

บทที่ 2

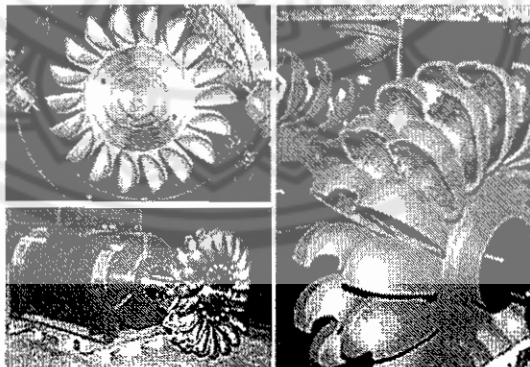
หลักการและทฤษฎี

2.1 กังหันน้ำแบบเพลตัน (Pelton Turbine)

กังหันน้ำเป็นเครื่องจักรที่ใช้สำหรับแปลงพลังงานศักย์ให้เป็นพลังงานกล นับเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำ โดยมีอุปกรณ์ประกอบหลายอย่าง ได้แก่ ท่อนำน้ำเข้า เครื่องกังหัน (pen stock) เครื่องควบคุมความเร็ว (nozzle) เครื่องปรับความดันน้ำ (sphere) ฯลฯ ชนิดของกังหันแบ่งได้หลายประเภท ดังนี้

1. กังหันแรงกระแทก (Impulse Turbine)
2. กังหันแรงปฏิกิริยา (Reaction Turbine)

กังหันน้ำแบบเพลตันเป็นกังหันแบบแรงกระแทก ได้รับการพัฒนามาตั้งแต่ปี ค.ศ.1880 โดย เลสเตอร์เพลตัน (Lester Pelton) รูปแบบของกังหันน้ำนี้ได้ถูกออกแบบโดยใช้ถ้วยรับน้ำ ซึ่งติดอยู่กับวงล้อภายในตัวกังหันมีลักษณะเป็นแบบถ้วย โดยสามารถใช้กับลำน้ำที่ผ่านหัวฉีดมากกว่า 1 หัวฉีด โดยอาจมีจำนวนถึง 6 หัวฉีดก็ได้ (ขนาดเล็กจำกัดที่ 1,2 และ 4 หัวฉีด) ซึ่งจะทำให้ได้รับกำลังเพิ่มขึ้นในขณะที่ขนาดของกังหันน้ำเท่าเดิม โดยทั่วไปกังหันน้ำนี้เหมาะสำหรับการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งน้ำที่มีระดับของหัวน้ำ (Head Gross) สูงและมีอัตราการไหลต่ำ การทำให้กังหันน้ำชนิดนี้หมุนอาจใช้ความเร็วของลำน้ำที่ผ่านหัวฉีดที่ไม่ต้องมีความเร็วสูงนัก โดยประสิทธิภาพของกังหันน้ำชนิดนี้จะดีที่สุดที่สุดเมื่อความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการหมุนของกังหันเป็นครึ่งหนึ่งของความเร็วของลำน้ำที่ฉีดเข้าไปรูปที่ 2.1 แสดงรูปกังหันน้ำแบบเพลตัน



รูปที่ 2.1 กังหันน้ำแบบเพลตัน

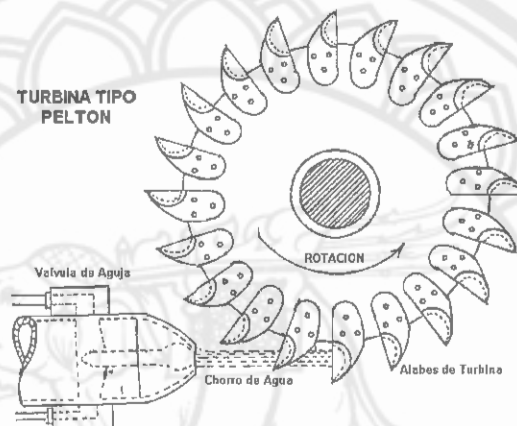
[ที่มา : www.hydro-energy.com]

2.2 ส่วนประกอบหลักของกังหันน้ำแบบเพลตัน

มี 3 ส่วนที่สำคัญดังนี้

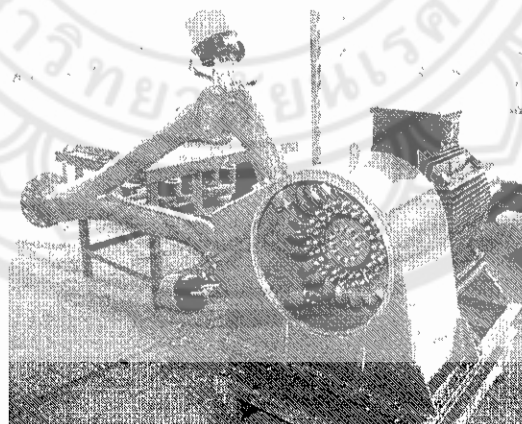
1.หัวฉีด (Nozzle) และเข็มปรับแรงดัน (Needdle)

หัวฉีด หมายถึงหัวฉีดซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เพิ่มความเร็วของลำน้ำจะถูกยึดติดกับบริเวณส่วนท้ายของท่อส่งน้ำและจำนวนหัวฉีดที่ใช้นั้นจะมีจำนวนตั้งแต่ 1 หัวฉีด 2 หัวฉีด 4 หัวฉีดและ 6 หัวฉีด ดังแสดงในรูป 2.2 , 2.3 และ 2.4



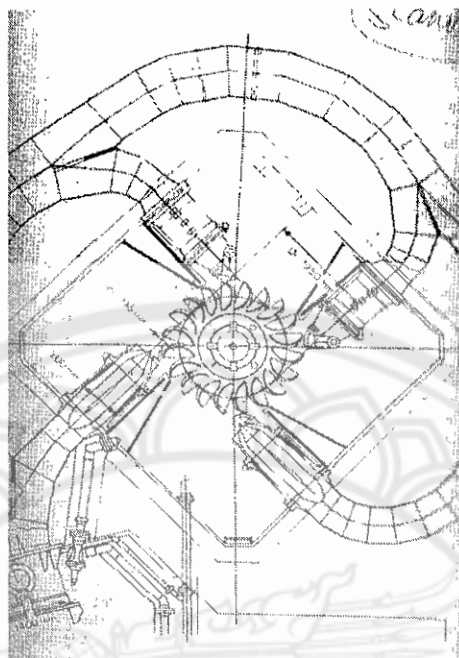
รูปที่ 2.2 กังหันเพลตัน แบบ 1 หัวฉีด

[ที่มา : www.lagos-plantas-hidro.com]



รูปที่ 2.3 กังหันเพลตันแบบ 2 หัวฉีด

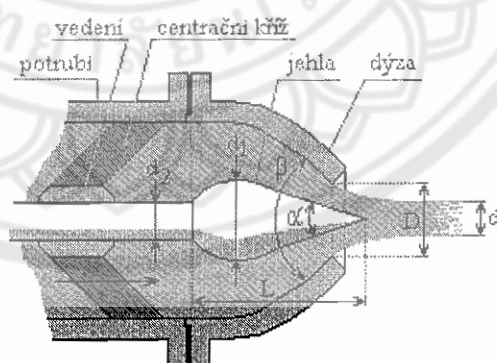
[ที่มา: vejoenergija.w3.lt]



รูปที่ 2.4 กังหันเพลตันแบบ 4 หัวฉีด

[ที่มา: www.geocities.com]

เข็มปรับแรงดัน คืออุปกรณ์ที่มีลักษณะคล้ายเข็มอยู่ภายในหัวฉีด ใช้ควบคุมการพุ่งชนของลำน้ำที่ไหลมาจากหัวฉีดโดยสามารถปรับให้เคลื่อนที่เข้าออกเพื่อควบคุมอัตราการไหลของน้ำความเร็วของน้ำได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.5

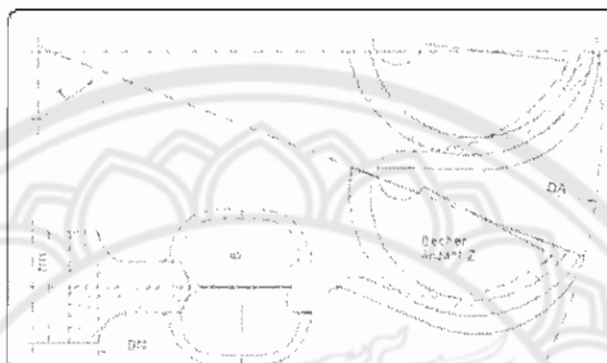


รูปที่ 2.5 เข็มปรับแรงดัน

[ที่มา: mve.energetika.cz]

2. ถ้วยรับน้ำ (Bucket) และวงล้อกังหัน (Runner)

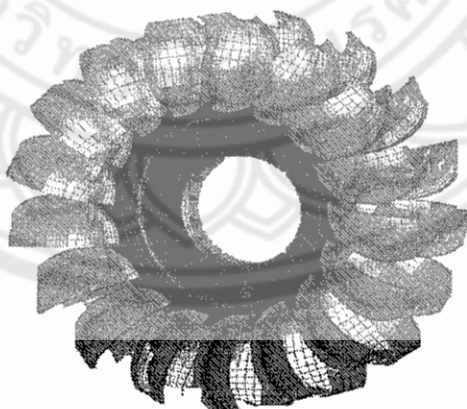
ถ้วยรับน้ำ คือถ้วยขนาดเล็กมีลักษณะมีสันตรงกลางดังแสดงในรูปที่ 2.6 ซึ่งมีหน้าที่รองรับน้ำพุ่งออกจากหัวฉีดที่มีความเร็วสูงและทำหน้าที่ส่งถ่ายแรงไปยังวงล้อกังหัน



รูปที่ 2.6 ถ้วยรับน้ำ

[ที่มา: www.wtr-augsburg.de]

วงล้อกังหัน คือส่วนที่ทำหน้าที่รับแรงที่ส่งถ่ายมาจากถ้วยรับน้ำซึ่งยึดติดอยู่บริเวณรอบๆ ของกังหันการยึดติดกับกังหันมีสองแบบคือการยึดติดแบบคงที่กับการยึดติดแบบใช้สกรูและที่บริเวณกลางวงล้อจะมีเพลาส่งถ่ายแรงไปยังเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 วงล้อกังหัน

[ที่มา: www.lecad.uni-lj.si]

3. ฝาครอบ (Casing)

ฝาครอบ หมายถึงเครื่องป้องกันที่มีไว้ครอบก้นเพื่อป้องกันการกระเซ็นของน้ำและป้องกันอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้นได้เนื่องจากในขณะที่ก้นกำลังทำงานจะมีความเร็วรอบที่สูงดังในรูปที่ 2.8 จะแสดงให้เห็นเมื่อถอดฝาครอบออก

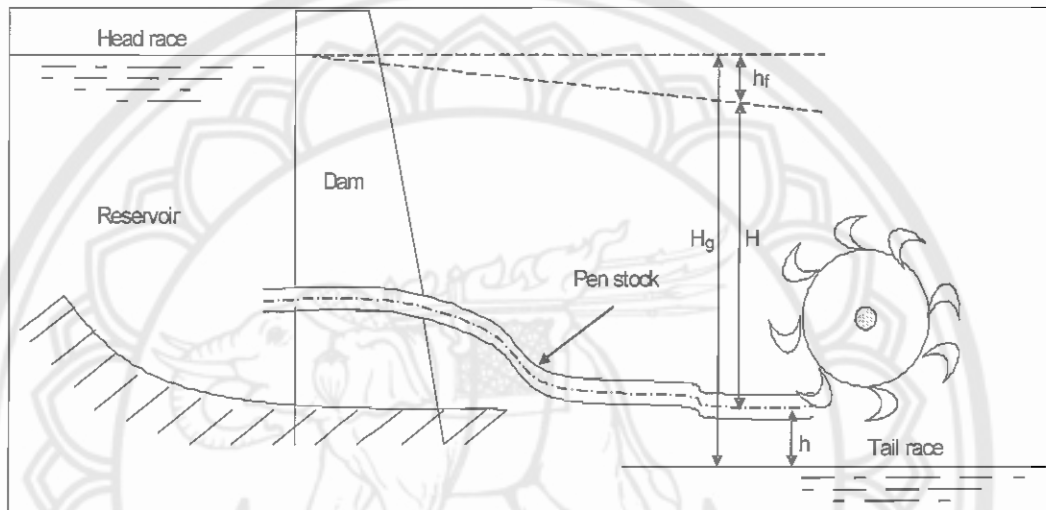


รูปที่ 2.8 เมื่อเปิดฝาครอบ

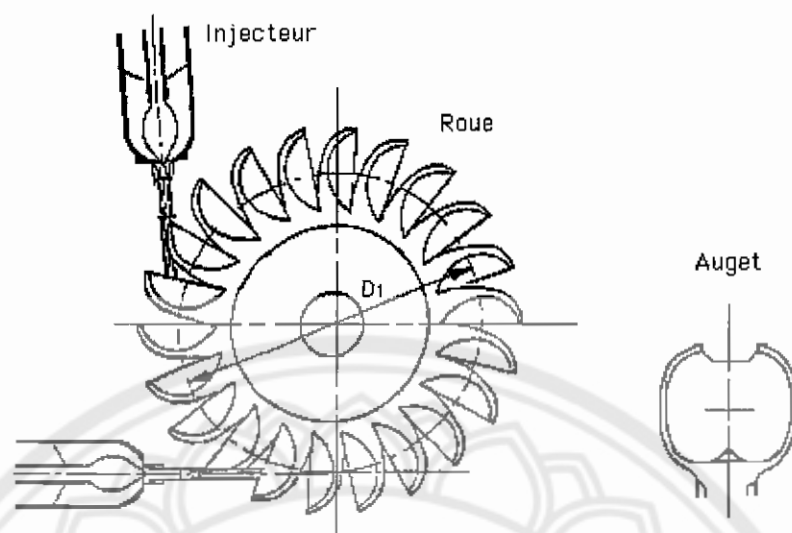
[ที่มา: www.permaculture.co.uk]

2.3 หลักการทำงานของกังหันน้ำแบบเพลตัน

เริ่มจากน้ำจะถูกส่งจากบริเวณหัวน้ำ (Head Race) ไปตามท่อส่งน้ำ (Pen Stock) ส่วนท้ายของท่อส่งน้ำจะต่อกับหัวฉีด (Nozzle) โดยที่หัวฉีดจะทำหน้าที่ปรับแรงดันและความเร็วของน้ำโดยลำน้ำ (Jet) ที่พุ่งออกมาจากหัวฉีดที่มีความเร็วสูงพุ่งชนถ้วยรับน้ำ แรงกระแทกจะทำให้เกิดการถ่ายเทพลังงานไปสู่กังหันน้ำ ลำน้ำจะถูกแบ่งตามแนวสัน (Splitter) ที่บริเวณกึ่งกลางของถ้วยรับน้ำ และน้ำที่ผ่านกังหันจะตกลงไปที่บริเวณท้ายน้ำ (Tail Race) ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงหลักการทำงานของกังหันน้ำแบบเพลตัน
[ที่มา:เอกสาร ประกอบการสอนรายวิชา โรงจักรต้นกำลัง,หน้า 15]

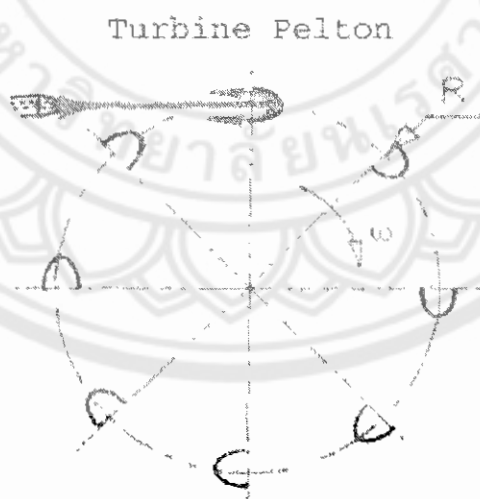


รูปที่ 2.10 แสดงส่วนประกอบของกังหันน้ำแบบเพลตัน

[ที่มา: perso.wanadoo.fr]

2.4 การออกแบบขนาดกังหัน (Runner) และขนาดถ้วยรับน้ำกังหันน้ำแบบเพลตัน (Bucket)

เมื่อลำน้ำพุ่งเข้าปะทะกับกังหัน ลำน้ำจะถูกแบ่งโดยแนวสันที่อยู่ตรงกลางของถ้วยรับน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงการพุ่งของลำน้ำเมื่อปะทะถ้วยรับน้ำ

[ที่มา: mshades.free.fr]

แรงที่น้ำกระทำต่อกังหันหาได้จาก

$$\begin{aligned} F &= m(V_{u1} - V_{u2}) \\ &= \rho Q(V_{u1} - V_{u2}) \\ &= \left(\frac{\omega Q}{g}\right)(V_{u1} - V_{u2}) \dots \dots \dots 2.1 \end{aligned}$$

เมื่อ F = แรงที่น้ำกระทำกับกังหัน (N , Newton)

m = มวลของน้ำ (kg)

V_{u1} = ความเร็วน้ำเข้าในแนวสัมผัสกับกังหัน (m/s)

V_{u2} = ความเร็วน้ำออกในแนวสัมผัสกับกังหัน (m/s)

ρ = ความหนาแน่น (kg/m^3)

Q = อัตราการไหล (m^3/s)

ω = น้ำหนักจำเพาะของน้ำ ($kg/(m^2 \cdot s^2)$)

g = ค่าแรงโน้มถ่วงของโลกมีค่าเท่ากับ $9.81 (m/s^2)$

กำลังที่ได้จากกังหันหาได้จาก

$$\begin{aligned} W &= F \times u \\ &= \left[\left(\frac{\omega Q}{g}\right) \times (V_{u1} - V_{u2})\right] u \dots \dots \dots 2.2 \end{aligned}$$

เมื่อ W = งานที่ได้จากกังหัน (J , Joule)

u = ความเร็วของกังหัน (m/s)

ความเร็วของลำนน้ำหาได้จาก

$$V_1 = K_v \sqrt{2gH} \dots \dots \dots 2.3$$

หรือ

$$\therefore H = \frac{V_1^2}{2gK_v^2} \dots \dots \dots 2.4$$

เมื่อ V_1 = ความเร็วของลำนน้ำ (m/s)

K_v = สัมประสิทธิ์ความเร็วของลำนน้ำมีค่าระหว่าง 0.97-0.99

H = ความสูงของหัวน้ำสุทธิ (m)

กำลังน้ำหาได้จาก

$$P = \omega Q H$$

$$= \omega Q \frac{V_1^2}{2gK_v^2} \dots\dots\dots 2.5$$

เมื่อ $P =$ กำลังน้ำ

ประสิทธิภาพเชิงไฮดรอลิกของกังหันหาได้จาก

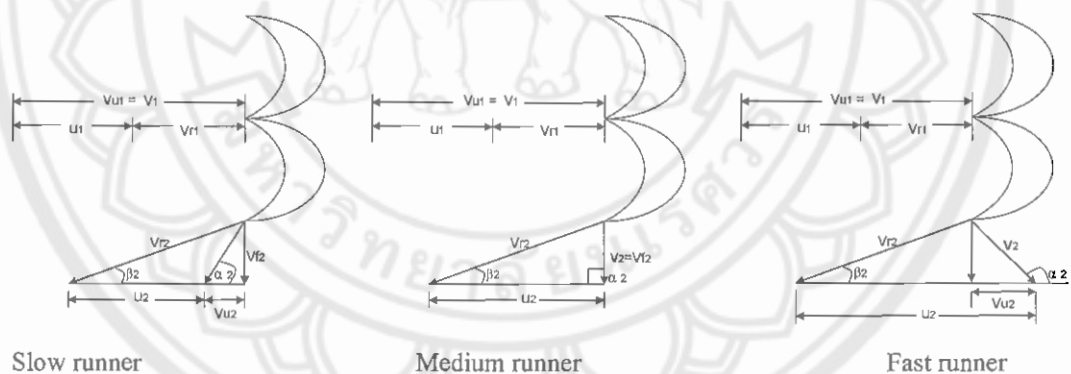
$\eta_h =$ กำลังที่ได้จากกังหัน / กำลังน้ำ

$$\eta_h = \frac{W}{P}$$

$$= \frac{\left[\left(\frac{\omega Q}{g} \right) \times (V_{u1} - V_{u2}) \right] u}{\omega Q \frac{V_1^2}{2gK_v^2}}$$

$$\eta_h = \frac{2K_v^2 (V_{u1} - V_{u2}) u}{V_1^2} \dots\dots\dots 2.6$$

เมื่อ $\eta_h =$ ประสิทธิภาพเชิงไฮดรอลิกของกังหัน



รูป 2.12 แสดงแผนภาพสามเหลี่ยมความเร็ว (Velocity Triangles)

[ที่มา:เอกสารประกอบการสอนรายวิชา โรงจักรต้นกำลัง, หน้า 12]

จากสามเหลี่ยมความเร็วที่บริเวณทางเข้าและทางออกของถ้วยรับน้ำ (Bucket) สามารถอธิบายความหมายของสัญลักษณ์ต่างๆ ได้ดังนี้

V_1 = ความเร็วของน้ำเข้า

V_2 = ความเร็วของน้ำออก

V_{r1} = ความเร็วสัมผัสของน้ำเข้า

V_{r2} = ความเร็วสัมผัสของน้ำออก

V_{u1} = ความเร็วของน้ำทางเข้าในแนวสัมผัสกับกังหัน

V_{u2} = ความเร็วของน้ำทางออกในแนวสัมผัสกับกังหัน

u_2 = ความเร็วถ้วยรับน้ำหรือกังหัน

α_2 = มุมของน้ำที่ออกจากถ้วยรับน้ำ

β_2 = มุมของถ้วยรับน้ำที่ทางออก

และจากสามเหลี่ยมความเร็วสามารถแบ่งตามความเร็วในการหมุนของกังหันได้ 3 แบบคือ

1. ถ้วยรับน้ำที่หมุนด้วยความเร็วต่ำ (Slow runner)
2. ถ้วยรับน้ำที่หมุนด้วยความเร็วปานกลาง (Medium runner)
3. ถ้วยรับน้ำที่หมุนด้วยความเร็วสูง (Fast runner)

ซึ่งความแตกต่างของทั้งสามแบบจะส่งผลทำให้ u_2 มีความเร็วเพิ่มขึ้นตามลำดับและมุม α_2 ที่ออกจากถ้วยรับน้ำจะเปลี่ยนไป

ที่ความเร็วต่ำ มุม α_2 จะมีค่าน้อยกว่า 90°

ที่ความเร็วปานกลาง มุม α_2 จะมีค่าเท่ากับ 90° และ

ที่ความเร็วสูง มุม α_2 จะมีค่ามากกว่า 90° เนื่องจากความเร็วของกังหันเพิ่มขึ้นทำให้ α_2 เพิ่มขึ้นด้วย

จากแผนภาพสามเหลี่ยมความเร็วแสดงทิศทางของลำน้ำที่พุ่งเข้าถ้วยรับน้ำและน้ำที่ออกจากถ้วยรับน้ำที่ทางออก

สำหรับที่ทางเข้าของถ้วยรับน้ำ

$$V_{u1} = V_1 \text{ และ } V_{r1} = (V_1 - u)$$

สำหรับที่ทางออกของถ้วยรับน้ำ

$$\begin{aligned} V_{u2} &= u - V_{r2} \cos \beta_2 \\ &= u - K V_{r1} \cos \beta_2 \\ &= u - K(V_1 - u) \cos \beta_2 \dots \dots \dots 2.7 \end{aligned}$$

เพราะฉะนั้น

$$\begin{aligned}\Delta V_u &= (V_{u1} - V_{u2}) \\ &= V_1 - [u - K(V_1 - u) \cos \beta_2] \\ &= (V_1 - u)(1 + K \cos \beta_2) \dots \dots \dots 2.8\end{aligned}$$

แทนค่าลงในสมการที่ 2.6 จะได้

$$\eta_h = \frac{2K_v^2(V_1 - u)(1 + K \cos \beta_2)u}{V_1^2} \dots \dots \dots 2.9$$

โดยประสิทธิภาพจะมีค่าสูงสุดเมื่อ $d \frac{\eta_h}{du} = 0$

$$\begin{aligned}\frac{d}{du} \left[\frac{2K_v^2(V_1 - u)(1 + K \cos \beta_2)u}{V_1^2} \right] &= 0 \\ \left[\frac{2K_v^2(1 + K \cos \beta_2)}{V_1^2} \right] \frac{d}{du} (V_1 u - u^2) &= 0 \dots \dots \dots 2.10\end{aligned}$$

เนื่องจาก $2K_v^2(1 + K \cos \beta_2) \neq 0$
ดังนั้น จะได้

$$\begin{aligned}\frac{d}{du} (V_1 u - u^2) &= 0 \\ V_1 - 2u &= 0 \dots \dots \dots 2.11\end{aligned}$$

หรือ

$$u = u_{\max} = \frac{V_1}{2} \dots \dots \dots 2.12$$

แทนค่า $u_{\max}$ ที่ทำให้กังหันมีประสิทธิภาพสูงสุด ในสมการที่ 2.9

จะได้ประสิทธิภาพสูงสุดเชิงไฮดรอลิก คือ

$$\begin{aligned}
 \eta_h &= 2K_v^2 \left[\frac{(V_1 - u)(1 + K \cos \beta_2)u}{V_1^2} \right] \\
 \eta_{h,\max} &= 2K_v^2 \left[\frac{(V_1 - (\frac{V_1}{2}))(1 + K \cos \beta_2)(\frac{V_1}{2})}{V_1^2} \right] \\
 &= \frac{1}{2} \frac{K_v^2 V_1^2 (1 + K \cos \beta_2)}{V_1^2} \\
 &= \frac{1}{2} K_v^2 (1 + K \cos \beta_2) \dots \dots \dots 2.13
 \end{aligned}$$

โดยที่

$$K = \frac{V_{r2}}{V_{r1}} \dots \dots \dots 2.14$$

เมื่อ $\eta_{h,\max}$ = ประสิทธิภาพเชิงไฮดรอลิกสูงสุด

V_1 = ความเร็วของน้ำเข้า (m/s)

V_2 = ความเร็วของน้ำออก (m/s)

V_{r1} = ความเร็วสัมผัสของน้ำเข้าถัวยรับน้ำ (m/s)

V_{r2} = ความเร็วสัมผัสของน้ำออกจากถัวยรับน้ำ (m/s)

V_f = ความเร็วในแนวรัศมี (m/s)

α_2 = มุมของน้ำที่ออกจากถัวยรับน้ำ (Degree)

β_2 = มุมของถัวยรับน้ำที่ทางออก (Degree)

K = ตัวประกอบความเสียดทาน

หัวน้ำสุทธิหาได้จาก

$$H = H_g - H_f - h \dots \dots \dots 2.15$$

เมื่อ H = หัวน้ำสุทธิ (m)

H_g = ความสูงของน้ำจากจุดสูงสุดถึงจุดต่ำสุด, Head gross (m)

H_f = ความสูงของน้ำที่สูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทาน, Head friction loss (m)

h = ความสูงของน้ำต่ำสุดถึงหัวฉีด (m)

ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร

$$\eta_v = \frac{Q-q}{Q} = \frac{Q_a}{Q} \dots\dots\dots 2.16$$

โดยที่

$$Q_a = Q - q \dots\dots\dots 2.17$$

เมื่อ η_v = ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร

q = ปริมาณน้ำที่สูญเสียเนื่องจากท่อ (m^3/s)

Q_a = ปริมาณน้ำไหลจริงที่ผ่านด้วยรับน้ำ (m^3/s)

กำลังลำน้ำ

$$\begin{aligned} P_{jet} &= \omega Q_a H \\ &= \rho g Q_a H \dots\dots\dots 2.18 \end{aligned}$$

เมื่อ P_{jet} = กำลังที่ได้จากลำน้ำ

กำลังของวงล้อกังหัน

$$\begin{aligned} P_{Bucket} &= m(V_{u1} \pm V_{u2})u \\ &= \rho Q_a (V_{u1} \pm V_{u2}) \dots\dots\dots 2.19 \end{aligned}$$

เมื่อ P_{Bucket} = กำลังของวงล้อกังหัน (kW)

ประสิทธิภาพเชิงไฮดรอลิก

$$\begin{aligned} \eta_h &= \frac{P_{Bucket}}{P_{jet}} \\ &= \frac{\rho Q_a (V_{u1} \pm V_{u2})u}{\rho g Q_a H} \\ &= \frac{(V_{u1} \pm V_{u2})u}{g} \times \left(\frac{1}{H}\right) \\ &= \frac{H_r}{H} \dots\dots\dots 2.20 \end{aligned}$$

โดยที่

$$H_r = \frac{(V_{u1} \pm V_{u2})u}{g} \dots\dots\dots 2.21$$

เมื่อ H_r = หัวน้ำคงเหลือจริง (m)

ประสิทธิภาพเชิงกล

$$\eta_m = \frac{P}{\omega Q_a H_r} \dots\dots\dots 2.22$$

เมื่อ η_m = ประสิทธิภาพเชิงกล

ประสิทธิภาพโดยรวม

$$\begin{aligned} \eta_o &= \eta_v \times \eta_h \times \eta_m \\ &= \frac{Q_a}{Q} \times \frac{H_r}{H} \times \frac{P}{\omega Q_a H_r} \\ &= \frac{P}{\omega Q H} \dots\dots\dots 2.23 \end{aligned}$$

เมื่อ η_o = ประสิทธิภาพโดยรวม

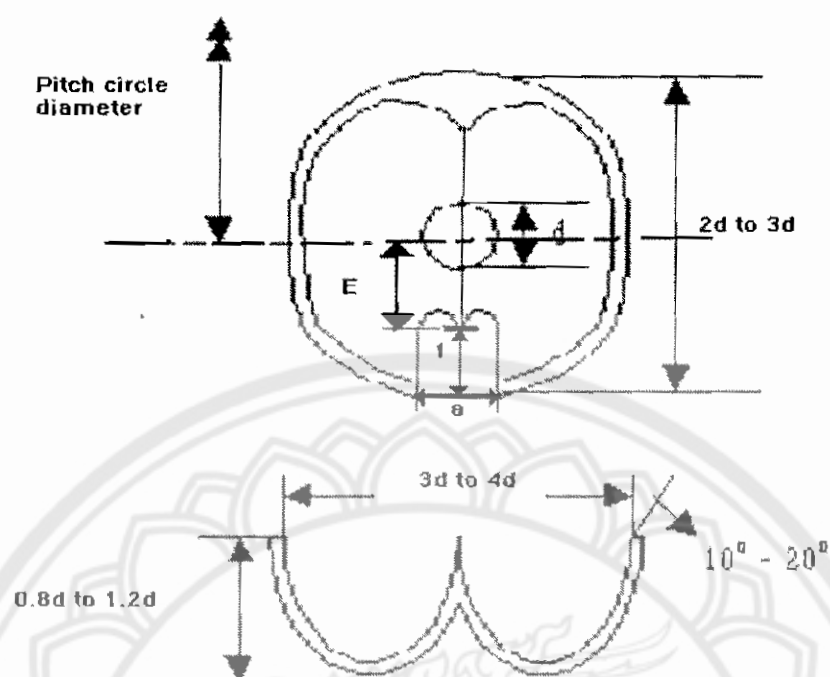
สมการแสดงสัดส่วนของถ้วยรับน้ำ

รูปที่ 2.13 แสดงรูปถ้วยรับน้ำและวงล้อกังหันและรูปที่ 2.14 แสดงสัดส่วนของถ้วยรับน้ำ
ซึ่งแสดงขนาดของถ้วยรับน้ำโดยหาได้จากสมการที่ 2.24 ถึงสมการที่ 2.29



รูปที่ 2.13 แสดงรูปถ้วยรับน้ำและวงล้อกังหัน

[ที่มา: mshades.free.fr]



รูป 2.14 แสดงสัดส่วนของถ้ำรับน้ำ

[ที่มา:เอกสารประกอบการสอนรายวิชา ไร่จักรต้นกำลัง, หน้า 19]

$B = 3d - 4d$	2.24
$L = 2.d - 3d$	2.25
$T = 0.8d - 1.2d$	2.26
$a = 1.1d$	2.27
$E = 0.85d$	2.28
$f = 0.35d$	2.29

เมื่อ B = ความกว้าง (m)

L = ความยาว (m)

T = ความลึก (m)

a = ความกว้างของส่วนที่เว้า (m)

E = ส่วนที่นูนออกของรอยหยักตรงกลางจนถึงจุดศูนย์กลางของถ้ำรับน้ำ (m)

f = ส่วนที่นูนออกของรอยหยักตรงกลางจนถึงขอบนอกสุดของถ้ำรับน้ำ (m)