บทที่ ๖

เครื่องกังหันน้ำ (Water Turbine)

เครื่องกังหันน้ำใช้สำหรับเปลี่ยนแปลงพลังงานของน้ำให้มาเป็นพลังงาน - กล น้ำจากท่อส่ง Penstock ผ่านเข้าไปในเครื่องกังหันน้ำเข้าไปกระทบ blade ของตัวกังหันน้ำและมีการเปลี่ยนทิศทางการไหล ทำให้เกิดแรงผลักดันเป็นเหตุให้ตัวกังหันน้ำหมุนได้กังหันน้ำดังกล่าวประกอบไปด้วยชุดของ curved vanes หรือ blades หรือ buckets ซึ่งติดอยู่รอบแกนหมุน ซึ่งแกนนี้อาจตั้งในแนวราบหรือแนวดิ่งก็ได้ เมื่อจะทำให้เกิดพลังงานไฟฟ้า จะนำ generator เข้ามาติดกับแกนหมุนของเครื่องกังหันน้ำนี้

เครื่องกังหันน้ำนี้โดยทั่ว ๆ ไปแล้ว จะแบ่งออกเป็น ๒ ประเภทใหญ่ ๆ ดังนี้

๖.๑. เครื่องกังหันน้ำแบบ Reaction Turbine ซึ่งแบบนี้จะมีลักษณะที่ว่าส่วนรับน้ำที่หมุนได้ ที่เรียกว่า runner นี้จะมีน้ำไหลผ่านเต็มตลอดส่วนนี้ และน้ำจะเป็นตัวไปดันส่วนนี้ให้หมุนไปได้ เครื่องกังหันน้ำ แบบนี้ยังแบ่งออกเป็น ๒ แบบด้วยกันคือ

๖.๑.๑. แบบ Francis Turbine เครื่องกังหันน้ำ แบบนี้จะมีตัวกังหันน้ำที่ถูกสร้าง สำหรับให้น้ำไหลผ่านเข้ามา ในแนวรัศมี และจะไหลผ่านออกทางแนวแกนซึ่งตั้งฉากกับแนวรัศมีโดยปกติแล้ว เครื่องกังหันน้ำแบบ Francis Turbine นี้ เหมาะสำหรับในกรณีที่มี Head ที่ขับเคลื่อน Turbines อยู่ในช่วงสูง ๑๐๐ ฟุต ถึง ๑,๐๐๐ ฟุต ซึ่งเรียกว่า Medium - head Turbine ดังรูปที่ ๖-๑

เครื่องกังหันน้ำแบบนี้ยังแบ่งออกตามความเร็วรอบอีก ๓ แบบคือ

๖.๑.๑.๑. High - speed หรือแบบ Low specific speed

ซึ่งมีค่า specific speed อยู่ระหว่าง ๑๒ - ๓๐ (ft. unit)

๖.๑.๑.๒. Medium - speed หรือเป็นแบบ Medium specific speed ซึ่งมีค่า specific speed อยู่ระหว่าง ๓๐ - ๘๒ (ft. unit)

๖.๑.๑.๓. Low - speed หรือเป็นแบบ High specific speed ซึ่งมีค่า specific speed อยู่ระหว่าง ๘๒ - ๙๘ (ft. unit)

๖.๑.๒. แบบ Propeller Turbine หรือที่เรียกว่า Kaplan Turbine เครื่องกังหันน้ำแบบนี้จะมีตัวกังหันน้ำที่ถูกสร้างโดยให้น้ำไหลผ่านเข้าตามแนวแกนเครื่องกังหันน้ำแบบ Propeller นี้เหมาะสำหรับในกรณีที่มี Head ที่ขับเคลื่อน Turbine ต่ำกว่า ๑๐๐ ฟุต หรือที่เรียกว่า Low - head Turbine และควรจะมีค่า specific speed อยู่ระหว่าง ๑๐๐ - ๒๐๐ เครื่องกังหันน้ำแบบนี้ยังแบ่งออกตามลักษณะของใบพัด (blade) ๒ แบบดังนี้

๖.๑.๒.๑. Fixed - blade แบบนี้ใบพัดปรับให้เป็นไปตามความต้องการไม่ได้

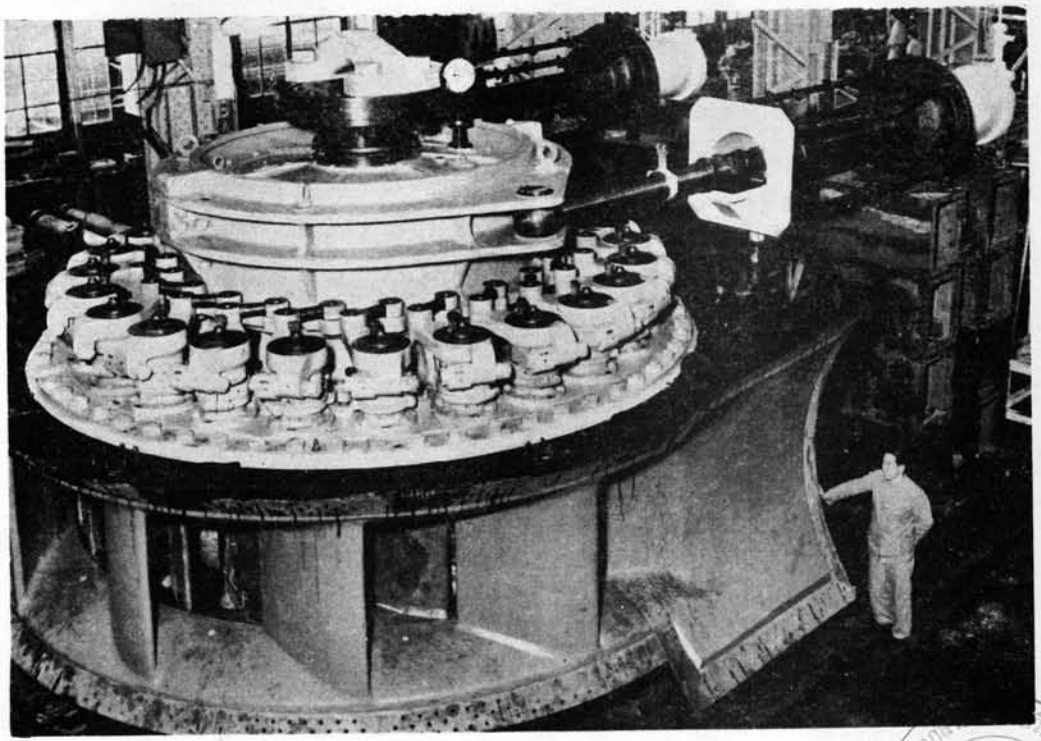
๖.๑.๒.๒. Movable - blade หรือที่รู้จักกันทั่ว ๆ ไปว่า Kaplan Turbine แบบนี้ใบพัดสามารถปรับให้อยู่ในตำแหน่งที่จะให้ได้ ประสิทธิภาพสูงสุดได้ ดังรูปที่ ๖-๒

๖.๒. เครื่องกังหันน้ำแบบ Pelton Wheel หรือ Impulse Turbine ซึ่งแบบนี้ตัวกังหันน้ำจะหมุนได้ โดยน้ำจะไหลผ่าน nozzle ที่มีความเร็วสูง โดยอาศัยแรงผลักดันจากน้ำ ที่ถูกฉีดมายังตัว bucket ของตัวกังหันน้ำ เครื่องกังหันน้ำ แบบนี้รู้จักกันโดยทั่ว ๆ ไป ที่เรียกว่า Pelton Wheel ซึ่งเหมาะสำหรับในกรณีที่ Head ที่ขับเคลื่อนเครื่องกังหันน้ำสูงกว่า ๑,๐๐๐ ฟุต ขึ้นไป ซึ่งจะมีค่า specific speed อยู่ระหว่าง ๒ - ๗

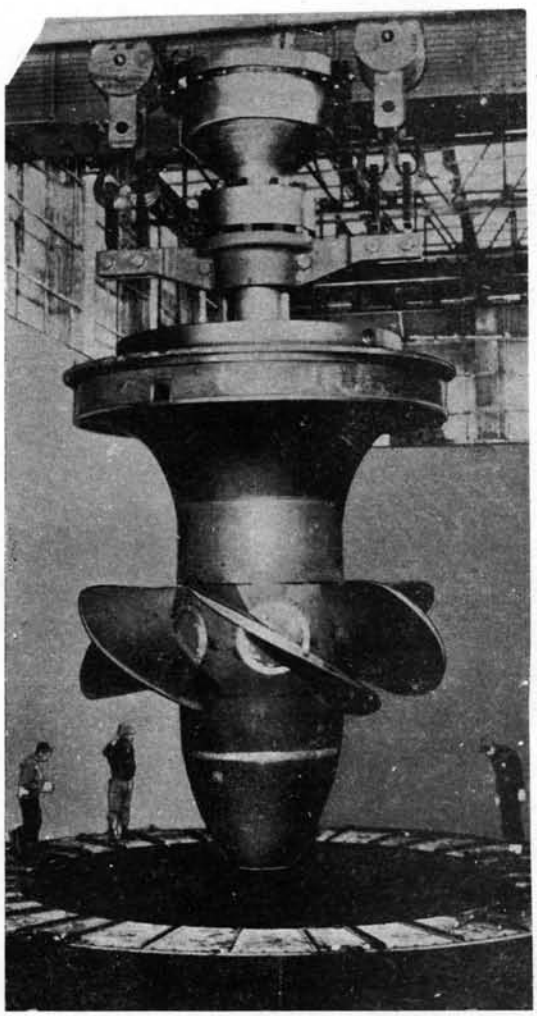
ดังรูปที่ ๖-๓ และเครื่องกังหันน้ำแบบนี้ยังแบ่งประเภท ตามจำนวนของท่อฉีดน้ำออกเป็น ๒ แบบดังนี้

๒.๑. Single - Jet type แบบนี้มีท่อสำหรับฉีดน้ำไปยังใบพัดของตัวกังหันน้ำ มีท่อเดียว

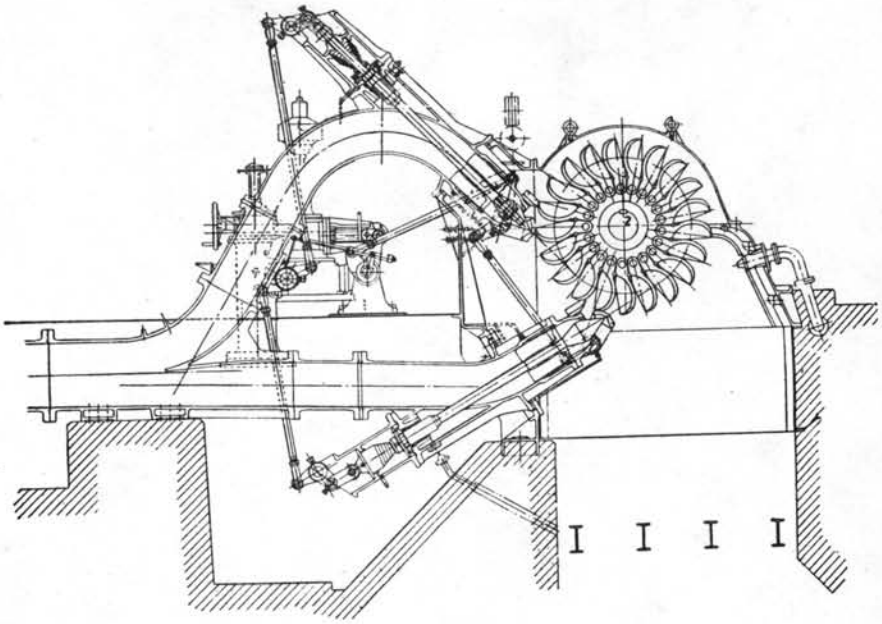
๒.๒. Mulitiple - Jet type แบบนี้มีท่อสำหรับฉีดน้ำไปยังใบพัดของตัวกังหันน้ำ หลายท่อด้วยกัน



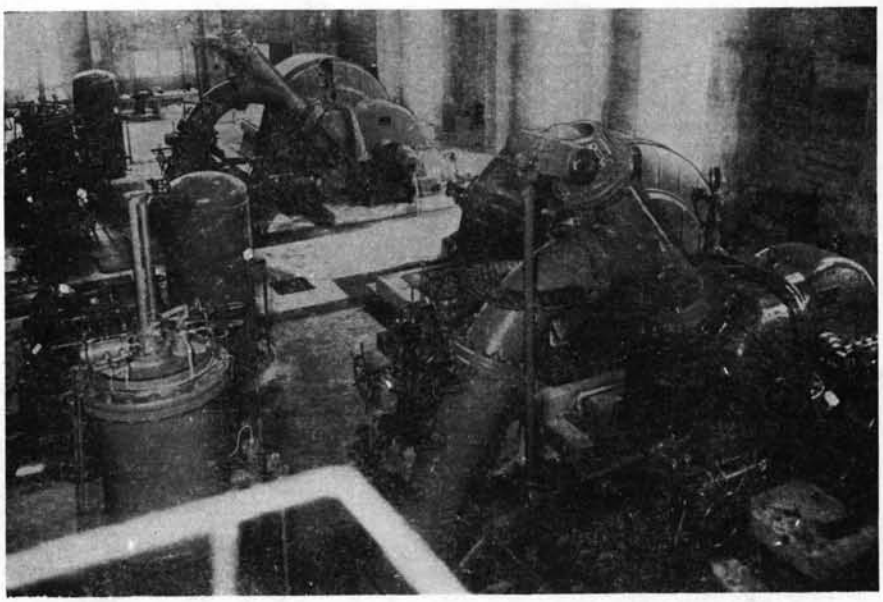
รูปที่ ๖-๑ เครื่องกังหันน้ำแบบ Francis Turbine



รูปที่ ๖-๒ เครื่องกังหันน้ำแบบ Kaplan Turbine



เครื่องกังหันน้ำแบบ Pelton Wheel



รูปที่ ๖-๓ เครื่องกังหันน้ำแบบ Pelton Wheel

๖.๓ <u>คำจำกัดความของคุณสมบัติต่าง ๆ ของเครื่องกังหันน้ำ</u>

ในการออกแบบ Turbine เราจำเป็นจะต้องทราบคำจำกัดความของคุณสมบัติต่าง ๆ ของ Turbine ดังต่อไปนี้

D_1 = ความยาวของเส้นผ่าศูนย์กลางวัดจากจุดศูนย์กลางของ blade ถึงจุดศูนย์กลางของ blade อันตรงข้าม

D_2 = nominal diameter เป็นความยาวของเส้นผ่าศูนย์กลาง ซึ่งวัดจากขอบนอกของตัวใบพัด สำหรับ Propeller Turbine

D_3 = outlet diameter เป็นความยาวของเส้นผ่าศูนย์กลาง โดยวัดที่ throat หรือ ส่วนบนของ draft tube สำหรับ Propeller Turbine

ϕ = speed factor . เป็นอัตราส่วนระหว่างความเร็วเชิงเส้นของ bucket ที่ nominal diameter กับความเร็วของน้ำที่ถูกฉีดออกไป

N_1 = unit speed เป็นความเร็วรอบของ homologous runner ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางยาว ๑ นิ้ว และเดินเครื่องภายใต้ effective head ๑ ฟุต

Q_1 = unit discharge เป็นปริมาณการไหลของน้ำที่ผ่าน homologous runner ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางยาว ๑ นิ้ว ภายใต้ effective head ๑ ฟุต

P_1 = unit power เป็นกำลังที่เกิดจากการเดินเครื่องกังหันน้ำที่มีความยาวของเส้นผ่าศูนย์กลางของ homologous runner เป็น ๑ นิ้ว ภายใต้ effective head ๑ ฟุต

N_s = specific speed เป็นความเร็วรอบของ homologous runner ซึ่งเกิดจากการเดินเครื่องกังหันน้ำให้มีกำลัง ๑ กำลังม้า ภายใต้ effective head ๑ ฟุต

D_s = specific diameter เป็นความยาวของเส้นผ่าศูนย์กลางของ homologous runner ที่เดินเครื่องกังหันน้ำ แล้วจะทำให้ได้กำลัง ๑ กำลังม้า ภายใต้ effective head ๑ ฟุต

๖.๔ <u>ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบเครื่องกังหันน้ำ</u>

การหาขนาดของ runner ซึ่งอัตราส่วนของ $\frac{D_3}{D_1}$ สามารถหาได้จากสูตร

$$\frac{D_3}{D_1} = ๐.๐๑N_s + ๐.๕๔$$

ซึ่ง N_s = specific speed

<u>Turbine Constant</u> เป็นค่าคุณสมบัติของเครื่องกังหันน้ำที่ออกแบบ และสร้างขึ้นให้เหมือนกัน แต่ขนาดอาจแตกต่างกันออกไป ซึ่งค่านี้รวมถึง unit speed, unit discharge, unit power, specific speed, specific diameter

<u>speed factor</u> (ϕ) เป็นอัตราส่วนระหว่างความเร็วเชิงเส้นของ bucket ที่ nominal diameter กับความเร็วของน้ำที่ถูกฉีดออกไป

ถ้า v เป็นความเร็วเชิงเส้น มีหน่วยเป็น ฟุต/วินาที

H เป็น effective head มีหน่วยเป็น ฟุต

D_1 เป็นnominal diameter มีหน่วยเป็น นิ้ว

N เป็นความเร็วรอบของ runner มีหน่วยเป็น รอบ/นาที

จะได้ $$\phi = \frac{v}{\sqrt{๒gH}}$$

ซึ่ง $$v = \frac{\pi D_1 N}{๑๒ \times bo}$$

หรือ $$\phi = \frac{D_1 N}{๑๘๔๐\sqrt{H}}$$

unit speed (N_1)

จากสมการ $\phi = \frac{D_1 N}{๑๘๔๐\sqrt{H}}$

ดังนั้น ความเร็วรอบของ runner อาจแสดงได้ดังนี้

$$N = \frac{๑๘๔๐ \phi \sqrt{H}}{D_1}$$

unit speed หมายถึงความเร็วรอบของ runner ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางยาว ๑ นิ้ว และเดินเครื่องภายใต้ effective head ๑ ฟุต แล้วจะได้

$$N_1 = ๑๘๔๐ \phi$$

จากสมการ $N = \frac{๑๘๔๐ \phi \sqrt{H}}{D_1}$ เราสามารถหาค่า unit speed ในเทอมของ H , D_1 ได้ โดยแทนค่า

$$\phi = \frac{N_1}{๑๘๔๐}$$

ลงในสมการนี้จะได้ $N_1 = \frac{N D_1}{\sqrt{H}}$

unit discharge (Q_1) เป็นปริมาณการไหลของน้ำที่ผ่าน runner ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางยาว ๑ นิ้ว ภายใต้ effective head ๑ ฟุต

จากสูตร การไหลของน้ำที่ผ่าน orifice

$$Q = CAv$$

$$= \frac{C \pi D^2}{๔} \sqrt{๒gH}$$

$$= \frac{C \pi D_1^2}{๔ \times ๑๔๔} \sqrt{๒ gH}$$

ซึ่ง Q = ปริมาณการไหลของน้ำ เป็น ลูกบาศก์ฟุต/วินาที

C = ค่า coefficient ของการไหล

D_1 = เส้นผ่าศูนย์กลางของ orifice หรือ เส้นผ่าศูนย์กลางของ runner หน่วยเป็น นิ้ว

จากสมการข้างบนและคุณสมบัติของ Q_1 ที่กล่าวมาแล้วจะได้

$$Q_1 = \frac{C\pi\sqrt{2g}}{4 \times 144}$$

$$Q = Q_1 D_1^2 \sqrt{H}$$

หาค่า Q_1

$$Q_1 = \frac{Q}{D_1^2\sqrt{H}}$$

unit power (P_1) เป็นกำลังที่เกิดจากการเดินเครื่องกังหันน้ำ ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางของ runner ยาว ๑ นิ้ว ภายใต้ effective head ๑ ฟุต

จากสมการ $P_{(hp)} = \frac{Q \cdot H \cdot w \cdot e}{550}$

แทนค่า $Q = Q_1 D_1^2 \sqrt{H}$ ลงในสมการข้างบน

จะได้ $P = Q_1 D_1^2 H^{3/2} \frac{w \cdot e}{550}$

จากคุณสมบัติของ unit power และสมการข้างบนจะได้

$$P_1 = \frac{Q_1 w \cdot e}{550} \quad \text{หรือ} \quad \frac{Q_1 \cdot e}{8.8}$$

และสามารถหาค่า P_1 ในเทอมของ P, D_1 และ H ได้ดังนี้

$$P_1 = \frac{P}{D_1^2 H^{3/2}}$$

specific speed (N_s) เป็นความเร็วรอบของ runner ซึ่งเกิดจากการเดินเครื่องกังหันน้ำ ให้มีกำลัง ๑ กำลังม้า ภายใต้ effective head ๑ ฟุต

จากสมการ $P_{(hp)} = \frac{Q.H.w.e}{๕๕๐}$; $N = ๑๘๘๐ \phi \frac{\sqrt{H}}{D_1}$

และ $Q = \frac{C \pi D_1^2 \sqrt{๒ gH}}{๔ \times ๑๔๔}$

ซึ่งเราอาจจะพบความสัมพันธ์ ของแต่ละสมการเป็นดังนี้

$$P \propto Q H , \quad N \propto \frac{H^{1/2}}{D_1} , \quad Q \propto D_1^2 H^{1/2}$$

เมื่อแทนค่า Q และ D_1 ลงในสมการที่แสดงแล้วหาค่า N เราจะได้

$$N \propto \frac{H^{5/4}}{\sqrt{P}} \text{ หรือ } N = (\text{constant}) \frac{H^{5/4}}{\sqrt{P}}$$

จากคุณสมบัติของ specific speed เราจะได้

$$N_s = \text{a constant} = \frac{N \sqrt{P}}{H^{5/4}}$$

Specific Diameter and Model Ratio

Specific Diameter เป็นความยาวของเส้นผ่าศูนย์กลางของ runner ที่เดินเครื่องกังหันน้ำแล้วจะทำให้ได้ กำลัง ๑ กำลังม้า ภายใต้ effective - head ๑ ฟุต

หาค่า Q จากความสัมพันธ์

$$P \propto Q H \quad \text{และ} \quad Q \propto D_1^2 H^{1/2}$$

$$\therefore P \propto D_1^2 H^{3/2}$$

หาค่า D_1 , $D_1 \propto \frac{P^{1/2}}{H^{3/4}}$

จากคุณสมบัติของ specific diameter

$$D_1 = D_s \frac{\sqrt{P}}{H^{3/4}}$$

Model Ratio (m)

สูตร $m = \frac{\sqrt{P}}{H^{3/4}}$

และ $D_1 = m D_s$

๖.๕ <u>การออกแบบเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันน้ำ</u> (Hydro - electric - Turbines) <u>ที่จะนำมาติดตั้งที่เขื่อนเจ้าพระยา</u>

ในฤดูฝนปริมาณน้ำของโครงการเจ้าพระยาใหญ่ จะมากเกินกว่าปริมาณน้ำที่จำเป็นต้องใช้ในการเพาะปลูกมากกล่าวคือ น้ำที่ไหลผ่านเขื่อนเจ้าพระยาในระหว่างเดือนกันยายนถึง พฤศจิกายนมีปริมาณประมาณ ๒,๐๐๐-๓,๐๐๐ ม.๓/วินาที ส่วนในฤดูแล้งระหว่างเดือน กุมภาพันธ์ ถึง เมษายน ปริมาณน้ำที่ไหลมายังเขื่อนเจ้าพระยา ประมาณ ๑๒๐ ม.๓/วินาที แต่ปริมาณน้ำจะต้องปล่อยทิ้งลงมาท้ายเขื่อนเพื่อประโยชน์ในการนำน้ำไปใช้เป็นวัตถุดิบผลิตน้ำประปา ของกรุงเทพมหานครและใช้ผลักดันน้ำเค็ม เพื่อไม่ให้เข้ามาทำอันตรายต่อพืชผลในบริเวณพื้นที่ปากแม่น้ำ ซึ่งปริมาณน้ำดังกล่าว ต้องไม่น้อยกว่า ๘๐ ม.๓/วินาที ดังนั้นจะมีน้ำที่สามารถนำไปใช้ในการทำนาปรัง (นาครั้งที่สอง) ได้ประมาณ ๔๐ ม.๓/วินาที เท่านั้น

จากรูปที่ ๕-๓ แสดง Flow Duration Curve เฉลี่ยของปี พ.ศ. ๒๕๑๖--๒๕๒๑ เมื่อปริมาณการไหลของน้ำเป็น ๘๐ ม.๓/วินาที จะมีจำนวนเปอร์เซนต์ของเวลา (percent of time) เป็น ๘๓.๙๕ % ซึ่งปริมาณการไหลดังกล่าวนี้สามารถนำมาคำนวณหาค่า firm power ของโครงการต่อไป

การออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันน้ำ เมื่อปริมาณการไหลของน้ำเป็น ๘๐ ม.๓/วินาที จาก Rating Curve จะได้ระดับน้ำท้ายเขื่อนเป็น ๖.๔๖ เมตร แต่ระดับ - เก็บกักหน้าเขื่อนเฉลี่ยเป็น ๑๕.๑๕ เมตร ซึ่งจะพบว่าความต่างระดับ (effective-head) เป็น ๔.๑๔ เมตร หรือ ๓๐.๑๔ ฟุต

ในการออกแบบ กำหนด max. eff. head เป็น ๔.๓๓ เมตร หรือ ๓๐.๖๐ ฟุต
min. eff. head เป็น ๕.๐๐ เมตร หรือ ๑๖.๔๐ ฟุต

หากำลังม้าของเครื่องกังหันน้ำ

จาก $P_{(hp)} = \frac{Q.H.w.e}{๕๕๐}$

เมื่อ Q = ปริมาณการไหลของน้ำที่ผ่านเครื่องกังหันน้ำ เป็น ๘๐ ม.๓/วินาที หรือ ๒,๘๒๓ ฟ.๓/วินาที

H = effective head เป็น ๓๐.๑๔ ฟุต

w = น้ำหนักของน้ำต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร เป็น ๖๒.๕ ปอนด์/ฟ.๓

e = ๗๕ % (ประสิทธิภาพสูงสุดของ Kaplan-Turbines)

$P_{(hp)} = \frac{๒,๘๒๓ \times ๓๐.๑๔ \times ๖๒.๕ \times ๐.๗๕}{๕๕๐}$

$= ๗,๒๕๑.๕๘$ กำลังม้า

หรือ $P_{(kw)} = \frac{Q.H.w.e}{๘๓๗}$

$= \frac{๒,๘๒๓ \times ๓๐.๑๔ \times ๖๒.๕๐ \times ๐.๗๕}{๘๓๗}$

$= ๕,๔๑๑.๖๓$ กิโลวัตต์

ในการออกแบบเครื่องกังหันน้ำ เราจะให้ effective head คงที่ แต่จริง ๆ แล้วจะไม่คงที่ เราจึงต้องเลือก design head ค่าหนึ่งที่จะให้เครื่องกังหันน้ำได้ความเร็วสูงสุด และทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อจะเป็นการประหยัดที่สุด จากการทดลองพบว่า สำหรับ Movable - blade - propeller Turbines จะต้องมี min. eff. head ต้องไม่น้อยกว่า ๕๐ % และ max. eff. head ต้องไม่เกิน ๑๕๐ % ของ design head(๑)

$$\text{max. eff. head} = \frac{๓๐.๖๐}{๓๐.๑๔} \times ๑๐๐ = ๑๐๑.๕\ \% < ๑๕๐\ \%$$

$$\text{min. eff. head} = \frac{๑๖.๔๐}{๓๐.๑๔} \times ๑๐๐ = ๕๔.๔๑\ \% > ๕๐\ \%$$

ในการออกแบบเราใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) โดยให้มี frequency ๕๐ cycles/sec. ๓ - phase

จากกราฟ รูปที่ ๖ - ๔ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง effective-head กับ specific speed เมื่อ effective head เป็น ๓๐.๑๔ ฟุต จะได้ specific speed เป็น ๑๕๐

จาก $N = \dfrac{N_s H^{5/4}}{\sqrt{P}}$

เมื่อ H = effective head เป็น ๓๐.๑๔ ฟุต

N_s = specific speed เป็น ๑๕๐

P = กำลังม้าของเครื่องกังหันน้ำเป็น ๓,๒๕๑.๕๘ กำลังม้า

N = ความเร็วรอบของเครื่องกังหันน้ำเป็น รอบ/นาที

แทนค่าลงในสมการจะได้

$$N = \frac{๑๕๐ \times (๓๐.๑๔)^{๕/๔}}{\sqrt{๓,๒๕๑.๕๘}}$$

$$= ๑๒๔.๔๐ \quad \text{รอบ/นาที}$$

ที่มา (๑) James J. Doland, D. Sc, Hydro Power Engineering (The Ronald Press Company, 1954), หน้า ๖๑.

หาจำนวนขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สำหรับความเร็วรอบเป็น ๑๒๔.๔๐ รอบ/นาที

จาก $N = \frac{120f}{p}$

เมื่อ f = frequency เป็น ๕๐ cycles/sec.

p = จำนวนขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

N = ความเร็วรอบของเครื่องกังหันน้ำเป็น ๑๒๔.๔๐ รอบ/นาที

แทนค่าลงในสมการจะได้

$$๑๒๔.๔๐ = \frac{๑๒๐ \times ๕๐}{p}$$

$$p = \frac{๑๒๐ \times ๕๐}{๑๒๔.๔๐}$$

$$= ๔๘.๒๓ \text{ ขั้ว}$$

ความผันแปรของความต่างระดับของน้ำ $= \frac{๓๐.๖๐ - ๑๖.๔๐}{๓๐.๑๔} \times ๑๐๐$

$= ๔๓.๑๑$ % ซึ่งมากกว่า ๑๐ % ของ normal head

ดังนั้นจำนวนขั้วจะเป็น ๔๒ ขั้ว

เพราะฉะนั้น synchronous speed จะเป็น

$$N = \frac{๑๒๐ \times ๕๐}{๕๒}$$

$$= ๑๑๕.๓๘ \text{ รอบ/นาที}$$

เพราะฉะนั้นค่า specific speed ที่ design head จะเป็น

$$N_S = \frac{N\sqrt{P}}{H^{5/4}}$$

$$= \frac{๑๑๕.๓๘ \times \sqrt{๓,๒๕๑.๕๘}}{(๓๐.๑๔)^{๕/๔}}$$

$$= ๑๓๔.๑๓$$

จาก $$m = \frac{\sqrt{P}}{H^{3/4}}$$

เมื่อ m = model ratio

P = กำลังม้าของเครื่องกังหันน้ำเป็น ๓,๒๕๑.๕๘ กำลังม้า

H = effective head เป็น ๓๐.๑๔ ฟุต

แทนค่าลงในสมการจะได้

$$m = \frac{\sqrt{๓,๒๕๑.๘}}{(๓๐.๑๔)^{๓/๔}}$$

$$= ๖.๖๒$$

จาก $$D_S = \frac{๑๑๓}{N_S^{๐.๓๔}}$$ สำหรับ Propeller runners

เมื่อ D_S = specific diameter

N_S = specific speed เป็น ๑๓๔.๑๓

แทนค่าลงในสมการจะได้

$$D_S = \frac{๑๑๓}{(๑๓๔.๑๓)^{๐.๓๔}}$$

$$= ๒๑.๑๐$$

จาก $D_3 = m D_s$

เมื่อ D_3 = discharge diameter เป็นนิ้ว

D_s = specific diameter เป็น ๒๑.๑๐

m = model ratio เป็น ๖.๖๒

แทนค่าลงในสมการจะได้

D_3 = ๖.๖๒ x ๒๑.๑๐

= ๑๓๗.๘๒๘ นิ้ว หรือ ๑๑.๖๔ ฟุต หรือ ๓.๕๕ เมตร

เพราะฉะนั้นในการติดตั้งเครื่องกังหันน้ำ จะใช้เครื่องกังหันน้ำแบบ Kaplan Turbines ที่มีขนาด discharge diameter เป็น ๓.๕๕ เมตร

<u>การหาตำแหน่งที่ตั้งจุดศูนย์กลางของ Scroll Case</u>

จากกราฟที่ ๖-๕ เมื่อ N_s = ๑๓๙.๑๓ จะได้ Plant sigma(σ) = ๐.๕๘

เมื่ออุณหภูมิของน้ำเป็น ๘๘.๙°F และระดับต่ำสุดของท้ายน้ำเป็น + ๖.๙๒ เมตร หรือ + ๒๒.๘๓ ฟุต

จะได้ความสูงบารโรมิเตอร์ของน้ำ(Hb) เป็น ๓๒.๒๐ ฟุต

จากสมการ $\sigma = \frac{Hb - Hs}{H}$

เมื่อ σ = Plant sigma เป็น ๐.๕๘

Hb = ความสูงบารโรมิเตอร์ของน้ำเป็น ๓๒.๒๐ ฟุต

H = effective head เป็น ๓๐.๐๔ ฟุต

Hs = draft head หน่วยเป็น ฟุต

แทนค่าลงในสมการจะได้

$$0.๕๘ = \frac{๓๒.๒๐ - Hs}{๓๐.๑๔}$$

$$Hs = ๓๒.๒๐ - 0.๕๘ \times ๓๐.๑๔$$

$$= ๑๔.๓๑๔ \text{ ฟุต}$$

จากสมการ $\frac{A}{D_3} = 0.๔๑$ สำหรับ Propeller Turbines

เมื่อ A = เป็นระยะจากจุดกึ่งกลางของ Scroll Case มายังจุดศูนย์กลางของ runner หน่วยเป็นนิ้ว

D_3 = discharge diameter เป็น ๑๑.๖๔ ฟุต

แทนค่าลงในสมการจะได้

$$\frac{A}{๑๑.๖๔} = 0.๔๑$$

$$A = 0.๔๑ \times ๑๑.๖๔$$

$$= ๔.๗๗ \text{ นิ้ว } 0.๓๔๘ \text{ ฟุต}$$

เพราะฉะนั้นระดับจุดศูนย์กลางของ Scroll Case อยู่ที่ระดับ

$$= A + Hs + ๒๒.๘๓$$

$$= 0.๓๔๘ + ๑๔.๓๑๔ + ๒๒.๘๓$$

$$= ๓๗.๔๘๗ \text{ ฟุต } ๑๑.๕๗ \text{ ม.above M.S.L}$$

ในการออกแบบ เมื่อกำหนดปริมาณการไหลของน้ำ (Q) = ๒๐๐ ม.๓/วินาที หรือ = ๗,๐๕๗.๕๐ ฟ.๓/วินาที จาก Rating Curve (รูปที่ ๕-๒) จากปริมาณการไหลของน้ำ ๒๘๐ ม.๓/วินาที จะได้ระดับน้ำท้ายเขื่อนเป็น ๘.๒๘ เมตร แต่ระดับเก็บกักของน้ำหน้าเขื่อนเฉลี่ยเป็น ๑๖.๑๕ เมตร ซึ่งจะพบว่าความต่างระดับ (effective head) เป็น ๗.๘๗ เมตร

effective head = ๗.๘๗ เมตร = ๒๕.๘๑ ฟุต

max. eff. head = ๘.๐๑ เมตร = ๒๖.๒๗ ฟุต

min. eff. head = ๔.๕๐ เมตร = ๑๔.๗๖ ฟุต

หากำลังม้าของเครื่องกังหันน้ำ

จาก $P_{(hp)} = \frac{Q.H.w.e}{๕๕๐}$

เมื่อ Q = ปริมาณการไหลของน้ำที่ผ่านเครื่องกังหันน้ำเป็น ๗,๐๕๗.๕๐ ฟ.๓/วินาที

H = effective head เป็น ๒๕.๘๑ ฟุต

w = น้ำหนักของน้ำต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรเป็น - ๖๒.๕ ปอนด์/ม.๓

e = ๗๕ % (ประสิทธิภาพสูงสุดของ Kaplan Turbines)(๑)

$P_{(hp)} = \frac{๗,๐๕๗.๕๐ \times ๒๕.๘๑ \times ๖๒.๕๐ \times ๐.๗๕}{๕๕๐}$

= ๑๕,๕๒๔.๕๐ กำลังม้า

หรือ $P_{(kw)} = \frac{Q.H.w.e}{๗๓๗}$

$= \frac{๗,๐๕๗.๕๐ \times ๒๕.๘๑ \times ๖๒.๕๐ \times ๐.๗๕}{๗๓๗}$

= ๑๑,๕๘๕.๔๔ กิโลวัตต์

ที่มา (๑) James J. Doland, D. Sc, Hydro Power Engineering (The Ronald Press Company, 1954), หน้า ๖๐.

สำหรับ Movable-blade-propeller turbine จะต้องมีค่าmin. eff. head ต้องไม่น้อยกว่า ๕๐ % และ max. eff. head ต้องไม่เกิน ๑๕๐ % ของ design head (๑)

$$\text{max. eff. head} = \frac{๒๖.๒๗ \times ๑๐๐}{๒๕.๘๑} = ๑๐๑.๗๘\ \% < ๑๕๐\ \%$$

$$\text{min. eff. head} = \frac{๑๔.๗๖ \times ๑๐๐}{๒๕.๘๑} = ๕๗.๑๘\ \% > ๕๐\ \%$$

ในการออกแบบเราใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) ที่มี frequency ๕๐ cycles/sec. , ๓ - phase

จากกราฟที่ ๖-๔ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง effective head กับ specific speed เมื่อ effective head เป็น ๒๕.๘๑ ฟุต จะได้ specific speed เป็น ๑๕๕

จาก $N = \frac{N_s H^{5/4}}{\sqrt{P}}$

เมื่อ H = effective head เป็น ๒๕.๘๑ ฟุต

N_s = specific speed เป็น ๑๕๕

P = กำลังม้าของเครื่องกังหันน้ำเป็น ๑๕,๕๒๔.๕๐ กำลังม้า

N = ความเร็วรอบของเครื่องกังหันน้ำเป็น รอบ/นาที

แทนค่าลงในสมการจะได้

$$N = \frac{๑๕๐ \times (๒๕.๘๑)^{๕/๔}}{\sqrt{๑๕,๕๒๔.๕๐}}$$

$$= ๗๐.๐๔ \quad \text{รอบ/นาที}$$

หาจำนวนขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สำหรับความเร็วรอบเป็น ๗๐.๐๔ รอบ/นาที

จาก $N = \frac{๑๒๐ f}{p}$

ที่มา (๑) James J. Doland, D. Sc, Hydro Power Engineering (The Ronald Press Company, 1954), หน้า ๖๑.

เมื่อ f = frequency ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็น ๕๐ cycles/sec.

p = จำนวนขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

N = ความเร็วรอบของเครื่องกังหันน้ำเป็น ๗๐.๐๔ รอบ/นาที

แทนค่าในสมการจะได้

$$๗๐.๐๔ = \frac{๑๒๐ \times ๕๐}{p}$$

$$p = \frac{๑๒๐ \times ๕๐}{๗๐.๐๔}$$

$$= ๘๕.๖๕ \text{ ขั้ว}$$

$$\text{ความผันแปรของความต่างระดับของน้ำ} = \frac{๒๖.๒๗ - ๑๔.๗๖}{๒๕.๘๑} ๑๐๐$$

= ๔๔.๕๔ % ซึ่งมากกว่า ๑๐ % ของ normal head

ดังนั้นจำนวนขั้วจะเป็น ๘๘ ขั้ว

เพราะฉะนั้น synchronous speed จะเป็น

$$N = \frac{๑๒๐ \times ๕๐}{๘๘}$$

$$= ๖๘.๑๘ \text{ รอบ/นาที}$$

เพราะฉะนั้นค่า specific speed ที่ design head จะเป็น

$$N_s = \frac{N\sqrt{P}}{H^{5/4}}$$

$$= \frac{๖๘.๑๘ \times \sqrt{๑๕,๕๒๔.๕๐}}{(๒๕.๘๑)^{๕/๔}}$$

$$= ๑๔๖.๐๔$$

จาก $m = \frac{\sqrt{P}}{H^{3/4}}$

เมื่อ m = model ratio

P = กำลังม้าของเครื่องกังหันน้ำเป็น ๑๕,๕๒๔.๕๐ กำลังม้า

H = effective head เป็น ๒๕.๘๑ ฟุต

แทนค่าลงในสมการจะได้

$$m = \frac{\sqrt{๑๕,๕๒๔.๕๐}}{(๒๕.๘๑)^{๓/๔}}$$

$$= ๑๐.๘๘$$

จาก $D_s = \frac{๑๑๓}{N_s^{๐.๓๔}}$ สำหรับ propeller runners

เมื่อ D_s = specific diameter

N_s = specific speed เป็น ๑๔๖.๐๔

แทนค่าลงในสมการจะได้

$$D_s = \frac{๑๑๓}{(๑๔๖.๐๔)^{๐.๓๔}}$$

$$= ๒๐.๓๕$$

จาก $D_3 = m D_s$

เมื่อ D_3 = discharge diameter เป็น นิ้ว

D_s = specific diameter เป็น ๒๐.๓๕

m = model ratio เป็น ๑๐.๘๘

แทนค่าลงในสมการจะได้

D_3 = ๑๐.๘๘ X ๒๐.๓๕

= ๒๒๕.๓๖ นิ้ว = ๑๘.๘๑ ฟุต = ๕.๓๓ เมตร

เพราะฉะนั้นในการคิดคั้งเครื่องกังหันน้ำจะใช้ เครื่องกังหันน้ำแบบ Kaplan Turbines ที่มีขนาด discharge diameter เป็น ๑๘.๘๑ ฟุต หรือ ๕.๗๓ เมตร

<u>การหาตำแหน่งที่ตั้งจุดศูนย์กลางของ Scroll Case</u>

จากกราฟที่ ๖-๕ เมื่อ N_s = ๑๔๖.๐๔ จะได้ Plant sigma (σ) = ๐.๖๐

เมื่ออุณหภูมิของน้ำเป็น ๘๘.๗ $^{\circ}$F และระดับต่ำสุดของน้ำท้ายเขื่อนเป็น + ๘.๒๘ เมตร = + ๒๗.๑๖ ฟุต

จะได้ความสูงบารโรมิเตอร์ของน้ำ (Hb) เป็น ๓๒.๒๐ ฟุต

จากสมการ $\sigma = \frac{Hb - Hs}{H}$

เมื่อ σ = Plant sigma เป็น ๐.๖๐

Hb = ความสูงบารโรมิเตอร์ของน้ำเป็น ๓๒.๒๐ ฟุต

H = effective head เป็น ๒๕.๘๑ ฟุต

Hs = draft head หน่วยเป็น ฟุต

แทนค่าลงในสมการจะได้

$$๐.๖๐ = \frac{๓๒.๒๐ - Hs}{๒๕.๘๑}$$

$$Hs = ๓๒.๒๐ - ๐.๖๐ \times ๒๕.๘๑$$

$$= ๑๖.๗๑ \text{ ฟุต}$$

จากสมการ $\frac{A}{D_3}$ = ๐.๔๑ สำหรับ Propeller turbines

เมื่อ A = เป็นระยะจากจุดกึ่งกลางของ Scroll Case มายังจุดศูนย์กลางของ runner หน่วยเป็น นิ้ว

D_3 = discharge diameter เป็น ๑๘.๘๑ ฟุต

แทนค่าลงในสมการจะได้

$$\frac{A}{๑๘.๘๑} = ๐.๔๑$$

$$= ๐.๔๑ \times ๑๘.๘๑$$

$$= ๓.๗๑๒ \text{ นิ้ว} = ๐.๖๔๓ \text{ ฟุต}$$

เพราะฉะนั้นระดับจุดศูนย์กลางของ Scroll Case อยู่ที่ระดับ

$$= A + Hs + ๒๓.๑๖$$

$$= ๐.๖๔๓ + ๑๖.๗๑ + ๒๓.๑๖$$

$$= ๔๔.๕๑๓ \text{ ฟุต} = ๑๓.๕๗ \text{ เมตร above M.S.L}$$

ในการออกแบบ เมื่อกำหนดปริมาณการไหลของน้ำ (Q)= ๒๐๐ ม.๓/วินาที หรือ = ๗,๐๕๗.๕๐ ฟ.๓/วินาที จาก Rating Curve (รูปที่ ๕-๒) จากปริมาณการไหลของของน้ำ ๔๘๐ ม.๓/วินาที จะได้ระดับน้ำท้ายเขื่อนเป็น ๔.๗๑ เมตร แต่ระดับเก็บกักของน้ำหน้าเขื่อนเป็น ๑๖.๑๕ เมตร ซึ่งจะพบว่าความต่างระดับ(effective head) เป็น ๖.๔๘ เมตร

effective head = ๖.๔๘ เมตร = ๒๒.๘๔ ฟุต

max. eff. head = ๗.๑๒ เมตร = ๒๓.๓๕ ฟุต

min. eff. head = ๔.๐๐ เมตร = ๑๓.๑๒ ฟุต

หากำลังม้าของเครื่องกังหันน้ำ

จาก $P_{(hp)} = \frac{Q.H.w.e}{๕๕๐}$

เมื่อ Q = ปริมาณการไหลของน้ำที่ผ่านเครื่องกังหันน้ำเป็น ๗,๐๕๗.๕๐ ฟ.๓/วินาที

H = effective head เป็น ๒๒.๘๔ ฟุต

w = น้ำหนักของน้ำต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรเป็น ๖๒.๕ ปอนด์

e = ๗๕ % (ประสิทธิภาพสูงสุดของ Kaplan Turbines)

$P_{(hp)} = \frac{๗,๐๕๗.๕๐ \times ๒๒.๘๔ \times ๖๒.๕๐ \times ๐.๗๕}{๕๕๐}$

= ๑๓,๗๖๘.๑๔ กำลังม้า

หรือ $P_{(kw)} = \frac{Q.H.w.e}{๗๓๗}$

หมายเหตุ การที่ใช้ min. eff. head ไม่น้อยกว่า ๔๐๐ เมตร ได้มาจากการศึกษามาแล้วของบริษัท Allis Chalmers Co. of Milwaukee (ที่มา กรมชลประทาน, Report on Irrigation Drainage and Communication Project of Chao Phya River Plain, 1949), หน้า ๗๑.

$$= \frac{๓,๐๕๓.๕๐ \times ๒๒.๘๔ \times ๖๒.๕๐ \times ๐.๓๕}{๓๓๓}$$

$$= ๑๐,๒๓๔.๓๓ \text{ กิโลวัตต์}$$

สำหรับ Movable-blade-propeller turbine จะต้องมีค่า min. eff. head ต้องไม่น้อยกว่า ๕๐ % และmax. eff. head ต้องไม่เกิน ๑๕๐ % ของ design head (๑)

$$\text{max. eff. head} = \frac{๒๓.๓๕ \times ๑๐๐}{๒๒.๘๔} = ๑๐๒.๐๑ \% < ๑๕๐ \%$$

$$\text{min. eff. head} = \frac{๑๓.๑๒ \times ๑๐๐}{๒๒.๘๔} = ๕๓.๑๒ \% > ๕๐ \%$$

ในการออกแบบเราใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Genertor) ที่มี frequency ๕๐ cycle/sec. , ๓ - phase

จากกราฟที่ ๖-๔ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง effective head กับ specific speed เมื่อ effective head เป็น ๒๒.๘๔ ฟุต จะได้ specific speed เป็น ๑๖๐

จาก $N = \frac{N_s H^{5/4}}{\sqrt{P}}$

เมื่อ H = effective head เป็น ๒๒.๘๔ ฟุต

N_s = specific speed เป็น ๑๖๐

กำลังม้าของเครื่องกังหันน้ำเป็น ๑๓,๗๖๘.๑๔ กำลังม้า

N = ความเร็วรอบของเครื่องกังหันน้ำเป็น รอบ/นาที

ที่มา (๑) James J. Doland, D. Sc, Hydro Power Engineering (The Ronald Press Company, 1954), หน้า ๖๑.

แทนค่าลงในสมการจะได้

$$N = \frac{๑๖๐ \times (๒๒.๘๔)^{๕/๔}}{\sqrt{๑๓,๗๖๘.๑๔}}$$

$$= ๖๘.๒๗ \text{ รอบ/นาที}$$

หาจำนวนขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สำหรับความเร็วรอบเป็น ๖๘.๒๗ รอบ/นาที

จาก $N = \frac{๑๒๐f}{p}$

เมื่อ f = frequency ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เป็น ๕๐ cycles/sec.

p = จำนวนขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

N = ความเร็วรอบของเครื่องกังหันน้ำเป็น ๖๘.๒๗ รอบ/นาที

แทนค่าลงในสมการจะได้

$$๖๘.๒๗ = \frac{๑๒๐ \times ๕๐}{p}$$

$$p = \frac{๑๒๐ \times ๕๐}{๖๘.๒๗}$$

$$= ๘๗.๘๘ \text{ ขั้ว}$$

ความผันแปรของความต่างระดับของน้ำ

$$= \frac{๒๓.๓๕ - ๑๓.๑๒ \times ๑๐๐}{๒๒.๘๔}$$

$$= ๔๔.๖๔ \% \text{ ซึ่งมากกว่า } ๑๐ \% \text{ ของ normal head}$$

ดังนั้นจำนวนขั้วจะเป็น ๘๘ ขั้ว

เพราะฉะนั้น synchronous speed จะเป็น

$$N = \frac{๑๒๐ \times ๕๐}{๘๘}$$

$$= ๖๘.๑๘ \text{ รอบ/นาที}$$

เพราะฉะนั้นค่า specific speed ที่ design head จะเป็น

$$N_s = \frac{N\sqrt{P}}{H^{5/4}}$$

$$= \frac{๖๘.๑๘ \times \sqrt{๑๓,๓๖๘.๑๔}}{(๒๒.๘๔)^{๕/๔}}$$

$$= ๑๕๔.๓๘$$

จาก $m = \frac{\sqrt{P}}{H^{3/4}}$

เมื่อ m = model ratio

P = กำลังม้าของเครื่องกังหันน้ำเป็น ๑๓,๓๖๘.๑๔ กำลังม้า

H = effective head เป็น ๒๒.๘๔ ฟุต

แทนค่าลงในสมการจะได้

$$m = \frac{\sqrt{๑๓,๓๖๘.๑๔}}{(๒๒.๘๔)^{๓/๔}}$$

$$= ๑๑.๒๑$$

จาก $D_s = \frac{๑๑๓}{N_s^{๐.๓๔}}$ สำหรับ propeller runners

เมื่อ D_s = specific diameter

N_s = specific speed เป็น ๑๕๔.๓๘

แทนค่าลงในสมการจะได้

$$D_s = \frac{๑๑๓}{(๑๕๔.๓๘)^{๐.๓๔}}$$

$$= ๒๐.๑๔$$

จาก $D_3 = m\, D_s$

เมื่อ D_3 = discharge diameter เป็น นิ้ว

D_s = specific diameter เป็น ๒๐.๑๔

m = model ratioเป็น ๑๑.๒๑

แทนค่าลงในสมการจะได้

D_3 = ๑๑.๒๑ X ๒๐.๑๔

= ๒๒๕.๘๐ นิ้ว = ๑๘.๘๑ ฟุต = ๕.๗๔ เมตร

เพราะฉะนั้นในการติดตั้งเครื่องกังหันน้ำจะใช้ เครื่องกังหันน้ำแบบ Kaplan Turbines ที่มีขนาด discharge diameter เป็น ๕.๗๔ เมตร

<u>การหาตำแหน่งที่ตั้งจุดศูนย์กลางของ Scroll Case</u>

จากกราฟที่ ๖-๕ เมื่อ N_s = ๑๕๔.๗๘ จะได้ Plant sigma(σ)= ๐.๖๘

เมื่ออุณหภูมิของน้ำเป็น ๘๒.๗F และระดับต่ำสุดของน้ำท้ายเขื่อน เป็น +๔.๑๗ เมตร= + ๓๐.๐๘ ฟุต

จะได้ความสูงบารโรมิเตอร์ของน้ำ (Hb) เป็น ๓๒.๒๐ ฟุต

จากสมการ $\sigma = \frac{Hb - Hs}{H}$

เมื่อ σ = Plant sigma เป็น ๐.๖๘

Hb = ความสูงบารโรมิเตอร์ของน้ำเป็น ๓๒.๒๐ ฟุต

H = effective head เป็น ๒๒.๘๔ ฟุต

Hs = draft head หน่วยเป็น ฟุต

แทนค่าลงในสมการจะได้

$๐.๖๘ = \frac{๓๒.๒๐ - Hs}{๒๒.๘๔}$

= ๓๒.๒๐ - ๐.๖๘ X ๒๒.๘๔

= ๑๖.๖๓ ฟุต

จากสมการ $\frac{A}{D_3}$ = ๐.๔๑ สำหรับ Propeller Turbines

เมื่อ A = เป็นระยะจากจุดกึ่งกลางของ Scroll Case มายังจุดศูนย์กลางของ runner หน่วยเป็น นิ้ว

D_3 = discharge diameter เป็น ๑๘.๘๑ ฟุต

แทนค่าลงในสมการจะได้

$$\frac{A}{๑๘.๘๑} = ๐.๔๑$$

$$= ๐.๔๑ \times ๑๘.๘๑$$

$$= ๗.๗๑๒ \text{ นิ้ว} = ๐.๖๔ \text{ ฟุต}$$

เพราะฉะนั้นระดับจุดศูนย์กลางของ Scroll Case อยู่ที่ระดับ

$$= A + Hs + ๓๐.๐๘$$

$$= ๐.๖๔ + ๑๖.๖๓ + ๓๐.๐๘$$

$$= ๔๗.๓๕ \text{ ฟุต} = ๑๔.๔๔ \text{ เมตร above M.S.L}$$

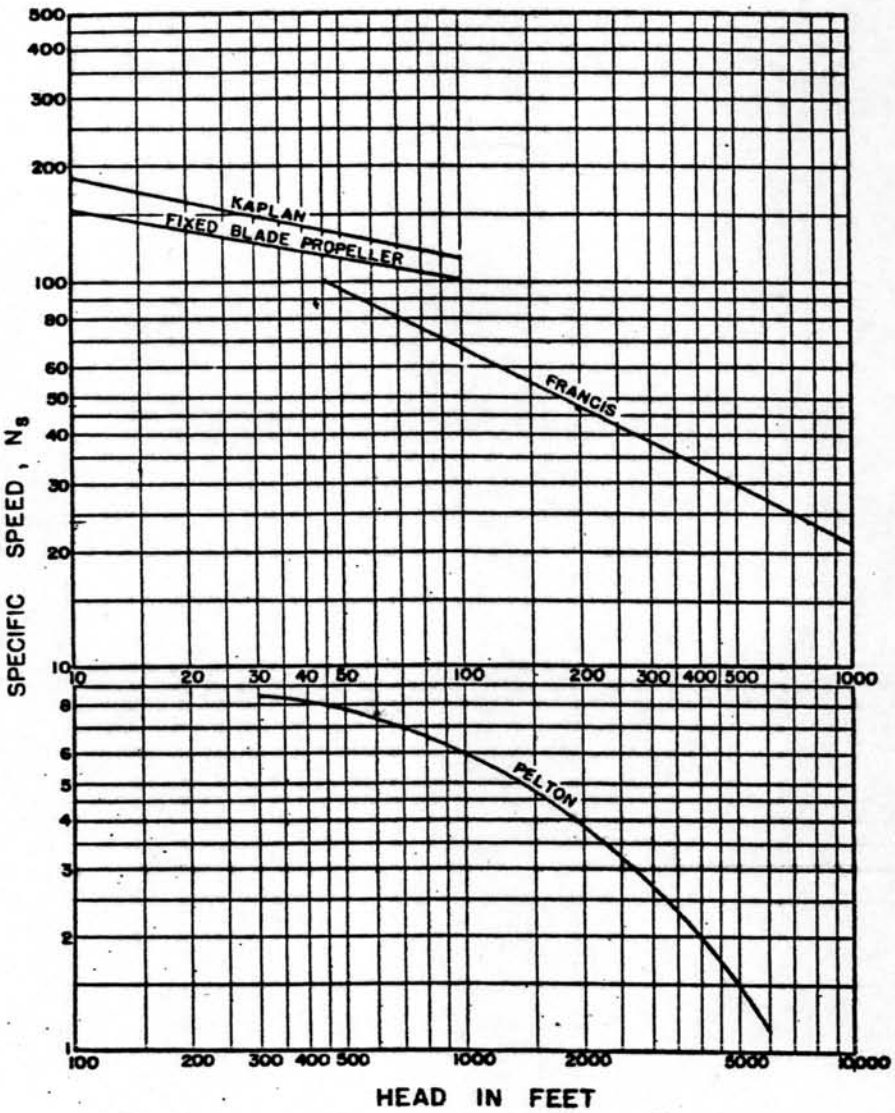
๖.๖ ข้อเสนอแนะในการติดตั้งเครื่องกังหันน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ในการติดตั้งเครื่องกังหันน้ำ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของเขื่อนเจ้าพระยานี้ อาจเลือกการติดตั้งที่แห่งใดก็ได้ขึ้นอยู่กับความสะดวกรวดเร็ว ในด้านการก่อสร้าง และการประหยัด ซึ่งการติดตั้งสามารถกระทำได้ดังต่อไปนี้

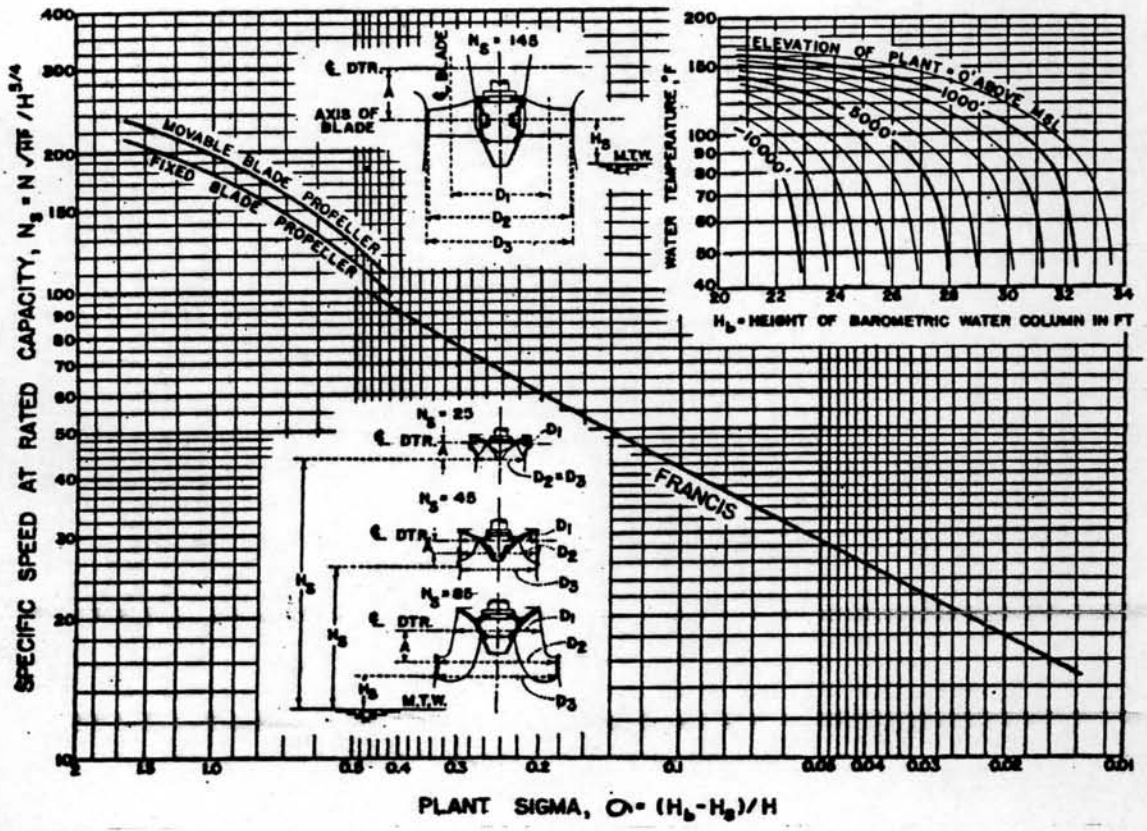
๑. ทำการติดตั้งที่ บริเวณระหว่างตอหม้อของเขื่อนเจ้าพระยา โดยสร้าง Turbine house ด้านท้ายน้ำของตัวเขื่อน โดยปิดกั้นบานระบายจำนวน ๓ ช่อง

๒. ทำการติดตั้ง โดยสร้าง Turbine house บริเวณฝั่งซ้ายของตัวเขื่อน

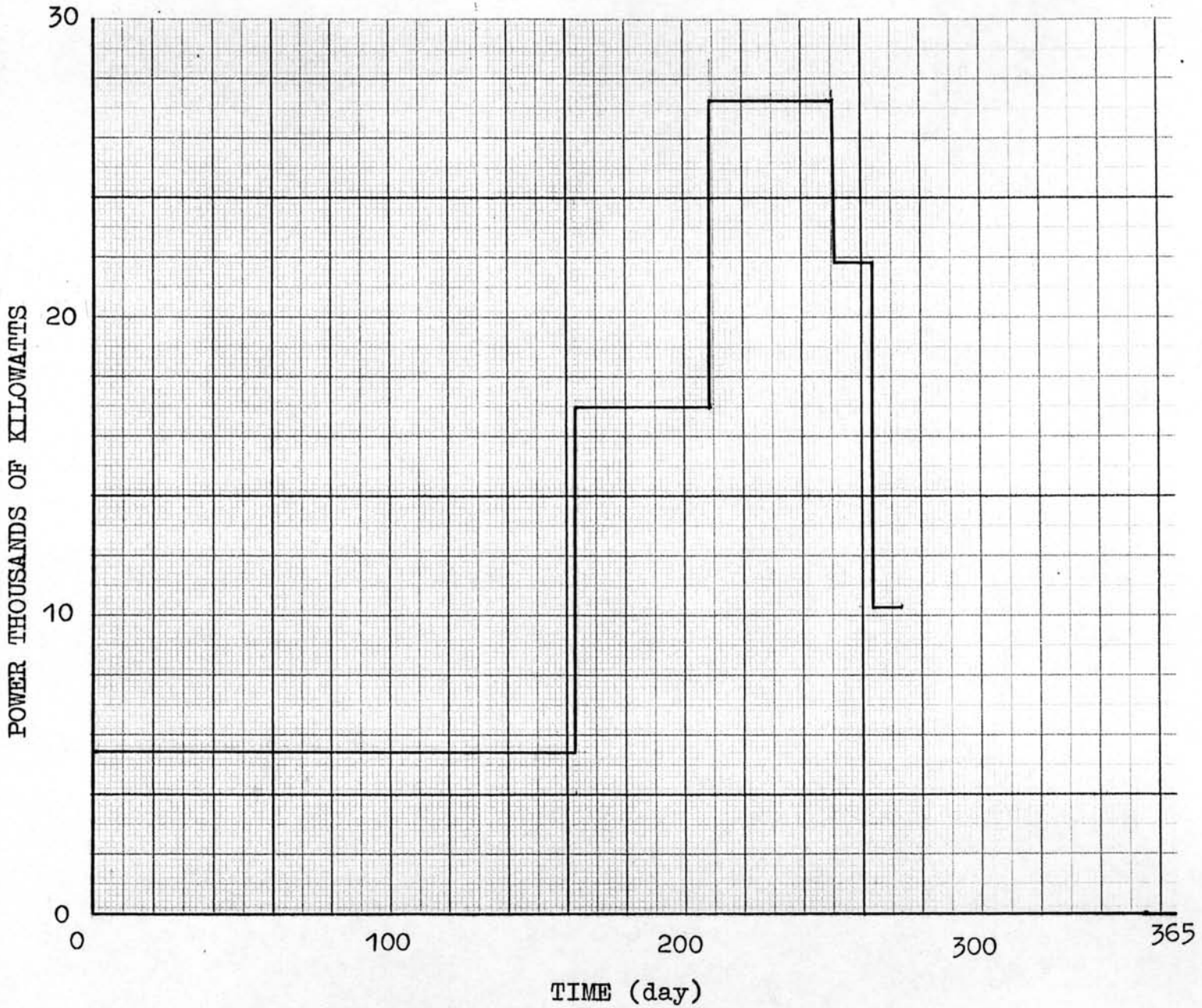
๓. ทำการติดตั้ง โดยสร้าง Turbine house ที่บริเวณเขื่อนที่ปิดกั้นลำน้ำเดิม



รูปที่ ๖-๔ Recommended upper limits of specific speeds for turbines for various rated heads



รูปที่ ๖-๕ Recomended lowest limits of plant sigma for the determination of turbine setting



รูปที่ ๖-๖ แสดง กำลังการผลิตกระแสไฟฟ้า (กิโลวัตต์) กับ ระยะเวลาการผลิต (วัน)