

การออกแบบรูปทรงใบพัดสำหรับเครื่องกังหันพลังน้ำขนาดเล็กชนิดไหลในแนวแกน

Blade Shape Design for Small Axial Flow Hydro Turbine

ยอดชาย เตียบเป็น^{1*} นพพงศ์ ศรีตระกูล² อุดมเกียรติ นนทแก้ว³ และ ประโมทย์ งามมหัทธนา⁴

¹สาขาวิศวกรรมท่อเรือและเครื่องกลเรือ วิทยาลัยพาณิชยการนาวิกานุชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20230

โทร 0-3835-2606 โทรสาร 0-3835-2607 *อีเมลล์ yodchai_tp@yahoo.com

²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ ต.พระปฐมเจดีย์ อ.เมือง จ.นครปฐม 73000

โทร 0-3425-9025 โทรสาร 0-3421-9367 อีเมลล์ n_pp_ng@yahoo.com

³ศูนย์วิจัยวิศวกรรมคำนวณขั้นสูง ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการบิน-อวกาศ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ บางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

โทร 0-2913-2500 ต่อ 8308,8315 โทรสาร 0-2586-9542 อีเมลล์ unk@kmitnb.ac.th

⁴การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย อ.บางกรวย จ.นนทบุรี

โทร 0-2436-1013 โทรสาร 0-2436-1095 อีเมลล์ pramote.c@egat.co.th

บทคัดย่อ

ปัจจุบันโลกกำลังเผชิญกับปัญหาวิกฤติด้านเชื้อเพลิงฟอสซิลที่มีปริมาณลดน้อยลงและไม่เพียงพอให้ใช้งานในอนาคต กอปรทั้งสภาพวิกฤติของภาวะโลกร้อนที่กำลังเป็นที่กล่าวขานอยู่ในปัจจุบัน ทำให้พลังงานทดแทนซึ่งเป็นพลังงานที่ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อมและมีศักยภาพอยู่แล้วในประเทศได้รับการสนับสนุนให้พัฒนาใช้งานมากขึ้น พลังน้ำเป็นพลังงานทดแทนรูปแบบหนึ่ง ที่นับได้ว่ามีต้นทุนต่ำกว่าพลังงานทดแทนอย่างอื่นและยังมีศักยภาพที่จะพัฒนาใช้งานได้อีกมาก แต่หากการนำมาใช้ประโยชน์มุ่งแต่การนำเข้าเทคโนโลยี ย่อมทำให้เกิดการสูญเสียเงินตราออกนอกประเทศ ดังนั้นคณะวิจัยจึงได้มุ่งศึกษาและวิจัยเพื่อออกแบบเครื่องกังหันพลังน้ำขนาดเล็กชนิดไหลในแนวแกนให้มีสมรรถนะเหมาะสมกับแหล่งน้ำที่มีอยู่ จากการสำรวจข้อมูลเบื้องต้นของแหล่งน้ำที่มีอยู่ทั่วประเทศ พบว่ามีความสูงหัวน้ำส่วนใหญ่ไม่เกิน 20 เมตร การออกแบบเริ่มจากการกำหนดรูปทรงของช่องทางไหลภายในและรูปทรงใบพัด โดยอาศัยหลักการถ่ายโอนพลังงานและแผนภูมิความเร็ว จากนั้นใช้วิธีการคำนวณพลศาสตร์ของไหลช่วยในการจำลอง วิเคราะห์สนามความเร็ว การกระจายความดัน และประสิทธิภาพเชิงกลศาสตร์การไหลของชุดกังหันพลังน้ำ โดยส่วนของรูปทรงใบพัดของกังหันจะมีลักษณะแตกต่างกันตามระดับหัวน้ำที่ออกแบบและอัตราไหลต่างๆ โดยในงานวิจัยนี้ได้ศึกษารูปทรงใบพัดสำหรับเครื่องกังหันพลังน้ำขนาดเล็กชนิดไหลในแนวแกนที่เหมาะสมกับช่วงหัวน้ำ 3 ระดับคือ ระดับหัวน้ำต่ำ(1-5 m) ระดับหัวน้ำปานกลาง(5-15 m) และระดับหัวน้ำสูง(มากกว่า 15 m) ซึ่งออกแบบใบพัดให้ทำงานภายใต้เงื่อนไขการทำงานสภาวะจริงของแหล่งน้ำขนาดเล็กของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยที่ใช้เป็นกรณีศึกษา

Abstract

At present, the global is facing with fossil fuel price crisis due to the declining in supply and increasing in demand. Altogether, the global warming is recognized. Thus renewable energy, which is proven as it is clean and indigenous energy, is promoted to be increased in using. Among various kind of renewable energy, hydropower has been proven to be an economical energy for generating electricity and it still remains high potential for developing. However, if hydropower project is developed by imported hydro-machine only, it means that country have to spend big amount of aboard money. So, the researcher attempts to design the small axial flow turbine for using appropriately in small size of water resources in Thailand. From the data survey revealed the head of water from existing irrigation dams is mostly not higher than 20 meters. The study was started from designed shape of water pathway and turbine configuration by using principle of energy conversion and velocity chart. The methodology of computational fluid dynamic was using for simulation of velocity field, pressure distribution and mechanical fluid dynamic efficiency of hydro-turbine. From this study the appropriated configuration of turbine was designed with different shape in each 3 ranges of water head as follow, low water head (1 – 5 m), medium water head (5 – 15 m) and high water head (> 15 m). All of turbine was designed to be used appropriately under practical using condition of EGAT's small water resources which are the case studies for this study.

1. บทนำ

ปัจจุบันปัญหาวิกฤติด้านเชื้อเพลิงฟอสซิลที่มีปริมาณลดน้อยลง และราคาเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ก่อให้เกิดสภาพวิกฤติของภาวะโลกร้อนที่เกิดขึ้น ทำให้การใช้พลังงานทดแทนที่ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อมได้รับการสนับสนุนให้พัฒนาใช้งานมากขึ้น ในบรรดาพลังงานทดแทนที่มีอยู่ในประเทศไทยและพร้อมที่จะพัฒนาใช้งาน พบว่าพลังงานขนาดเล็กเป็นทางเลือกหนึ่ง ซึ่งจากการประเมินศักยภาพจากแหล่งน้ำขนาดเล็กที่มีอยู่ 294 แห่งของกรมชลประทาน ยังมีศักยภาพที่จะพัฒนาได้ถึง 115,945 kW คิดเป็น 509 GW-hr-ต่อปี แต่อย่างไรก็ตามต้นทุนการนำเข้าเครื่องจักรและเทคโนโลยีด้านไฟฟ้าพลังน้ำมีราคาสูงมาก ทำให้เกิดการสูญเสียเงินตราออกนอกประเทศและยังก่อให้เกิดการพัฒนาองค์ความรู้ด้านเทคโนโลยีด้านไฟฟ้าพลังน้ำต่อประเทศไทย ดังนั้นการพัฒนาแหล่งพลังงานขนาดเล็ก โดยพึ่งพาเทคโนโลยีของตนเองเพื่อออกแบบและผลิตเครื่องกังหันพลังงานขนาดเล็ก จึงเป็นทางเลือกที่มีความเหมาะสมกับสภาพการณ์ของประเทศไทยในปัจจุบัน

คณะวิจัยได้ได้มุ่งศึกษาและวิจัยเพื่อออกแบบเครื่องกังหันพลังงานขนาดเล็กชนิดไหลในแนวแกนให้มีสมรรถนะตามที่ต้องการและจะตรงเหมาะสมกับปริมาณและความสูงหัวน้ำของแหล่งน้ำที่มีศักยภาพอยู่ จากการสำรวจข้อมูลเบื้องต้นของแหล่งน้ำที่มีอยู่ทั่วประเทศ พบว่ามีความสูงหัวน้ำส่วนใหญ่ไม่เกิน 20 เมตร การออกแบบเริ่มจากการกำหนดรูปทรงของช่องทางไหลภายในและรูปทรงใบพัด โดยอาศัยหลักการถ่ายโอนพลังงานและแผนภูมิความเร็ว จากนั้นใช้วิธีการคำนวณพลศาสตร์ของไหลช่วยในการจำลอง วิเคราะห์สนามความเร็ว การกระจายความดัน และประสิทธิภาพเชิงกลศาสตร์การไหลของชุดกังหันน้ำ โดยส่วนของรูปทรงใบพัดของกังหันจะมีลักษณะแตกต่างกันตามความสูงหัวน้ำและอัตราไหลที่ออกแบบ

งานวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาออกแบบรูปทรงใบพัดสำหรับเครื่องกังหันพลังงานขนาดเล็กชนิดไหลในแนวแกนที่เหมาะสมกับช่วงความสูงหัวน้ำ 3 ระดับคือ ระดับหัวน้ำต่ำ (1-5 m) ระดับหัวน้ำปานกลาง (5-15 m) และระดับหัวน้ำสูง (มากกว่า 15 m) ซึ่งออกแบบใบพัดให้ทำงานภายใต้เงื่อนไขการทำงานสภาวะจริงของแหล่งน้ำขนาดเล็กของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยที่ใช้เป็นกรณีศึกษา

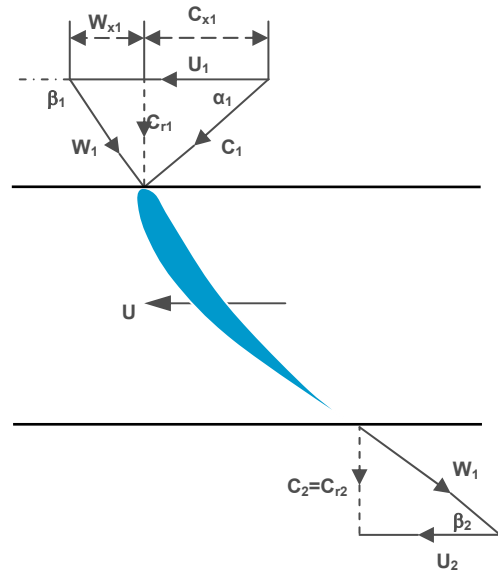
2. การออกแบบรูปทรงใบพัด

การออกแบบรูปทรงใบพัดกังหันอาศัยทฤษฎี Turbo machinery อาศัยสามเหลี่ยมความเร็วดังรูปที่ 1 โดยปกติสามเหลี่ยมความเร็วจะถูกเขียน ณ ตำแหน่งเฉลี่ยของรัศมี ในกรณีของมุมใบพัดกังหันมีการเปลี่ยนแปลงจากโคนถึงปลายใบ โดยสมมติว่าความเร็วในแนวรัศมีมีค่าคงที่คือ $C_{r1} = C_{r2} = C_a$ และถ้าต้องการประสิทธิภาพสูงสุดจะต้องออกแบบให้ค่าเวกเตอร์ความเร็วในแนวแกนที่ทางออกของใบพัด C_{x2} เท่ากับ 0 จะได้ค่าเวกเตอร์ความเร็ว $C_2 = C_{r2}$ เป็นเงื่อนไขในการออกแบบ

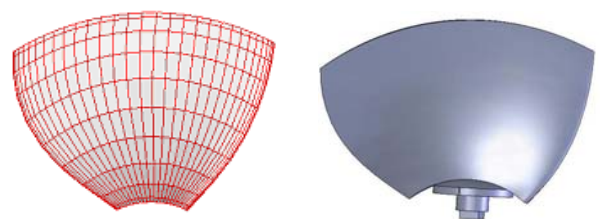
หลังจากนั้นทำการขึ้นรูปทรงใบพัด 3 มิติโดยอาศัยสมการที่ (1) ช่วยระบุตำแหน่งพิกัดผิวของใบพัดกังหัน ทั้งด้านผิวหน้าใบและผิวหลังใบ [1] ซึ่ง ยอดชายและคณะ {3} ได้อธิบายวิธีการขึ้นรูปใบพัดเอาไว้พอสมควร ทำให้ได้รูปทรงใบพัดดังแสดงในรูปที่ 2

$$\begin{aligned} x_p &= -[r\theta_s \tan(\theta_{nt})] + (0.5c - x_c) \sin(\theta_{nt}) + y_c \cos(\theta_{nt}) \\ y_p &= -r \cdot \sin\left(\frac{[(0.5c - x_c) \cos(\theta_{nt}) - y_c \sin(\theta_{nt})]}{r} - \theta_s\right) \\ z_p &= -r \cdot \cos\left(\frac{[(0.5c - x_c) \cos(\theta_{nt}) - y_c \sin(\theta_{nt})]}{r} - \theta_s\right) \end{aligned} \quad (1)$$

เมื่อ r คือระยะรัศมี c คือความยาวคอร์ด (chord length) θ_{nt} คือมุมพิทซ์ ทำมุมกับแนวเส้นรอบวง t คือความหนา และ f คือระยะแคมเบอร์ (Camber) การกำหนดจุดกึ่งกลางคอร์ดของแต่ละหน้าตัดทำได้ด้วยการกำหนดระยะสกรูว์ (Skew, θ_s) โดยระยะสกรูว์ คือมุมที่จุดกึ่งกลางคอร์ดของหน้าตัดนั้น เอียงไปจากจุดกึ่งกลางคอร์ดของหน้าตัดที่ตำแหน่งโคนของปีกใบ



รูปที่ 1 แสดงสามเหลี่ยมความเร็ว



รูปที่ 2 แสดงการขึ้นรูปทรงใบพัด 3 มิติ

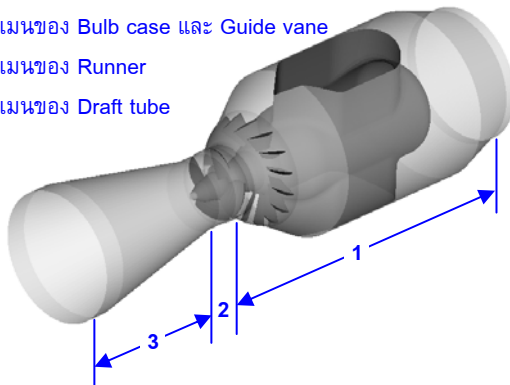
3. การจำลอง CFD

หลังจากออกแบบและกำหนดรูปทรงใบพัดและชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องกังหันพลังงานขนาดเล็กแล้ว ก็ทำการจำลองการไหลที่เกิดขึ้นด้วยโปรแกรม FLUENT จากผลการจำลองจะได้ผลของสนามความเร็วและการกระจายความดันที่เกิดขึ้นในโดเมนของเครื่องกังหันพลังงาน ซึ่งจะใช้ผลดังกล่าววิเคราะห์หาสมรรถนะและประสิทธิภาพเชิงกลศาสตร์การไหลของชุดกังหัน ด้วยวิธีการจำลอง CFD ช่วยให้สามารถกำหนดตำแหน่งมุมของ guide vane และใบพัดที่เหมาะสม ที่จะทำให้เครื่อง

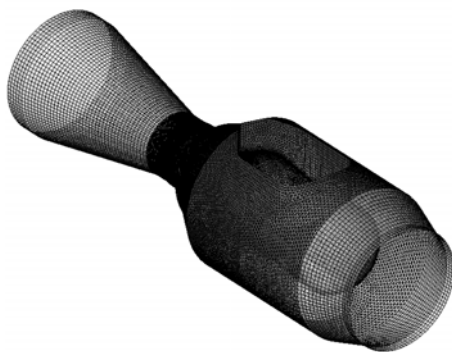
กังหันพลังน้ำมีสมรรถนะและประสิทธิภาพสูงสุด อีกทั้งทำให้ทราบถึงขนาดแรงกระทำที่เกิดขึ้นบนชิ้นส่วนของเครื่องกังหันพลังน้ำ ซึ่งจะต้องมีการออกแบบให้มีความแข็งแรงเพียงพอ ไม่เกิดความเสียหายต่อไป

ในการจำลอง CFD เครื่องกังหันพลังน้ำจะแบ่งโดเมนออกเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วย โดเมนของ Bulb case และ Guide vane โดเมนของ Runner และโดเมนของ Draft tube ดังรูปที่ 3 และทำการเมช (mesh) โดเมนต่างๆ ดังรูปที่ 4 โดยมีการกำหนดเงื่อนไขขอบของโดเมนต่างๆ คือ กำหนดที่ตำแหน่งทางเข้าเป็น Mass flow rate และ Pressure inlet ส่วนทางออกกำหนดเป็น Pressure outlet โดยแต่ละโดเมนจะเชื่อมโยงด้วยเงื่อนไข Mixing plane สำหรับปัญหานี้ใช้การจำลองแบบ Steady Multi Reference Frame โดยโดเมนที่เคลื่อนที่ได้แก่ โดเมนของ Runner และโดเมนที่เหลือนำมาหาค่าที่ โมเดลความปั่นป่วนที่เลือกใช้คือ k-ε model [4] และกำหนดค่า Residual monitors = 10^{-5}

1. โดเมนของ Bulb case และ Guide vane
2. โดเมนของ Runner
3. โดเมนของ Draft tube

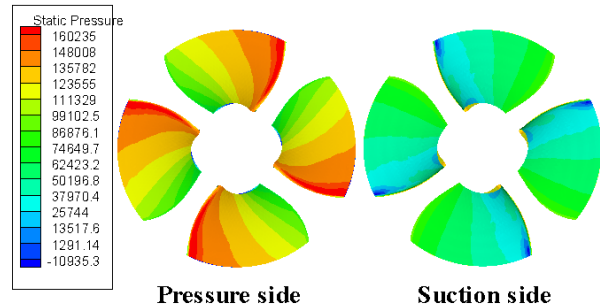


รูปที่ 3 โดเมนของเครื่องกังหันพลังน้ำ [2]

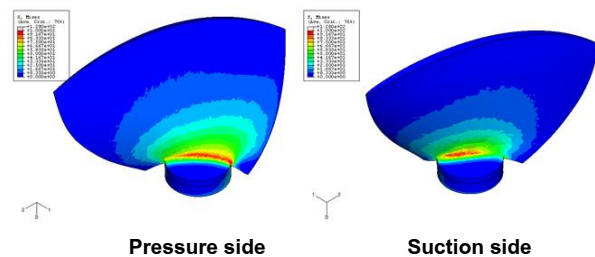


รูปที่ 4 เมชในโดเมนต่างๆ

ผลการจำลอง CFD จะได้ผลของการกระจายความดันบนผิวของใบพัดดังแสดงในรูปที่ 5 และสามารถคำนวณหาแรงที่กระทำต่อใบพัดได้ หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ความแข็งแรงของใบพัดด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ จะได้ผลค่าความเค้นที่เกิดขึ้นดังรูปที่ 6 ทำให้เห็นถึงบริเวณที่ไม่แข็งแรง ซึ่งจะต้องมีการออกแบบแก้ไขและเลือกวัสดุที่จะใช้ทำใบพัด เพื่อที่จะไม่เกิดความเสียหายเมื่อนำไปใช้งานต่อไป



รูปที่ 5 การกระจายความดันที่เกิดขึ้นบนผิวใบพัด



รูปที่ 6 ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นบนใบพัด

4. รูปทรงใบพัดที่เหมาะสมสำหรับระดับหัวน้ำต่าง ๆ

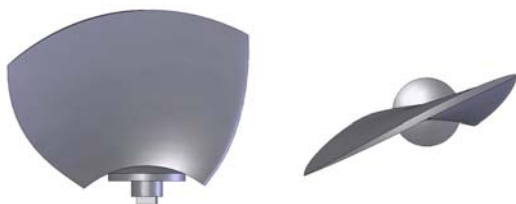
การออกแบบรูปทรงใบพัดสำหรับเครื่องกังหันพลังน้ำขนาดเล็ก ชนิดไหลในแนวแกน รูปทรงใบพัดจะมีลักษณะแตกต่างกันตามหัวน้ำที่ออกแบบและอัตราไหลต่างๆ โดยจะแบ่งช่วงความสูงหัวน้ำออกเป็น 3 ระดับคือ ระดับหัวน้ำต่ำ (1-5 m) ระดับหัวน้ำปานกลาง (5-15 m) และระดับหัวน้ำสูง (มากกว่า 15 m) ซึ่งออกแบบใบพัดภายใต้เงื่อนไขการทำงานสถานะจริงของแหล่งน้ำขนาดเล็กของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ที่ใช้เป็นกรณีศึกษา ตามข้อมูลในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลแหล่งน้ำขนาดเล็กของ กฟผ.

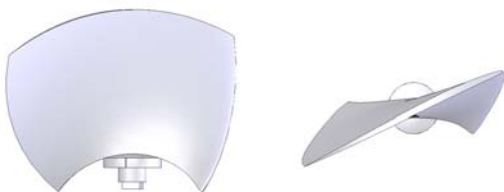
แหล่งน้ำ	รายละเอียด	หัวน้ำ (m)	อัตราไหล (m^3/s)
เขื่อนแม่ปิงตอนล่าง	อ. สามเงา จ.ตาก ขนาด 35 kW Blade dia. 650 mm. จำนวนใบพัด 4 ใบ	3	1.2
เขื่อนแม่จาง	อ.แม่เมาะ จ.ลำปาง ขนาด 155 kW Blade dia. 650 mm. จำนวนใบพัด 4 ใบ	13	1.7
เขื่อนห้วยกุ่ม	อ.คอนสาร จ.ชัยภูมิ ขนาด 550 kW Blade dia. 800 mm. จำนวนใบพัด 5 ใบ	20	3.7

เมื่อกำหนดรูปทรงใบพัดและชิ้นส่วนของกังหันพลังน้ำเสร็จ ก็ทำการจำลองการไหลที่เกิดขึ้น นำผลการจำลองCFDที่ได้มาวิเคราะห์และปรับปรุงรูปทรงของกังหันพลังน้ำ ทำซ้ำจนกระทั่งได้สมรรถนะและประสิทธิภาพเชิงกลศาสตร์การไหลของชุดกังหันพลังน้ำตามที่ต้องการ

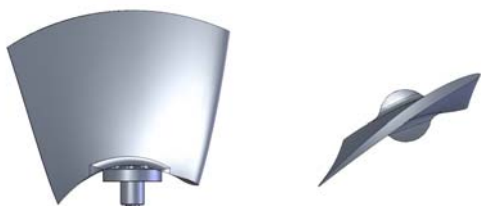
สำหรับรูปทรงของใบพัดที่ระดับหัวน้ำต่างๆ ดังรูปที่ 7 8 และ 9 ซึ่งจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความยาวคอรีด และมุมพิทช์ของใบพัดแตกต่างกัน และเครื่องกังหันที่ออกแบบเพื่อใช้งานจริงกับแหล่งน้ำขนาดเล็กของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยที่ใช้เป็นกรณีศึกษา ดังรูปที่ 10 11 และ 12 เครื่องกังหันพลังน้ำแต่ละตัวจะมีรูปร่างลักษณะแตกต่างกันตามเงื่อนไขออกแบบของสถานที่ติดตั้ง โดยออกแบบเป็นรายการกันไป ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้องค์ความรู้ในการออกแบบรูปทรงใบพัดและเทคนิคการจำลอง CFD



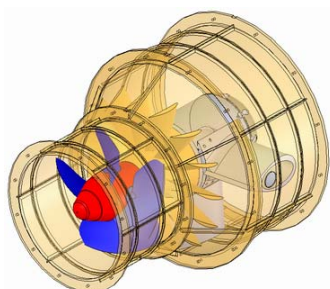
รูปที่ 7 รูปทรงใบพัดที่ออกแบบสำหรับหัวน้ำระดับต่ำ



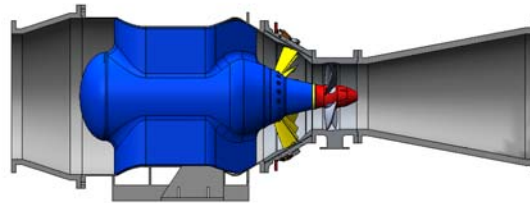
รูปที่ 8 รูปทรงใบพัดที่ออกแบบสำหรับหัวน้ำระดับกลาง



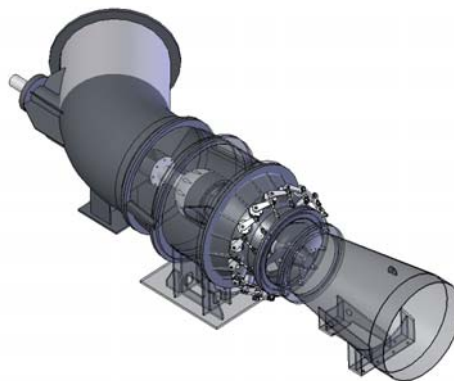
รูปที่ 9 รูปทรงใบพัดที่ออกแบบสำหรับหัวน้ำระดับสูง



รูปที่ 10 เครื่องกังหันพลังน้ำที่ออกแบบสำหรับเขื่อนแม่ปิงตอนล่าง [5]



รูปที่ 11 เครื่องกังหันพลังน้ำที่ออกแบบสำหรับเขื่อนแม่จาง



รูปที่ 12 เครื่องกังหันพลังน้ำที่ออกแบบสำหรับเขื่อนห้วยกุ่ม

5. การทดสอบใช้งาน

เมื่อออกแบบแล้วเสร็จได้รูปทรงของใบพัดและชิ้นส่วนต่างๆของเครื่องกังหันพลังน้ำ ก็นำไปสร้างและทดสอบการทำงานของเครื่องกังหันพลังน้ำดังแสดงในรูปที่ 13 และ 14 สำหรับเครื่องกังหันที่จะนำไปติดตั้งที่เขื่อนห้วยกุ่มยังอยู่ในขั้นตอนการสร้าง ยังไม่แล้วเสร็จ จึงยังไม่มีรูป



รูปที่ 13 เครื่องกังหันพลังน้ำที่ติดตั้งที่เขื่อนแม่ปิงตอนล่าง



รูปที่ 14 เครื่องกังหันพลังน้ำที่ติดตั้งที่เขื่อนแม่จาง

6. สรุป

การออกแบบเครื่องกังหันพลังน้ำ ใบพัดกังหันเป็นชิ้นส่วนที่มีความสำคัญมากสำหรับการเปลี่ยนพลังงานจลน์ให้อยู่ในรูปพลังงานกล รูปทรงใบพัดกังหันจะต้องออกแบบให้เหมาะสมกับความสูงหัวน้ำและอัตราไหลของแต่ละแหล่งน้ำ ซึ่งลักษณะรูปทรงใบพัดจะแตกต่างกันตามระดับความสูงหัวน้ำ การออกแบบรูปทรงใบพัดจะต้องอาศัยทฤษฎีทางด้าน Turbo machinery ร่วมกับ สมการฟลักซ์ของใบพัด และใช้ประโยชน์จากการจำลอง CFD ช่วยวิเคราะห์หารูปทรงใบพัดที่เหมาะสม ที่จะทำให้เครื่องกังหันพลังน้ำมีสมรรถนะและประสิทธิภาพเชิงกลศาสตร์การไหลของชุดกังหันพลังน้ำสูงสุด นอกจากนี้ผลของการจำลอง CFD ยังทำให้ทราบถึงแรงกระทำที่เกิดขึ้นบนใบพัดและชิ้นส่วนต่างๆของเครื่องกังหันพลังน้ำ จึงสามารถออกแบบความแข็งแรงของชิ้นส่วนต่างๆ เพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายในขณะใช้งานได้

การพัฒนาแหล่งพลังน้ำขนาดเล็ก โดยพึ่งพาเทคโนโลยีของตนเอง เพื่อออกแบบและผลิตเครื่องกังหันพลังน้ำขนาดเล็ก เป็นทางเลือกที่มีความเหมาะสมกับสภาพการณ์ของประเทศไทยในปัจจุบัน เนื่องจากแหล่งน้ำขนาดเล็กภายในประเทศไทยที่มีศักยภาพที่จะพัฒนาได้ยังมีจำนวนมาก ถ้าหากได้รับการสนับสนุนจากทุกๆฝ่ายที่เกี่ยวข้อง ก็จะทำให้เกิดโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กเพิ่มจำนวนมากขึ้น เป็นการช่วยหา

แหล่งพลังงานที่มั่นคงและใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้คุ้มค่า รวมทั้งยังไม่ทำลายสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทีมงานวิจัยทุกท่าน โดยเฉพาะเจ้าหน้าที่ฝ่ายก่อสร้างพลังน้ำ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่เสียสละเวลาอันมีค่า ทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- 1 Carlton, J.S. Marine Propellers and Propulsion. Oxford : Butterworth-Heinemann Ltd., 1994.
- 2 ยอดชาย และคณะ, 2550. การทดสอบและการจำลองเครื่องกังหันพลังน้ำขนาดเล็ก. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 21
- 3 ยอดชาย และคณะ, 2549. การออกแบบใบพัดสำหรับกังหันน้ำขนาดเล็กโดยอาศัยเทคนิคการจำลอง. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 20
- 4 Tiaple, Y., et al, 2005. Reverse Engineering for Developing Small Hydro Turbine Using CFD Simulation. ME-NETT National Conference 19th, Phuket.
- 5 Tiaple Y. and Nontakaew U., 2004. The development of bulb turbine for low head storage using CFD simulation, The joint international conference on "Sustainable Energy and Environment (SEE)".