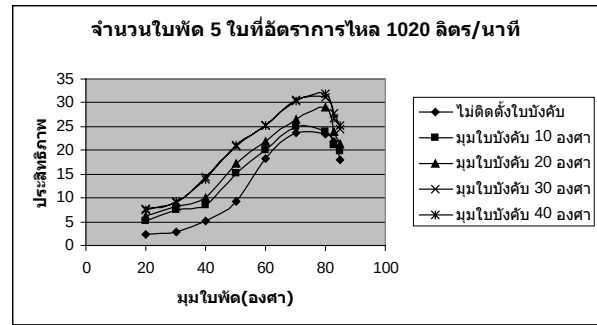
ในกรณีที่มีการติดตั้งใบบังคับทิศทางเข้ากับกังหันและมีอัตราการไหลเท่ากับ 1020 ลิตร/นาที่ ดังแสดงในรูปที่ 8a ถึง 8c พบว่า การติดตั้งใบบังคับทิศทางสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของกังหันได้ ซึ่งการที่ประสิทธิภาพของกังหันที่ติดตั้งใบบังคับทิศทางมีค่ามากขึ้นเกิดจากใบบังคับทิศทางช่วยกำหนดทิศทางของของไหลให้ไหลเข้าไปกระทบกับใบพัดได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนั้นการปรับมุมใบบังคับทิศทางให้มีมุมมากขึ้นมีผลทำให้ประสิทธิภาพของกังหันสูงตามไปด้วย ทั้งนี้เนื่องจากทิศทางของของไหลที่ออกจากใบบังคับทิศทางมีทิศทางที่สามารถถ่ายทอดพลังงานให้กับใบพัดได้ดีกว่า



รูปที่ 8a แสดงกราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับมุมใบพัดเมื่อกังหันมีจำนวนใบพัด 3 ใบ และ อัตราการไหล 1020 ลิตร/นาที่



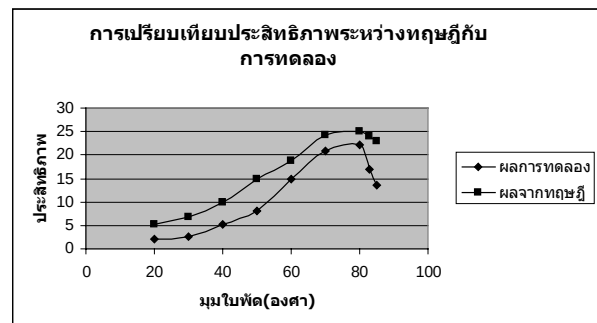
รูปที่ 8b แสดงกราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับมุมใบพัดเมื่อกังหันมีจำนวนใบพัด 4 ใบ และ อัตราการไหล 1020 ลิตร/นาที่



รูปที่ 8c แสดงกราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับมุมใบพัดเมื่อกังหันมีจำนวนใบพัด 5 ใบ และ อัตราการไหล 1020 ลิตร/นาที่

4.4 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับมุมใบพัดสำหรับกังหันตามแนวแกนแบบขึ้นเดียวจากทฤษฎีและการทดลอง

รูปที่ 9 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกังหันที่ได้จากทฤษฎีและการทดลอง เมื่ออัตราการไหล 1020 ลิตร/นาที่ โดยที่มีจำนวนใบพัดทั้งหมดสี่ใบและมุมใบบังคับทิศทางเท่ากับ 0 องศา พบว่า เส้นกราฟของประสิทธิภาพที่ได้จากทฤษฎีและการทดลองมีแนวโน้มที่สอดคล้องกันถึงแม้ว่าค่าประสิทธิภาพที่ได้จากทฤษฎีมีค่ามากกว่าค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการทดลอง การที่ประสิทธิภาพจากการทดลองมีค่าน้อยกว่าเกิดจากการสูญเสียพลังงานทางกลตรงบริเวณเพลลาของกังหันกับแบริ่ง และจากการคำนวณหาความสัมพันธ์ของแรงยกและแรงดูดที่ได้จากโปรแกรม DesignFOIL



รูปที่ 9 กราฟแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพกังหันจากทฤษฎีและการทดลอง

5. สรุปผลการทดลอง

จากการออกแบบใบพัดและสร้างชุดทดลองหาประสิทธิภาพของกังหันเมื่อไม่มีติดตั้งใบบังคับทิศทาง สามารถสรุปได้ว่า มุมใบพัดของกังหันที่มีจำนวนใบพัด 5 ใบและอัตราการไหลที่ไม่มากเกินไปมีผลทำให้ประสิทธิภาพของกังหันตามแนวแกนแบบขึ้นเดียวมีค่าสูงสุดได้ ซึ่งมุมใบพัดที่มีค่าเหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 70 ถึง 80 องศา นอกจากนั้นกังหันควรมีการติดตั้งใบบังคับทิศทางเข้าช่วยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกังหันและควรปรับมุมใบบังคับทิศทางให้มีค่าเหมาะสมด้วย

6. สัญลักษณ์

A_p	Platform Area (m^2)
C_L	Lift Coefficient

C_D	Drag Coefficient
D_f	Drag Force (N)
F_a	Axial Component Force (N)
F_t	Tangential Component Force (N)
H_i	Total Inlet Head (m)
L_f	Lift Force (N)
P_i	Static Pressure (N/m ²)
p	Distance of x – axis (m)
Q_i	Flow Rate (m ³ /s)
T	Torque (N-m)
t	Airfoil Thickness (m)
u	Blade Velocity (m/s)
V_{i1}	Inlet Velocity (m/s)
V_{i2}	Outlet Velocity (m/s)
V_r	Relative Velocity (m/s)
V_t	Tangential Velocity (m/s)
x	X - Coordinate
y	Y – Coordinate
ω	Angular Velocity (rev/s)
η_{hyd}	Hydraulic Efficiency
η_{mech}	Mechanical Efficiency
η_t	Total Efficiency
η_{vol}	Volumetric Efficiency

เอกสารอ้างอิง

- [1] ผศ.ดร.สุธรรม นียมवास,เครื่องจักรกลของไหล.บริษัทวิทยพัฒน์ จำกัด,กรุงเทพฯ,2549.
- [2] Sayers, A.T., Hydraulic and Compressible Flow Turbomachines, McGraw – Hill, London, 1992.
- [3] William S. Janna, Introduction to Fluid Mechanics, PWS Publishing Company, 3rd ed., 1993.
- [4] Doble W.A, The Tangential Water Wheel, Transactions of The American Institute of Mining Engineering, Vol. XXIX, 1899