บทที่ 3

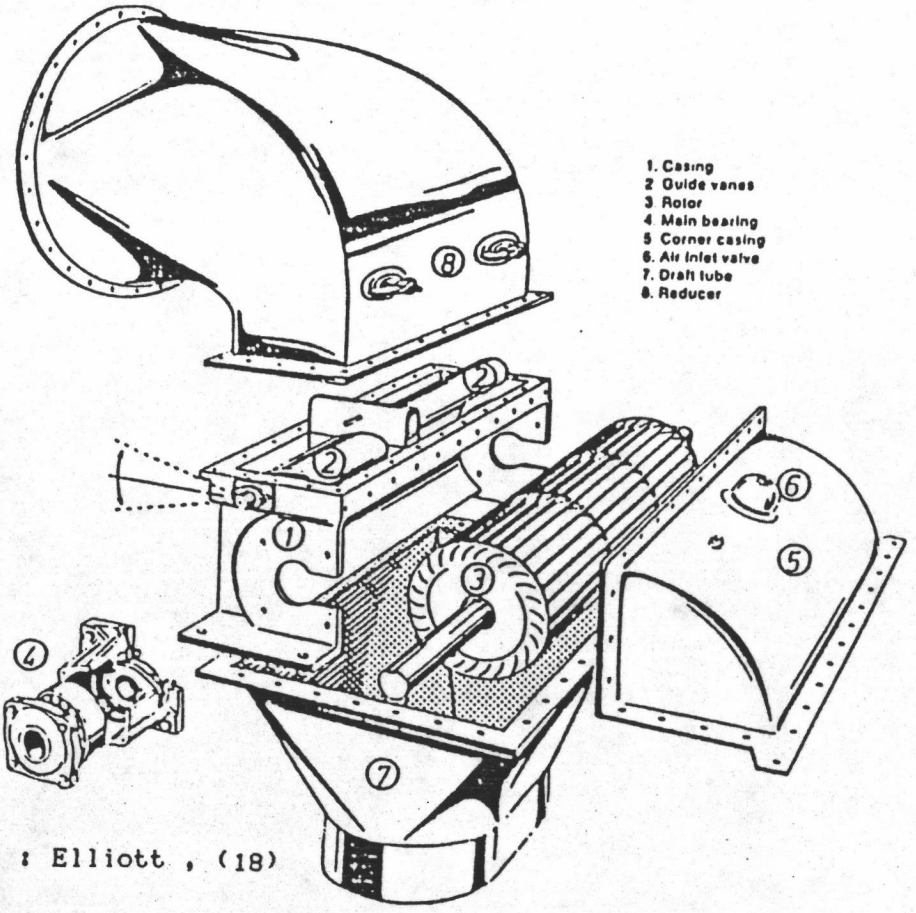
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กและการจัดการน้ำ

3.1 ประวัติความเป็นมาของเครื่องกังหันน้ำชนิด "ไหลขวาง"

เครื่องกังหันน้ำชนิด "ไหลขวาง" ที่มาของชื่อไหลขวาง มาจากความจริงที่ว่า น้ำไหลเคลื่อนผ่านใบพัดของเครื่องกังหันน้ำสองครั้งในการทำให้เกิดการหมุน ซึ่งหลักการของเครื่องกังหันน้ำชนิดนี้ถูกพัฒนาขึ้นคนแรกโดยวิศวกรชาวออสเตรีย ชื่อ A.G.M. Michell (8 : 1) ในปี ค.ศ.1903 โดยมีศาสตราจารย์ Donat Banki ซึ่งเป็นชาวฮังการีเป็นผู้พัฒนาเครื่องกังหันน้ำแบบเดียวกันขึ้นใน ค.ศ. 1912 ดังนั้นบางท่านอาจเรียกชื่อเครื่องกังหันน้ำนี้ว่า เครื่องกังหันน้ำ Banki หรือ Michell ดังแสดงในรูปที่ (3-1) จากรูปจะเห็นลักษณะที่แตกต่างจากเครื่องกังหันน้ำชนิดอื่น คือ เครื่องกังหันน้ำชนิดนี้จะมีใบพัดนำทาง (Guide vane) ซึ่งใช้เป็นตัวปรับทิศทางเข้าของน้ำและอัตราการไหล ทำให้สามารถควบคุมช่วงอัตราการไหลได้กว้างกว่าเครื่องกังหันน้ำชนิดอื่น ลักษณะอีกประการของเครื่องนี้คือ สามารถทำเป็นขนาดมาตรฐาน ได้ง่าย ทั้งนี้เนื่องจากใบพัดที่ประกอบเป็นกังหันมีลักษณะเป็นแผ่นโค้งวงกลม 2 มิติ ด้วยคุณลักษณะทั้งสองประการทำให้เครื่องกังหันน้ำชนิดไหลขวางเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายในชุมชนชนบททั้งประเทศที่พัฒนาแล้วและประเทศที่กำลังพัฒนาในปัจจุบัน เพราะสามารถใช้ได้ทั้งการผลิตกระแสไฟฟ้า และ ประกอบกับเครื่องสูบน้ำได้ ซึ่งสามารถใช้ได้ในสภาพภูมิประเทศที่มีความแตกต่างระดับไม่มากได้ หรือกรณีที่มีปริมาณน้ำไหลน้อยแต่มีความต่างระดับมาก

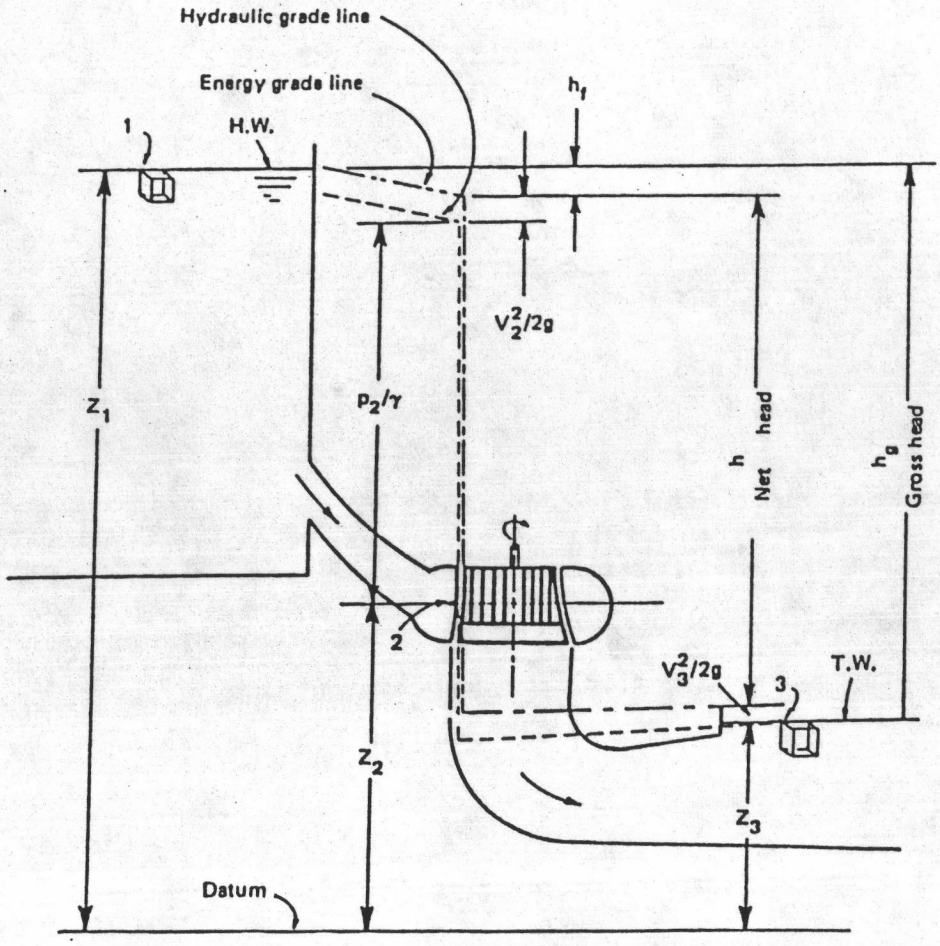
3.2 หลักชลศาสตร์

ในการพิจารณาทฤษฎีทางชลศาสตร์ของวิศวกรรมพลังน้ำ สิ่งที่สำคัญคือ แนวความคิดในการหาความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับตัวแปรพื้นฐานทางชลศาสตร์คือ หัวน้ำ (Head, H) และอัตราการไหล (Discharge, Q) วิธีการหนึ่งในการหาความสัมพันธ์ดังกล่าวทางคณิตศาสตร์ คือ ใช้สมการของเบอร์นูลลี่ ซึ่งกล่าวว่า ผลรวมของพลังงานประกอบ (พลังงานเนื่องจากระดับความสูง, พลังงานเนื่องจากความดัน และพลังงานจากการเคลื่อนที่) มีค่าคงที่ตลอดเส้นทางที่ของไหลเคลื่อนที่ภายในขอบเขตจำกัดหนึ่ง ดังนั้นทุก ๆ จุดบนเส้นทางที่ของไหลเคลื่อนที่ไปพลังงานของมวลน้ำจะเปลี่ยนจากรูปหนึ่งไปเป็นอีกรูปหนึ่ง ในทางปฏิบัติการเคลื่อนที่ของของไหลย่อมมีการสูญเสียพลังงานไป การสูญเสียพลังงานที่สำคัญในทางชลศาสตร์ คือ การสูญเสียเนื่องจากความเสียดทาน (h_f) ความสัมพันธ์ต่าง ๆ ได้แสดงในรูปที่ (3-2) ซึ่งเมื่อรวมการสูญเสียพลังงานใน



ที่มา : Elliott , (18)

รูปที่ (3-1) แสดงส่วนประกอบของเครื่องกังหันน้ำชนิดไหลขวาง



รูปที่ (3-2) แสดงความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่างๆในสมการเบอร์นูลลี่

สมการของเบอร์นูลลี่ โดยพิจารณาระหว่างจุดที่ 1 ที่ผิวน้ำของอ่างเก็บน้ำ หรืออ่างตกตะกอน (Forebay) และที่จุด 2 ที่ทางเข้าของเครื่องกังหันน้ำ จะได้ว่า

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + Z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + h_f \qquad (1)$$

และเมื่อพิจารณาสมการเบอร์นูลลี่ระหว่างจุดที่ 2 และจุดที่ 3 ที่ผิวน้ำของน้ำที่ออกจากท่อน้ำทิ้ง เมื่อ H คือ หัวน้ำสุทธิของเครื่องกังหันน้ำ จะได้ว่า

$$\frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 = \frac{V_3^2}{2g} + \frac{P_3}{\gamma} + Z_3 + H \qquad (2)$$

ซึ่งในทางปฏิบัติ ค่า V_1, P_1 และ P_3 จะมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นจะได้ว่า

$$\frac{P_2}{\gamma} = Z_1 - \frac{V_2^2}{2g} - Z_2 - h_f \qquad (3)$$

และ
$$H = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 - \frac{V_3^2}{2g} - Z_3 \qquad (4)$$

จาก (3) และ (4) จะได้

$$H = \frac{V_2^2}{2g} + \left(Z_1 - \frac{V_2^2}{2g} - Z_2 - h_f\right) + \left(Z_2 - \frac{V_3^2}{2g} - Z_3\right) \qquad (5)$$

หรือ
$$H = Z_1 - Z_3 - h_f - \frac{V_3^2}{2g} \qquad (6)$$

เนื่องจากสมการของเบอร์นูลลีนั้นถูกเขียนอยู่ในรูปพลังงานต่อหน่วยน้ำหนักของน้ำที่ไหลผ่านระบบ ดังนั้นเมื่อคูณด้วยน้ำหนักของน้ำที่ไหลผ่านเครื่องกังหันน้ำต่อหน่วยเวลาคือ ρgQ ก็จะได้กำลังงานที่น้ำปลดปล่อยให้กับเครื่องกังหันน้ำดังนี้

$$P = \rho gQH \qquad (7)$$

แต่เนื่องจากระบบเครื่องกังหันน้ำในทางปฏิบัติไม่สามารถจะรับพลังงานได้ทั้งหมด ทั้งนี้เนื่องจากการสูญเสียพลังงานเนื่องจากความฝืดของเครื่องจักรกล ซึ่งขึ้นอยู่กับการออกแบบ ความประณีตในการทำรวมทั้งวัสดุที่ใช้ โดยแสดงรวมในรูปของประสิทธิภาพ (η) ของเครื่องจักรนั้น ๆ

$$P = \eta\rho gQH \qquad (8)$$

จากสมการที่ 8 จะเห็นได้ว่า ประสิทธิภาพของเครื่องกังหันน้ำเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของกำลังผลิตเช่นกัน เนื่องจากอายุการใช้งานของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กในการวิเคราะห์ทางเศรษฐ-ศาสตร์วิศวกรรมแหล่งน้ำ จะคิดอายุการใช้งานประมาณ 25 ปี ดังนั้น การที่สามารถผลิตเครื่องกังหันน้ำให้ได้ประสิทธิภาพสูง ยอมจะทำให้ผลตอบแทนที่ได้รับตลอดอายุการใช้งานสูงตามไปด้วย

3.3 ค่าคงที่ของเครื่องกังหันน้ำ

จากความจริงเกี่ยวกับกฎความคล้ายคลึงสามารถใช้ในการกล่าวถึง ลักษณะเทียบเคียง (homologous) ของเครื่องกังหันน้ำ กล่าวคือ เมื่อกังหันน้ำที่มีขนาดแตกต่างกันถูกออกแบบให้มีขนาดที่สอดคล้องกับอัตราส่วนทางรูปร่าง เครื่องกังหันน้ำเหล่านั้นถือได้ว่าเทียบเคียงกัน ดังนั้นคุณลักษณะของกำลังผลิต ความเร็วรอบ และอัตราการไหลจะเป็นสัดส่วนกัน และเครื่องเหล่านั้นมีแนวโน้มว่าจะมีประสิทธิภาพที่เท่ากัน ดังนั้นถ้าให้กำลังผลิตของเครื่องกังหันน้ำ P เป็นฟังก์ชั่นของ Q, H, N, D, g, ρ

ตัวแปรทั้งหมดมี P, Q, H, N, D, g, ρ รวม 7 ตัว n = 7
มิติ M, L, T รวม 3 ตัว m = 3
จะได้กลุ่มตัวเลขชี้นำไร้หน่วย π - parameter รวม 7 - 3 = 4 กลุ่ม
เลือก N, D, ρ เป็นตัวแปรซ้ำในทุก

$$\pi_1 = N^a D^b \rho^c P$$
$$\pi_2 = N^d D^e \rho^f Q$$
$$\pi_3 = N^g D^h \rho^i H$$
$$\pi_4 = N^j D^k \rho^l g$$

จาก π_1 มิติ $\mathring{M}\mathring{L}\mathring{T} = T^{-a} L^b M^c L^{-3c} ML^2 T^{-3}$

ตรวจหน่วยวัดของ M $0 = c + 1$ $c = -1$

L $0 = b - 3c + 2$ $b = -5$

T $0 = -a - 3$ $a = -3$

ดังนั้นจะได้ $\pi_1 = \dfrac{P}{\rho N^3 D^5}$

จาก π_2 มิติ $\mathring{M}\mathring{L}\mathring{T} = T^{-d} L^e M^f L^{-3f} L^3 T^{-1}$

ตรวจหน่วยวัดของ M $0 = f$

L $0 = e - 3f + 3$ $e = -3$

T $0 = -d - 1$ $d = -1$

ดังนั้น $\pi_2 = \dfrac{Q}{ND^3}$

จาก π_3 มิติ $\mathring{M}\mathring{L}\mathring{T} = T^{-g} L^h M^i L^{-3i} L$

ตรวจหน่วยวัดของ M $0 = i$

L $0 = h - 3i + 1$ $h = -1$

T $0 = -g$ $g = 0$

ดังนั้น $\pi_3 = \dfrac{H}{D}$

จาก π_4 มิติ $\mathring{M}\,\mathring{L}\,\mathring{T} = T^{-j} L^{k} M^{1} L^{-3l} LT^{-2}$

ตรวจหน่วยวัดของ M $0 = 1$

L $0 = k - 3l + 1$ $\quad k = -1$

T $0 = -j - 2$ $\quad j = -2$

ดังนั้น $\pi_4 = \dfrac{g}{N^2 D}$

สรุป $\phi_2 (\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4) = 0$

รายละเอียดการศึกษาวิเคราะห์เชิงมิติ ดูเอกสารอ้างอิง (9 : 560-578)

เนื่องจากในระบบของกังหันน้ำพลังงานที่ให้กับระบบอยู่ในรูปของผลคูณ gH ซึ่งตามทฤษฎีของ Buckingham เซ็ทที่เป็นไปได้ต่าง ๆ ของ π สามารถจะจัดรูปแบบให้เป็นกลุ่มไร้มิติอื่นได้ด้วยกระบวนการง่าย ๆ ทางพีชคณิต (10 : 230-235) เช่น การคูณ การหาร และ/หรือการยกกำลังค่านั้น ๆ

นั่นคือ $\pi_3 \times \pi_4 = \dfrac{H}{D} \times \dfrac{g}{N^2 D}$

$= \dfrac{gH}{N^2 D^2}$

หรือ $\phi_3 \left(\dfrac{P}{\rho N^3 D^5}, \dfrac{Q}{ND^3}, \dfrac{gH}{N^2 D^2} \right) = 0$

กลุ่มตัวแปรไร้มิติที่ได้คือ กลุ่มค่าคงที่ของกำลังผลิต $KP = \dfrac{P}{\rho N^3 D^5}$

กลุ่มค่าคงที่ของอัตราการไหล $KQ = \frac{Q}{ND^3}$

กลุ่มค่าคงที่ของหัวน้ำ $KH = \frac{gH}{N^2D^2}$

เนื่องจากความเร็วจำเพาะ $N_s = \frac{NP^{0.5}}{\rho^{0.5} H^{1.25}}$

จะได้ กลุ่มค่าคงที่ของความเร็วจำเพาะ $KN_s = \frac{(KP)^{0.5}}{(KH)^{1.25}}$

ดังนั้นเงื่อนไขที่ใช้ในการจำลองแบบคือ

1) ค่า KQ คงที่
   ค่า KH คงที่
   ค่า KP คงที่
   ค่า KN_s คงที่
2) ให้สัญญลักษณ์แบบจำลองเป็น "1"
   ให้สัญญลักษณ์แบบจริงเป็น "2"
3) อัตราส่วนขนาด (D_2/D_1) เป็น X
   อัตราส่วนการไหล (Q_2/Q_1) เป็น Y
   อัตราส่วนความเร็ว (N_2/N_1) เป็น Z

ซึ่งค่าอัตราส่วนความเร็วจะหาได้จากการที่ค่า KQ คงที่

นั่นคือ $\frac{Q_1}{N_1D_1^3} = \frac{Q_2}{N_2D_2^3}$

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{Q_2/Q_1}{(D_2/D_1)^3}$$

ท17411850

หรือ $$Z = \frac{Y}{X^3}$$

3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ กับประสิทธิภาพของกังหันน้ำ

หลังจากที่ได้ออกแบบแบบจำลองแล้ว ย่อมต้องมีการทดสอบหาประสิทธิภาพของเครื่องกังหันน้ำ แล้วสรุปผลในรูปความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่าง ๆ กับประสิทธิภาพของเครื่อง (η) หรือในรูปของกำลังผลิตของเครื่องต่อกำลังงานที่ให้ (P_o/P_i) โดยมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง คือ Q, ω, D, g, H และ P_o/P_i ซึ่งสามารถวิเคราะห์มิติหน่วยวัดโดยทฤษฎี π ของ Buckingham ดังนี้

ตัวแปรทั้งหมดมี P_o/P_i, Q, ω, D, g, H รวม 6 ตัว $n = 6$

มีมิติหลัก L, T $m = 2$

ดังนั้นจะหากลุ่มตัวเลขชี้นำไร้หน่วย π - parameter รวม 6 - 2 = 4 กลุ่ม

เลือก g, H เป็นตัวแปรซ้ำในทุก

$$\pi_1 = g^a H^b P_o/P_i$$
$$\pi_2 = g^c H^d \omega$$
$$\pi_3 = g^e H^f D$$
$$\pi_4 = g^i H^j Q$$

จาก π_1 มิติ $\mathring{M}\,\mathring{L}\,\mathring{T} = L^a T^{-2a} L^b \mathring{M}\,\mathring{L}\,\mathring{T}$

ตรวจหน่วยวัดของ L $0 = a + b$

T $0 = -2a$ $a = 0$ และ $b = 0$

จะได้ $\pi_1 = P_o/P_i$

จาก π_2 มิติ $\mathring{M}\,\mathring{L}\,\mathring{T} = L^c T^{-2c} L^d T^{-1}$

ตรวจหน่วยวัดของ $L \quad 0 = c + d$

$T \quad 0 = -2c - 1 \qquad c = -\frac{1}{2}$ และ $d = \frac{1}{2}$

จะได้ $\pi_2 = \omega\sqrt{\frac{H}{g}}$

จาก π_3 มิติ $\dot{M}\dot{L}\dot{T} = L^{\bullet}\, T^{-2\bullet}\, L^{f}\, L$

ตรวจหน่วยวัดของ $L \quad 0 = e + f + 1$

$T \quad 0 = -2e \qquad e = 0$ และ $f = -1$

จะได้ $\pi_3 = \frac{D}{H}$

จาก π_4 มิติ $\dot{M}\dot{L}\dot{T} = L^{1}\, T^{-2i}\, L^{j}\, L^{3}\, T^{-1}$

ตรวจหน่วยวัดของ $L \quad 0 = i + j + 3$

$T \quad 0 = -2i - 1 \qquad i = -\frac{1}{2}$ และ $j = -\frac{5}{2}$

จะได้ $\pi_4 = \frac{Q}{H^2\sqrt{gH}}$

สรุป $\phi_2 (\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4) = 0$

หรือ $\phi_3 (P_o/P_i, \omega\sqrt{\frac{H}{g}}, \frac{D}{H}, \frac{Q}{H^2\sqrt{gH}}) = 0$

ในกรณีต้องการหาค่า P_o/P_i ก็สามารถติดไว้กับ ที่เหลือก็ได้

ดังนั้น $\frac{P_o}{P_i} = \phi_4(\omega\sqrt{\frac{H}{g}}, \frac{D}{H}, \frac{Q}{H^2\sqrt{gH}})$ เป็นต้น

แต่ในการเสนอรูปแบบความสัมพันธ์ในรูปกราฟสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้เพียง 2 แกน เท่านั้น ดังนั้นจึงได้พยายามรวมกลุ่มตัวแปรไร้มิติให้อยู่ในรูปของสัมประสิทธิ์ ดังเช่น

- การหาสัมประสิทธิ์การไหล C_Q

ให้อัตราการไหลผ่านกังหันน้ำเป็นฟังก์ชั่นของพื้นที่ช่องเปิดวงกลมซึ่งน้ำไหลผ่านและหัวน้ำ ดังนั้น

$$Q = F(A, H) = CA\sqrt{2gH}$$
$$= C\frac{\pi}{4}D^2\sqrt{2gH}$$
$$C\frac{\pi}{4}\sqrt{2} = \frac{Q}{D^2\sqrt{gH}}$$

หรือ สัมประสิทธิ์การไหล $C_Q = \frac{Q}{D^2\sqrt{gH}}$

ซึ่งเกิดเป็นกลุ่มไร้มิติที่เกิดขึ้นจาก π_4 / π_3^2

- การหาสัมประสิทธิ์ความเร็วรอบ C_ω

ในการหาสัมประสิทธิ์ความเร็วรอบจะพิจารณาจากอัตราส่วนความเร็วเชิงเส้นรอบนอกของกังหันน้ำต่อความเร็วน้ำที่ไหลพุ่ง ดังนั้น

$$\phi = \frac{U}{\sqrt{2gH}}$$

$$= \frac{\pi DN/60}{\sqrt{2gH}}$$

$$= \frac{D\,(2\pi N/60)}{2\sqrt{2gH}}$$

$$= \frac{D\omega}{2\sqrt{2gH}}$$

$$2\sqrt{2}\,\phi = \frac{\omega D}{\sqrt{gH}}$$

หรือ สัมประสิทธิ์ความเร็วรอบ $C_\omega = \frac{\omega D}{\sqrt{gH}}$

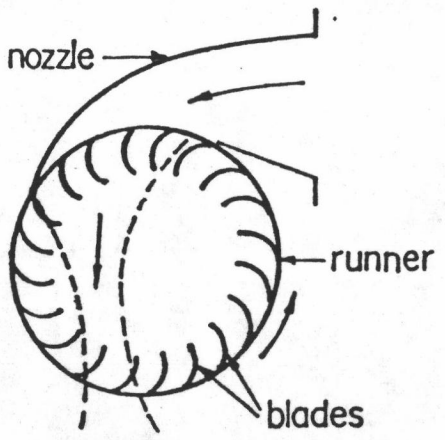
ซึ่งเกิดเป็นกลุ่มไร้มิติที่เกิดขึ้นจาก $\pi_2 \times \pi_3$

เพราะว่า ประสิทธิภาพ $\eta = \frac{P_o}{P_i} \times 100\%$

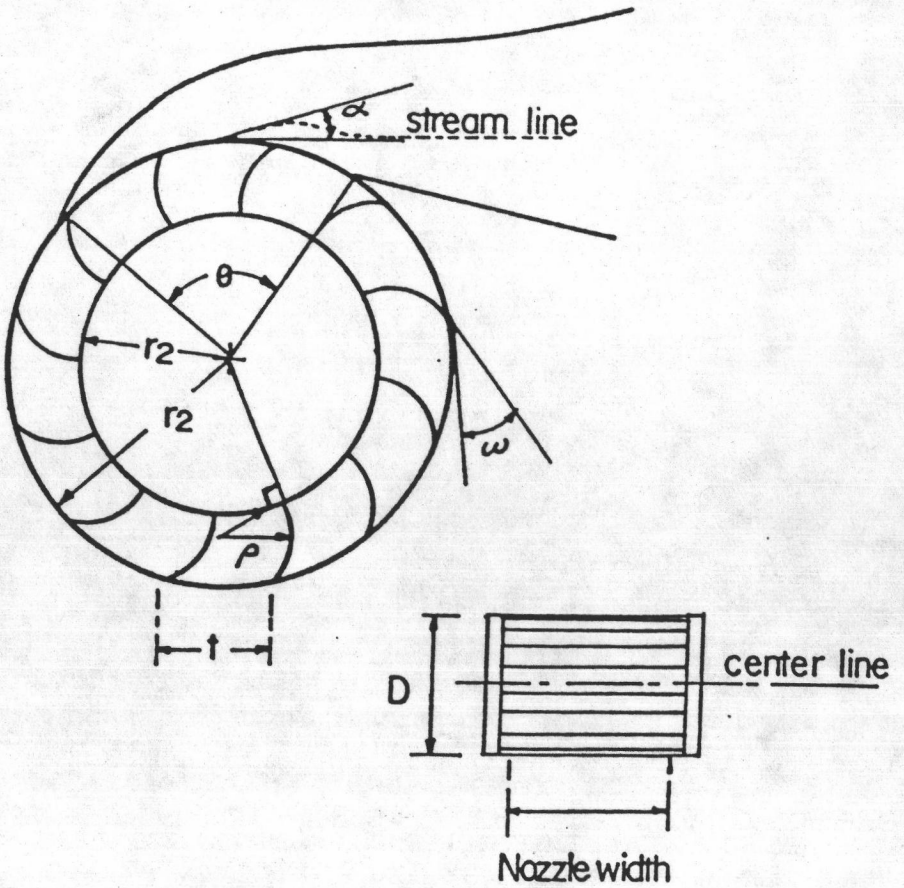
ดังนั้นจะสามารถเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้

$$\phi_6\left(\eta, \frac{\omega D}{\sqrt{gH}}, \frac{Q}{D^2\sqrt{gH}}\right) = 0$$

เมื่อทำการทดลองแล้วค่าตัวแปรต่าง ๆ จะสามารถเขียนกราฟความสัมพันธ์ในระบบ 2 มิติได้



รูปที่ (3-3) แสดงการไหลผ่านของน้ำแบบไหลขวาง

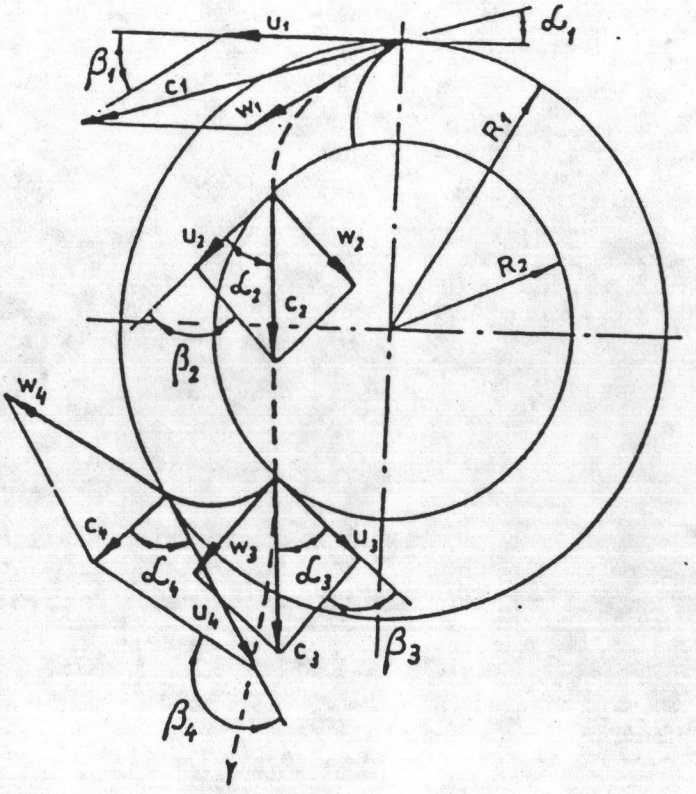


รูปที่ (3-4) ตัวแปรในการออกแบบเครื่องกังหันน้ำชนิดไหลขวาง

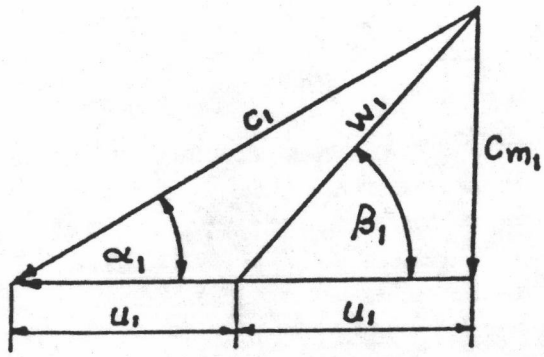
3.5 ประสิทธิภาพสูงสุดทางทฤษฎี และความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วต่าง ๆ

ดังที่แสดงในหัวข้อที่ 3.4 ถึงความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่าง ๆ กับประสิทธิภาพ ว่ามีความสัมพันธ์กันเป็นฟังก์ชั่น กล่าวคือ $\phi_s \left(\eta , \frac{\omega D}{\sqrt{gH}}, \frac{Q}{D^2 \sqrt{gH}} \right) = 0$ ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงประสิทธิภาพสูงสุดทางทฤษฎี (η_{max}) ว่าขึ้นกับองค์ประกอบตัวแปรใดเป็นหลัก ดังแสดงในรูปที่ (3-5) ซึ่งเป็นรูปแผนผังความเร็วต่าง ๆ กับรูปร่างทางเรขาคณิตของกังหันน้ำ และรูปที่ (3-6) แสดงถึงรูปสามเหลี่ยมความเร็ว โดยมีสมมุติฐานว่า

1. ไม่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการไหลของน้ำ
2. พิจารณาความกว้างของใบพัด 1 หน่วย โดยไม่มีผลกระทบทางด้านข้างระหว่างน้ำและผนัง
3. รูปแบบของกังหันน้ำที่พิจารณา ออกแบบให้ค่า $\alpha_1 = 20^\circ$ และ $R_2/R_1 = 0.66$



รูปที่ (3.5) แผนผังความเร็วต่าง ๆ กับรูปทางเรขาคณิตของกังหันน้ำ



รูปที่ (3.6) สามเหลี่ยมความเร็ว

กำหนดให้ $C_1 = \sqrt{2gH} = 1$; $\alpha_1 = 20^\circ$; $\frac{R_2}{R_1} = 0.66$

$U_3 = U_2$; $U_4 = U_1$; $C_3 = C_2$

$\alpha_3 = \alpha_2$; $\beta_3 = \beta_2 = 90^\circ$

$W_2 = W_3$; $W_4 = W_1$

จะได้ $\beta_4 = 180^\circ - \beta_1$ ($\because U_1 = U_4$ และ $W_1 = W_2$)

$$C_1 \cos \alpha_1 = U_1 + W_1 \cos \beta_1 \quad (1)$$

$$C_4 \cos \alpha_4 = U_4 - W_4 \cos (180^\circ - \beta_4) \quad (2)$$

จาก (2) แทนค่าได้

$$C_4 \cos \alpha_4 = U_1 - W_1 \cos \beta_1 \quad (3)$$

พิจารณาแรงที่น้ำมากระทำต่อใบพัดใน 1 หน่วยเวลา

จากสมการโมเมนตัม $\leq \vec{F} = \rho Q(\vec{V}_0 - \vec{V}_1)$

$$-F_t = \rho Q [-W_4 \cos (180^\circ - \beta_4) - W_1 \cos \beta_1]$$

$$F_t = \rho Q[W_4 \cos \beta_1 + W_1 \cos \beta_1]$$

$$F_t = 2\rho Q W_1 \cos \beta_1$$

พลังงานที่ได้ $F_t U_1 = 2U_1 \rho Q W_1 \cos \beta_1 \quad (4)$

พลังงานที่ให้ $E = \rho gQH$

ประสิทธิภาพของกังหัน $\eta = \dfrac{2U_1 \rho QW_1 \cos \beta_1}{\rho gQH}$

$$\therefore \eta = \frac{2U_1 W_1 \cos \beta_1}{gH} \quad (5)$$

จาก $C_1 = \sqrt{2gH}$ $\therefore gH = \dfrac{C_1^2}{2}$ (6)

จาก (5) และ (6) $\eta = \dfrac{2 \times 2U_1 W_1 \cos \beta_1}{C_1^2}$

$$\eta = \frac{4U_1}{C_1}\left(\frac{W_1 \cos \beta_1}{C_1}\right) \quad (7)$$

จาก (1) และ (7) จะได้ $\eta = \dfrac{4U_1}{C_1}\left(\cos \alpha_1 - \dfrac{U_1}{C_1}\right)$ (8)

$$\frac{d\eta}{d(U_1/C_1)} = 4 \cos \alpha_1 - \frac{8U_1}{C_1} = 0$$

จะได้ $U_1 = \dfrac{C_1 \cos \alpha_1}{2}$ (9)

จาก (8) และ (9) $\eta \max = \cos^2 \alpha_1$ (10)

จากรูปที่ (3-6) $\tan \beta_1 = \dfrac{Cm_1}{U_1}$

และ $\tan \alpha_1 = \dfrac{Cm_1}{2U_1}$

$$\tan \beta_1 = 2 \tan \alpha_1 \quad (11)$$

จาก (11) จะได้ $\beta_1 = 36^\circ$

$$W_2 = W_1 \frac{R_1}{R_2} \sin\beta_1 \quad (12)$$

$$\omega = \frac{U_2}{R_2} = \frac{U_1}{R_1} \quad (13)$$

$$\tan\alpha_2 = \frac{W_2}{U_2} \quad (14)$$

จาก (12),(13),(14) จะได้ $\tan\alpha_2 = \frac{W_1}{U_1}\left(\frac{R_1}{R_2}\right)^2 \sin\beta_1 \quad (15)$

แทนค่าจะได้ $\tan\alpha_2 = 1.349 \frac{W_1}{U_1} \quad (16)$

จาก (9) $U_1 = 0.470\ C_1 \quad (17)$

จาก (1) $C_1 \cos(20^\circ) = 0.470\ C_1 + W_1 \cos(36^\circ)$

$$W_1 = 0.581\ C_1 \quad (18)$$

จาก (16),(17),(18) จะได้ $\tan\alpha_2 = 1.668$

$$\therefore \alpha_2 = 59^\circ \quad (19)$$

จากรูปที่ (3-5) $C_2 = \frac{U_2}{\cos\alpha_2} \quad (20)$

จาก (13),(20) จะได้ $C_2 = \frac{R_2}{R_1}\frac{U_1}{\cos\alpha_2} \quad (21)$

จาก (17),(19) $C_2 = 0.66 \times \frac{0.470\ C_1}{\cos(59^\circ)}$

$$C_2 = 0.602\ C_1 \quad (22)$$

จากรูปที่ (3-5) $C_4 \sin\alpha_4 = C_1 \sin\alpha_1 \quad (23)$

จาก (3),(23) $\tan\alpha_4 = \frac{C_1 \sin\alpha_1}{U_1 - W_1 \cos\beta_1} \quad (24)$

จาก (17),(18) จะได้ $$\tan \alpha_4 = \frac{C_1 \sin(20^\circ)}{0.470\ C_1 - 0.581\ C_1 \cos(36^\circ)}$$

$$= \frac{0.342}{0.470 - 0.4697}$$

$$\tan \alpha_4 = 1140$$

$$\therefore \alpha_4 = 89.95 \simeq 90^\circ$$

จาก (3),(17),(18) จะได้ $$C_4 = \frac{0.470\ C_1 - 0.581\ C_1 \cos(36^\circ)}{\cos(89.95^\circ)}$$

$$= \frac{(0.470 - 0.4697)\ C_1}{\cos(89.95^\circ)}$$

$$C_4 = 0.345\ C_1 \qquad (25)$$

3.6 ความต้องการน้ำในชุมชน

น้ำนับวันยิ่งทวีความสำคัญ และมีอยู่อย่างจำกัดในท้องถิ่นที่ห่างไกล ประกอบกับการที่ประชากรเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ การใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ จำเป็นจะต้องอาศัยการจัดการน้ำที่มีอยู่อย่างจำกัด ให้ใช้ประโยชน์ได้พอเพียงกับความต้องการของชุมชนชนบท กรณีศึกษาที่หมู่บ้านปาละอูบนนี้พอจะจำแนกการใช้น้ำของชุมชนออกได้ดังนี้คือ

3.6.1 ความต้องการน้ำเพื่ออุปโภคบริโภคในชุมชน

การใช้น้ำของชุมชนมีหลายวัตถุประสงค์ด้วยกัน เช่น การดื่ม การอาบ การซักล้าง การครัว และสัวม เป็นต้น เนื่องจากชุมชมนี้เป็นชุมชนบ้านปาที่เพิ่งจะรวมบ้านเรือนเข้าด้วยกัน การใช้น้ำของชาวบ้านส่วนใหญ่จะใช้น้ำในคลองส่งน้ำเพื่อการอาบน้ำและซักล้างโดยตรงในตอนเย็น และจะใช้น้ำที่ผ่านเครื่องกรองระบบทรายกรองช้าโดยอาศัยจากคลองเป็นแหล่งน้ำเพื่อดื่ม และการครัว หลังจากรวมบ้านเรือนแล้ว ความต้องการน้ำที่เพิ่มขึ้นมาอีกคือ น้ำเพื่อใช้ในการสุขาภิบาล ซึ่งก็คงต้องอาศัยจากน้ำในคลองอีกเช่นกัน

3.6.2 ความต้องการน้ำเพื่อการเกษตร

หมู่บ้านปาละอูบนเป็นหมู่บ้านที่ทำการเกษตรกรรมพวกพืชไร่ ส่วนใหญ่จะเป็นข้าวไร่ ซึ่งอาศัยแหล่งน้ำจากน้ำฝนเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้เนื่องจากสภาพภูมิประเทศที่มีความลาดชัน ลักษณะภูมิอากาศและสภาพเศรษฐกิจของชุมชนยังอยู่ในเกณฑ์ต่ำมาก ไม่สามารถหาอุปกรณ์หรือเครื่องมือทันสมัย เช่นเครื่องสูบน้ำเพื่อส่งน้ำเข้าไร่ของตนเอง จึงทำให้ผลผลิตขึ้นอยู่กับปริมาณฝนที่ตกตามฤดูกาล ผลผลิตที่ได้จึงพอเพียงเพื่อบริโภค และประสบกับความขาดแคลนในบางปีที่ฝนทิ้งช่วง สำหรับหมู่บ้านฟ้าประทานการหาอัตราใช้น้ำของพืชที่ปลูกในหมู่บ้านนี้จะพิจารณาวิธีของ Blaney - Criddle คือ

$$u = \frac{Ktp}{100}$$

เมื่อ u = ปริมาณการใช้น้ำของพืชประจำเดือนเป็นนิ้ว

K = สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชรายเดือนดูตารางที่ (ค-18)

t = อุณหภูมิเฉลี่ยประจำเดือนเป็นองศาฟาเรนไฮท์

p = เปอร์เซนต์ของชั่วโมงกลางวันและเดือนนั้นในระยะเวลา 1 ปี ดูตารางที่ (ค-19)

โดยพิจารณาค่า K ระหว่าง 0.5 - 0.6 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชประเภทมะนาวและผักต่าง ๆ ทั้งนี้การเลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชในแต่ละเดือนจะพิจารณาถึงปริมาณฝนที่ตกเป็นเกณฑ์ในการเลือกใช้ค่า K ในแต่ละเดือน

3.6.3 ความต้องการน้ำในการผลิตพลังงานไฟฟ้า

ชุมชนบ้านปาละอูบนเป็นชุมชนเล็ก ๆ แม้จะห่างจากตัวอำเภอหัวหินเพียง 60 กิโลเมตร แต่ยังคงสภาพเป็นบ้านป่าอยู่ แม้จะมีถนนลูกรังเข้าสู่หมู่บ้าน แต่การคมนาคมยังไม่สะดวกนัก แหล่งพลังงานที่ใช้เป็นแสงสว่างยามค่ำคืนมีเพียงแต่ตะเกียงน้ำมันโซล่า เพื่อใช้อ่านหนังสือ ทำครัว นั่งคุยปรึกษางาน นวดข้าว ซ้อมข้าว และเลี้ยงลูก ระหว่างเวลา 18.00 - 21.00 น. อัตราการใช้น้ำมันโซล่าจะแตกต่างกันไปตามแต่ละครอบครัว ขึ้นอยู่กับจำนวนสมาชิกและกิจกรรมที่กระทำ จากการสำรวจภาคสนามจะได้อัตราการใช้น้ำมันโซล่า 1 ขวด ขนาด 700

มิลลิลิตร สามารถใช้กับตะเกียงได้ 10 วัน ซึ่งสามารถหาซื้อได้จากร้านค้าย่อยในหมู่บ้าน ราคาขวดละ 8 บาท ซึ่งแสงสว่างที่ได้ไม่ค่อยสว่างมากนัก อีกทั้งมีควันดำและดับง่ายเมื่อถูกลมถึงกระนั้นแสงสว่างที่ได้ก็มีความจำเป็นต่อการทำคลอด และการดูแลรักษาคนป่วยในชุมชน ดังนั้นในการศึกษานี้จึงได้เสนอเรื่องไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก โดยศึกษาเครื่องกังหันน้ำชนิดไหลขวาง ซึ่งเหมาะกับแหล่งน้ำขนาดเล็ก และสภาพภูมิประเทศที่มีความลาดชัน อีกทั้งสะดวกในการดูแลรักษา

3.7 หลักการจัดการน้ำในชุมชน

ดังได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.6 ถึงความต้องการน้ำในชุมชน โดยมีลำดับความสำคัญก่อน-หลังดังนี้คือ

1. ความต้องการน้ำเพื่ออุปโภคบริโภคในชุมชน
2. ความต้องการน้ำเพื่อการเกษตร
3. ความต้องการน้ำในการผลิตพลังงานไฟฟ้า

เนื่องจากแหล่งน้ำเพื่อการเกษตรของชุมชนคือ น้ำฝนที่ตกตามฤดูกาลเท่านั้น ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.6.2 เพราะฉะนั้น การจัดการน้ำในชุมชนจึงจะพิจารณาเฉพาะความต้องการน้ำเพื่ออุปโภคบริโภค และความต้องการน้ำในการผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยถือหลักการคือ จะต้องจัดสรรน้ำให้เพียงพอต่อการอุปโภคบริโภคของคนในชุมชน ปริมาณน้ำส่วนที่เกินความจำเป็นจึงจะนำไปใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า ซึ่งถือว่าเป็นการนำเอาพลังงานธรรมชาติที่มีอยู่ในชุมชนมาใช้เพื่อให้เกิดประโยชน์ โดยอาศัยแหล่งน้ำที่เก็บกักอยู่ในอ่างเก็บน้ำห้วยปาเลา และฝายน้ำล้นห้วยปาเลาเป็นแหล่งน้ำที่ใช้ในการจัดสรรน้ำ ทั้งนี้จะคำนึงผลของการจัดสรรน้ำแหล่งน้ำดังกล่าวไม่ให้เกิดผลกระทบ ทำให้เกิดความขาดแคลนน้ำขึ้นระหว่างหมู่บ้านข้างเคียง คือ หมู่บ้านฟ้าประทาน ซึ่งอาศัยแหล่งน้ำจากอ่างเก็บน้ำห้วยปาเลาเพื่ออุปโภคบริโภค การเกษตร และการผลิตไฟฟ้าพลังน้ำโดยสำนักงานการพลังงานแห่งชาติและคนในท้องถิ่นสร้างขึ้นแล้วเสร็จในปี พ.ศ. 2530 ซึ่งสามารถจำหน่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่หมู่บ้านฟ้าประทาน หมู่บ้านเฉลิมพระเกียรติ บริเวณสหกรณ์ห้วยสัตว์ใหญ่ และด่านตรวจคนเข้าออกห้วยพุไทร จำนวนทั้งหมดประมาณ 250 หลังคาเรือน