การออกแบบระบบทางกลของกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กแบบแกนตั้งโดยอาศัยหลักการทางด้านพลศาสตร์ของไหลช่วยในการคำนวณ

Mechanical Design Systems of Vertical Axis Micro Water Turbine Generator Using Computational Fluid Dynamics (CFD)

วีระยุทธ หล้าอมรชัยกุล[1,*]

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา น่าน
59 หมู่ 13 ตำบลภายแก้ว อำเภอภูเพียง จังหวัดน่าน รหัสไปรษณีย์ 55000
*ผู้ติดต่อ: werayoot_rmutl@hotmail.com, เบอร์โทรศัพท์ 054710259-1142, 0808261565 เบอร์โทรสาร 054-711601

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อทำการศึกษาและออกแบบระบบทางกลของกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กแบบแกนตั้ง โดยใช้วิธีการจำลองเชิงตัวเลขของการไหลของน้ำผ่านวงล้อของกังหันน้ำโดยอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นโปรแกรมเฉพาะทางในการวิเคราะห์ผลทางด้านพลศาสตร์ของไหล ซึ่งกังหันน้ำที่จำลองเป็นกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กแบบแกนตั้ง ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของวงล้อเท่ากับ 280 มิลลิเมตร ซึ่งการจำลองเชิงตัวเลขนั้น กระทำโดยใช้กรรมวิธีการจำกัดปริมาตรในแนว 3 มิติ โดยทำการสร้างปริมาตรควบคุม (Control Volume) ให้กับวงล้อกังหันน้ำเพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณ ในการหาผลการทำงานโดยการใช้สมการอนุรักษ์มวล และ สมการโมเมนตัม ผลการจำลองที่ได้มีความสอดคล้องกับทฤษฎี โดยค่าแรงบิดมีการเปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลาซึ่งสัมพันธ์กับค่าของความเร็วสัมพัทธ์และมุมประทะที่เข้าสู่หน้าตัดของใบกังหันน้ำผลิตไฟฟ้า ผลเฉลยจากการคำนวณนี้สามารถนำค่าตัวแปรทางคณิตศาสตร์ที่คำนวณได้จากโปรแกรมมาออกแบบโวลูต และล้อกังหันน้ำผลิตไฟฟ้า ให้มีประสิทธิภาพสูงได้ การศึกษาการไหลของน้ำผ่านกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กแบบแกนตั้งโดยใช้โปรแกรมคำนวณทางด้านพลศาสตร์การไหลสรุปผลได้ว่าที่มุม 40 องศาของการวางวางท่อจะได้ประสิทธิภาพการทำงานสูงสุดที่แรงบิด 9.15 N.m ที่ความเร็วรอบ 810 รอบ/นาที และพลังงานเกิดขึ้นได้ประมาณ 775.73 วัตต์ ยังไม่คิดอัตราการสูญเสีย เมื่อนำผลจากการจำลองผลเชิงตัวเลขมาทำการเปรียบเทียบการการทดสอบจากงานจริงจะมีค่าความคลาดเคลื่อนไปประมาณ 5.3 % การวิเคราะห์การทำงานของระบบสามารถสรุปผลได้เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบและสร้างต้นแบบกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กแบบแกนตั้ง ซึ่งจะได้ทำการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้นต่อไป

คำหลัก: กังหันน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กแบบแกนตั้ง, การคำนวณผลทางพลศาสตร์ของไหล

Abstract

The objective of this study is to design of mechanical systems for vertical axis micro water turbine generator using Computational Fluid Dynamics (CFD) technique from the commercials software. The modeling is 280 mm diameter using for the efficiency prediction in numerical method. The water turbine simulation producing

the electricity is numerical modeled by varying flows through the turbine wheel. The duplication of the numerical is modeled by the control volume methodology. Additionally, it is easier for solving of the conservations equations using mass and momentum theory. The prediction results are shown that the torqueses of turbine modeling are varied depending on the time domains and to be related to speed relation from the developed force. The duplication results show height efficiency at 40 degree angle of water attack to the turbine blade, producing of 9.15 Nm torque at 810 RPM which is 775.73 watts power output which do not rate of losses. When the results of numerical simulations to compare the results of tests of the percentage of error about 5.3%.The result of CFD prediction leads to make small prototyping and comparing the results of analytical and experimental model.

***Keywords**:* Vertical Axis Micro Water Turbine Generator, Computational Fluid Dynamics (CFD).

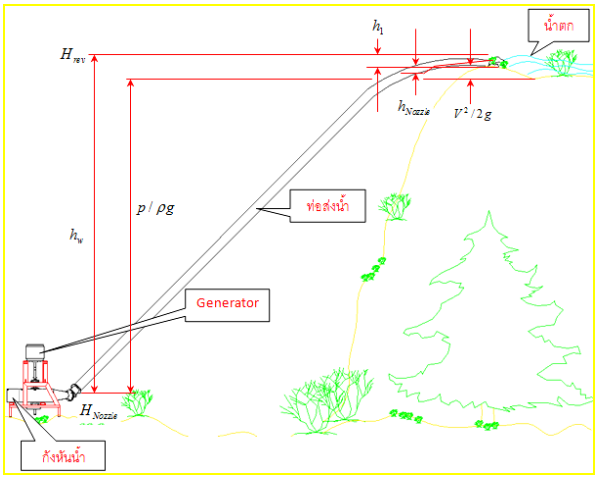
1. บทนำ

กังหันน้ำผลิตไฟฟ้าเป็นเครื่องมือทางกลศาสตร์ของไหลที่ช่วยในการปรับเปลี่ยนรูปแบบของพลังงานจลน์ที่เกิดจากน้ำให้เป็นพลังงานทางกลเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งรูปแบบของกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าในปัจจุบันมีลักษณะพิเศษที่แตกต่างกันไปตามรูปแบบการทำงานและลักษณะการไหลของน้ำ ซึ่งรูปแบบของประสิทธิภาพการทำงานของกังหันน้ำ จะขึ้นอยู่กับชิ้นส่วนหลักที่เป็นองค์ประกอบโดยรวมของเครื่อง อาทิเช่น ใบกังหันน้ำ ลักษณะการวางใบพัด การจัดวางท่อน้ำที่ติดตั้งกับท่อเจ็ท และขนาดของวงล้อกังหันน้ำที่มีผลต่อรอบการหมุน เป็นต้น นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงรูปแบบและลักษณะการติดตั้งในแต่ละพื้นที่ที่ใช้งานด้วย ซึ่งลักษณะของการออกแบบกังหันน้ำให้มีประสิทธิภาพที่สูงและสามารถใช้งานได้ตามพื้นที่ที่กำหนด จำเป็นที่จะต้องมีการจัดสรรองค์ประกอบทางด้านการออกแบบให้ดี โดยทำการรวบรวมองค์ความรู้ทางภาคปฏิบัติและภาคทฤษฎีเข้าไว้ด้วยกันเพื่อเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของกรอบแนวคิด เพื่อเป็นฐานความรู้ในการออกแบบและติดตั้งกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น

งานวิจัยนี้จึงได้รวบรวมองค์ความรู้ทางภาคทฤษฎีทั้งในส่วนของ กลศาสตร์ของไหล การออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล และไฟไนต์เอลิเมนต์ ให้เป็นฐานข้อมูลหลักในการพิจารณาเพื่อทำการออกแบบระบบการทำงานของกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กแบบแกนตั้งให้สามารถทำงานได้ที่ความสูงของระดับน้ำที่ต่ำ และเหมาะสมกับศักยภาพของแหล่งน้ำขนาดเล็กในชุมชน และเป็นหลักการอ้างอิงที่จะเป็นตัวเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลองเชิงตัวเลขทางด้านพลศาสตร์ของไหล

2. ทฤษฎีพื้นฐาน

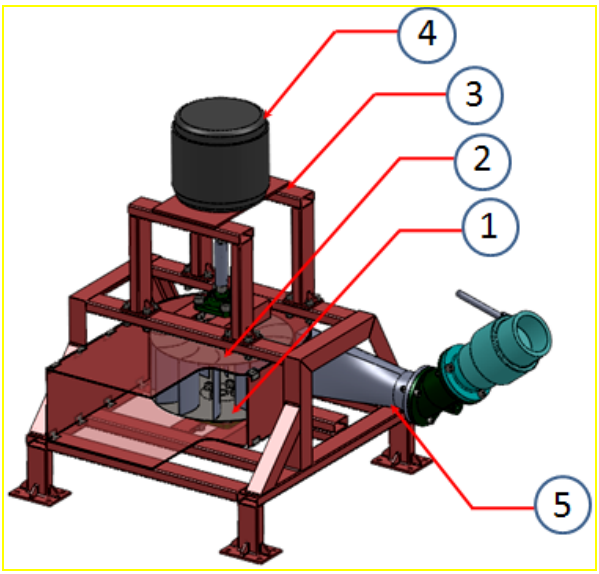
พื้นฐานการออกแบบระบบการทำงาน จำเป็นที่จะต้องเข้าใจถึงหลักการและที่มาของกรอบปัญหาในการวิเคราะห์เพื่อให้ง่ายต่อการกำหนดสัดส่วนของชิ้นส่วนที่จะทำการออกแบบและสร้าง ซึ่งองค์ประกอบของกรอบแนวคิดในการออกแบบแสดงได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 องค์ประกอบการวิเคราะห์

ในการออกแบบองค์ประกอบของระบบการทำงานของกังหันน้ำขนาดเล็กผลิตไฟฟ้าแบบแกนตั้งจะต้องเข้าใจถึงหลักการทำงานของชิ้นส่วนแต่ละชิ้นที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นมา เพราะชิ้นส่วนแต่ละชิ้นจะบ่ง

บอกถึงสมรรถนะและประสิทธิภาพของระบบการทำงาน ซึ่งองค์ประกอบโดยรวมดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 องค์ประกอบโดยรวมที่ต้องการออกแบบ

หน้าที่หลักของชิ้นส่วนแต่ละชนิดมีหลักและความสำคัญต่อระบบการทำงานดังนี้

1).วงล้อกังหันน้ำ (Wheel of Water Turbine) ตามรูปที่ 2 เป็นส่วนประกอบสำคัญที่รับพลังงานจลน์ที่เกิดจากน้ำ (Kinetic energy) ที่เกิดจากองค์ประกอบในการเคลื่อนที่ของน้ำ ตามรูปที่ 1 ซึ่งเป็นตัวทำให้เกิดพลังงานกลที่แกนหมุนเพื่อถ่ายทอดกำลังงานไปยังเพลาแกนหมุนเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานกล

2).โวลูตน้ำ (Volute) ทำหน้าที่รวบรวมน้ำที่ถูกเหวี่ยงออกจากใบพัดของกังหันน้ำด้วยความเร็วสูง ขณะที่น้ำไหลผ่านวงล้อกังหันน้ำ ซึ่งพลังงานในน้ำจะถูกปรับเปลี่ยนจาก velocity energy ไปเป็น pressure energy แล้วลำเลียงน้ำออกสู่บรรยากาศ

3).โครงสร้างหลัก (Main Body) ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างหลักในการติดตั้งวัสดุอุปกรณ์ที่สำคัญของระบบการทำงานของกังหันน้ำ เพื่อใช้เป็นฐานในการรองรับแรงกระทำในสภาพการทำงานจริง

4).ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) ทำหน้าที่แปลงพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า มีลักษณะการทำงานโดยจะอาศัยหลักการว่าเมื่อ สนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ตัดขดลวด หรือขดลวดเคลื่อนที่ตัดสนามแม่เหล็กก็จะได้ไฟฟ้าออกมา

5).ท่อส่งน้ำ (Jet) ทำหน้าที่ควบคุมและเพิ่มค่าความเร็วของลำน้ำเพื่อฉีดเข้าที่ใบกังหันน้ำ เพื่อให้เกิดการหมุนที่เร็วที่สุด

2.1 ทฤษฎีการวิเคราะห์ทางด้านพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

สมการพื้นฐานของการไหล

ในบทความนี้เป็นการวิเคราะห์การไหลแบบอัดตัวไม่ได้ เป็นการไหลแบบมีความหนืด สมการที่นำมาใช้ในงานวิจัย คือ สมการความต่อเนื่อง สมการโมเมนตัม และสมการพลังงาน โดยสามารถเขียนสมการดังกล่าวให้อยู่ในรูปอย่างง่ายดังนี้ คือ

สมการความต่อเนื่อง [1]

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i}+\frac{\partial(\rho v_i)}{\partial y_i}=0 \tag{1}$$

สมการโมเมนตัมในแนวแกน x

$$\frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j}+\frac{\partial(\rho u_i v_j)}{\partial y_j}=-\frac{\partial p}{\partial x_i}+\left[\frac{\partial}{\partial x_i}u\left[\frac{\partial u_i}{\partial x_i}\right]+\frac{\partial}{\partial y_j}\mu\left[\frac{\partial u_i}{\partial y_j}\right]\right] \tag{2}$$

สมการโมเมนตัมในแนวแกน y

$$\frac{\partial(\rho u_i v_j)}{\partial x_j}+\frac{\partial(\rho v_i v_j)}{\partial y_j}=-\frac{\partial p}{\partial y_i}+\left[\frac{\partial}{\partial x_i}u\left[\frac{\partial v_i}{\partial x_i}\right]+\frac{\partial}{\partial y_j}\mu\left[\frac{\partial v_i}{\partial y_j}\right]\right]+(\rho-\rho_0)g \tag{3}$$

สมการพลังงาน

$$\rho c_p\left[\frac{\partial(u_i T_j)}{\partial x_i}+\frac{\partial(v_i T_j}{\partial y}\right]=\frac{\partial}{\partial x_i}\left[k\frac{\partial T_j}{\partial x_i}\right]+\frac{\partial}{\partial y_i}\left[k\frac{\partial T_j}{\partial y_i}\right] \tag{4}$$

ค่าความเค้นเฉลี่ยเนื่องจากความหนืด, $\bar{t}_{ij}$ จะประมาณเป็น

$$\bar{t}_{ij}\cong\mu\left[\frac{\partial u_i}{\partial x_j}+\frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right] \tag{5}$$

โดย u คือ Laminar viscosity ส่วนค่าความเค้นเฉลี่ยของ Reynolds. Stress, $\bar{t}_{ij}$ จะเขียนอยู่ในรูป

$$\bar{t}_{ij}=\overline{\rho u_i' u_j'} \tag{6}$$

ค่า $\bar{t}_{ij}$ ซึ่งยังไม่ทราบค่า ดังนั้นจึงต้องอาศัยแบบจำลอง $k-\varepsilon$ Model ในการหาค่า $\bar{t}_{ij}$

ใน $k-\varepsilon$ Model เทอมของ Reynolds Stress, จะถูกสร้างเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้นกับ Mean Stress Rate โดย Eddy Viscosity จะกำหนดให้มีความสัมพันธ์กับ Turbulent Kinetic Energy, (K) และ Dissipation Rate (ε) โดยใช้ Bossiness's approximation [2] คือ

$$t_{ij} = -\frac{2}{3}\delta_{ij}(\rho k) + u_t\left[\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right] \quad (7)$$

โดยที่ $u_t = \rho c_u k^2/\varepsilon$ คือ Turbulent Eddy Viscosity สมการของ Turbulent Kinetic Energy (TKE) (k) จะอยู่ในรูป [2]

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j k) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\frac{u_e}{\sigma_k} + \frac{\partial_k}{\partial x_j}\right] + G - \rho\varepsilon \quad (8)$$

สมการของ Dissipation Rate ของ Turbulent Kinetic Energy [2] จะได้

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\frac{u_e}{\sigma_k} + \frac{\partial_k}{\partial x_j}\right] + \frac{\varepsilon}{k}(C_{\varepsilon 1}G - C_{\varepsilon 2}\rho\varepsilon) \quad (9)$$

ซึ่ง G แทน Generation Rate of Turbulent Kinetic Energy ขณะที่ $\rho\varepsilon$ เป็น Dissipation Rate โดย G จะเป็น

$$G = u_e\left[\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right)\frac{\partial u_i}{\partial x_j}\right] \quad (10)$$

ค่าขอบเขตสำหรับค่าต่างๆของ Turbulent ที่ใกล้ผนังสามารถหาค่าได้จาก Wall Function โดยมีค่าคงที่ที่เกี่ยวข้องกับค่าสมการต่างๆที่ผ่านมามีดังนี้คือ

σ_k =1.0, σ_ε =1.3, $c_{\varepsilon 1}$ =1.44, $c_{\varepsilon 2}$ =1.92, และ c_u =0.09 เป็นค่าคงที่ [2] โดยที่ $u_e = u_t + u$

2.2 การคำนวณหาความเร็วของน้ำ

พิจารณาจากกฎทรงพลังงาน (Energy conservation) จะได้ว่าน้ำเมื่อตกลงมาพลังงานศักย์ของน้ำจะเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์ทั้งหมด ซึ่งสามารถเขียนเป็นสูตรได้ดังนี้ [3]

$$E_p = E_k$$

$$mgH = \frac{1}{2}mv^2$$

$$v^2 = 2gH$$

$\therefore$ ความเร็วของน้ำหาค่าได้จาก $v = \sqrt{2gH}$ (12)

2.2. ทฤษฎีด้านการต้านและการยกตัวของสภาพการไหลผ่านวัตถุ

การไหลของน้ำที่ไหลผ่านใบพัดภายในวงล้อกังหันน้ำ ทำให้เกิดแรงกระทำและเปลี่ยนถ่ายพลังงานที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของน้ำให้วงล้อกังหันน้ำนั้นเกิดการหมุน ซึ่งกรอบการวิเคราะห์ดังกล่าวจะมีรูปแบบของแรงกระทำอยู่ 2 ชนิด คือ แรงต้าน (Drag Force) และแรงยกตัว (Lift Force) ซึ่งแรงกระทำทั้งสองชนิดนี้จะเป็นตัวบ่งถึงระบบการทำงานและประสิทธิภาพของใบพัดกังหันน้ำ รูปแบบของสมการทั้งสอง คือ

แรงต้าน (Drag Force) [4]

$$F_D = \frac{C_D}{\frac{1}{2}\rho A V^2} \quad (13)$$

แรงยกตัว (Lift Force)

$$F_L = \frac{C_L}{\frac{1}{2}\rho A V^2} \quad (14)$$

โดยที่

F_D คือ แรงต้าน (N)

F_L คือ แรงยกตัว (N)

C_D คือค่าสัมประสิทธิ์แรงต้าน (Drag Coefficient)

C_L คือค่าสัมประสิทธิ์แรงยกตัว (Lift Coefficient)

ρ คือ ค่าความหนาแน่นของน้ำ (1,000 kg/m^3)

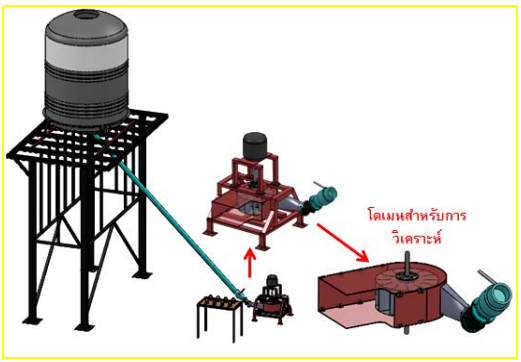
A คือ พื้นที่ (m^2)

V คือ ความเร็วลำน้ำ (m/s)

3. การจำลองผลเชิงตัวเลข

การจำลองผลเชิงตัวเลขเพื่อทำการออกแบบระบบทางกลของกังหันน้ำขนาดเล็กผลิตไฟฟ้าแบบแกนตั้ง สิ่งที่สำคัญที่สุดคือจะต้องรู้หลักการทำงานโดยภาพรวม ตลอดจนปัญหาขอบเขตทางกายภาพที่มีผลต่อสภาวะการทำงานของกังหันน้ำ นอกจากนี้ยังต้อง

คำนึงถึงความเหมาะสมของโดเมนที่จะทำการวิเคราะห์ผล การเลือกขนาดของโดเมนในการวิเคราะห์แสดงได้ดังรูปที่ 3

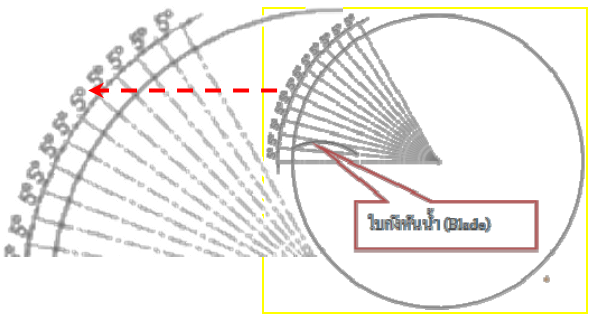


รูปที่ 3 การเลือกโดเมนในการวิเคราะห์

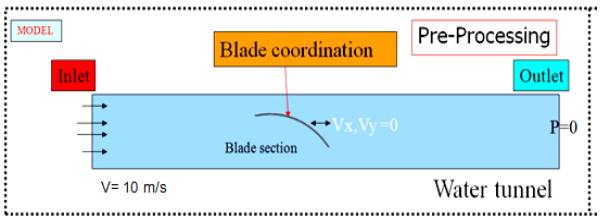
ในการออกแบบระบบทางกลของกังหันน้ำขนาดเล็กผลิตไฟฟ้าแบบแกนตั้ง ในการศึกษาและวิจัยนี้จะทำการแบ่งรูปแบบโดเมนในการวิเคราะห์ผลทางพลศาสตร์ของไหลออกเป็นสองส่วน คือ การออกแบบมุมวางใบพัด และการออกแบบรอบการหมุนที่เหมาะสมเทียบกับมุมการวางท่อ

1.การออกแบบมุมวางใบพัด

แบบจำลองเชิงตัวเลขสำหรับทำการวิเคราะห์ผลเฉลยทางพลศาสตร์ของไหลของน้ำ เพื่อทำการจำลองผลเชิงตัวเลขเพื่อหามุมที่เหมาะสมที่สามารถสร้างแรงยกตัวได้เหมาะสมสำหรับทำการออกแบบการวางใบพัดกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าแบบแกนตั้ง ซึ่งรูปแบบและขั้นตอนในการศึกษาต้องกำหนดขนาดของโดเมนในการวิเคราะห์ผลทั้งในส่วนของท่ออุโมงค์น้ำและขนาดของใบพัดตามสัดส่วนของความเป็นจริง เพื่อให้ได้ผลของคำตอบที่ได้จากการจำลองผลเชิงตัวเลขให้ได้ค่าที่ใกล้ความจริงมากที่สุด โดยรูปแบบและขนาดของโดเมนการออกแบบมุมวางใบแสดงได้ดังรูปที่ 4 (ข)



(ก).การกำหนดมุมองศาสำหรับการวิเคราะห์ทาง

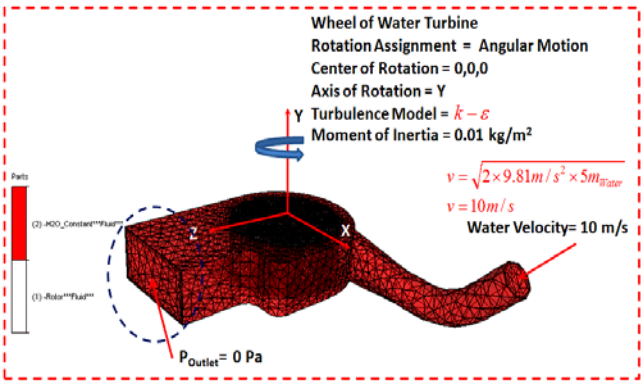


(ข).กรอบและปัญหาขอบเขตในการวิเคราะห์

รูปที่ 4 องค์ประกอบการวิเคราะห์

2.การออกแบบรอบการหมุนที่เหมาะสมเทียบกับมุมการวางท่อ

การกำหนดขนาดของโดเมนในการวิเคราะห์ผลทางพลศาสตร์ของไหล เพื่อจำลองลักษณะรูปแบบการไหลเพื่อหารอบการหมุนที่เหมาะสมเทียบกับมุมการวางท่อ ควรที่จะเลือกโดเมนที่มีการเปลี่ยนแปลงทางด้านอัตราการไหลมากที่สุดมาเป็นโดเมนในการวิเคราะห์ เพื่อลดปัญหาในการสร้างเมช และลดเวลาในการคำนวณลง ซึ่งกรอบของโดเมนในการวิเคราะห์นี้จะมีอยู่ด้วยกันทั้งหมด 2 ส่วน คือ วงล้อของกังหันน้ำผลิตไฟฟ้า และในส่วนของโวลูตน้ำ ซึ่งรายละเอียดของโดเมนแสดงผลได้ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 โดเมนวิเคราะห์เพื่อคำนวณหารอบการหมุนและเงื่อนไขขอบเขตของระบบปัญหา

เงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition) สำหรับแบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณ ดังภาพที่ 5 สามารถอธิบายได้ดังนี้

1.ค่าความเร็วของลำน้ำที่ได้ คิดที่ความสูงหัวน้ำ 5 เมตร จะได้ค่าความเร็วลำน้ำ 10 เมตรต่อวินาที

2.ค่าความดันในสนามความเร็วที่ทางออก (Pressure Outlet) โดยกำหนดให้มีค่าเท่ากับศูนย์ซึ่งมีค่าเท่ากับความดันบรรยากาศ

3.คุณสมบัติเชิงกลของวงล้อกังหันน้ำให้หมุนรอบภายใต้แกนอ้างอิง Y โดยทำการกำหนดค่า Center of Rotation เท่ากับ (0,0,0) และสมมุติให้รูปแบบการหมุนเป็นแบบ Angular Motion ที่ทำงานภายใต้แบบจำลองความปั่นป่วนชนิด $k-\varepsilon$

4. ผลการจำลองผลเชิงตัวเลข

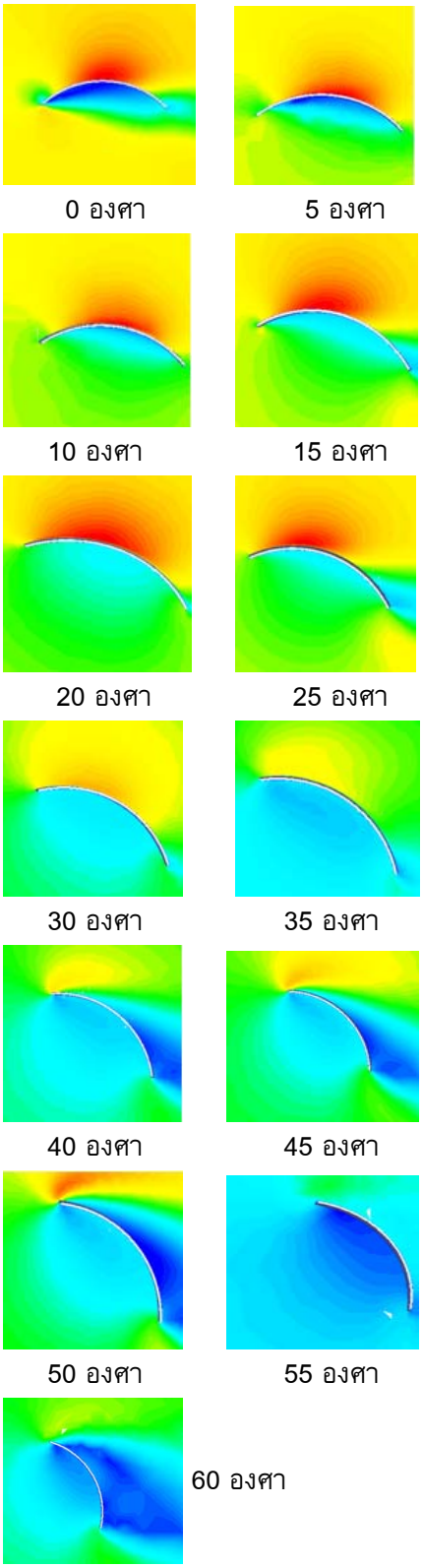
4.1 การออกแบบมุมวางใบกังหันน้ำ

ผลการจำลองเชิงตัวเลขในการคำนวณหาผลเฉลยของรูปแบบการไหลของน้ำผ่านใบพัดกังหันน้ำสำหรับทำการออกแบบมุมการวางใบพัดกังหันน้ำที่มุมองศาการวางใบต่างๆ สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลเฉลยทางพลศาสตร์ของไหล

Angle	F_L (N.m)	F_D (N.m)	F_R (N.m)	C_L	C_D	Ratio L/D
0	433.52	171.98	261.54	0.193	0.076	0.117
5	613.63	142.50	471.12	0.273	0.063	0.210
10	802.86	214.98	587.88	0.357	0.096	0.261
15	951.77	347.85	603.91	0.423	0.155	0.268
20	1178.9	457.54	621.39	0.480	0.203	0.277
25	1146.4	549.65	596.78	0.510	0.245	0.265
30	1145.7	651.07	494.70	0.509	0.289	0.220
35	1144.8	760.26	384.59	0.509	0.338	0.171
40	1053.6	867.09	186.51	0.469	0.386	0.083
45	999.55	958.98	40.56	0.445	0.426	0.019
50	915.15	1049.6	134.44	0.407	0.467	0.060
55	856.70	1164.8	308.16	0.381	0.518	0.137
60	681.91	1107.6	425.73	0.303	0.493	0.190

ผลจากตารางที่ 1 ซึ่งการจำลองผลทางพลศาสตร์ของไหล สามารถสรุปผลได้ว่าที่มุม 20 องศาการวางใบพัดกังหันน้ำให้ค่าแรงยกตัวได้ดีที่สุดเมื่อเทียบผลกับมุมองศาการวางใบอื่นๆผลที่เกิดขึ้นสามารถแสดงผลให้อยู่ในรูปแบบของ Plot Contour ในแต่ละมุมองศาการวางใบพัดกังหันน้ำได้ดังนี้



รูปที่ 6 มุมองศาการวิเคราะห์ผล

4.2 การคำนวณหารอบการหมุน

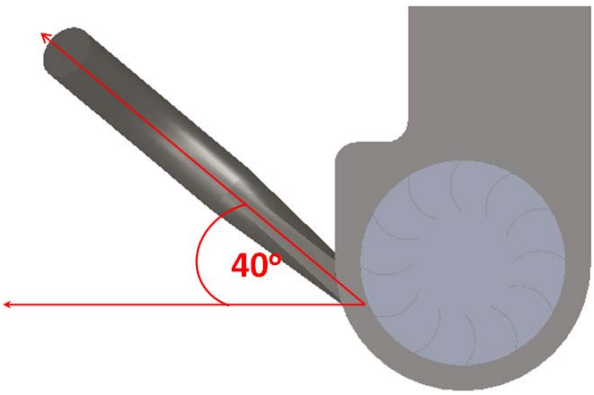
ผลการจำลองเชิงตัวเลขในการคำนวณหาผลเฉลยของรูปแบบการหมุนเทียบกับค่าความเร็วลำน้ำที่ได้จากการคำนวณ จากการศึกษาและระเบียบวิธีการวิจัย

นี้ได้ทำการแบ่งมุมองศาของการวางท่อไว้ทั้งหมด 6 มุม คือ 0, 10, 20, 30, 40, 50 องศา ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ที่เกิดขึ้นแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์

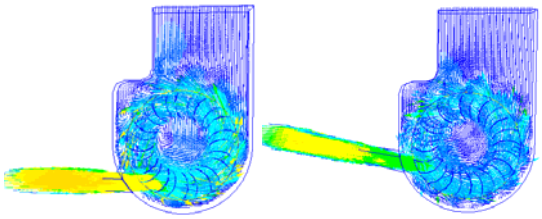
มุมองศา (Angle)	รอบการหมุน (RPM)	แรงบิด (N.m)	กำลังไฟฟ้า (Watt)
0	732	7.83	599.90
10	732	7.83	599.90
20	795	8.64	718.93
30	806	8.87	748.28
40	810	9.15	775.73
50	809	9.02	763.77

จากผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการจำลองผลเชิงตัวเลขสำหรับทำการคำนวณหารอบการหมุนที่เหมาะสมเทียบกับค่าความเร็วลำน้ำที่ได้จากการคำนวณ ผลจากตารางที่ 2 สามารถสรุปได้ว่าที่มุม 40 องศาของการวางท่อ ดังรูปที่ 7

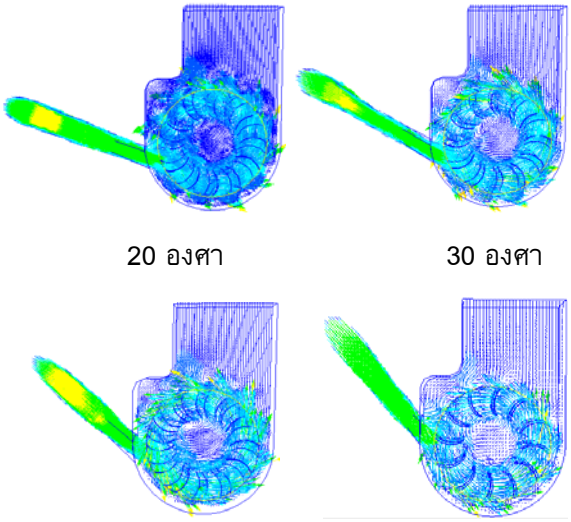


รูปที่ 7 มุมการวิเคราะห์ที่ดีที่สุด

สามารถสร้างรอบการหมุนได้ดีที่สุดเมื่อเทียบผลกับมุมองศาการวางท่ออื่นๆ ผลที่เกิดขึ้นนี้สามารถแสดงผลให้อยู่ในรูปแบบของ Plot Vector ในแต่ละมุมองศาการว่างท่อได้ดังนี้



0 องศา 10 องศา



20 องศา 30 องศา

40 องศา 50 องศา

รูปที่ 8 รูปแบบการแสดงผลแบบ Plot Vector

จากตารางที่ 2 ที่มุม 40 องศา ให้ผลต่างระหว่างรอบการหมุนสูงสุดที่ 810 รอบต่อนาที และสามารถสร้างกำลังงานทางไฟฟ้าได้ 775.73 วัตต์ (ยังไม่คิดการสูญเสีย) ซึ่งเป็นค่าสูงสุด เมื่อเทียบกับมุมอื่นๆ ที่ทำการวิเคราะห์ จากผลต่างที่เกิดขึ้นทำให้เข้าใจได้ว่ายิ่งทำมุมเอียงของท่อน้ำให้มีลักษณะเอียงทำมุมกับใบพัดกังหันน้ำมากขึ้น รอบการหมุนของน้ำก็สูงขึ้นตามไปด้วย แต่อย่างไรก็ตามจากผลการศึกษา พบว่าการสร้างมุมเอียงของท่อน้ำให้กับโวลูตน้ำที่ไม่เหมาะสม รอบการหมุนและแรงบิดที่เกิดขึ้นก็จะตกลง ผลก็เนื่องมาจากมุมที่ฉีดน้ำเข้ามากับมุมการวางใบที่ไม่เหมาะสมกัน จากผลการศึกษานี้ ควรพิจารณาความสมดุลของรูปแบบการไหลเป็นสำคัญ และยิ่งต้องคำนึงถึงการสร้างต้นแบบให้เหมาะสมต่อระบบการทำงานจริงด้วย

5. สรุปผลการศึกษา

รูปร่างของโวลูตน้ำและมุมองศาการวางท่อน้ำมีผลต่อรูปแบบการไหลของน้ำภายในโวลูต เมื่อน้ำเกิดการไหลผ่านวงล้อกังหันน้ำที่ได้จากการเปลี่ยนสถานะจากอยู่กับที่ให้เกิดการหมุนเกิดขึ้น เมื่อมีความเร็วของลำน้ำเข้ามากระทำ ซึ่งประสิทธิภาพทางกลที่เกิดขึ้นนี้จะขึ้นอยู่กับการออกแบบวงล้อและโวลูตน้ำให้มีความเหมาะสมต่อการทำงานจริง จากผลการจำลองเชิง

ตัวเลขทาง CFD ทำให้เข้าใจถึงกรอบปัญหาและวิธีการแก้ไขเพื่อให้ได้ต้นแบบที่สามารถทำงานได้จริง ซึ่งผลจากการจำลองทั้งในส่วนของมุมองศาการวางใบและรอบการหมุน สามารถนำผลที่ได้จากข้อมูลการวิเคราะห์ มาทำการออกแบบและสร้างต้นแบบจริงได้ทั้งในส่วนของการสร้างวงล้อกังหันน้ำ และการเลือกใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) ให้เหมาะสมต่อรอบการหมุนจริง เพื่อจะนำผลที่ได้จากต้นแบบจริงนำมาทำการสอบเทียบต่อไป แต่อย่างไรก็ตามเทคนิคทาง CFD ยังเป็นเครื่องมือที่เป็นประโยชน์ต่อการออกแบบระบบทางกลให้กับเครื่องจักรกลการไหลชนิดต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และยังช่วยลดเวลาในการวิจัยตลอดจนต้นทุนในการผลิตลง ซึ่งจะเป็นผลดีที่จะใช้เพื่อการวิจัยและศึกษาต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา (สวพ) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา น่าน ที่ให้คำแนะนำจนงานวิจัยสำเร็จ ตลอดจนภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปางที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านโปรแกรมลิขสิทธิ์ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ตลอดจนการวิเคราะห์ผลพลศาสตร์ของไหล สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ที่ไม่ได้เอยนามทุกคนที่คอยช่วยเหลือจนงานวิจัยสำเร็จด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

7.1 หนังสือ

[1] Wilcox C.D., “Turbulent Modeling for CFD”, DCW Industries, Inc., (1993), California.

[2] Gatski T.B.,“Turbulent Flows: Model Equations and Solution Methodology”, in Handbook Of Computational Fluid Mechanics, Edited By Roger Peyret, Academic Press Ltd, (1986), London.

7.2 บทความจากเอกสารประกอบการประชุม (Proceedings)

[3] วีระยุทธ หล้าอมรชัยกุล,วิรชัย โรยนรินทร์ (2551).การวิเคราะห์ ประสิทธิภาพของกังหันน้ำขนาดเล็กโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์วิเคราะห์พลศาสตร์ของไหล, *การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย*, มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

[4] สัมพันธ์ ไชยเทพ,ติณกร ภูวดิน(2547). สัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้านของโรเตอร์ในสภาวะออโตไจโร, *งานประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 18*, มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น