

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องกังหันน้ำชนิดเพลตัน โดยใช้เทคนิคพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ Pelton Turbine Efficiency Analysis Using Computational Fluid Dynamics Technique

กิตติพร โพธิ์¹, จิราภรณ์ อนันตชัยพัธนา²
kposew@gmail.com¹, chiraporn_a@rmutt.ac.th²

บทคัดย่อ

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องกังหันน้ำมีความจำเป็นมากในการออกแบบและพัฒนาคุณภาพของเครื่องกังหันน้ำ นอกจากนี้ ผู้ใช้ก็จำเป็นต้องทดสอบหาค่าประสิทธิภาพก่อนการนำเครื่องกังหันน้ำมาติดตั้งจริง เพื่อให้มั่นใจได้ว่าเครื่องกังหันน้ำสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ตามที่ออกแบบไว้ ซึ่งการวิเคราะห์สามารถทำได้โดยการทำการทดสอบกับโมเดลเครื่องกังหันน้ำ แต่วิธีการทดสอบกับโมเดลจะต้องใช้งบประมาณสูง ซึ่งการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องกังหันน้ำโดยใช้เทคนิคพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ เป็นวิธีการซึ่งให้ผลเที่ยงตรงและสามารถลดงบประมาณในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเครื่องกังหันน้ำได้จำนวนมาก การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องกังหันน้ำในบทความนี้ได้ดำเนินการกับเครื่องกังหันน้ำชนิดเพลตัน ของโครงการไฟฟ้าพลังน้ำแม่สะงา อำเภอเมือง จังหวัดแม่ฮ่องสอน ผลการทดสอบประสิทธิภาพที่ 100% โหลด ได้ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ 92.9 % เมื่อนำเครื่องกังหันน้ำมาติดตั้งจริง ณ.โครงการไฟฟ้าพลังน้ำแม่สะงา และดำเนินการทดสอบประสิทธิภาพที่ 100% โหลด ได้ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ 91.7 % [2] ซึ่งแตกต่างจากผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีเทคนิคพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณอยู่ 1.2 % แสดงให้เห็นว่าการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องกังหันน้ำโดยใช้เทคนิคพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณสามารถนำมาใช้หาค่าประสิทธิภาพแทนการทดสอบกับโมเดลได้ดีและประหยัดงบประมาณของประเทศได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ: พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ กังหันน้ำชนิดเพลตัน ประสิทธิภาพ

¹ วิศวกรเครื่องกลชำนาญการพิเศษ สำนักพัฒนาพลังงานทดแทน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

² อาจารย์ประจำสาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Abstract

Turbine efficiency analysis was done for design and develop the quality of turbine. It also necessary for realize that the purchased turbine can generate the power exactly to the designed value. The turbine efficiency evaluation normally was done by model test which consume a large number of budget. Turbine efficiency analysis by using Computational Fluid Dynamic (CFD) technique can save these wasted budget. This study was performed to analysis the turbine efficiency of the pelton turbine of MAE SA NGA Hydroelectric power plant in Mae Hong Son Province, Thailand. The efficiency at 100 % load was 92.90 % by CFD and 91.36% by site test. The difference of the efficiency between CFD and site test was 1.2 %. It shown that the CFD technique can be used for analysis the turbine efficiency instead of the model test.

Keywords: Computational Fluid Dynamic, pelton turbine, efficiency

1. บทนำ

เครื่องกังหันน้ำเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญที่สุดสำหรับโครงการไฟฟ้าพลังน้ำ เพราะส่งผลต่อราคาและสมรรถนะของโรงไฟฟ้า ดังนั้นการทำนายพฤติกรรมทางไฮดรอลิก และประสิทธิภาพของเครื่องกังหันน้ำก่อนนำไปใช้จริงจึงมีความสำคัญมากในทางปฏิบัติ การทำนายประสิทธิภาพของเครื่องกังหันน้ำสามารถทำได้ด้วยการคำนวณทางทฤษฎี หรือการทดสอบโมเดล การคำนวณทางทฤษฎีเพื่อทำนายค่าประสิทธิภาพนั้นจะได้เพียงค่าประสิทธิภาพ แต่จะไม่สามารถระบุถึงสาเหตุของประสิทธิภาพที่ไม่ดี และการทดสอบโมเดลต้องใช้งบประมาณและเวลาในการทำสูงมาก วิธีการหนึ่งที่สามารถใช้ในการทำนายสมรรถนะของเครื่องกังหันน้ำคือการใช้เทคนิคพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ CFD ประสิทธิภาพ

โดยรวมที่ทำนายโดย CFD เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบด้วยโมเดล การใช้งานจริง หากมีค่าที่น่าเชื่อถือก็จะสามารถนำมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพเครื่องกังหันน้ำแทนการทดสอบด้วยโมเดลได้ ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์นี้ก็เพื่อทำนายประสิทธิภาพของเครื่องกังหันน้ำชนิดเพลตันโดยใช้เทคนิค CFD ค่าประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องกังหันน้ำสามารถหาได้โดยสมการพื้นฐาน, อัตราส่วนระหว่างกำลังขาออกและกำลังขาเข้า, โครงการไฟฟ้าพลังน้ำในประเทศไทยส่วนใหญ่จะกำหนดให้มีการทดสอบโมเดล ซึ่งต้องใช้งบประมาณจำนวนมาก การศึกษาเพื่อยืนยันว่าการใช้เทคนิค CFD สามารถนำมาใช้แทนการทดสอบโมเดลได้ดีซึ่งจะช่วยประหยัดงบประมาณในการก่อสร้างโครงการไฟฟ้าพลังน้ำในประเทศไทยได้จำนวนมาก

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

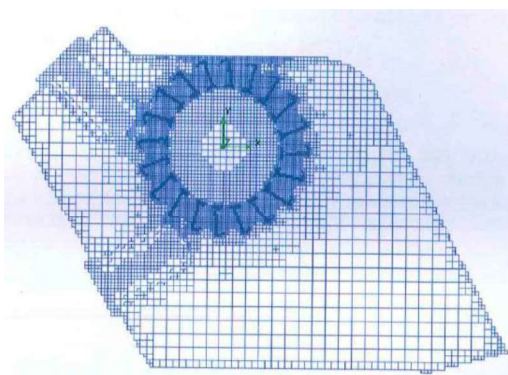
เตรียมแบบที่จำเป็น โดยการเขียนแบบสามมิติโดยใช้โปรแกรม Solid works simulation V. 2012 การวิเคราะห์กำลังของเครื่องกังหันน้ำคำนวณโดยใช้ Solid works-CFD module ซึ่งเป็นโปรแกรมการออกแบบเครื่องกล 3 มิติที่ทำงานบนไมโครซอฟท์วินโดวส์และพัฒนาโดย Dassault Systems Solid Works Corp. โดยใช้เครื่องมือนี้เพื่อทำเทคนิคไฟไนท์อีเลเมนต์ (Finite Element Technique, FET)

เขียนโมเดลของใบพัดและตัวเสื้อเครื่องกังหันน้ำ จากนั้นทำการแบ่งชิ้นงานออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ ซึ่งเรียกว่าการทำโครงสร้างตาข่าย (Meshing) เป็นรูปทรงจตุรมุข หรือรูปทรงกรวยสามเหลี่ยม จากนั้นให้กำหนดขอบเขต โดยทำที่ความดันขาเข้าและหัวฉีดเปิดภายใต้ความดันบรรยากาศ โดยให้ของไหลไหลแบบผสม (Mixed flow Condition) สมการหลักที่ใช้คือ สมการนาเวียสโตก Navier Stokes Equations [4] ซึ่งพิจารณาน้ำเป็นของไหลที่อัดตัวไม่ได้ ที่สถานะเสถียร

ในงานศึกษานี้ เป็นการใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในการตรวจสอบประสิทธิภาพของเครื่องกังหันน้ำชนิดเพลตัน ซึ่งมีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

การทำโครงสร้างตาข่าย เป็นขั้นตอนเตรียมการก่อนการคำนวณการไหลเชิงตัวเลข ขั้นตอนการทำโครงสร้างตาข่ายมีความสำคัญมากที่สุด ซึ่งจะส่งผลต่อความถูกต้องในการคำนวณ โดยทั่วไปโครงสร้างตาข่ายคือ ชิ้นส่วนย่อย ๆ ที่ถูกแบ่งออกมาจากชิ้นส่วนที่ต่อเนื่อง โดยจะแบ่งโครงสร้างตาข่ายออกเป็น 2 ประเภทคือ เป็นรูปแบบที่เป็นโครงสร้างที่เป็นระเบียบ และ

แบบที่ไม่เป็นระเบียบ ซึ่งแบบที่ไม่เป็นระเบียบสามารถทำได้ง่ายกว่า โดยในงานนี้เลือกใช้วิธีการสร้างตาข่ายแบบไม่เป็นระเบียบ และเพื่อให้ความถูกต้องเพิ่มขึ้น ได้แบ่งตาข่ายให้ละเอียดขึ้นในบริเวณใบพัด หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการสร้างโครงสร้างตาข่าย ต้องตรวจสอบคุณภาพของโครงสร้างตาข่ายที่สร้างขึ้น ปรับปรุงจุดที่โครงสร้างตาข่ายคุณภาพไม่ดี โดยโครงสร้างตาข่ายในขั้นตอนสุดท้ายได้โครงสร้างตาข่ายจำนวน 175,339 ช่อง เป็นโครงตาข่ายที่เป็นของเหลว 95,885 ช่อง ของแข็งจำนวน 19,214 ช่อง เป็นโครงตาข่ายแบบบางส่วน จำนวน 60,240 ช่อง โครงตาข่ายในขั้นสุดท้ายแสดงได้ในรูปที่ 1



รูปที่ 1 การสร้างโครงตาข่าย

ในการวิเคราะห์กระบวนการไหลสามารถแยกได้เป็นแบบราบเรียบ แบบปั่นป่วน หรือแบบผสม ในที่นี้จะพิจารณาการหมุนของใบพัด ผลกระทบจากหัวฉีด ผลกระทบจากลม สภาวะที่ขอบเขตของใบพัดเป็นการไหลแบบปั่นป่วน อย่างไรก็ตามการไหลที่ท้ายน้ำอนุมาณให้เป็นการไหลแบบคงที่

สำหรับโรงไฟฟ้าพลังน้ำ หัวน้ำรวมคือความแตกต่างระหว่างระดับน้ำที่อ่างเก็บน้ำและ

ระดับท้ายน้ำ หัวน้ำสุทธินำได้จากการลบการสูญเสียออกจาก หัวน้ำรวม ปริมาณน้ำทั้งหมดอาจไม่ได้กระทบกับใบพัดของเครื่องกังหันน้ำ การสูญเสียอันเนื่องมาจากการกระจายของน้ำจึงถูกนำมาพิจารณาประสิทธิภาพทางกล [5] ซึ่งนิยามโดย

$$\eta_v = \frac{V_a}{V_n} \quad (1)$$

V_a คือ ปริมาตรน้ำที่กระทบกับใบกังหัน m^3
 V_n คือ ปริมาตรน้ำที่ออกจากหัวฉีด m^3
 เมื่อน้ำไหลผ่านใบกังหันน้ำ การสูญเสียอาจเกิดขึ้นเนื่องมาจากความเสียดทานของใบกังหัน การเปลี่ยนทิศทางการไหล หรือการสูญเสียพลังงานจลน์ที่ทางออกของกังหันน้ำ การสูญเสียทางกลศาสตร์จึงถูกพิจารณาในรูปแบบของประสิทธิภาพทางกลศาสตร์ซึ่งนิยามโดย

$$\eta_h = \frac{P_t}{P_w} \quad (2)$$

P_t คือ กำลังที่ใบกังหันน้ำผลิตได้ w
 P_w คือ กำลังจากน้ำที่ทางเข้า w
 กำลังที่ได้จากใบกังหันจะถูกทำให้ลดลงโดยการสูญเสียเชิงกลอันเกิดจากความเสียดทานระหว่างชิ้นส่วนที่หมุน เนื่องมาจากความเสียดทานเหล่านี้ ทำให้กำลังที่ได้ที่เพลากังหันจึงน้อยกว่ากำลังที่ใบกังหันผลิตได้ การสูญเสียเชิงกลจึงถูกพิจารณาในรูปแบบของประสิทธิภาพทางกลศาสตร์ซึ่งนิยามโดย

$$\eta_m = \frac{P_s}{P_t} \quad (3)$$

P_s คือ กำลังที่ได้จากเพลากังหันน้ำ w

P_t คือ กำลังที่ใบกังหันน้ำผลิตได้ w

ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการโดยรวมได้

$$\eta_v \times \eta_h \times \eta_m = \frac{2\pi NT / 60}{\rho g HQ} \quad (4)$$

จุดประสงค์เพื่อให้ได้แรงบิด ที่ได้จากกังหันจากการวิเคราะห์ด้วย CFD แรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำที่กระทำต่อใบพัดกระทำที่รัศมีใบพัดคูณด้วยรัศมีใบพัดจะได้แรงบิดสุทธิ และกำลังทางกลศาสตร์เข้า [6] หาได้จาก

$$P_h = \rho g QH \quad (5)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของน้ำ

$$997.342 \text{ kg} / m^3$$

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง

$$9.81 \text{ m} / s^2$$

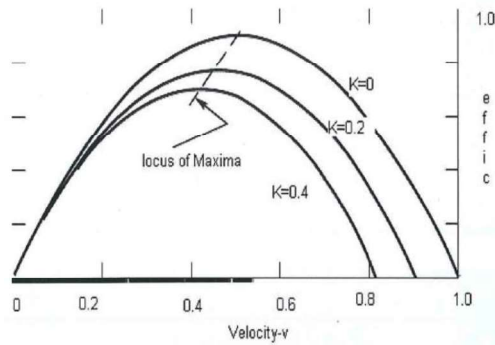
H คือ ความสูงหัวน้ำ m

Q คือ ปริมาณน้ำ m^3 / s

การสูญเสียเนื่องจากการหมุนด้านลมในเครื่องจักรที่มีการหมุน (windage loss) เกิดขึ้นเนื่องจากปรากฏการณ์ชั้นฟิล์มที่ขอบ และความเสียดทานเนื่องจากการเสียดสีเชิงโมเลกุล ดังนั้นการสูญเสียเนื่องจากการหมุนด้านลมในเครื่องจักรที่มีการหมุนจึงขึ้นอยู่กับความหนาแน่นและความบริสุทธิ์ ของของไหลรอบ ๆ ตัวหมุน

$$Loss / unit_mass_flow = KU^2 \quad (6)$$

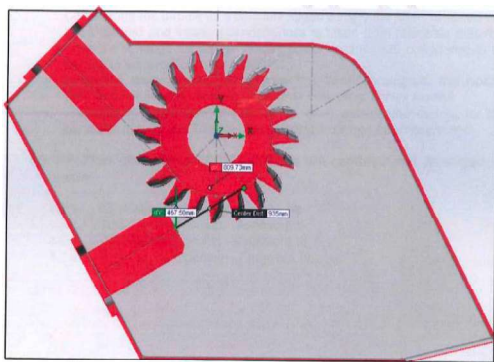
เมื่อ K คือค่าคงที่ไร้นิยาม



รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพเทียบกับอัตราส่วนความเร็วของกังหันน้ำเพลตันที่ค่า K ต่าง ๆ [1]

จากรูปที่ 2 ค่ากลางของการสูญเสียเนื่องจากการหมุนต้านลมในเครื่องจักรอยู่ที่ประมาณ 10-15 % ในการวิเคราะห์กำหนดให้มีเกณฑ์ในการวิเคราะห์ดังนี้

ผิวของท่อส่งน้ำเรียบและเสื่อกังหันเรียบ ผิวของหัวฉีด ท่อส่งน้ำ ไม่มีการบิดเบี้ยว การไหลเป็นแบบสม่ำเสมอ ภาระที่กังหันน้ำมีค่าคงที่ การไหลที่ใบกังหันเป็นแบบเรียบ ท้ายน้ำอยู่ภายใต้ความดันบรรยากาศ และไม่เกิดการสูญเสียเนื่องจากแบร์ริง



รูปที่ 3 โมเดลของการประกอบใบกังหัน หัวฉีด และเสื่อกังหันเข้าด้วยกัน

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย

ผลการวิจัยจะแสดงผลของการวิเคราะห์ประสิทธิภาพโดยใช้เทคนิค CFD และผลของการทดสอบค่าประสิทธิภาพเครื่องกังหันน้ำ โดยทดสอบกับเครื่องจริงที่หน้างาน และนำผลมาเปรียบเทียบกับเพื่อพิสูจน์ความถูกต้องและแม่นยำของการวิเคราะห์ประสิทธิภาพด้วยเทคนิค CFD

3.1 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพด้วยเทคนิค CFD

กำลังทางกลศาสตร์เมื่อเปิดน้ำ 100 %

กำลังทางทฤษฎี

$$P_h = \rho g Q H \quad (7)$$

เมื่อ H คือ ความสูงหัวน้ำ 194.1 m

Q คือ ปริมาณน้ำ 1.55 m³ / s

$$P_h = 997.342 \times 194.1 \times 1.55 \times 9.81$$

$$P_h = 2.943 \text{ MW}$$

กำลังที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย CFD

แรงที่ผิวของกังหันเพลตัน 5,349.11 นิวตัน เมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดเท่ากับ 1,340 มิลลิเมตร

$$POWER = \frac{2\pi NT}{60} \times \text{Windage loss} \quad (8)$$

เมื่อ T คือ แรงสูงสุดที่กระทำต่อหนึ่งใบของกังหันน้ำ

คูณจำนวนใบคูณรัศมีใบพัด

N คือ ความเร็วการหมุน 428.6 rpm

$$POWER = \frac{2\pi \times 428.6 \times (5,349 \times 20 \times 0.67)}{60} \times 0.85$$

$$POWER = 2.733 \text{ MW}$$

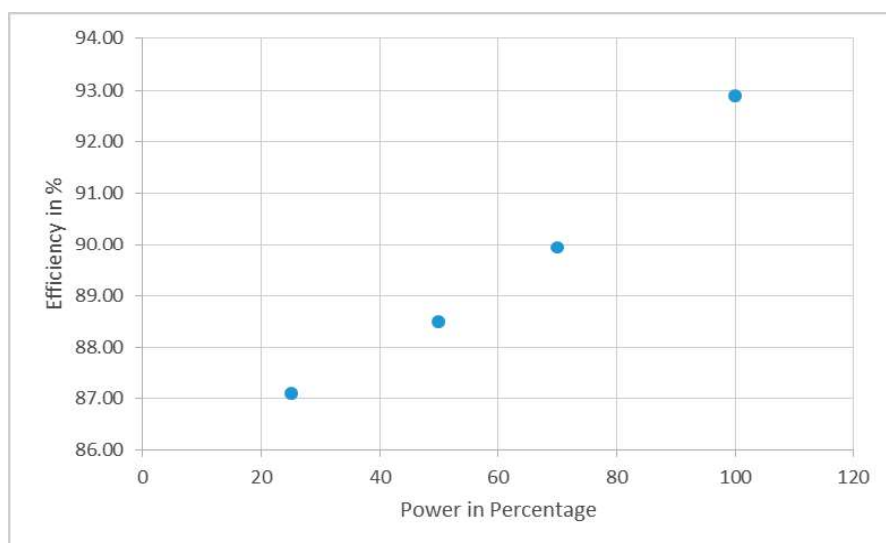
$$\text{ประสิทธิภาพเท่ากับ } \frac{\text{Output}}{\text{Input}} = \frac{2.73}{2.94} = 92.9 \%$$

ซึ่งผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพที่โหลดต่าง ๆ แสดงได้ดังตารางที่ 1

No	Load in %	Nozzle open in mm	Observed Volume flow in m3/sec	Input Power MW	Output Power MW	Eff %
i	100.00	126.53	1.55	2.94	2.73	92.9
ii	70.00	105.96	1.09	2.07	1.78	89.9
iii	50.00	126.88	0.78	1.48	1.27	88.5
iv	25.00	90.58	0.40	0.76	0.64	87.1

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพโดยใช้เทคนิค CFD

นำผลการวิเคราะห์ทั้งหมดมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังแลประสิทธิภาพของเครื่องกังหันน้ำ ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 4



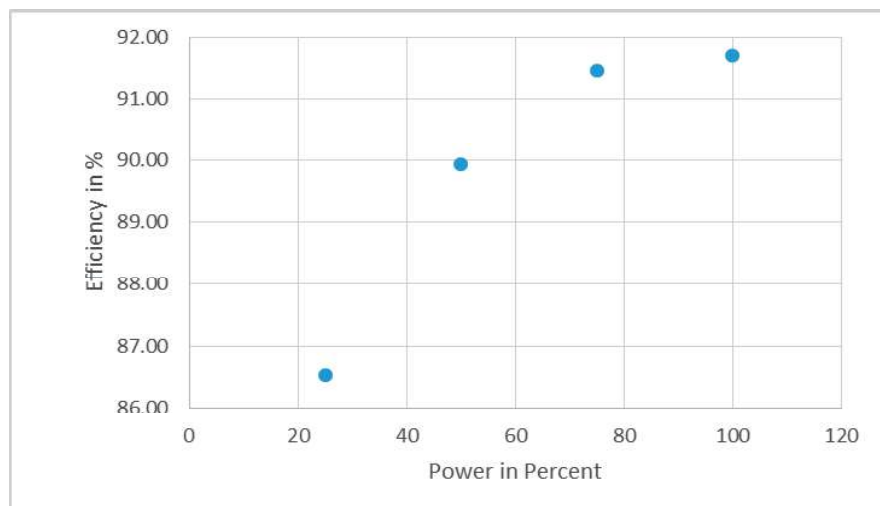
รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังและประสิทธิภาพของเครื่องกังหันน้ำโดยทดสอบ CFD

ผลการทดสอบประสิทธิภาพกับเครื่องจริง

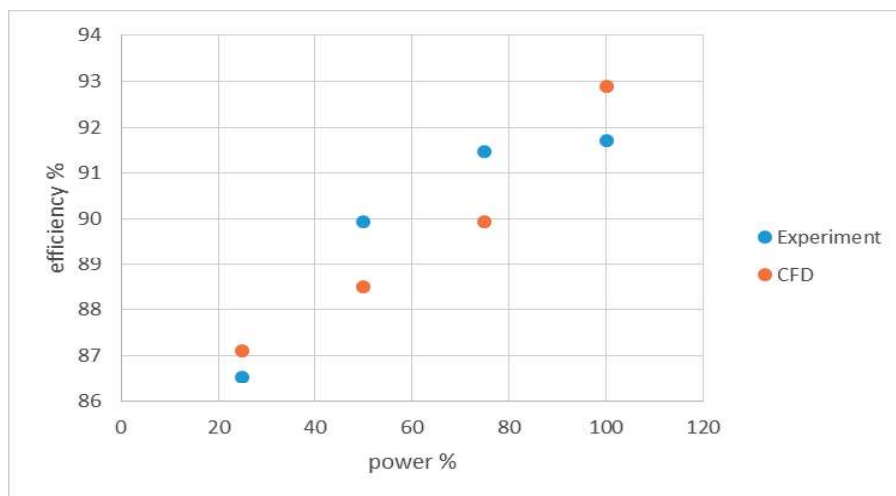
No	Load in %	Nozzle open in mm	Observe Volume flow in m3/sec	Input Power MW	Output Power MW	Eff %
i	100	126.53	1.50	3.01	2.68	91.70
ii	75	107.76	1.12	2.24	2.02	91.46
iii	50	126.88	0.74	1.48	1.34	89.93
iv	25	90.58	0.41	0.82	0.73	86.53

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพโดยทดสอบกับเครื่องจริง [2]

นำผลการวิเคราะห์ทั้งหมดมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังและประสิทธิภาพของเครื่องกังหันน้ำ ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังและประสิทธิภาพของเครื่องกังหันน้ำโดยทดสอบกับเครื่องจริง



รูปที่ 6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องกังหันน้ำโดยทดสอบกับเครื่องจริงกับการทดสอบ CFD

จากผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องกังหันน้ำโดยใช้เทคนิค CFD และจากการทดสอบกับเครื่องจริงพบว่าประสิทธิภาพที่ กำลังผลิตสูงสุดมีความแตกต่างกันเพียง 1.2 % และจากผลการทดสอบตามตารางที่ 1 และตารางที่ 2 จะพบว่าค่ากำลังทางชลศาสตร์แตกต่างกัน เนื่องจากการทดสอบด้วย CFD ใช้ความสูง

หัวน้ำตามข้อมูลที่ออกแบบไว้ แต่เมื่อก่อสร้างโครงการจริง ความสูงหัวน้ำเพิ่มขึ้น 6 เมตร ซึ่งผลดังกล่าวอาจมีผลกระทบต่อผลการวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพที่ต่างกันระหว่างผลจาก CFD และผลจากการทดสอบจริง และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่ได้จากการทดสอบจริงและ CFD ดังแสดงในรูปที่ 6 จะพบว่าในช่วง

ที่เครื่องกังหันน้ำรับโหลด 50-75% ผลที่ได้จากการทดสอบกับเครื่องจริง สูงกว่าผลที่ได้จาก CFD เนื่องจากในช่วงที่โหลดต่ำ ๆ เมื่อหัวฉีดเริ่มเปิดน้ำที่ออกมาจากหัวฉีดจะมีลักษณะกระจายและไหลตัดกัน ณ.จุด วนาคอนแทรคต้า Vena Contracta [3] ลำน้ำจึงเข้ากระทบใบพัดได้น้อยประสิทธิภาพในช่วงโหลดต่ำ ๆ ที่ได้จากการทดสอบจริงจึงน้อยกว่าผลที่ได้จาก CFD เมื่อโหลดเพิ่มขึ้น น้ำที่ออกจากหัวฉีดมีความเป็นระเบียบมากขึ้น ผลการทดสอบจริงจึงมากกว่า CFD และเมื่อโหลดสูงขึ้นถึง 100 % ปริมาณน้ำภายในเสื้อกังหันน้ำเพิ่มมากขึ้น เกิดการต้านการหมุนของใบพัดมากขึ้น ผลการทดสอบจากการทดสอบจริงจึงน้อยกว่า CFD

4. สรุปผลการวิจัย (Conclusions)

จากผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเครื่องกังหันน้ำชนิดเพลดันโดยใช้เทคนิค CFD จะพบว่าผลการวิเคราะห์ที่ได้มีความน่าเชื่อถือโดยมีค่าประสิทธิภาพที่แตกต่างจากการทดสอบจริง 1.2 % ทำให้สามารถนำเทคนิค CFD มาใช้ในการวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพเครื่องกังหันน้ำของโครงการอื่น ๆ ในอนาคตได้เป็นอย่างดี

5. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] S.L. Dixon, C.A. Hall Fluid Mechanics and Turbomachinery, 6th ed, University of Liverpool
- [2] Operation and maintenance Manual, Contract No. 323/52 Mae sa nga Hydroelectric project, Department of alternative energy development and efficiency (2013)
- [3] John s, Gulliver, Roger E. A. Arndt, Hydropower Engineering Handbook, McGraw-hill, INC
- [4] H. R. Vallentine, Applied Hydrodynamics, London Butter Worths
- [5] M. Nechleba, Hydraulic Turbines. Their Design and Equipment. ARTIA, Prague, 1957
- [6] C.C. warnick H. A. Mayo, J. L. Carson, L. H. Sheldon, Hydropower Engineering, Prentice-hall, INC., Englewood Cliffs.