

บทที่ 4

การวิเคราะห์พฤติกรรมของระบบสุบน้ำขนาดเล็ก

ข้อกำหนดในการวิเคราะห์แถวแสงเซลล์อาทิตย์

1. เซลล์แสงอาทิตย์หลาย ๆ เซลล์นำมาต่ออนุกรมและขนานให้เป็นแถวแสงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อให้ได้กำลังงานพอเพียงแก่มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
2. อุณหภูมิของเซลล์ สมมติว่าคงที่ เมื่อค่าการรับรังสีมีค่าต่าง ๆ
3. แถวแสงเซลล์แสงอาทิตย์ ถูกพิจารณาให้มีวงจรสมมูลย์เหมือนกับเซลล์แสงอาทิตย์เซลล์เดี่ยว และทราบค่า $R_s, R_{sh}, I_o, \lambda$ และ K_{ph} ของแถวแสง

ชุดมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวรและเครื่องสูบน้ำหยด

1. ไม่คิดค่าความฝืดและความเฉื่อยของชุดมอเตอร์และเครื่องสูบน้ำ
2. ทราบค่าคงที่ของมอเตอร์และค่าคงที่ของเครื่องสูบน้ำ
3. ทราบค่าทางความฝืดของเครื่องสูบน้ำ (R_b) ซึ่งเป็นฟังก์ชันกับความเร็วเชิงมุม (ω)

วิธีการทางคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์

การหารากของสมการเชิงขั้วโดยใช้วิธีการของนิวตัน [9]

สมมติมีสมการอยู่หนึ่งสมการ ซึ่งมีตัวไม่ทราบค่าคือ v เราสามารถทำให้อยู่ในรูปฟังก์ชัน ได้ว่า

$$f(v) = 0$$

โดยวิธีการของนิวตัน

$$V_n = V_{n-1} - \frac{f(V_{n-1})}{f'(V_{n-1})} \dots\dots\dots (4.1)$$

เมื่อ n คือ จำนวนรอบของการคำนวณ (iteration)

กำหนดให้ ϵ มีค่าน้อย ๆ เช่น $\epsilon = 0.0001$ หรือ $\epsilon = 0.000001$

ถ้าหากว่า $V_n - V_{n-1} < \epsilon \dots\dots\dots (4.2)$

ก็ถือว่า V_n ที่คำนวณได้เข้าใกล้รากของสมการแล้ว และอาจประมาณว่า V_n

นั้น เป็นรากของสมการ

โดยวิธีการนี้ จะต้องคิดเพื่อเรนช็เอท ฟังก์ชัน v คือ $f(v)$ ให้ได้ก่อนแล้ว

จึงนำไปคำนวณหา

$$V_1 = V_0 - \frac{f(V_0)}{f'(V_0)}$$

V_0 คือ ค่าสมมติเริ่มต้น (initial guess) ซึ่งถ้าหากสมมติให้ใกล้กับรากของสมการแล้ว อสมการ $V_n - V_{n-1} < \epsilon$ จะเป็นจริงเร็วขึ้นนั่นคือ จำนวนรอบของการคำนวณมีค่าน้อย

การหารากของสมการที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Simultaneous nonlinear equations)

สองสมการ โดยใช้วิธีการของนิวตัน

สมการสองสมการถูกทำให้้อยู่ในรูป

$$\begin{aligned} M(I, V) &= 0 \\ N(I, V) &= 0 \end{aligned} \dots\dots\dots (4.3)$$

$$I_{n+1} = I_n + \left[\frac{-M \frac{dN}{dV} + N \frac{dM}{dV}}{\frac{dM}{dI} \frac{dN}{dV} - \frac{dN}{dI} \frac{dM}{dV}} \right] = I_n + DI$$

$$V_{n+1} = V_n + \left[\frac{-N \frac{dM}{dI} + M \frac{dN}{dI}}{\frac{dM}{dI} \cdot \frac{dN}{dV} - \frac{dN}{dI} \cdot \frac{dM}{dV}} \right] = V_n + DV$$

จากสมการที่ (4.3) $\frac{dM}{dI} = \frac{dM}{dV} = \frac{dN}{dI} = \frac{dN}{dV} = 0$

การหารากสมการคือ I กับ V นั้น ใช้วิธีสมมติ I กับ V ขึ้นมาก่อน แล้วนำไปแทนในค่า M , N , $\frac{dM}{dI}$, $\frac{dM}{dV}$, $\frac{dN}{dI}$ และ $\frac{dN}{dV}$ ถ้า M , N , DI และ DV มีค่าน้อยเข้าใกล้ศูนย์ เช่น มีค่าน้อยกว่า 0.0000001 ก็ถือว่าค่า I และ V นั้นเป็นรากของสมการ แต่ถ้ายังมีค่าใดค่าหนึ่งหรือทุกค่า (M , N , DI และ DV) ยังมีค่ามากกว่า 0.0000001 อยู่ ก็ให้กลับไปคำนวณ M , N , DI และ DV ใหม่ โดยใช้ค่า I_{n+1} และ V_{n+1} ในการคำนวณรอบต่อไป

$$I_{n+1} = I_n + DI$$

$$V_{n+1} = V_n + DV$$

การหาเส้นคุณลักษณะกระแสและแรงดันของแฉกนึ่งเซลล์แสงอาทิตย์

จากสมการที่ (2.4) เขียนอยู่ในรูปฟังก์ชันของ V_1 ได้ว่า

$$f(V_1) = V_1 + I_{R_s} - \frac{1}{\lambda} \ln \left[\frac{\beta \phi / K_{ph} - \beta I_1 - V_1 / R_{sh}}{I_0} + 1 \right] = 0 \quad \dots \dots \dots (4.4)$$

$$\begin{aligned} \frac{df(V_1)}{dV_1} &= 1 + 0 - \frac{1}{\lambda} \left[\frac{I_0}{\beta \phi / K_{ph} - \beta I_1 - V_1 / R_{sh} + I_0} \right] d \left[\frac{\beta \phi / K_{ph} - \beta I_1 - V_1 / R_{sh} + I_0}{I_0} \right] \\ &= 1 + \frac{1}{\lambda R_{sh}} \left[\frac{1}{\beta \phi / K_{ph} - \beta I_1 - V_1 / R_{sh} + I_0} \right] \quad \dots \dots \dots (4.5) \end{aligned}$$

ค่าสมมติเริ่มต้น (initial guess) ของ V_1 คือ

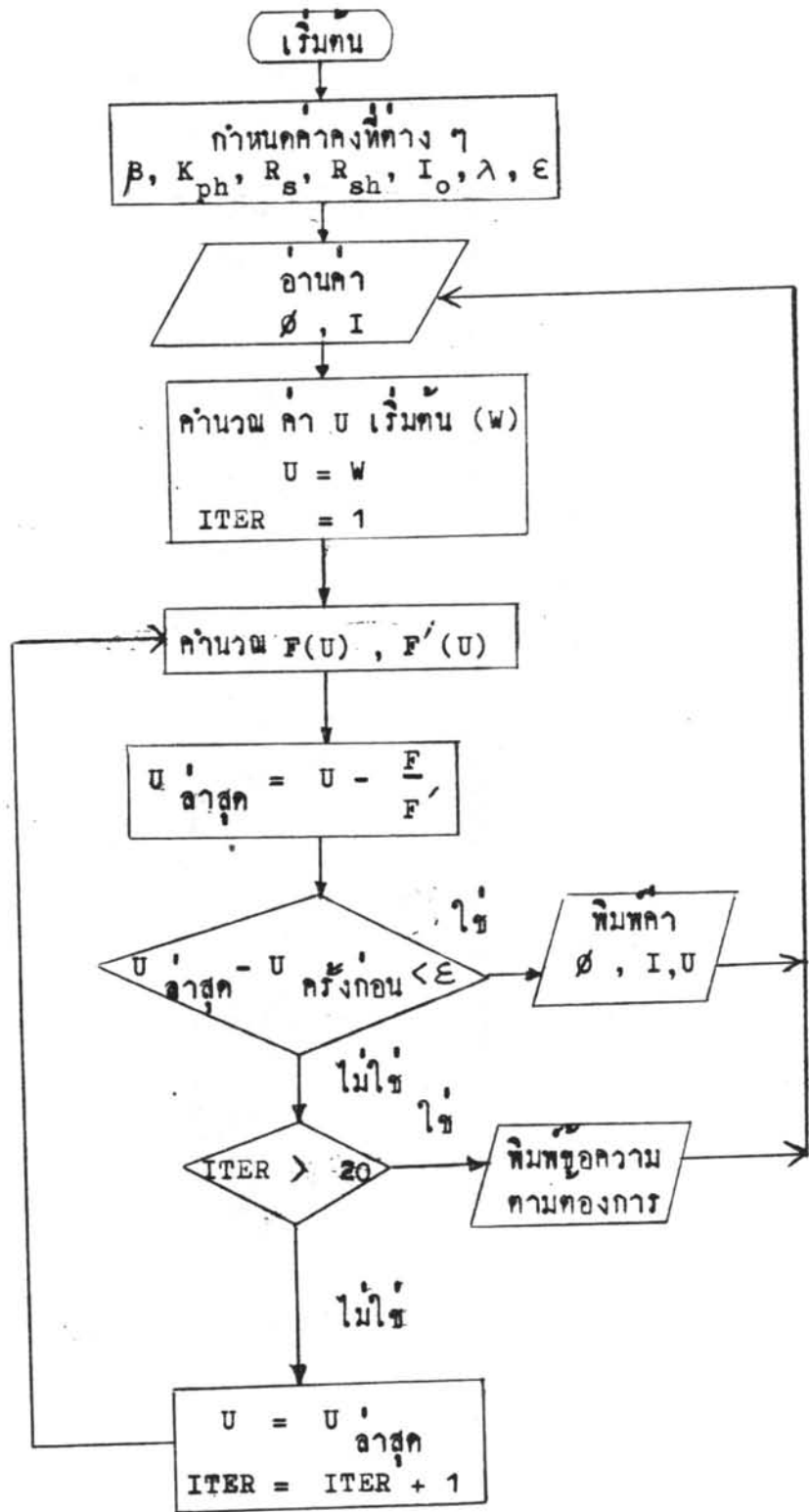
$$V_1^0 = -I_1 R_s + \frac{1}{\lambda} \ln \left[1 + \frac{I_{ph} - \beta I_1}{I_0} \right]$$

$$V_1^o = -I_1 R_s + \frac{1}{\lambda} \ln \left[1 + \frac{\beta \phi / K_{ph} - \beta I_1}{I_o} \right] \dots \dots \dots (4.6)$$

ค่าคงที่ที่ใช้ในตัวอย่างการวิเคราะห์เป็นของแถวแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ประกอบด้วย
เซลล์แสงอาทิตย์เส้นผ่าศูนย์กลาง 5 ซม. ขนาดกำลังงานประมาณ 300 วัตต์ [10] หนึ่ง
ชุดของเซลล์ที่อนุกรมกันมี 36 เซลล์ และทั้งแถวแผงมี 36 ชุดของเซลล์ที่ขนานกัน ดังนั้น จา-
นวนเซลล์ทั้งหมดเป็น $36 \times 36 = 1296$ เซลล์ ค่าคงที่ของแถวแผงมีดังนี้

R_s	=	0.05	โอห์ม
R_{sh}	=	41.0	โอห์ม
I_o	=	0.0162	แอมแปร์
λ	=	0.38	โวลต์ ⁻¹
K_{ph}	=	36.46	วัตต์/(ม ² x แอมแปร์)

แผนผังการคำนวณ (Flow chart) เพื่อหาเส้นคุณลักษณะกระแสและแรงดัน
ของแฉกแผงเซลล์แสงอาทิตย์



การหาจุดกำลังงานสูงสุดบนเส้นคุณลักษณะกระแสและแรงดันที่ค่าการรับรังสีต่าง ๆ

กำลังงานจากแถวแผงเซลล์แสงอาทิตย์สู่ภาระไฟฟ้า มีค่า

$$P = V_1 I_1$$

จุดกำลังงานสูงสุดหาได้จาก

$$\frac{dP}{dI_1} = \frac{dV_1}{dI_1} I_1 + V_1 = 0$$

นั่นคือ
$$V_p = - \left. \frac{dV_1}{dI_1} \right|_p I_p \dots \dots \dots (4.7)$$

ในเมื่อ V_p และ I_p คือแรงดันและกระแส ณ จุดที่มีกำลังงานสูงสุด

จากสมการที่ (2.3)

$$V_1 = -I_1 R_s + \frac{1}{\lambda} \ln \left[\frac{I_{ph} - \beta I - V_1/R_{sh} + 1}{I_o} \right]$$

$$\begin{aligned} \frac{dV_1}{dI_1} &= -R_s + \frac{1}{\lambda} \left[\frac{I_o}{I_o + I_{ph} - \beta I - V_1/R_{sh}} \right] d \left[\frac{I_o + I_{ph} - \beta I - V_1/R_{sh}}{I_o} \right] \\ &= -R_s + \frac{1}{\lambda} \left[\frac{-\beta - \left[\frac{dV_1}{dI_1} \cdot 1/R_{sh} \right]}{I_o + I_{ph} - \beta I - V_1/R_{sh}} \right] \\ &= -R_s - \frac{\beta}{\lambda (I_o + I_{ph} - \beta I - V_1/R_{sh})} - \frac{dV_1}{dI_1} \frac{1}{R_{sh} \lambda (I_o + I_{ph} - \beta I - V_1/R_{sh})} \end{aligned}$$

$$\frac{dV_1}{dI_1} = \frac{-R_s - \frac{\beta}{\lambda (I_o + I_{ph} - \beta I - V_1/R_{sh})}}{1 + \frac{1}{R_{sh} \lambda (I_o + I_{ph} - \beta I - V_1/R_{sh})}} \dots \dots \dots (4.8)$$

$$V_p = - \left. \frac{dV_1}{dI_1} \right|_p I_p$$

$$V_p = \frac{I_p R_s + \frac{\beta I_p}{\lambda(I_o + I_{ph} - \beta I_p - V_p/R_{sh})}}{1 + \frac{1}{\lambda R_{sh}(I_o + I_{ph} - \beta I_p - V_p/R_{sh})}}$$

$$V_p = \frac{\frac{I_p R_s \lambda I_{ph} - R_s \lambda \beta I_p^2 - \lambda I_p R_s V_p/R_{sh} + \lambda I_p I_o R_s + \beta I_p}{\lambda(I_o + I_{ph} - \beta I_p - V_p/R_{sh})}}{\frac{\lambda R_{sh} I_{ph} - \lambda R_{sh} \beta I_p - \lambda R_{sh} V_p/R_{sh} + \lambda R_{sh} I_o + 1}{R_{sh} \lambda(I_o + I_{ph} - \beta I_p - V_p/R_{sh})}}$$

$$= \frac{(\lambda I_{ph} R_s I_p - \lambda \beta R_s I_p^2 - \lambda V_p R_s I_p/R_{sh} + \lambda R_s I_o I_p + \beta I_p) R_{sh}}{1 + \lambda R_{sh} I_{ph} - \lambda R_{sh} \beta I_p - \lambda V_p + \lambda R_{sh} I_o}$$

$$V_p + \lambda R_{sh} V_p I_{ph} - \lambda R_{sh} \beta V_p I_p - \lambda V_p^2 + \lambda R_{sh} I_o V_p = \lambda I_{ph} R_s R_{sh} I_p - \lambda \beta R_s R_{sh} I_p^2 - \lambda V_p R_s I_p + \lambda R_s R_{sh} I_o I_p + \beta R_{sh} I_p$$

หารด้วย λR_{sh} หมด

$$\frac{V_p}{\lambda R_{sh}} + V_p I_{ph} - \beta V_p I_p - \frac{V_p^2}{R_{sh}} + I_o V_p = I_{ph} R_s I_p - \beta R_s I_p^2 - \frac{V_p}{R_{sh}} R_s I_p + R_s I_o I_p + \frac{\beta I_p}{\lambda}$$

$$\beta R_s I_p^2 + (-\beta V_p - I_{ph} R_s + \frac{V_p}{R_{sh}} R_s - R_s I_o - \frac{\beta}{\lambda}) I_p + \frac{V_p}{\lambda R_{sh}} + V_p I_{ph} - \frac{V_p^2}{R_{sh}} + I_o V_p = 0 \dots\dots\dots (4.9)$$

$$\text{และสมการ } V_p = -I_p R_s + \frac{1}{\lambda} \left[\frac{I_{ph} - \beta I_p - V_p/R_{sh}}{I_o} + 1 \right] \dots\dots\dots (4.10)$$

สมการนอนลิเนียร์ คือ สมการที่ (4.9) และสมการที่ (4.10) นำไปแก้สมการ หาค่า I_p และ V_p

$$M(I_p, V_p) = 0$$

$$N(I_p, V_p) = 0$$

$$M(I_p, V_p) = \beta R_s I_p^2 + (-\beta V_p - I_{ph} R_s - R_s I_o - \frac{\beta}{\lambda} + \frac{V_p R_s}{R_{sh}}) I_p + \frac{V_p}{\lambda R_{sh}} + V_p I_{ph} - \frac{V_p^2}{R_{sh}} + I_o V_p = 0$$

$$N(I_p, V_p) = V_p + I_p R_s - \frac{1}{\lambda} \ln \left[1 + \frac{I_{ph} - \beta I_p - V_p / R_{sh}}{I_o} \right]$$

$$\frac{dM}{dI_p} = F = 2\beta R_s I_p + (-\beta V_p - I_{ph} R_s - R_s I_o - \beta / \lambda + \frac{V_p R_s}{R_{sh}}) = 0$$

$$\frac{dM}{dV_p} = G = -\beta I_p + \frac{I_p R_s}{R_{sh}} + \frac{1}{\lambda R_{sh}} + I_{ph} - \frac{2V_p}{R_{sh}} + I_o = 0$$

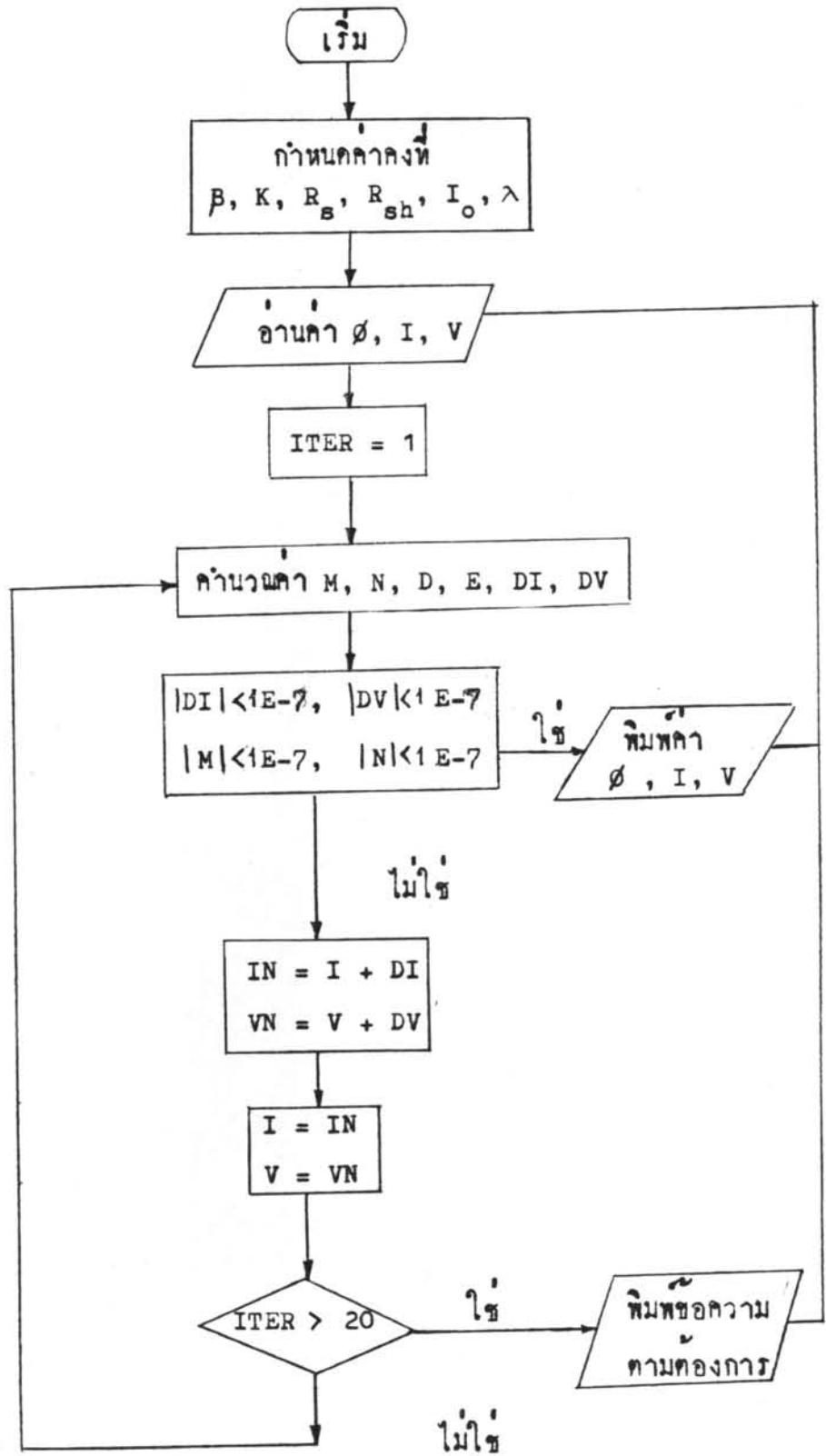
$$\frac{dN}{dI_p} = D = 0 + R_s - \frac{1}{\lambda} \left[\frac{I_o}{I_o + I_{ph} - \beta I_p - V_p / R_{sh}} \right] \left[-\frac{\beta}{I_o} \right]$$

$$D = R_s + \frac{\beta}{\lambda (I_o + I_{ph} - \beta I_p - V_p / R_{sh})} = 0$$

$$\frac{dN}{dV_p} = E = 1 - \frac{1}{\lambda} \frac{I_o}{(I_o + I_{ph} - \beta I_p - V_p / R_{sh})} \left[-\frac{1}{R_{sh} I_o} \right]$$

$$E = 1 + \frac{1}{\lambda R_{sh} (I_o + I_{ph} - \beta I_p - V_p / R_{sh})} = 0$$

แผนผังการคำนวณหาจุดกำลังงานสูงสุด



การหาจุดทำงานบนเส้นคุณลักษณะกระแสและแรงดันของระบบสูบน้ำ

จากสมการที่ (2.4) แสดงคุณลักษณะกระแสและแรงดันของแฉวงแสงอาทิตย์

$$V_1 = -I_1 R_s + \frac{1}{\lambda} \ln \left[\frac{p_0/k_{ph} - p I_1 - V_1/R_{sh}}{I_0} + 1 \right] \dots\dots\dots (4.11)$$

และสมการที่ (3.23) แสดงคุณลักษณะกระแสและแรงดันของชุดมอเตอร์และเครื่องสูบน้ำ

$$U = I_a R_a + \frac{K}{\sqrt[3]{K_p}} \sqrt[3]{U I_a} \dots\dots\dots (4.12)$$

เมื่อนำแฉวงแสงอาทิตย์และชุดมอเตอร์เครื่องสูบน้ำมาต่อกัน ย่อมได้ว่า

$$U = V_1$$

$$I_a = I_1$$

สมการที่ (4.12) เปลี่ยนเป็น

$$V_1 = I_1 R_a + \frac{K}{\sqrt[3]{K_p}} \sqrt[3]{V_1 I_1} \dots\dots\dots (4.13)$$

นำสมการที่ (4.11) และ (4.13) มาแก้สมการโดยวิธีการของนิวตัน ท่านอง
เกี่ยวกับหัวข้อที่แล้ว จะได้ จุดทำงาน (I_1, V_1) ที่ค่าการรับรังสีต่าง ๆ

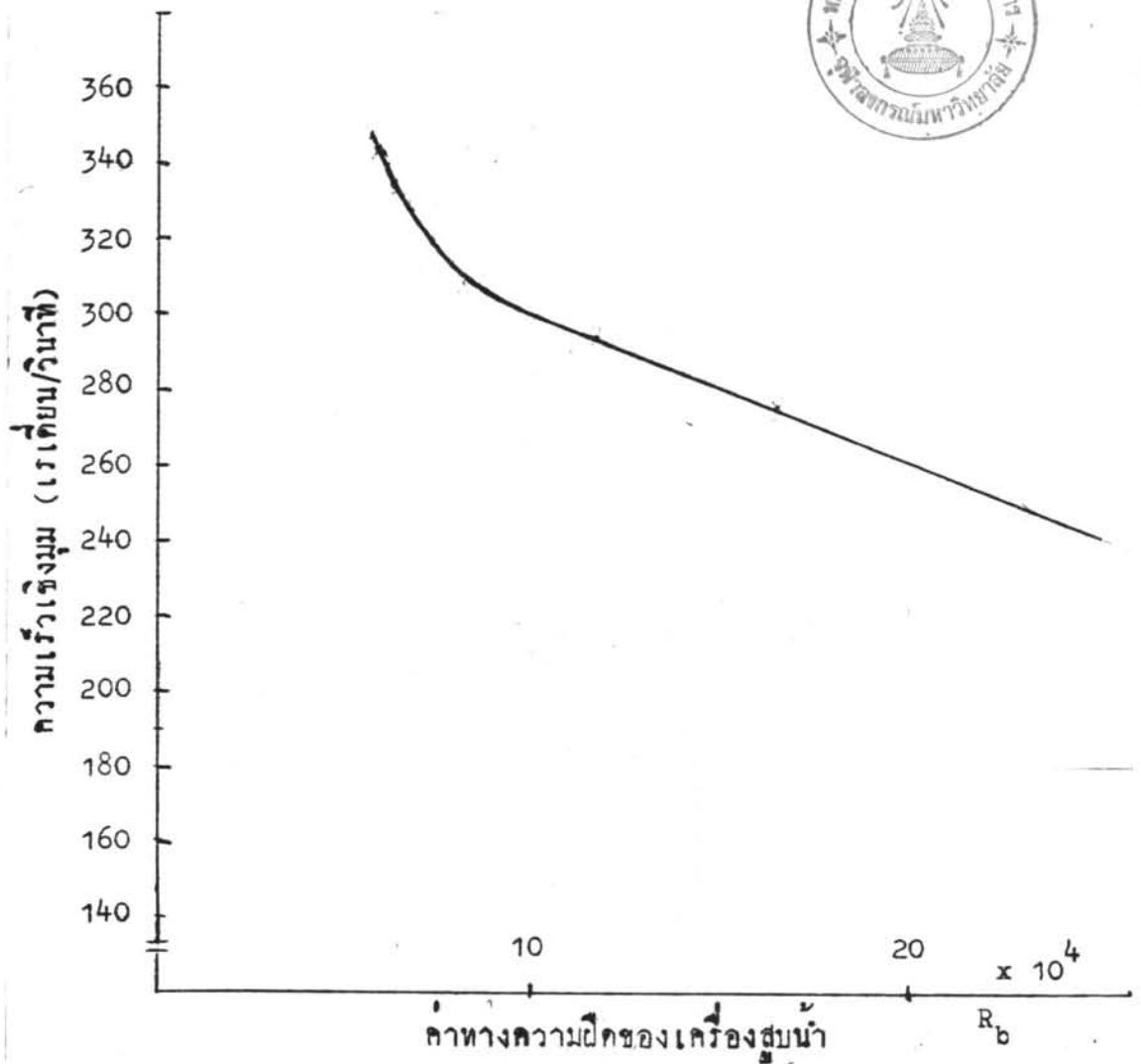
การหาเส้นคุณลักษณะหัวจริงและอัตราการไหลของระบบสูบน้ำ

จากจุดทำงาน (I_1, V_1) ที่ค่าการรับรังสีต่าง ๆ ในหัวข้อที่ผ่านมา นำไปหา
ความเร็วเชิงมุม ω ได้จาก

$$\omega = \sqrt[3]{\frac{P}{K_p}} = \sqrt[3]{\frac{V_1 I_1}{K_p}}$$

ในบทที่ 3 ได้กล่าวถึงการหาค่า $R_b = f(\omega)$ สมมุติว่าได้ความสัมพันธ์ดังนี้
ถ้า $\omega > 308$ เรเดียน/วินาที แล้ว $R_b = (308/\omega)^3 \times 0.816 \times 10^5$
แต่ถ้า $\omega \leq 308$ เรเดียน/วินาที แล้ว $R_b = 0.867 \times 10^6 - 2.55 \times 10^3 \times \omega$

กึ่งแสดงความสัมพันธ์ในภาพที่ 4.1



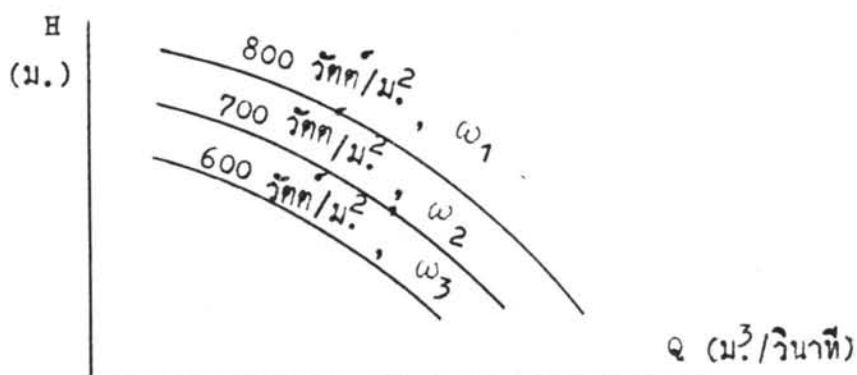
ภาพที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงมุม (ω) กับค่าทางความปีคของเครื่องสูบน้ำ

ค่า ω ที่ทราบแล้ว นำไปแทนในสมการของ R_b จะได้ค่า R_b จากนั้นนำค่าคงที่ต่าง ๆ ไปแทนลงในสมการที่ (3.38)

$$H = \frac{\epsilon_p}{g} \left[(\omega r_2)^2 - \frac{Q\omega}{2\pi b_2 \tan \beta_2} \right] (1 - Q^2 R_b)$$

เมื่อกำหนดค่า Q ลงไปก็หาค่า H ได้ จึงสามารถเขียนเส้นคุณลักษณะหัวจริง และอัตราการไหลที่ ω คงที่ และค่าการรับรังสีคงที่ไว้

ในตัวอย่างการวิเคราะห์ที่แสดงให้เห็นว่าเส้นคุณลักษณะหัวจริงและอัตราการไหล มีได้หลายเส้น ที่ค่าการรับรังสีค่าหนึ่งก็ได้เส้นคุณลักษณะดังกล่าวเส้นหนึ่ง ดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 แสดงเส้นคุณลักษณะหัวจริงและอัตราการไหลที่ค่าการรับรังสีต่าง ๆ

การหาจุดกำลังงานของน้ำสูงสุดบนเส้นคุณลักษณะหัวจริงและอัตราการไหล

จุดกำลังงานของน้ำสูงสุด คือ จุดซึ่งผลคูณของ H และ Q มีค่าสูงสุด เพราะ

$$P_w = rQH$$

r คือ น้ำหนักจำเพาะของน้ำ ให้มีค่าคงที่ในการวิเคราะห์

กำหนดให้ $P_{qh} = QH$

$$\therefore P_w = rP_{qh}$$

จุดกำลังงานน้ำสูงสุดหาได้จาก

$$\frac{dP_{qh}}{dQ} = 0$$

$$\frac{d}{dQ} (QH) = 0$$

$$\frac{dH}{dQ} Q + H = 0$$

$$H = -Q \frac{dH}{dQ} \dots\dots\dots (4.14)$$

จากสมการที่ (3.38)

$$H = \frac{E_p}{g} \left[(\omega r_2)^2 - \frac{Q \omega}{2\pi b_2 \tan \beta_2} \right] (1 - Q^2 R_b)$$

ให้ $2\pi b_2 \tan \beta_2 = K_h$

$$H = \frac{E_p}{g} \left[(\omega r_2)^2 - \frac{Q}{K_h} \right] (1 - Q^2 R_b) \dots\dots\dots (4.15)$$

ให้ $a = E_p/g$, $b = (\omega r_2)^2$, $c = \omega/K_h$, $d = R_b$

แทนในสมการที่ (4.15) $H = acdQ^3 - abdQ^2 - acQ - ab \dots\dots\dots (4.16)$

จากสมการที่ (4.16)

$$\frac{dH}{dQ} = 3acdQ^2 - 2abdQ - ac$$

แทนค่า $\frac{dH}{dQ}$ ในสมการที่ (4.14)

$$H = -Q(3acdQ^2 - 2abdQ - ac)$$

$$H = -3acdQ^3 + 2abdQ^2 + acQ \dots\dots\dots (4.17)$$

สมการที่ (4.16) เท่ากับสมการที่ (4.17)

$$acdQ^3 - abdQ^2 - acQ + ab = -3acdQ^3 + 2abdQ^2 + acQ$$

$$4cdQ^3 - 3bdQ^2 - 2cQ + b = 0 \dots\dots\dots (4.18)$$

แทนค่า b , c , d ลงในสมการที่ (4.18)

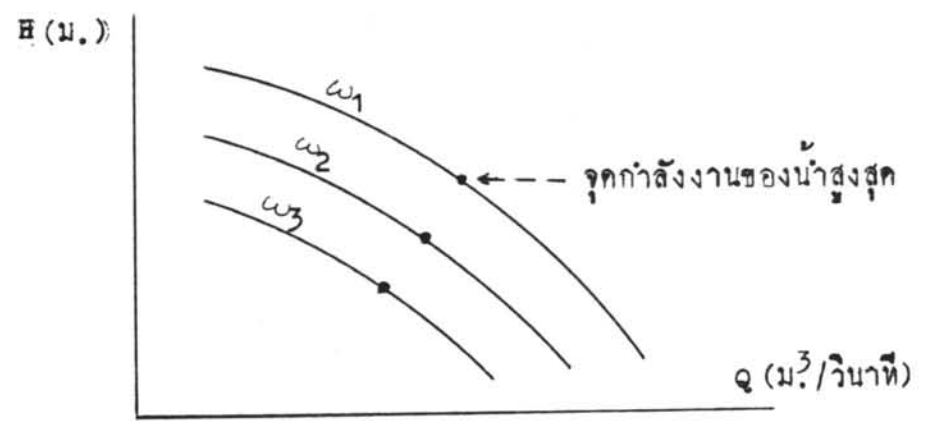
$$4 \frac{\omega}{K_h} R_b Q^3 - 3(\omega r_2)^2 R_b Q^2 - 2 \frac{\omega \cdot Q}{K_h} + (\omega r_2)^2 = 0$$

$$4 \frac{R_b}{K_h} Q^3 - 3\omega r_2^2 R_b Q^2 - \frac{2}{K_h} Q + \omega r_2^2 = 0 \dots\dots\dots (4.19)$$

รากจริงของโพลีโนเมียลในสมการที่ (4.19) ย่อมเป็นค่า Q ที่จุดกำลังงานน้ำสูงสุด ค่า H หาได้โดยการแทนค่า Q ที่ได้จากการแก้สมการโพลีโนเมียลลงในสมการที่ (4.16) หรือ (4.17) ก็ได้

ผลคูณของ Q กับ H คือ P_{qh} ที่มีค่าสูงสุด ทำให้ได้ P_w สูงสุดตามต้องการ ดังนั้น จากภาพที่ 4.3 จึงกำหนดจุดกำลังงานของน้ำสูงสุดลงไปได้ ดังภาพ

ที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 แสดงจุดกำลังงานของน้ำสูงสุดบนเส้นคุณลักษณะหัวจริง และ อัตราการไหล

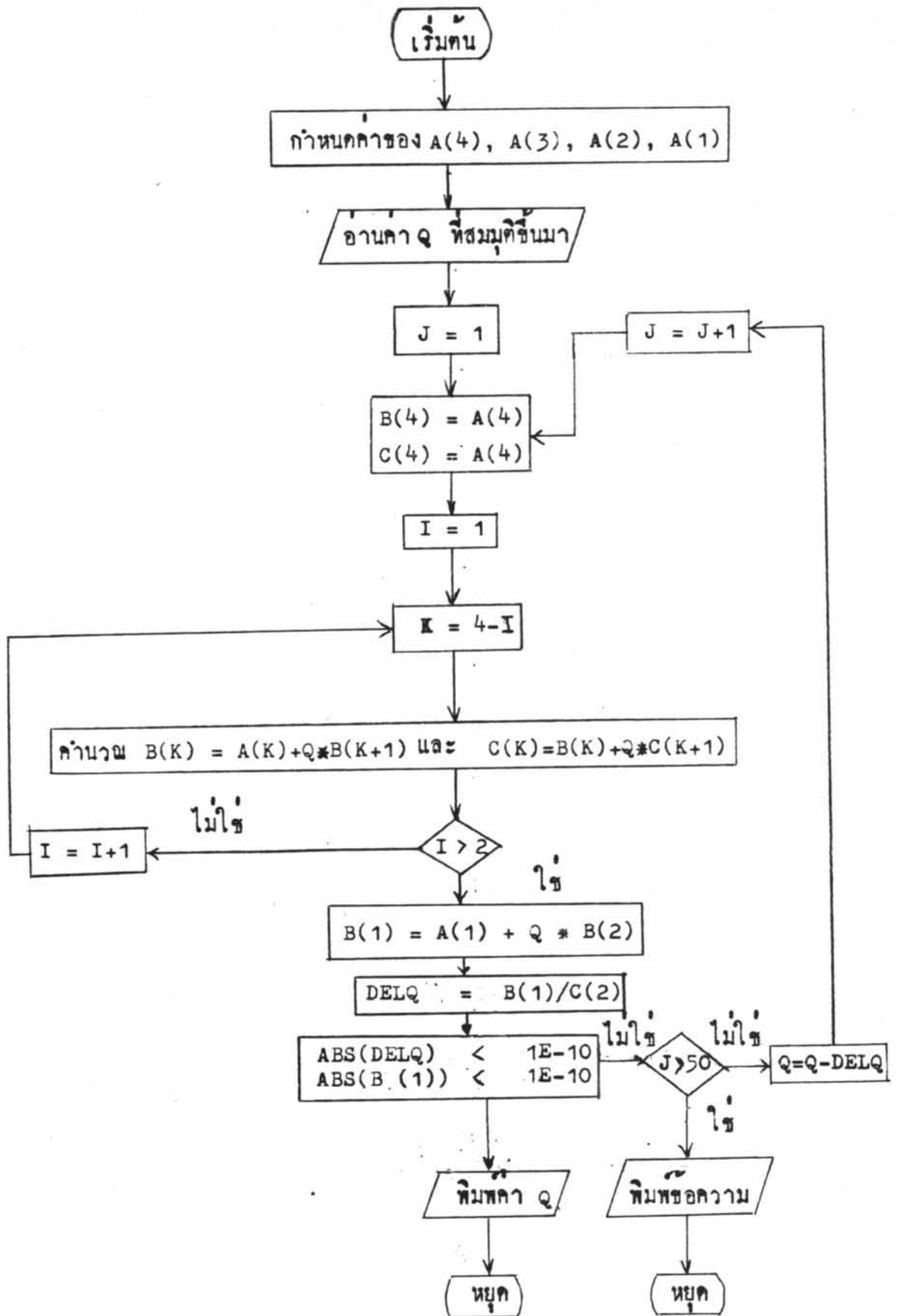
การหารากจริงของสมการโพลีโนเมียลโดยใช้วิธีการของนิวตัน [9]

สมการโพลีโนเมียลกำลัง n เขียนได้ในรูปแบบ

$$p(x) = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_0, \quad a_n \neq 0$$

สามารถหารากของโพลีโนเมียลกำลัง n โดยใช้คอมพิวเตอร์ ตามแผนผังการคำนวณ (flow chart) ข้างล่าง เช่น โพลีโนเมียลกำลังสาม

$$A(4)Q^3 + A(3)Q^2 + A(2)Q + A(1) = 0$$



การหาจุดทำงานของระบบสูบน้ำ

จุดทำงานของระบบสูบน้ำ คือ จุดที่เส้นคุณลักษณะหัวจริงและอัตราการไหลของหัวเครื่องสูบน้ำ (Q-H characteristics of the pump) ตัดกับเส้นคุณลักษณะหัวสูญเสีย และอัตราการไหลของระบบ (Q-H characteristics of the system) [11]

เส้นคุณลักษณะหัวสูญเสียและอัตราการไหลของระบบหาได้จากความสัมพันธ์ของหัวสูญเสียกับอัตราการไหล

$$H_{\text{loss}} = H_s + H_d + H_{fr} + H_v \quad \dots\dots\dots (4.20)$$

H_{loss} คือ หัวสูญเสีย (head loss)

$H_s + H_d$ คือ หัวสถิต (static head)

H_{fr} คือ หัวความฝืด (friction head)

H_v คือ หัวเนื่องจากความเร็วของน้ำที่สูบ (velocity head) พิจารณา

ให้มีค่าน้อย เมื่อเทียบกับ $H_s + H_d + H_{fr}$

$$\text{ดังนั้น } H_{\text{loss}} = H_s + H_d + H_{fr} \quad \dots\dots\dots (4.21)$$

$$\text{หัวความฝืดมีค่าเป็น } H_{fr} = \frac{fLv^2}{2gD} \quad \dots\dots\dots (4.22)$$

f คือ ตัวคูณเนื่องจากความฝืด (friction factor) ให้มีค่าคงที่เมื่อกำหนดตัวประกอบความฝืดของผิวในท่อ และเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ

L คือ ความยาวของท่อสูบน้ำ และท่อส่งน้ำรวมกัน (เมตร)

v คือ ความเร็วของน้ำที่สูบเข้าและส่งออก (ในกรณีท่อสูบน้ำและส่งน้ำมีเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากัน) (เมตร/วินาที)

D คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อสูบน้ำ และส่งน้ำ (เมตร)

g คือ อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (เมตร/วินาที²)

เนื่องจากท่อเส้นผ่าศูนย์กลาง D ย่อมมีอัตราการไหลและความเร็วสัมพันธ์กัน

$$\text{ดังนั้น } Q = \frac{\pi D^2 v}{4}$$

$$v = \frac{4Q}{\pi D^2} \quad \dots\dots\dots (4.23)$$

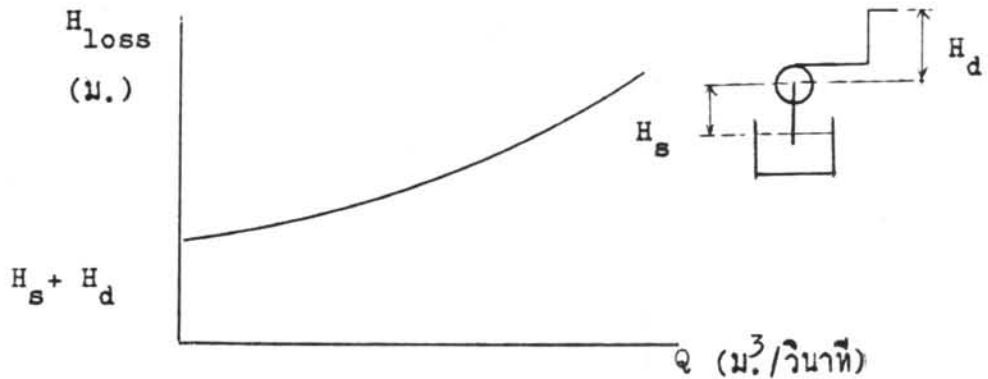
แทนค่า v จากสมการที่ (4.23) ลงในสมการที่ (4.22)

$$H_{fr} = \frac{8fL Q^2}{g\pi^2 D^5} \dots\dots\dots (4.24)$$

แทนค่า H_{fr} จากสมการที่ (4.24) ลงในสมการที่ (4.21)

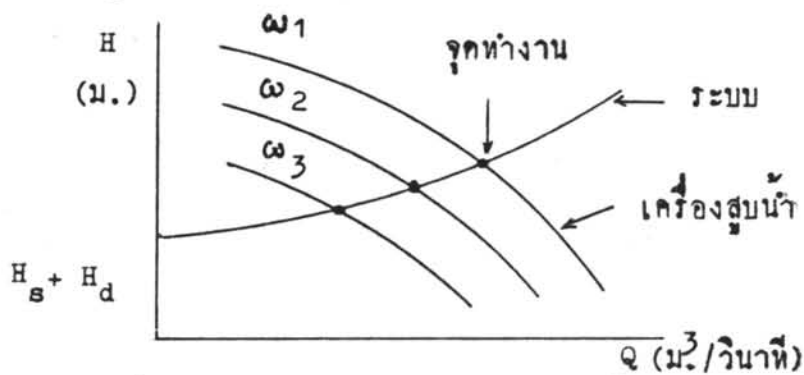
$$H_{loss} = H_s + H_d + \frac{8fL Q^2}{g\pi^2 D^5}$$

เมื่อเขียนเส้นความสัมพันธ์ระหว่าง H_{loss} กับ Q จะได้ดังภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหัวสูญเสียกับอัตราการไหลของน้ำ

เส้นคุณลักษณะหัวสูญเสียและอัตราการไหลนี้ตัดกับเส้นคุณลักษณะหัวจริงและอัตราการไหล ดังรูปที่ 4.5 จุดตัดนั้นคือจุดทำงาน (Duty point) ที่ได้ Q และ H มีเสถียรภาพ และเครื่องสูบน้ำทำงานได้อย่างดีในระบบ



ภาพที่ 4.5 แสดงจุดทำงานของระบบสูบน้ำ

ในการวิเคราะห์หาจุดทำงาน ต้องใช้วิธีการหารากของสมการสองสมการ คือ

$$1. \quad H = \frac{\epsilon_p}{g} \left[(\omega r_2)^2 - \frac{Q\omega}{K_h} \right] (1 - Q^2 R_b) \quad \dots\dots\dots (4.25)$$

ซึ่งเป็นสมการของเส้นคุณลักษณะหัวจริงและอัตราการไหลของเครื่องสูบน้ำ

$$2. \quad H = H_s + H_d + \frac{8fL}{g\pi^2 D^5} Q^2 \quad \dots\dots\dots (4.26)$$

ซึ่งเป็นสมการของเส้นคุณลักษณะหัวสูญเสียและอัตราการไหลของระบบ ที่จุดตัดของทั้งสองเส้น ใ้ค่า สมการที่ (4.25) เท่ากับสมการที่ (4.26)

$$\frac{\epsilon_p}{g} \left[(\omega r_2)^2 - \frac{Q\omega}{K_h} \right] (1 - Q^2 R_b) = H_s + H_d + \frac{8fL}{g\pi^2 D^5} Q^2$$

$$\left[\frac{\epsilon_p R_b}{g K_h} \right] Q^3 + \left[-\frac{8fL}{g\pi^2 D^5} - \frac{\epsilon_p (\omega r_2)^2}{g} \times R_b \right] Q^2 - \left(\frac{\omega \epsilon_p}{K_h g} \right) Q + \frac{\epsilon_p (\omega r_2)^2}{g} - H_s - H_d = 0 \quad \dots\dots\dots (4.27)$$

ใช้วิธีการหารากจริงของสมการโพลีโนเมียล (4.27) ก็ได้ค่า Q ที่จุดทำงาน ส่วนค่า H ที่จุดทำงานได้โดยการแทน Q ที่จุดทำงานลงในสมการที่ (4.25) หรือ (4.26) ก็ได้

การหาค่าตัวคูณเนื่องจากความฝืด (Friction factor)

จากขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อและชนิดของผิวในท่อที่กำหนดให้นำไปหาค่าความฝืดสัมพัทธ์เนื่องจากผิวท่อ (relative roughness) ซึ่งมีค่าเป็นอัตราส่วนระหว่างตัวประกอบความฝืดของผิวในท่อ (k) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ (D) [11]

$$\begin{aligned} \text{ความฝืดสัมพัทธ์เนื่องจากผิวท่อ} &= \frac{k}{D} \\ &= \frac{\text{roughness factor}}{\text{diameter of pipe}} \end{aligned}$$

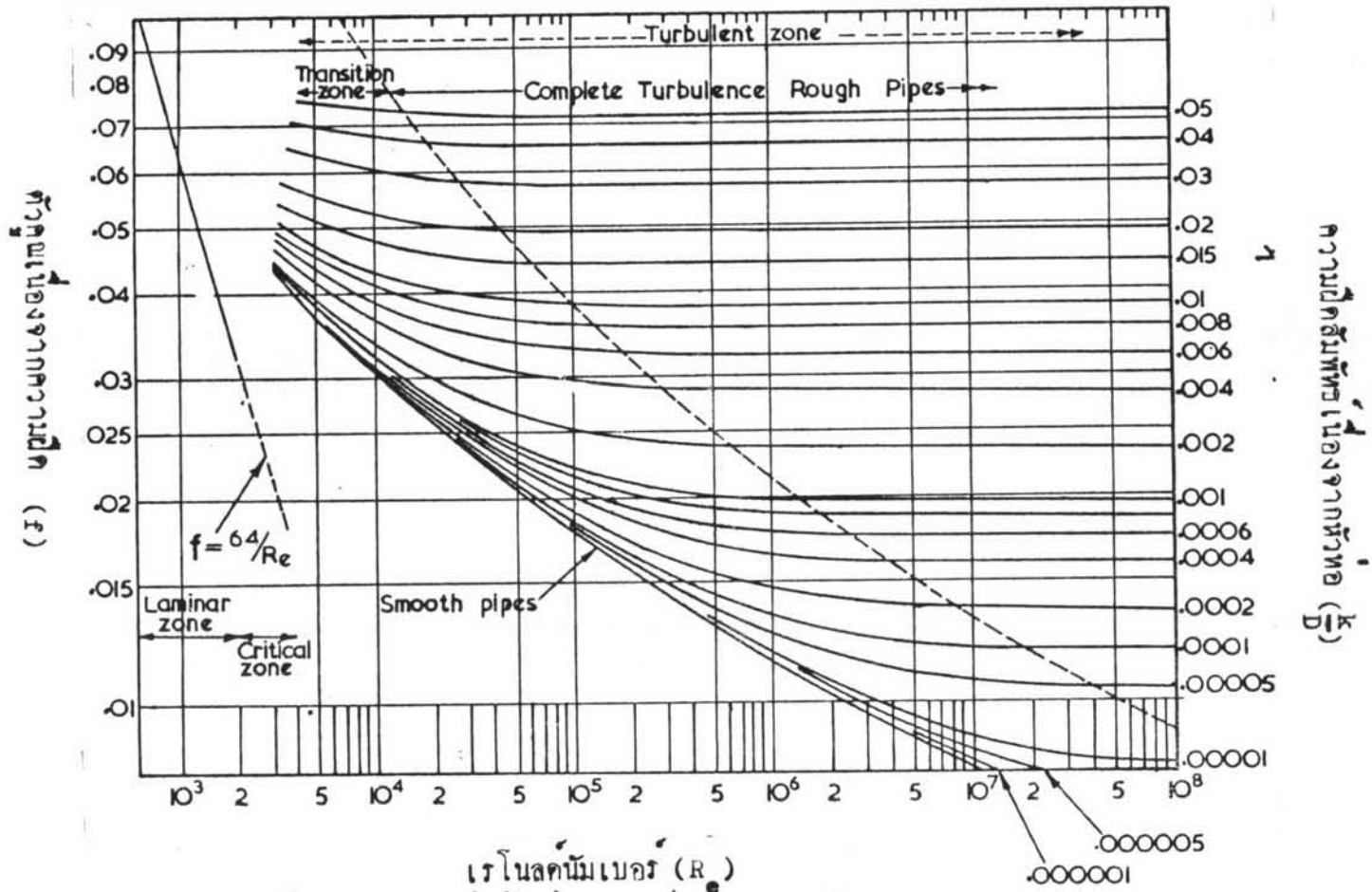
ค่า k หาได้จากตารางที่ 4.1 เมื่อทราบชนิดของผิวในท่อ

ตารางที่ 4.1 ตัวประกอบความผิดของนิวในท่อ [11]

ชนิดของนิวในท่อ	ตัวประกอบความผิดของนิวในท่อ (k) (ม.)
ท่อพลาสติก	0.000003
ท่อเหล็กนิวเรียบ	0.00003
ท่อเหล็กหล่อเคลือบนิว	0.00016
ท่อเหล็กหล่อไม่เคลือบนิว	0.00033
ท่อเกานิวหยาบมาก	0.0066 - 0.016

เมื่อทราบค่า $\frac{k}{D}$ แล้ว จึงนำไปอ่านค่าตัวคูณเนื่องจากความผิด (f) ที่อยู่ใน
 ช่วงค่อนข้างคงที่ จากภาพที่ 4.6 เช่น ถ้า $\frac{k}{D} = 0.004$ ค่า f ที่ค่อนข้างคงที่ คือ
 0.028 หรือ ถ้า $\frac{k}{D} = 0.008$ ค่า f ที่ค่อนข้างคงที่ คือ 0.037 เป็นต้น ตัวอย่าง
 การวิเคราะห์ที่ได้ใช้ท่อที่มีค่าตัวประกอบความผิดของนิวในท่อ $k = 0.00016$





เรโนลด์นัมเบอร์ (Re)
 ภาพที่ 4.6 กราฟที่ใช้หาค่าตัวคูณเนื่องจากความเป็ท

ตัวอย่างการวิเคราะห์พฤติกรรมของระบบสูบน้ำขนาดเล็กโดยใช้กำลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์

ตัวอย่างการวิเคราะห์ที่ใช้แฉวงเซลล์แสงอาทิตย์แฉวงหนึ่ง มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวรให้เลือกใช้ 2 ตัว และเครื่องสูบน้ำแบบหยอไซ่ง 1 ตัว

สัญลักษณ์ที่ใช้วิเคราะห์	สัญลักษณ์ใช้คำนวณ	ความหมาย	ค่าคงที่	หน่วย
<u>ค่าคงที่ของแฉวงเซลล์แสงอาทิตย์</u>				
R_s	X	ความต้านทานอนุกรมของแฉวง	0.05	โอห์ม
R_{sh}	Y	ความต้านทานขนานของแฉวง	41.00	โอห์ม
I_o	C	กระแสไหลกลับอิ่มตัวของไดโอด	0.0162	แอมแปร์
K_{ph}	P	ค่าคงที่ขณะแฉวงถูกลัดวงจร	36.46	วัตต์/(m^2 แอมแปร์)
λ	T	ส่วนกลับของแรงดันเนื่องจากความร้อน	0.38	โวลต์
V_t	-	แรงดันเนื่องจากความร้อน	2.63	โวลต์
<u>ค่าคงที่ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร</u>				
R_a	R	ความต้านทานของอาร์มาเจอร์	0.2, 0.4	โอห์ม
K_r	KR	ค่าคงที่เนื่องจากการพันขดลวดอาร์มาเจอร์และเนื่องจากสนามแม่เหล็ก	0.003 หรือ 0.004	โวลต์/รอบ-ต่อนาที
<u>ค่าคงที่ของเครื่องสูบน้ำแบบหยอไซ่ง</u>				
r_1	R1	รัศมีของน้ำที่จุดน้ำเข้าใบพัด	0.008	เมตร
r_2	R2	รัศมีของน้ำที่จุดออกจากใบพัด	0.030	เมตร

สัญลักษณ์ ไฮดรอลิก	สัญลักษณ์ ไร้นาม	ความหมาย	ค่าคงที่	หน่วย
b_1	B1	ความสูงของใบพัดที่จุดน้ำเข้าใบพัด	0.01257	เมตร
b_2	B2	ความสูงของใบพัดที่จุดน้ำออกจาก ใบพัด	0.01257	เมตร
β_1	BT1	มุมของใบพัดที่จุดน้ำเข้าใบพัด	0.873	เรเดียน
β_2	BT2	มุมของใบพัดที่จุดน้ำออกจากใบพัด	0.698	เรเดียน
z	Z	จำนวนใบพัด	5	ใบ
<u>ค่าคงที่อื่น ๆ</u>				
g	GR	อัตราเร่งเนื่องจากความโน้มถ่วง ของโลก	9.807	เมตร/วินาที ²
r	SW	น้ำหนักจำเพาะของน้ำที่ 29°C.	9768.66	นิวตัน/ม ³
V_1	U	แรงดันคร่อมมอเตอร์		โวลต์
I_1	I	กระแสที่เข้ามอเตอร์		แอมแปร์
K	KF	ค่าคงที่ของมอเตอร์		โวลต์/(เร- เดียน/วินาที)
K_p	KP	ค่าคงที่รวมของเครื่องสูบน้ำ		จูล วินาที
ω	SP	ความเร็วของมอเตอร์		เรเดียน/วินาที
H	H1	หัวจริง		เมตร
Q	Q1	อัตราการไหลของน้ำ		ม ³ /วินาที
P_h	PP	Pfleiderer correction		-
ϵ_p	EP	ตัวคูณแก้ไขหัวของน้ำ		-
$H_s + H_d$	HS	หัวทางสะแตกิก		เมตร
l	LE	ความยาวของท่อ		เมตร
D	DIA	เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ		เมตร
f	FR	ตัวคูณเนื่องจากความฝืด		-

สัญลักษณ์ที่ใช้วิเคราะห์	สัญลักษณ์ที่ใช้คำนวณ	ความหมาย	ค่าคงที่	หน่วย
P	PM	กำลังงานเข้ามอเตอร์		วัตต์
P_{max}	PMAX	กำลังงานสูงสุดของแถวแสงที่ค่าการรับรังสีหนึ่ง ๆ		วัตต์
P_w	PW	กำลังงานของน้ำ		วัตต์
$P_{w,max}$	PWMAX	กำลังงานของน้ำสูงสุดที่ค่าการรับรังสีหนึ่ง ๆ		วัตต์
	EW	$100 \times PW/PWMAX$		%
	EFF	$100 \times PW/PM$		%
	EFFM	$100 \times PM/PMAX$		%
	EFFW	$100 \times PW/PMAX$		%

การคำนวณโดยใช้คอมพิวเตอร์

ภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้ คือ ภาษาเบสิก (Basic language) โปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์ มีอยู่ 4 โปรแกรม คือ

1. โปรแกรมหาเส้นคุณลักษณะกระแสและแรงดันของแถวแสงเซลล์แสงอาทิตย์
2. โปรแกรมหาจุดกำลังงานสูงสุดของแถวแสงเซลล์แสงอาทิตย์
- * 3. โปรแกรมหาจุดทำงานของเครื่องสูบน้ำที่ให้กำลังงานของน้ำสูงสุด
- * 4. โปรแกรมหาจุดทำงานของทั้งระบบ เมื่อกำหนดความยาวท่อ (LE) ชนิดของท่อ (FR) เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ (DIA) และหัวทางสะแตกิก (HS) แล้ว

เส้นคุณลักษณะกระแสและแรงดันของแถวแสงเซลล์แสงอาทิตย์

ใช้โปรแกรมที่ 1 หน้า 55 เพื่อหาจุดต่าง ๆ บนเส้นคุณลักษณะกระแสและแรงดัน

ของแฉวงแสงเซตแสงอาทิตย์ แล้วนำไปเขียนลงบนกราฟ ดังแสดงในภาพที่ 4.7 หน้า 58

จุดกำลังงานสูงสุดของแฉวงแสงเซตแสงอาทิตย์

ใช้โปรแกรมที่ 2 หน้า 57 เพื่อหาจุดกำลังงานสูงสุดของแฉวงแสงเซตแสงอาทิตย์ที่ค่ารับรังสีต่าง ๆ เมื่อคำนวณหาได้แล้วจึงนำไปเขียนลงบนกราฟดังแสดงในภาพที่ 4.7

จุดทำงานของเครื่องสูบน้ำที่ให้กำลังงานของน้ำสูงสุด

ใช้โปรแกรมที่ 3 หน้า 59 เพื่อหาค่าต่าง ๆ ของระบบสูบน้ำดังแสดงผลการคำนวณในตารางที่ 4.2 หน้า 62 และ 63 โดยการกำหนดค่าคงที่ของมอเตอร์ให้เปลี่ยนแปลงไป 4 แบบ คือ

ก.	$R = 0.2 \ \Omega$,	$KR = 0.004$	โวลต์/รอบต่อนาที
ข.	$R = 0.4 \ \Omega$,	$KR = 0.004$	"
ค.	$R = 0.2 \ \Omega$,	$KR = 0.003$	"
ง.	$R = 0.4 \ \Omega$,	$KR = 0.003$	"

จุดทำงานของระบบสูบน้ำเมื่อกำหนดความยาวท่อ (LE) ที่วัดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาด (FR) เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ (DIA) และหัวทางสะแตกิก (HS) ใน

ใช้โปรแกรมที่ 4 หน้า 60 เพื่อหาค่าต่าง ๆ ของระบบดังแสดงผลการคำนวณในตารางที่ 4.4 ถึง 4.51 โดยกำหนดค่าคงที่ของมอเตอร์สองตัวให้ต่างกัน คือ มอเตอร์ตัวที่หนึ่งนั้น $R = 0.4$ โอห์ม และ $KR = 0.004$ โวลต์/รอบต่อนาที ส่วนมอเตอร์ตัวที่สองนั้น $R = 0.2$ โอห์ม และ $KR = 0.003$ โวลต์/รอบต่อนาที อีกทั้งมีการเปลี่ยนแปลงท่อเป็นหลายแบบ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.3 หน้า 64

จากผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 4.4 ถึง 4.56 ค่า Q ที่คำนวณได้เป็นค่า Q ที่ยังผลให้ตัวคูณ เนื่องจากความผิดพลาด (ϵ) มีค่าใกล้เคียงกับค่า ϵ ที่กำหนดไว้ในตอนแรก เพราะเมื่อแทนค่า Q ในสมการหาเรโนลด์ส์นัมเบอร์

$$Re = \frac{4Q}{\pi Dz}$$

R_e คือ Reynold number

Q คือ อัตราการไหลของน้ำ

D คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ

z คือ Kinematic viscosity ของน้ำ ที่ 29° ซ. มีค่า 0.823×10^{-6} ม²/วินาที

นำค่า R_e ที่คำนวณได้ไปเปิดดูค่า f จากภาพที่ 4.6 ปรากฏว่าค่า f อยู่ใกล้
เคียงกับค่า f ที่กำหนดให้คงที่ในตอนแรก

หลักเกณฑ์ในการพิจารณาจักรระบบสูบน้ำให้มีประสิทธิภาพสูง

จากผลการวิเคราะห์พฤติกรรมของระบบสูบน้ำจากตารางที่ 4.4 ถึง 4.51 นั้น
ประสิทธิภาพที่ได้จากระบบย่อมเป็นตัวกำหนดในการพิจารณาเลือกใช้มอเตอร์ ขนาดเส้นผ่า
ศูนย์กลางท่อ ความยาวท่อ และหัวทางสะแตกิกโดยมีหลักเกณฑ์ คือ ในช่วงค่าการรับรังสี
800 หรือ 700 วัตต์/ม² จนถึง 300 หรือ 200 วัตต์/ม² ระบบสูบน้ำควรมี

1. ค่ากำลังงานของน้ำ (PW) ใกล้เคียงกับค่ากำลังงานของน้ำสูงสุด
(P_{WMAX}) หรืออีกนัยหนึ่ง EW มีค่าใกล้ 100 %
2. ค่ากำลังงานของน้ำหารด้วยค่ากำลังงานเข้ามอเตอร์ (PW/PM = EFF)
มีค่าใกล้เคียงกับกรณีที่ค่ากำลังงานของน้ำสูงสุดหารด้วยกำลังงานของน้ำเข้ามอเตอร์
(P_{WMAX}/PM)
3. ค่ากำลังงานของน้ำหารด้วยค่ากำลังงานสูงสุดของแถวแถวที่ค่าการรับรังสี
หนึ่ง ๆ (PW/PMAX = EFFW) มีค่าใกล้เคียงกับค่ากำลังงานของน้ำสูงสุดหารด้วยกำลัง-
งานสูงสุดของแถวแถวที่ค่าการรับรังสีนั้น ๆ (P_{WMAX}/PMAX)
4. อัตราการไหลของน้ำไม่น้อยจนเกินไป และหัวทางสะแตกิกมีค่าพอเหมาะ
ตามต้องการ
5. ควรให้สูบน้ำได้นานที่สุด เพื่อให้ได้ประโยชน์จากแสงอาทิตย์อย่างเต็มที่

โปรแกรมที่ 1 หาเส้นคุณลักษณะกระแสและแรงดันของแกว่งแสงอาทิตย์

```

90 OPEN #1:"LP01"
100 H=1.0012 :: P=36.46 :: X=0.05 :: Y=41.0 :: C=0.0162 :: T=0.38 :: E=0.001
110 READ N
111 PRINT #1:TAB(10);RPT$( "-",40)
112 PRINT #1:TAB(16);" ";TAB(26);"1";TAB(36);"U";TAB(46);"PM"
113 PRINT #1:TAB(12);"(W/SQ.M)";TAB(25);"(A)";TAB(35);"(V)";TAB(46);"(W)"
114 PRINT #1:TAB(10);RPT$( "-",40)
120 FOR I=1 TO N
130 READ J,I
140 CCR = B*(I/F-B*I)+C
150 U=1/T :: R=1/(T*Y) :: V=LOG(CCN/C) :: W=-1*X*(Q*V) :: U=W
160 Z=LOG((CCN-U/Y)/C) :: K=1
165 F=U+I*X-G*X2
170 FF=14R*(1/(CCN-U/Y))
180 UNEW=U-F/FF
190 IF ABS(U-UNEW)<E THEN 212
200 IF K>20 THEN 240
210 U=UNEW :: K=K+1 :: GOTO 165
212 A="####.##" :: PM=I*R
215 PRINT #1:TAB(13); :: PRINT #1 USING A4:J
216 PRINT #1:TAB(22); :: PRINT #1 USING A4:I
222 PRINT #1:TAB(32); :: PRINT #1 USING A4:U
223 PRINT #1:TAB(42); :: PRINT #1 USING A4:PM
230 GOTO 250
240 PRINT "PROCESS DID NOT CONVERGE IN 20 ITERATIONS"
250 NEXT I
258 DATA 90,1000,0,1000,6,1000,12,1000,18,1000,25,1000,27,1000,27.3
259 DATA 1000,27.900,0,900,6,900,10,900,14,900,16,900,20,900,22,900,24,900,24.5
260 DATA 800,0,800,2,800,4,800,6,800,8,800,10,800,12,800,14,800,16,800,18,800,20,800,21.9
261 DATA 700,0,700,2,700,4,700,6,700,8,700,10,700,12,700,14,700,16,700,18,700,18.8,700,19.2
262 DATA 600,0,600,2,600,4,600,6,600,8,600,10,600,12,600,14,600,16,600,16.1,600,16.2
263 DATA 500,0,500,2,500,4,500,6,500,8,500,10,500,11,0,500,11,6,500,13,500,13.5
264 DATA 400,0,400,2,400,4,400,6,400,8,400,10,400,10,2,400,10,5,400,10,2,400,10.8
265 DATA 300,0,300,1,300,2,300,4,300,6,300,6,9,300,7,4,300,8,0,300,8.1
266 DATA 200,0,200,1,200,2,200,3,200,4,200,4,6,200,5,2,200,5,3,200,5,35
267 DATA 100,0,100,0,5,100,1,100,1,5,100,2,100,2,1,100,2,4,100,2,5,100,2,60
268 CLOSE #1
270 END

```

J (W/SQ.M)	I (A)	U (V)	PM (W)
1000.00	0.00	19.52	0.00
1000.00	6.00	18.56	111.36
1000.00	12.00	17.38	208.59
1000.00	14.00	16.91	236.72
1000.00	18.00	15.75	283.56
1000.00	25.00	11.62	290.50
1000.00	27.00	6.00	161.98
1000.00	27.30	0.80	21.86
1000.00	27.00	6.00	161.98
900.00	0.00	19.24	0.00
900.00	6.00	18.20	109.18
900.00	10.00	17.35	173.49
900.00	14.00	16.29	228.07
900.00	16.00	15.63	250.05
900.00	20.00	13.73	276.57
900.00	22.00	12.06	265.23
900.00	24.00	7.77	186.41
900.00	24.50	2.60	63.66
800.00	0.00	18.93	0.00
800.00	2.00	18.57	37.14
800.00	8.00	17.31	136.47
800.00	12.00	16.19	194.32
800.00	16.00	14.59	233.37
800.00	20.00	11.21	224.21
800.00	21.40	7.07	151.37
800.00	21.30	1.19	25.97

J (W/SQ.M)	I (A)	II (V)	PMAX (W)
700.00	0.00	18.57	0.00
700.00	2.00	18.17	36.35
700.00	4.00	16.72	133.73
700.00	12.00	15.31	183.74
700.00	16.00	12.85	205.61
700.00	18.00	9.85	177.23
700.00	18.40	8.53	156.93
700.00	18.80	6.05	113.69
700.00	19.20	0.63	12.02
600.00	0.00	18.15	0.00
600.00	2.00	17.71	35.41
600.00	4.00	17.20	68.61
600.00	8.00	15.95	127.62
600.00	12.00	13.90	167.79
600.00	14.00	12.19	170.63
600.00	16.00	6.66	106.60
600.00	16.10	5.69	91.66
600.00	16.20	4.26	69.08
500.00	0.00	17.66	0.00
500.00	2.00	17.14	34.27
500.00	4.00	16.33	66.11
500.00	8.00	14.87	118.98
500.00	10.00	13.37	135.63
500.00	11.00	12.62	138.35
500.00	11.80	11.56	136.42
500.00	13.00	8.39	109.02
500.00	13.50	3.40	45.94
400.00	0.00	17.06	0.00
400.00	2.00	16.41	32.33
400.00	4.00	15.62	62.43
400.00	8.00	13.03	104.24
400.00	10.00	9.55	95.45
400.00	10.20	8.77	89.43
400.00	10.50	6.99	73.43
400.00	10.60	6.04	64.01
400.00	10.80	2.05	22.18
300.00	0.00	16.27	0.00
300.00	1.00	15.87	15.33
300.00	2.00	15.41	30.33
300.00	4.00	14.23	56.32
300.00	6.00	12.29	73.74
300.00	6.90	10.60	73.72
300.00	7.40	9.14	67.72
300.00	8.00	3.81	30.43
300.00	8.10	-0.80	-2.47
200.00	0.00	15.15	0.00
200.00	1.00	14.54	14.54
200.00	2.00	13.78	27.56
200.00	3.00	12.76	38.27
200.00	4.00	11.17	44.67
200.00	4.60	9.49	43.64
200.00	5.20	5.02	26.12
200.00	5.30	2.51	13.29
200.00	5.35	-0.52	-2.77
100.00	0.00	13.19	0.00
100.00	0.50	12.58	6.29
100.00	1.00	11.80	11.80
100.00	1.50	10.73	16.09
100.00	2.00	9.00	18.01
100.00	2.10	8.49	17.83
100.00	2.30	5.96	14.31
100.00	2.50	4.22	10.54
100.00	2.60	-0.22	-0.58

โปรแกรมที่ 2 หาค่ากำลังงานสูงสุดของแถวแผงเซลล์แสงอาทิตย์

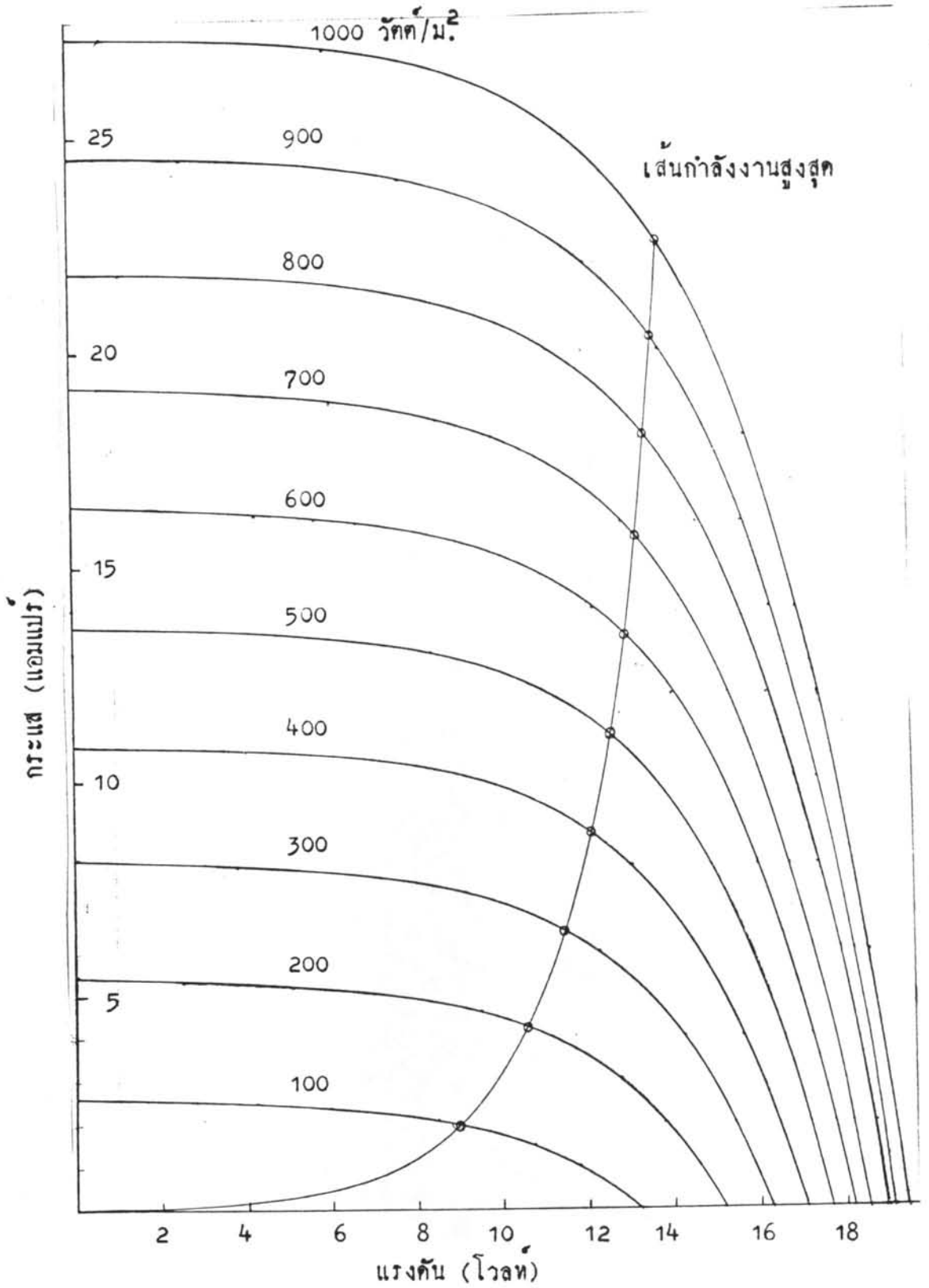
```

90 OPEN #1:"LP01"
100 B=1.0012:: P=36.46 :: X=0.05 :: Y=41.0 :: C=0.0162
110 T=0.38
120 READ H
121 PRINT #1:TAB(10);RPT#("-",40)
122 PRINT #1:TAB(14);"J";TAB(26);"I";TAB(36);"U";TAB(44);"PMAX"
123 PRINT #1:TAB(12);"(W/SQ.M)";TAB(25);"(A)";TAB(35);"(V)";TAB(44);"(W)"
124 PRINT #1:TAB(10);RPT#("-",40)
130 FOR I=1 TO H
140 READ J,I,U
145 S=B*J/P :: Q=1/T
150 K=1
160 M=B*X*I^2+I*(U*X/Y-B-S*X-X*C-B/T)+U*(1/(T*Y)+S+C-U/Y)
170 N=U+X*I-@*LOG((C+S-B*I-U/Y)/C)
180 D=X+H*(1/(T*(C+S-B*I-U/Y)))
190 E=1+1/(T*Y*(C+S-B*I-U/Y))
200 F=2*B*X*I-H*U-S*X-X*C-R/T+U*Y/Y
210 G=-B*I+I*X/Y+1/(T*Y)+S-2*U/Y+C
220 DI=(-M*E+N*G)/(F+E-G*D)
230 DU=(-N*F+M*D)/(F+E-G*D)
240 IN=I+DI :: UN=U+DU
250 I=IN :: U=UN
270 IF ABS(DI)<1E-7 AND ABS(DU)<1E-7 AND ABS(M)<1E-7 AND ABS(N)<1E-7 THEN 292
280 IF K>20 THEN 320
290 K=K+1 :: GOTO 160
292 A#="###.#" :: PMAX=I*U
295 PRINT #1:TAB(13); :: PRINT #1 USING A#:J;
296 PRINT #1:TAB(22); :: PRINT #1 USING A#:I;
297 PRINT #1:TAB(32); :: PRINT #1 USING A#:U;
298 PRINT #1:TAB(42); :: PRINT #1 USING A#:PMAX
310 GOTO 330
320 PRINT #1:"PROCESS DID NOT CONVERGE IN 20 ITERATION"
330 NEXT I
340 DATA 10,1000,22,15,900,20,14,800,17,13,700,16,13,600,13,12,500,12,11
341 DATA 400,9,12,300,6,11,200,4,10,100,2,9
345 CLOSE #1
350 END

```

J (W/SQ.M)	I (A)	U (V)	PMAX (W)
1000.00	22.49	13.75	309.34
900.00	20.21	13.59	274.72
800.00	17.93	13.40	240.26
700.00	15.64	13.17	206.07
600.00	13.35	12.90	172.25
500.00	11.07	12.56	138.95
400.00	8.78	12.12	106.40
300.00	6.50	11.53	74.94
200.00	4.24	10.65	45.19
100.00	2.01	9.06	18.23





ภาพที่ 4.7 แสดงคุณลักษณะกระแสและแรงดันของแกวแวงเซลแสงอาทิตย์

โปรแกรมที่ 3 หาคะทำงานของเครื่องสูบน้ำที่ห้กำลังงานของน้ำสูงสุด

```

90 OPEN #1:"ST01"
95 PRINT #1:TAB(15):"R=0.4 ; KR=0.004"
100 B=1.0012:: P=36.46 :: X=0.05 :: Y=41.0 :: C=0.0162
101 B1=0.873 :: BT2=0.698 :: R1=0.008 :: R2=0.03 :: H1=0.01257 :: B2=0.01257
110 T=0.38 :: KR=0.004 :: R=0.4 :: GR=9.807 :: SW=9768.66 :: Z=5
112 KF=SW*B1*R1^2*6.283*TAN(BT1)*(R2^2-R1^2*B1*TAN(B11)/(B2*TAN(B12)))/GR
113 KF=KR*60/6.2832
115 KT=KF/KF^(1/3)
116 PP=1.2*(1+SIN(BT2))/(Z*(1-(R1/R2)^2)) :: EF=1/(1+PP)
120 READ H
122 PRINT #1:TAB(10):RPT4("-",130)
123 PRINT #1:TAB(14):"DATA#";TAB(25):"J";TAB(35):"I";TAB(45):"U";TAB(55):"P";
124 PRINT #1:TAB(65):"RB";TAB(75):"Q1";TAB(84):"H1";TAB(94):"PW";TAB(104):"FM";
125 PRINT #1:TAB(112):"EFF";TAB(119):"EFFW";TAB(123):"EFFM"
126 PRINT #1:TAB(23):"(W/SQ.M)";TAB(34):"(A)";TAB(44):"(V)";TAB(52):"(RAD/S)";
127 PRINT #1:TAB(62):"(");TAB(72):"(CUB/S)";TAB(83):"(M)";TAB(93):"(W)";
128 PRINT #1:TAB(104):"(W)";TAB(112):"(Z)";TAB(119):"(Z)";TAB(123):"(Z)"
129 PRINT #1:TAB(10):RPT4("-",130)
130 PRINT #1
135 FOR I1=1 TO H
140 READ J,I,U,PMAX
145 S=B*I/F :: Q=1/T
150 K=1
160 M=(I-J)*R-K*(U*I)^(1/3)
170 N=U+X*I-Q*LOG((C+S-B*I-U/Y)/C)
180 P=X+B*(1/(1*(C+S-B*I-U/Y)))
190 E=1+1/(I*Y*(C+S-B*I-U/Y))
200 F=-R-(KT * U^(1/3) * I^(-2/3))/3
210 G=1-(KT * I^(1/3) * U^(-2/3))/3
220 DI=(-M+E*N*G)/(F+E-G*D)
230 DU=(-N*P+M*D)/(F+E-G*D)
240 IN=I+DI :: UN=U+DU
250 I=IN :: U=UN
270 IF ABS(DI)<1E-7 AND ABS(DU)<1E-7 AND ABS(M)<1E-7 AND ABS(N)<1E-7 THEN 286
280 IF K>20 THEN 320
285 K=K+1 :: GOTO 160
286 SP=(U*I/KF)^(1/3)
287 IF SP>308 THEN 291
288 RB=0.867E+6 - SP*2.55E+3
290 IF SP<=308 THEN 293
291 RB=(308/SP)^3*0.81E+5
293 KB=6.283*R1^2*B1*TAN(BT1) :: KH=6.283*B2*TAN(BT2)
294 FM=U*I
295 GOSUB 360
298 PW=SW*Q1*I :: EFF=PW/FM*100 :: EFFW=PW/PMAX*100 :: EFFM=PM/PMAX*100
304 J4="####.##" :: I4="##.###"
305 PRINT #1:TAB(12):" :: PRINT #1 USING A#:I1;
306 PRINT #1:TAB(22):" :: PRINT #1 USING A#:J;
307 PRINT #1:TAB(32):" :: PRINT #1 USING A#:I;
308 PRINT #1:TAB(42):" :: PRINT #1 USING A#:U;
309 PRINT #1:TAB(52):" :: PRINT #1 USING A#:SP;
310 PRINT #1:TAB(62):" :: PRINT #1 USING B#:RB;
311 PRINT #1:TAB(72):" :: PRINT #1 USING B#:Q1;
312 PRINT #1:TAB(82):" :: PRINT #1 USING A#:H1;
313 PRINT #1:TAB(92):" :: PRINT #1 USING A#:PW;
314 PRINT #1:TAB(102):" :: PRINT #1 USING A#:FM;
315 PRINT #1:TAB(109):" :: PRINT #1 USING A#:EFF;
316 PRINT #1:TAB(116):" :: PRINT #1 USING A#:EFFW;
317 PRINT #1:TAB(123):" :: PRINT #1 USING A#:EFFM;
319 GOTO 601
320 PRINT #1:"PROCESS DID NOT CONVERGE IN 20 ITERATIONS"
360 DIM A(10),B3(10),C3(10)
370 READ Q1
380 A(4)=4*RB/KH :: A(3)=-3*SP*RB*R2^2 :: A(2)=-2/KH :: A(1)=SF+R2^2
390 J1=1
400 B3(4)=A(4) :: C3(4)=A(4)
410 I2=1
420 K1=4-12
430 B3(K1)=A(K1)+Q1*B3(I1+1) :: C3(K1)=B3(K1)+Q1*C3(K1+1)
440 I2=I2+1
450 IF I2>2 THEN 470

```

```

460 GOTO 420
470 B3(1)=A(1)+Q1*H3(2)
480 DQ1=B3(1)/C3(2)
490 IF ABS(DQ1)<1E-10 AND ABS(B3(1))<1E-10 THEN 550
500 J1=J1+1
510 Q1=Q1-DQ1
520 IF J1>20 THEN 540
530 GOTO 410
540 PRINT #1:"NOT CONVERGE"
550 H1=EP*((SP*RB)^2-Q1*SP/KH)*(1-Q1^2*RB)/GR
600 RETURN
601 NEXT I1
602 DATA 10,1000,10,10,309.2,1.0006,900,10,10,274.6,1.0019,800,10,10,240.3,1.0016
603 DATA 700,10,10,202,1.0016,600,10,10,172.2,1.0016,500,10,10,139,1.0016
604 DATA 400,10,9,102.4,1.0015,300,8,8,74.9,1.0012,200,5,5,45.1,1.0008
605 DATA 100,2.6,4,0,10,2,1.0006
606 CLOSE #1
610 END

```

โปรแกรมที่ 4 หาคู่ทำงานของทั้งระบบเมื่อกำหนดความยาวท่อ (LE) ชนิดของท่อ (FR) เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ (DIA) และหัวทางสะแตกิก (HS) แล้ว

```

90 OPEN #1:"ST01"
95 PRINT #1:TAB(15):"R=0.4 : KR=0.004"
97 PRINT #1:TAB(15):"DIA=0.0380, FR=0.030, HS=2, LE=5"
100 B=1.0012: P=36.46 : X=0.05 : Y=41.0 : C=0.0162
101 BT1=0.873 : BT2=0.698 : RT=0.008 : R2=0.03 : B1=0.01257 : B2=0.01257
110 T=0.38 : KR=0.004 : R=0.4 : GR=9.807 : SW=9768.66 : Z=5
111 FR=0.030 : DIA=0.0380 : HS=2 : LE=5
112 FF=SW*B1*R1^2+6.283*TAN(BT1)*(R2^2-R1^2*B1*TAN(BT1)/(B2*TAN(BT2)))/GR
113 KF=FR*60/6.2832
115 KT=KF/KR^(1/3)
116 FF=1.2*(1+SIN(BT2))/(Z*(1-(R1/R2)^2)) : EP=1/(1+FF)
120 READ H
122 PRINT #1:TAB(10):FF:130)
123 PRINT #1:TAB(14):"DATA":TAB(25):"J":TAB(35):"I":TAB(45):"U":TAB(54):"SP":
124 PRINT #1:TAB(65):"R":TAB(75):"Q1":TAB(80):"H1":TAB(91):"PW":TAB(104):"PM":
125 PRINT #1:TAB(112):"FFF":TAB(120):"EW":TAB(125):"EFFW"
126 PRINT #1:TAB(23):"(W/SQ.M)":TAB(34):"(A)":TAB(44):"(V)":TAB(52):"(RAD/S)":
127 PRINT #1:TAB(62):"("):TAB(72):"(CUB/S)":TAB(85):"(M)":TAB(90):"(W)":
128 PRINT #1:TAB(104):"(M)":TAB(111):"(Z)":TAB(119):"(%)":TAB(125):"(%)"
129 PRINT #1:TAB(10):FF:130)
130 PRINT #1
135 FOR I1=1 TO H
140 READ J, I, U, P, MAX, P, MAX
145 S=B*U/P : G=1/T
150 K=1
160 N=U-1*R-KT*(U+1)^(1/3)
170 N=U+X*I-Q*LOG((C+S-H*I-U/Y)/C)
180 D=X+B*(1/2*(1+(C+S-B*I-U/Y)))
190 E=1+1/(T*Y*(C+S-B*I-U/Y))
200 F=-R-(KT * U^(1/3) * I^(-2/3))/3
210 G=1-(KT * I^(1/3) * U^(-2/3))/3
220 DI=(-M*E+N*G)/(F-E-G*D)
230 DU=(-N*F+M*D)/(F-E-G*D)
240 IN=I+DI : UN=U+DU
250 I=IN : U=UN
270 IF ABS(DI)<1E-7 AND ABS(DU)<1E-7 AND ABS(M)<1E-7 AND ABS(N)<1E-7 THEN 286
280 IF K>20 THEN 320
283 K=K+1 : GOTO 160
286 SF=(U+1/KP)^(1/3)
287 IF SP<308 THEN 291
288 RB=0.867E+6 - SP+2.55E+3
290 IF SP<308 THEN 293
291 RB=(308/SP)^3+0.816E+5
293 KR=6.283*R1^2*B1*TAN(BT1) : KH=6.283*B2*TAN(BT2)
294 PM=U*I
296 GOSUB 260

```

```

290 FW=SW*Q1*H1 :: EFF=FW/PM*100 :: EW=FW/PWMAX*100 :: EFFW=FW/PMAX*100
304 A# = "####.##" :: B# = "##.##^####"
305 PRINT #1:TAB(12); :: PRINT #1 USING A#:11;
306 PRINT #1:TAB(22); :: PRINT #1 USING A#:11;
307 PRINT #1:TAB(32); :: PRINT #1 USING A#:11;
308 PRINT #1:TAB(42); :: PRINT #1 USING A#:11;
309 PRINT #1:TAB(52); :: PRINT #1 USING A#:11;
310 PRINT #1:TAB(62); :: PRINT #1 USING B#:11;
311 PRINT #1:TAB(72); :: PRINT #1 USING B#:11;
312 PRINT #1:TAB(82); :: PRINT #1 USING A#:11;
313 PRINT #1:TAB(92); :: PRINT #1 USING A#:11;
314 PRINT #1:TAB(102); :: PRINT #1 USING A#:11;
315 PRINT #1:TAB(109); :: PRINT #1 USING A#:11;
316 PRINT #1:TAB(116); :: PRINT #1 USING A#:11;
317 PRINT #1:TAB(123); :: PRINT #1 USING A#:11;
319 GOTO 601
320 PRINT #1:"PROCESS DID NOT CONVERGE IN 20 ITERATIONS"
320 DIM A(10),B3(10),C3(10)
370 READ Q1
380 A(4)=EP*RB*SP/GR/KH :: A(3)=-8*FR*LE/GR/3.1416^2/D1A^5 - EP*(SP*R2)^2*RB/GR
381 A(2)=-SP*EP/KH/GR :: A(1)=EP*(SP*R2)^2/GR - HS
390 J1=1
400 B3(4)=A(4) :: C3(4)=A(4)
410 I2=1
420 K1=4-I2
430 B3(K1)=A(K1)+Q1*B3(K1+1) :: C3(K1)=B3(K1)+Q1*C3(K1+1)
440 I2=I2+1
450 IF I2>2 THEN 470
460 GOTO 420
470 B3(1)=A(1)+Q1*B3(2)
480 DQ1=B3(1)/C3(2)
490 IF ABS(DQ1)<1E-10 AND ABS(B3(1))<1E-10 THEN 550
500 J1=J1+1
510 Q1=Q1-DQ1
520 IF J1>50 THEN 540
530 GOTO 410
540 PRINT #1:"NOT CONVERGE"
550 H1=EP*(SP*R2)^2-Q1*SP/GR*(1-Q1^2*RB)/GR
600 RETURN
601 NEXT I1
602 DATA 10,1000,10,10,309.2,103.96,1.0016,900,10,10,274.6,97.27,1.0016,800,10,10
603 DATA 240,3,89.86,1.0016,700,10,10,201.701,96,1.0016,600,10,10,172.2,72.13
604 DATA 1.0016,500,10,10,139.55,95,1.0016,400,30,10,102.4,41.23,1.0015,300,6,10
605 DATA 74.9,28.52,1.0012,200,4,10,45.1,10.89,1.001,100,2,6,13,27.5,1,1.0005
606 CLOSE #1
610 END

```


ตารางที่ 4.2 หาค่าทำงานของเครื่องสูบน้ำที่ให้กำลังงานของน้ำสูงสุด

R=0.2 ; KR=0.004

DATA#	J (W/SQ.M)	I (A)	U (V)	SP (RAD/S)	RB ()	Q1 (CUB/S)	H1 (M)	PWMAX (W)	PM (W)	EFF (%)	EFFW (%)	EFFM (%)
1.00	1000.00	14.22	16.35	366.76	4.83E+04	2.51E+03	5.35	130.83	239.65	54.59	42.31	77.51
2.00	900.00	13.61	16.41	338.24	5.19E+04	2.42E+03	5.11	120.69	223.34	54.04	43.95	81.33
3.00	800.00	12.92	15.89	348.76	5.64E+04	2.34E+03	4.88	109.52	205.19	53.88	45.58	85.32
4.00	700.00	12.10	15.27	336.33	6.27E+04	2.26E+03	4.54	97.13	184.81	52.57	47.16	89.72
5.00	600.00	11.14	14.52	321.73	7.12E+04	2.07E+03	4.13	83.99	161.77	51.15	48.43	93.95
6.00	500.00	9.93	13.59	303.38	8.24E+04	1.81E+03	3.62	69.49	135.64	48.33	47.11	97.58
7.00	400.00	8.52	12.40	279.64	1.00E+05	1.41E+03	3.12	54.09	106.23	41.51	41.44	99.84
8.00	300.00	6.84	10.85	243.16	1.34E+05	1.16E+03	2.51	38.33	74.23	33.23	37.89	99.11
9.00	200.00	4.78	8.80	205.45	1.84E+05	9.57E+02	1.72	16.07	41.12	30.15	35.63	93.40
0.00	100.00	2.43	7.02	144.68	4.93E+05	7.89E+02	0.95	6.52	14.71	44.29	35.80	80.84

R=0.4 ; KR=0.004

DATA#	J (W/SQ.M)	I (A)	U (V)	SP (RAD/S)	RB ()	Q1 (CUB/S)	H1 (M)	PWMAX (W)	PM (W)	EFF (%)	EFFW (%)	EFFM (%)
1.00	1000.00	11.16	17.57	343.02	5.91E+04	2.27E+03	4.62	103.96	196.06	53.02	33.62	63.41
2.00	900.00	10.73	17.16	316.45	6.26E+04	2.21E+03	4.51	97.27	189.01	52.53	35.42	67.37
3.00	800.00	10.34	16.70	323.79	6.71E+04	2.13E+03	4.31	89.86	172.65	52.05	37.40	71.35
4.00	700.00	9.83	16.14	319.65	7.30E+04	2.05E+03	4.08	81.56	158.65	51.41	39.59	77.01
5.00	600.00	9.22	15.47	303.44	8.13E+04	1.94E+03	3.80	72.13	142.53	50.60	41.89	82.77
6.00	500.00	8.46	14.62	294.17	1.17E+05	1.63E+03	3.49	55.53	123.66	44.90	39.95	88.97
7.00	400.00	7.49	13.54	275.19	1.65E+05	1.37E+03	3.07	41.28	101.23	40.73	38.80	95.15
8.00	300.00	6.22	11.93	243.53	2.39E+05	1.16E+03	2.52	28.52	74.57	33.24	39.08	99.56
9.00	200.00	4.53	9.80	209.11	3.34E+05	9.70E+02	1.78	16.89	44.42	30.02	37.44	98.48
10.00	100.00	2.39	6.62	143.17	4.89E+05	7.97E+02	0.89	6.91	15.80	43.70	37.94	86.82

ตารางที่ 4.2 หาคะทำงานของเครื่องสูบน้ำที่ให้กำลังงานของน้ำสูงสุด (ต่อ)

R=0.2 ; KR=0.003

DATA#	J (W/SQ.M)	I (A)	U (V)	SP (RAD/S)	RB ()	Q1 (LTR/S)	H1 (M)	PWMAX (W)	PM (W)	EFF (%)	EFFW (%)	EFFM (%)
1.00	1000.00	12.54	15.12	393.86	3.20E+04	2.78E+03	2.15	167.12	276.78	56.31	54.05	95.28
2.00	900.00	13.43	14.61	381.27	4.30E+04	2.65E+03	2.77	149.49	269.23	55.52	54.44	93.05
3.00	800.00	17.16	13.93	366.43	4.85E+04	2.50E+03	3.24	130.43	239.01	54.57	54.28	99.46
4.00	700.00	15.69	13.13	343.76	5.62E+04	2.13E+03	4.34	110.05	206.06	53.41	53.42	100.03
5.00	600.00	14.01	12.12	327.56	6.78E+04	1.71E+03	4.28	98.71	179.72	51.96	51.51	99.14
6.00	500.00	12.02	11.07	302.07	9.67E+04	1.73E+03	3.67	63.89	133.39	47.72	45.96	96.32
7.00	400.00	9.95	9.27	271.46	1.73E+05	1.54E+03	2.99	39.11	97.17	40.25	36.76	91.30
8.00	300.00	7.61	8.25	234.68	2.69E+05	1.03E+03	2.25	23.73	62.79	37.79	31.68	83.83
9.00	200.00	5.14	6.46	189.77	3.88E+05	9.05E+02	1.47	12.95	33.20	39.01	28.72	73.61
10.00	100.00	2.57	4.27	131.22	5.32E+05	7.64E+02	0.62	5.15	10.98	46.92	28.29	60.31

R=0.4 ; KR=0.004

DATA#	J (W/SQ.M)	I (A)	U (V)	SP (RAD/S)	RB ()	Q1 (LTR/S)	H1 (M)	PWMAX (W)	PM (W)	EFF (%)	EFFW (%)	EFFM (%)
1.00	1000.00	15.00	15.65	371.33	4.64E+04	2.50E+03	5.49	137.14	249.71	54.92	44.35	80.75
2.00	900.00	14.40	15.17	363.25	4.97E+04	2.42E+03	5.25	126.58	232.83	54.37	46.10	84.79
3.00	800.00	13.71	15.00	353.06	5.42E+04	2.37E+03	4.96	114.79	213.78	53.70	47.77	88.96
4.00	700.00	12.88	14.91	340.67	6.03E+04	2.25E+03	4.63	101.53	192.06	52.86	49.29	93.23
5.00	600.00	11.83	14.07	325.72	6.93E+04	2.10E+03	4.22	86.55	167.09	51.80	50.26	97.63
6.00	500.00	10.64	13.00	305.40	8.32E+04	1.86E+03	3.74	68.11	138.37	49.22	49.00	99.54
7.00	400.00	9.10	11.64	279.38	1.55E+05	1.42E+03	3.17	43.92	105.93	41.46	41.28	99.54
8.00	300.00	7.21	9.90	244.86	2.43E+05	1.14E+03	2.44	27.15	71.31	33.08	36.25	95.21
9.00	200.00	4.98	7.90	199.13	3.59E+05	9.35E+02	1.62	14.75	38.35	38.44	32.69	85.04
10.00	100.00	2.53	4.93	136.94	5.18E+05	7.73E+02	0.76	5.20	12.47	45.73	31.34	63.54

ตารางที่ 4.3 แสดงหมายเลขของตารางอันเป็นผลจากการวิเคราะห์ระบบสูบน้ำแบบต่าง ๆ

มอเตอร์ตัวที่หนึ่ง $R = 0.4$ โหลต, $KR = 0.004$ โวลต์/รอบก่อนาที

ตารางที่	หน้า	เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ DIA (ม.)	ตัวคูณเนื่องจากความลึก FR	หัวทางสะแตกิก HS (ม.)	ความยาวของท่อ LE (ม.)
4.4	69	0.0254	0.032	2	2
4.5	69	0.0254	0.032	2	3
4.6	70	0.0254	0.032	2	5
4.7	70	0.0254	0.032	2	10
4.8	71	0.0254	0.032	3	3
4.9	71	0.0254	0.032	3	6
4.10	72	0.0254	0.032	3	10
4.11	73	0.0254	0.032	5	5
4.12	73	0.0254	0.032	5	10

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) มอเตอร์ตัวที่หนึ่ง

ตารางที่	หน้า	เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ DIA (ม.)	ตัวคูณเนื่องจากความผิด FR	หัวทางสะเทติก HS (ม.)	ความยาวของท่อ LE (ม.)
4.13	74	0.038	0.030	1	15
4.14	74	0.038	0.030	1	20
4.15	75	0.038	0.030	1	25
4.16	75	0.038	0.030	1	30
4.17	76	0.038	0.030	2	2
4.18	76	0.038	0.030	2	5
4.19	77	0.038	0.030	2	7
4.20	77	0.038	0.030	2	10
4.21	78	0.038	0.030	2	15
4.22	78	0.038	0.030	2	20
4.23	79	0.038	0.030	2	25

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) มอเตอร์ตัวที่หนึ่ง

ตารางที่	หน้า	เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ DIA (ม.)	ตัวคูณเนื่องจากความเป็ค FR	หัวทางสะแตกิก HS (ม.)	ความยาวของท่อ LE (ม.)
4.24	80	0.038	0.030	3	3
4.25	80	0.038	0.030	3	5
4.26	81	0.038	0.030	3	7
4.27	81	0.038	0.030	3	10
4.28	82	0.038	0.030	3	15
4.29	83	0.038	0.030	5	5
4.30	83	0.038	0.030	5	7
4.31	84	0.038	0.030	5	10

ตารางที่ 4.3 แสดงหมายเลขของตารางอันเป็นผลจากการวิเคราะห์ระบบสูบน้ำแบบต่าง ๆ
 มอเตอร์ตัวที่สอง $R = 0.2$ โหน้ม, $KR = 0.003$ โวลต์/รอบก่อนาที

ตารางที่	หน้า	เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ DIA (ม.)	ตัวคูณเนื่องจากความลึก FR	หัวทางสะแตกิก HS (ม.)	ความยาวของท่อ LE (ม.)
4.32	85	0.0254	0.032	2	2
4.33	85	0.0254	0.032	2	5
4.34	86	0.0254	0.032	2	7
4.35	87	0.0254	0.032	3	3
4.36	87	0.0254	0.032	3	7
4.37	88	0.0254	0.032	3	10
4.38	89	0.0254	0.032	5	5
4.39	89	0.0254	0.032	5	10



ตารางที่ 4.3 (ต่อ) มอเทอร์ทัวที่สอง

ตารางที่	หน้า	เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ DIA (ม.)	ตัวคูณเนื่องจากความเป็ด FR	หัวทางสะแตกิก HS (ม.)	ความยาวของท่อ LE (ม.)
4.40	90	0.038	0.030	2	2
4.41	90	0.038	0.030	2	5
4.42	91	0.038	0.030	2	7
4.43	91	0.038	0.030	2	10
4.44	92	0.038	0.030	2	15
4.45	92	0.038	0.030	2	20
4.46	93	0.038	0.030	3	3
4.47	93	0.038	0.030	3	7
4.48	94	0.038	0.030	3	10
4.49	94	0.038	0.030	3	15
4.50	95	0.038	0.030	5	5
4.51	95	0.038	0.030	5	10

ตารางที่ 4.4

R=0.4 FR=0.004
DIA=0.0254, FR=0.032, HS=2, LE=2

DATA#	J (W/SQ.M)	I (A)	II (V)	SP (RAD/S)	RB ()	Q1 (CUR/S)	II1 (H)	PW (W)	PM (W)	EFF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	11.16	17.57	343.02	5.91E+04	2.30E-03	4.64	103.94	196.06	53.01	99.99	33.67
2.00	900.00	10.73	17.16	336.45	6.26E+04	2.22E-03	4.43	97.26	185.01	52.57	99.99	35.47
3.00	800.00	10.34	16.70	328.79	6.71E+04	2.14E-03	4.30	89.86	172.65	52.05	100.00	37.37
4.00	700.00	9.83	16.14	319.65	7.30E+04	2.04E-03	4.09	81.56	158.65	51.41	99.99	39.59
5.00	600.00	9.22	15.47	308.44	8.13E+04	1.92E-03	3.89	72.12	142.53	50.60	99.98	41.85
6.00	500.00	8.46	14.67	294.17	1.17E+05	1.67E-03	3.40	55.47	123.66	44.85	99.90	39.91
7.00	400.00	7.49	13.51	275.19	1.65E+05	1.41E-03	2.97	41.25	101.23	40.74	99.92	38.77
8.00	300.00	6.22	11.93	248.53	2.33E+05	1.11E-03	2.63	28.45	74.57	33.16	99.77	37.99
9.00	200.00	4.53	9.80	209.11	3.34E+05	6.90E-04	2.24	15.09	44.42	33.97	89.33	33.46
10.00	100.00	2.39	6.62	143.17	4.89E+05	1.54E-03	1.20.43	*****	15.80*****	*****	*****	*****

ตารางที่ 4.5

R=0.4 FR=0.004
DIA=0.0254, FR=0.032, HS=2, LE=3

DATA#	J (W/SQ.M)	I (A)	II (V)	SP (RAD/S)	RB ()	Q1 (CUR/S)	II1 (H)	PW (W)	PM (W)	EFF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	11.16	17.57	343.02	5.91E+04	2.04E-03	5.14	102.62	196.06	52.34	98.71	33.19
2.00	900.00	10.73	17.16	336.45	6.26E+04	1.98E-03	4.95	97.98	185.01	51.83	98.68	34.95
3.00	800.00	10.34	16.70	328.79	6.71E+04	1.91E-03	4.74	89.61	172.65	51.32	98.61	36.87
4.00	700.00	9.83	16.14	319.65	7.30E+04	1.83E-03	4.50	80.33	158.65	50.63	98.49	39.00
5.00	600.00	9.22	15.47	308.44	8.13E+04	1.72E-03	4.22	70.91	142.53	49.75	98.31	41.18
6.00	500.00	8.46	14.67	294.17	1.17E+05	1.52E-03	3.73	53.17	123.66	44.62	99.36	39.67
7.00	400.00	7.49	13.51	275.19	1.65E+05	1.29E-03	3.25	41.08	101.23	40.58	99.52	38.61
8.00	300.00	6.22	11.93	248.53	2.33E+05	1.03E-03	2.77	28.07	74.57	37.57	98.24	37.41
9.00	200.00	4.53	9.80	209.11	3.34E+05	6.40E-04	2.31	14.92	44.42	32.47	85.40	34.98
10.00	100.00	2.39	6.62	143.17	4.89E+05	2.48E-03	-2.05	-49.61	15.80-313.95	-717.89	27.57	*****

R=0.4 ; FR=0.004
DIA=0.0254; FR=0.032; HS=2; LE=5

ตารางที่ 4.6

DATA#	J (W/S0.M)	L (A)	U (V)	SP (RAD/S)	RD ()	Q1 (CUR/S)	HI (M)	FW (W)	PM (W)	EFF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	11.16	17.57	343.02	5.91E+04	1.72E-03	5.72	97.40	196.06	49.17	92.73	31.13
2.00	900.00	10.78	17.16	336.43	6.27E+04	1.68E-03	5.51	90.17	185.01	48.74	92.70	32.84
3.00	800.00	10.34	16.70	328.79	6.71E+04	1.62E-03	5.27	83.23	172.65	48.21	92.62	34.64
4.00	700.00	9.83	16.14	319.65	7.30E+04	1.55E-03	4.99	75.43	158.65	47.54	92.48	36.62
5.00	600.00	9.22	15.47	308.44	8.13E+04	1.46E-03	4.67	66.53	142.53	46.68	92.24	38.64
6.00	500.00	8.46	14.62	294.17	1.17E+05	1.31E-03	4.13	52.71	123.66	42.62	94.92	37.92
7.00	400.00	7.49	13.51	275.19	1.65E+05	1.13E-03	3.59	39.53	101.23	39.05	95.76	37.19
8.00	300.00	6.22	11.93	243.53	2.33E+05	9.09E-04	3.02	27.73	74.57	35.33	93.68	35.67
9.00	200.00	4.53	9.80	209.11	3.34E+05	5.66E-04	2.40	13.29	44.42	29.91	78.66	29.46
10.00	100.00	2.39	6.62	148.17	4.89E+05	1.02E-04	1.42	-1.41	15.80	-8.95	-20.46	-7.77

R=0.4 ; FR=0.004
DIA=0.0254; FR=0.032; HS=2; LE=10

ตารางที่ 4.7

DATA#	J (W/S0.M)	L (A)	U (V)	SP (RAD/S)	RD ()	Q1 (CUR/S)	HI (M)	FW (W)	PM (W)	EFF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	11.16	17.57	343.02	5.91E+04	1.32E-03	6.36	82.04	196.06	41.35	78.92	24.53
2.00	900.00	10.78	17.16	336.43	6.26E+04	1.28E-03	6.12	76.77	185.01	41.50	78.93	27.96
3.00	800.00	10.34	16.70	328.79	6.71E+04	1.24E-03	5.87	70.90	172.65	41.07	78.90	29.51
4.00	700.00	9.83	16.14	319.65	7.30E+04	1.19E-03	5.59	64.23	158.65	40.52	78.82	31.31
5.00	600.00	9.22	15.47	308.44	8.13E+04	1.12E-03	5.16	56.71	142.53	39.79	78.63	32.93
6.00	500.00	8.46	14.62	294.17	1.17E+05	1.02E-03	4.71	46.01	123.66	37.20	82.85	33.10
7.00	400.00	7.49	13.51	275.19	1.65E+05	8.95E-04	4.00	34.99	101.23	34.56	84.75	32.93
8.00	300.00	6.22	11.93	243.53	2.33E+05	7.26E-04	3.37	23.54	74.57	31.57	82.55	31.43
9.00	200.00	4.53	9.80	209.11	3.34E+05	4.58E-04	2.53	11.28	44.42	25.41	66.81	25.02
10.00	100.00	2.39	6.62	148.17	4.89E+05	5.03E-04	1.17	5.74	15.80	36.33	83.07	31.54

R=0.4 , KR=0.004
DIA=0.0254, FR=0.032, HS=3, LE=3

ตารางที่ 4.8

ATOM#	J (W/SQ.M)	I (A)	U (V)	SP (RAD/S)	KR ()	Q1 (CUB/S)	HI (M)	PW (W)	PM (W)	EFF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	11.16	17.57	343.02	5.91E-04	1.84E-03	5.53	99.10	196.06	50.54	95.32	32.05
2.00	900.00	10.73	17.16	336.45	6.22E-04	1.77E-03	5.35	93.40	185.01	49.94	94.99	33.65
3.00	800.00	10.34	16.70	328.79	6.71E-04	1.69E-03	5.14	84.95	172.65	49.29	94.53	35.35
4.00	700.00	9.83	16.14	319.65	7.30E-04	1.60E-03	4.91	76.54	158.65	48.29	93.85	37.16
5.00	600.00	9.22	15.47	308.44	8.11E-04	1.48E-03	4.64	66.92	142.53	46.95	92.77	38.86
6.00	500.00	8.46	14.62	294.17	1.11E-03	1.27E-03	4.20	52.00	123.66	42.05	93.64	37.41
7.00	400.00	7.49	13.51	275.19	1.64E-03	1.02E-03	3.78	37.80	101.23	37.34	91.57	35.53
8.00	300.00	6.22	11.93	248.53	2.33E-03	6.96E-04	3.36	22.88	74.57	30.68	80.22	30.54
9.00	200.00	4.53	9.80	209.11	3.34E-03	3.02E-04	2.07	16.22	44.42	36.51	96.02	35.96
0.00	100.00	2.39	6.62	148.17	4.89E-03	1.68E-02	0.67	*****	15.80*****	*****	*****	*****

R=0.4 , KR=0.004
DIA=0.0254, FR=0.032, HS=3, LE=6

ตารางที่ 4.9

ATOM#	J (W/SQ.M)	I (A)	U (V)	SP (RAD/S)	KR ()	Q1 (CUB/S)	HI (M)	PW (W)	PM (W)	EFF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	11.16	17.57	343.02	5.91E-04	1.45E-03	6.17	87.46	196.06	44.61	84.13	28.28
2.00	900.00	10.73	17.16	336.45	6.22E-04	1.40E-03	5.95	81.46	185.01	44.03	83.75	29.67
3.00	800.00	10.34	16.70	328.79	6.71E-04	1.34E-03	5.70	74.79	172.65	43.32	83.22	31.12
4.00	700.00	9.83	16.14	319.65	7.30E-04	1.27E-03	5.43	67.25	158.65	42.39	82.45	32.65
5.00	600.00	9.22	15.47	308.44	8.11E-04	1.18E-03	5.09	58.61	142.53	41.12	81.26	34.04
6.00	500.00	8.46	14.62	294.17	1.11E-03	1.03E-03	4.60	46.29	123.66	37.43	83.36	33.80
7.00	400.00	7.49	13.51	275.19	1.64E-03	8.47E-04	4.08	33.76	101.23	33.35	81.78	31.73
8.00	300.00	6.22	11.93	248.53	2.33E-03	5.86E-04	3.52	20.13	74.57	27.00	70.59	26.88
9.00	200.00	4.53	9.80	209.11	3.34E-03	4.21E-05	2.03	1.15	44.42	2.60	6.84	3.16
0.00	100.00	2.39	6.62	148.17	4.89E-03	1.03E-03	0.60	6.06	15.80	38.43	87.66	33.78

ตารางที่ 4.10

R=0.4 , FR=0.004
 D10=0.0254, FR=0.032, FS=3, LF=10

WTD#	J (N/SU.M)	I (A)	H (V)	SP (RAD/S)	RD ()	DI (CUR/S)	HI (N)	FW (W)	PM (W)	EFF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	11.16	17.57	343.02	5.21E-04	1.19E-03	6.54	76.05	196.06	38.79	73.16	24.60
2.00	900.00	10.73	17.16	336.45	4.32E-04	1.15E-03	6.41	70.82	185.01	38.23	72.81	25.79
3.00	800.00	10.34	16.70	328.79	6.71E-04	1.10E-03	6.04	65.00	172.65	37.64	72.33	27.05
4.00	700.00	9.83	16.14	319.65	7.30E-04	1.04E-03	5.73	58.41	158.65	36.82	71.62	28.36
5.00	600.00	9.22	15.47	308.44	8.13E-04	9.71E-04	5.36	50.86	142.53	35.68	70.51	29.54
6.00	500.00	8.46	14.62	294.17	1.17E-03	8.59E-04	4.85	40.65	123.66	32.87	73.21	29.25
7.00	400.00	7.49	13.51	275.19	1.65E-03	7.14E-04	4.27	29.80	101.23	29.43	72.18	28.00
8.00	300.00	6.22	11.98	243.33	2.33E-03	4.92E-04	3.62	17.65	74.57	23.67	61.89	23.77
9.00	200.00	4.53	9.80	209.11	3.34E-03	2.12E-03	2.81	0.58	44.42	1.31	3.44	1.29
10.00	100.00	2.39	6.62	148.17	4.89E-03	7.57E-04	1.11	8.17	15.80	51.71	-118.27	-44.90

ตารางที่ 4.11

R=0.4 , KR=0.004
DIA=0.0254, FR=0.032, HS=5, LE=5

WLAB	J (N/SO.N)	I (A)	II (V)	SP (RAD/S)	RB ()	QI (CUR/S)	HI (H)	PW (W)	PM (W)	EFF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	11.16	17.57	343.02	5.91E+04	1.14E+03	6.61	73.39	196.06	37.43	43.92	23.74
2.00	900.00	10.78	17.16	336.45	6.26E+04	1.06E+03	6.42	65.71	185.91	36.05	44.62	24.29
3.00	800.00	10.34	16.70	328.79	6.71E+04	9.77E+02	6.19	59.11	172.65	34.24	45.32	24.60
4.00	700.00	9.83	16.14	319.65	7.30E+04	8.67E+02	5.94	50.27	158.65	31.69	45.68	24.90
5.00	600.00	9.22	15.47	308.44	8.13E+04	7.17E+02	5.64	39.55	142.53	27.75	44.58	22.97
6.00	500.00	8.46	14.62	294.17	1.17E+05	6.75E+02	5.23	24.49	123.66	19.80	38.33	17.62
7.00	400.00	7.49	13.51	275.19	1.65E+05	5.28E+02	4.54	-36.77	101.28	-36.32	34.02	-34.56
8.00	300.00	6.22	11.98	248.53	2.33E+05	3.49E+02	1530.79	*****	74.57*****	*****	*****	*****
9.00	200.00	4.53	9.80	209.11	3.34E+05	-3.74E+03	-13.39	468.52	44.421099.8/3772.381083.20	*****	*****	*****

ตารางที่ 4.12

R=0.4 , KR=0.004
DIA=0.0254, FR=0.032, HS=5, LE=10

WLAB	J (N/SO.M)	I (A)	II (V)	SP (RAD/S)	RB ()	QI (CUR/S)	HI (M)	PW (W)	PM (W)	EFF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	11.16	17.57	343.02	5.91E+04	8.77E+02	6.93	59.36	196.06	30.27	35.52	19.20
2.00	900.00	10.78	17.16	336.45	6.26E+04	8.24E+02	6.70	53.88	185.91	29.12	36.04	19.62
3.00	800.00	10.34	16.70	328.79	6.71E+04	7.58E+02	6.44	47.67	172.65	27.61	36.55	19.84
4.00	700.00	9.83	16.14	319.65	7.30E+04	6.79E+02	6.14	40.46	158.65	25.50	36.77	19.64
5.00	600.00	9.22	15.47	308.44	8.13E+04	5.67E+02	5.72	31.77	142.53	22.29	35.81	18.45
6.00	500.00	8.46	14.62	294.17	1.17E+05	4.30E+02	5.36	19.93	123.66	16.12	31.20	14.34
7.00	400.00	7.49	13.51	275.19	1.65E+05	3.92E+02	4.84	4.69	101.28	4.64	12.00	4.41
8.00	300.00	6.22	11.98	248.53	2.33E+05	-1.00E+04	4.00	-3.91	74.57	-5.24	-16.47	-5.23
9.00	200.00	4.53	9.80	209.11	3.34E+05	1.69E+04	5.39	7.09	44.42	15.93	54.63	15.69

ตารางที่ 4.13

R=0.4 , KR=0.004
DIA=0.0380, FR=0.030, HS=1, LE=15

DATA#	J (W/SQ.M)	I (A)	U (V)	SP (RAD/S)	Q0 ()	Q1 (CUB/S)	H1 (M)	PW (W)	PM (W)	EFF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	11.16	17.57	343.02	5.91E+04	2.56E-03	4.07	101.68	196.06	51.86	97.81	32.89
2.00	900.00	10.73	17.16	336.45	6.24E+04	2.49E-03	3.91	95.08	185.01	51.39	97.75	34.63
3.00	800.00	10.34	16.70	328.79	6.71E+04	2.41E-03	3.73	87.77	172.65	50.84	97.68	36.52
4.00	700.00	9.83	16.14	319.65	7.30E+04	2.32E-03	3.52	79.60	158.65	50.17	97.60	38.64
5.00	600.00	9.22	15.47	308.44	8.13E+04	2.20E-03	3.27	70.35	142.53	49.36	97.53	40.85
6.00	500.00	8.46	14.62	294.17	1.17E+05	1.94E-03	2.77	52.59	123.66	42.53	94.71	37.84
7.00	400.00	7.49	13.51	275.19	1.65E+05	1.68E-03	2.33	38.29	101.23	37.83	92.77	35.99
8.00	300.00	6.22	11.98	248.53	2.33E+05	1.41E-03	1.93	26.61	74.57	35.63	93.29	35.52
9.00	200.00	4.53	9.80	209.11	3.34E+05	1.09E-03	1.56	16.53	44.42	37.22	97.68	36.66
10.00	100.00	2.39	6.62	148.17	4.89E+05	5.41E-04	1.14	6.01	15.80	38.06	87.03	33.04

ตารางที่ 4.14

R=0.4 , KR=0.004
DIA=0.0380, FR=0.030, HS=1, LE=20

DATA#	J (W/SQ.M)	I (A)	U (V)	SP (RAD/S)	Q0 ()	Q1 (CUB/S)	H1 (M)	PW (W)	PM (W)	EFF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	11.16	17.57	343.02	5.91E+04	2.36E-03	4.49	103.72	196.06	52.90	99.77	33.55
2.00	900.00	10.73	17.16	336.45	6.26E+04	2.30E-03	4.32	97.03	185.01	52.44	99.75	35.33
3.00	800.00	10.34	16.70	328.79	6.71E+04	2.23E-03	4.11	89.61	172.65	51.90	99.72	37.29
4.00	700.00	9.83	16.14	319.65	7.30E+04	2.15E-03	3.83	81.30	158.65	51.24	99.68	39.46
5.00	600.00	9.22	15.47	308.44	8.13E+04	2.04E-03	3.61	71.87	142.53	50.42	99.64	41.74
6.00	500.00	8.46	14.62	294.17	1.17E+05	1.83E-03	3.07	54.48	123.66	44.05	98.10	39.19
7.00	400.00	7.49	13.51	275.19	1.65E+05	1.59E-03	2.57	39.90	101.23	39.41	96.65	37.50
8.00	300.00	6.22	11.98	248.53	2.33E+05	1.34E-03	2.12	27.59	74.57	37.00	96.74	36.84
9.00	200.00	4.53	9.80	209.11	3.34E+05	1.03E-03	1.67	16.79	44.42	37.80	99.41	37.23
10.00	100.00	2.39	6.62	148.17	4.89E+05	5.10E-04	1.16	5.80	15.80	36.69	83.89	31.85

R=0.4 ; KR=0.004
DIA=0.0380, FR=0.030, HS=1, LE=25

ตารางที่ 4.15

DATA#	J (W/SQ.M)	I (A)	II (V)	SP (RAD/S)	RB ()	Q1 (LUB/S)	H1 (M)	PW (W)	PM (W)	EFF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	11.16	17.57	343.02	5.91E+04	2.21E-03	4.81	103.85	196.06	52.97	99.90	33.59
2.00	900.00	10.78	17.16	336.45	6.26E+04	2.15E-03	4.62	97.19	185.01	52.53	99.92	35.39
3.00	800.00	10.34	16.70	328.79	6.71E+04	2.09E-03	4.41	69.81	172.65	52.01	99.94	37.37
4.00	700.00	9.83	16.14	319.65	7.30E+04	2.01E-03	4.16	81.52	158.65	51.38	99.95	39.57
5.00	600.00	9.22	15.47	308.44	8.13E+04	1.91E-03	3.86	72.11	142.53	50.59	99.97	41.87
6.00	500.00	8.46	14.62	294.17	1.17E+05	1.73E-03	3.30	55.31	123.66	44.73	99.60	39.79
7.00	400.00	7.49	13.51	275.19	1.65E+05	1.51E-03	2.77	40.76	101.23	40.27	98.75	38.31
8.00	300.00	6.22	11.93	248.53	2.33E+05	1.27E-03	2.27	28.15	74.57	37.74	98.69	37.58
9.00	200.00	4.53	9.80	209.11	3.34E+05	9.84E-04	1.76	16.88	44.42	38.01	99.95	37.43
10.00	100.00	2.39	6.62	148.17	4.89E+05	4.84E-04	1.18	5.60	15.80	35.43	81.03	30.76

R=0.4 ; KR=0.004
DIA=0.0380, FR=0.030, HS=1, LE=30

ตารางที่ 4.16

DATA#	J (W/SQ.M)	I (A)	II (V)	SP (RAD/S)	RB ()	Q1 (LUB/S)	H1 (M)	PW (W)	PM (W)	EFF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	11.16	17.57	343.02	5.91E+04	2.08E-03	5.07	103.02	196.06	52.54	99.09	33.32
2.00	900.00	10.78	17.16	336.45	6.26E+04	2.03E-03	4.87	96.45	185.01	52.13	99.16	35.12
3.00	800.00	10.34	16.70	328.79	6.71E+04	1.97E-03	4.64	89.16	172.65	51.64	99.22	37.10
4.00	700.00	9.83	16.14	319.65	7.30E+04	1.90E-03	4.37	80.98	158.65	51.04	99.29	39.31
5.00	600.00	9.22	15.47	308.44	8.13E+04	1.81E-03	4.06	71.67	142.53	50.28	99.36	41.62
6.00	500.00	8.46	14.62	294.17	1.17E+05	1.63E-03	3.49	55.53	123.66	44.90	99.99	39.95
7.00	400.00	7.49	13.51	275.19	1.65E+05	1.44E-03	2.94	41.17	101.23	40.67	99.74	38.69
8.00	300.00	6.22	11.93	248.53	2.33E+05	1.23E-03	2.39	28.42	74.57	38.12	99.66	37.95
9.00	200.00	4.53	9.80	209.11	3.34E+05	9.42E-04	1.83	16.87	44.42	37.98	99.87	37.40
10.00	100.00	2.39	6.62	148.17	4.89E+05	4.62E-04	1.20	5.42	15.80	34.29	78.42	29.77

ตารางที่ 4.17

R=0.4 , KR=0.004
DIA=0.0380, FR=0.030, LE=2, HS=2

DATA#	J (W/SQ.M)	I (A)	U (V)	SP (RAD/S)	RB ()	Q1 (CUB/S)	H1 (M)	PW (W)	PM (W)	EFF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	11.16	17.57	343.02	5.21E+04	3.16E-03	2.63	81.08	196.06	41.35	77.99	26.22
2.00	900.00	10.78	17.16	336.45	6.25E+04	3.05E-03	2.58	76.95	185.01	41.59	79.11	28.02
3.00	800.00	10.34	16.70	328.79	6.71E+04	2.92E-03	2.53	72.82	172.65	41.88	80.48	30.09
4.00	700.00	9.83	16.14	319.65	7.30E+04	2.77E-03	2.48	67.05	158.65	42.26	82.21	32.55
5.00	600.00	9.22	15.47	308.44	8.13E+04	2.58E-03	2.42	60.94	142.53	42.75	84.48	35.39
6.00	500.00	8.46	14.62	294.17	1.17E+05	2.14E-03	2.29	47.69	123.66	38.57	85.89	34.31
7.00	400.00	7.49	13.51	275.19	1.65E+05	1.74E-03	2.19	37.13	101.23	36.67	89.94	34.89
8.00	300.00	6.22	11.98	248.53	2.33E+05	1.34E-03	2.11	27.57	74.57	36.98	96.68	36.82
9.00	200.00	4.53	9.80	209.11	3.34E+05	8.20E-04	2.04	16.35	44.42	36.81	96.79	36.25
10.00	100.00	2.39	6.62	148.17	4.89E+05	1.37E-04	1.38	1.85	15.80	11.69	26.73	10.15

ตารางที่ 4.18

R=0.4 , KR=0.004
DIA=0.0380, FR=0.030, HS=2, LE=5

DATA#	J (W/SQ.M)	I (A)	U (V)	SP (RAD/S)	RB ()	Q1 (CUB/S)	H1 (M)	PW (W)	PM (W)	EFF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	11.16	17.57	343.02	5.21E+04	2.89E-03	3.30	93.20	196.06	47.54	89.65	30.14
2.00	900.00	10.78	17.16	336.45	6.27E+04	2.79E-03	3.22	87.73	185.01	47.42	90.19	31.95
3.00	800.00	10.34	16.70	328.79	6.71E+04	2.68E-03	3.12	81.65	172.65	47.29	90.86	33.98
4.00	700.00	9.83	16.14	319.65	7.30E+04	2.54E-03	3.01	74.81	158.65	47.16	91.73	36.32
5.00	600.00	9.22	15.47	308.44	8.13E+04	2.38E-03	2.88	67.01	142.53	47.01	92.90	38.91
6.00	500.00	8.46	14.62	294.17	1.17E+05	2.00E-03	2.63	51.36	123.66	41.53	92.49	36.95
7.00	400.00	7.49	13.51	275.19	1.65E+05	1.65E-03	2.42	38.98	101.23	38.50	94.42	36.63
8.00	300.00	6.22	11.98	248.53	2.33E+05	1.28E-03	2.25	28.11	74.57	37.70	98.58	37.54
9.00	200.00	4.53	9.80	209.11	3.34E+05	7.85E-04	2.10	16.08	44.42	36.21	95.21	35.66
10.00	100.00	2.39	6.62	148.17	4.89E+05	1.40E-03	0.06	0.80	15.80	-5.55	-12.68	-4.82

R=0.4 ; FR=0.004
DIA=0.0330; FR=0.030; HS=2; LE=7

ตารางที่ 4.19

DATA#	J (W/SQ.M)	I (A)	U (V)	SP (RAD/S)	RB ()	Q1 (CUB/S)	H1 (M)	PW (W)	PM (W)	EFF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	11.16	17.57	343.02	5.91E+04	2.74E-03	3.65	97.72	196.06	49.84	94.00	31.61
2.00	900.00	10.78	17.16	336.45	6.26E+04	2.65E-03	3.54	91.76	185.01	49.60	94.34	33.42
3.00	800.00	10.34	16.70	328.79	6.71E+04	2.55E-03	3.42	85.15	172.65	49.32	94.76	35.44
4.00	700.00	9.83	16.14	319.65	7.30E+04	2.42E-03	3.29	77.73	158.65	49.00	95.31	37.73
5.00	600.00	9.22	15.47	308.44	8.13E+04	2.27E-03	3.13	69.29	142.53	48.61	96.06	40.24
6.00	500.00	8.46	14.62	294.17	1.17E+05	1.93E-03	2.81	52.91	123.66	42.78	95.28	38.06
7.00	400.00	7.49	13.51	275.19	1.65E+05	1.59E-03	2.56	39.80	101.23	39.31	96.41	37.40
8.00	300.00	6.22	11.98	248.53	2.33E+05	1.24E-03	2.34	28.33	74.57	37.99	99.32	37.82
9.00	200.00	4.53	9.80	209.11	3.34E+05	7.65E-04	2.13	15.90	44.42	35.80	94.14	35.25
10.00	100.00	2.39	6.62	148.17	4.89E+05	-6.87E-05	1.42	-0.95	15.80	-6.04	-13.81	-5.24

R=0.4 ; FR=0.004
DIA=0.0330; FR=0.030; HS=2; LE=10

ตารางที่ 4.20

DATA#	J (W/SQ.M)	I (A)	U (V)	SP (RAD/S)	RB ()	Q1 (CUB/S)	H1 (M)	PW (W)	PM (W)	EFF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	11.16	17.57	343.02	5.91E+04	2.56E-03	4.06	101.59	196.06	51.81	97.72	32.85
2.00	900.00	10.78	17.16	336.45	6.26E+04	2.48E-03	3.93	95.20	185.01	51.46	97.88	34.67
3.00	800.00	10.34	16.70	328.79	6.71E+04	2.39E-03	3.78	88.13	172.65	51.05	98.08	36.68
4.00	700.00	9.83	16.14	319.65	7.30E+04	2.27E-03	3.61	80.20	158.65	50.55	98.33	38.93
5.00	600.00	9.22	15.47	308.44	8.13E+04	2.13E-03	3.42	71.19	142.53	49.94	98.69	41.34
6.00	500.00	8.46	14.62	294.17	1.17E+05	1.83E-03	3.05	54.36	123.66	43.96	97.90	39.11
7.00	400.00	7.49	13.51	275.19	1.65E+05	1.52E-03	2.73	40.60	101.23	40.10	98.35	38.16
8.00	300.00	6.22	11.98	248.53	2.33E+05	1.19E-03	2.45	28.49	74.57	38.20	99.89	38.04
9.00	200.00	4.53	9.80	209.11	3.34E+05	7.37E-04	2.17	15.62	44.42	35.18	92.51	34.64
10.00	100.00	2.39	6.62	148.17	4.89E+05	-1.72E-03	-0.75	12.63	15.80	79.95	182.83	69.41

ตารางที่ 4.21

R=0.4 , KR=0.004
DIA=0.0380, FR=0.030, HS=2, LE=15

DATA#	J (W/SQ.M)	I (A)	U (V)	SP (RAD/S)	RB ()	Q1 (CUR/S)	H1 (M)	PW (W)	PM (W)	EFF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	11.16	17.57	343.02	5.91E+04	2.33E-03	4.56	103.85	196.06	52.97	99.89	33.59
2.00	900.00	10.78	17.16	336.45	6.26E+04	2.26E-03	4.40	97.19	185.01	52.53	99.92	35.39
3.00	800.00	10.34	16.70	328.79	6.71E+04	2.18E-03	4.22	89.81	172.65	52.02	99.94	37.37
4.00	700.00	9.83	16.14	319.65	7.30E+04	2.09E-03	4.02	81.53	158.65	51.39	99.97	39.58
5.00	600.00	9.22	15.47	308.44	8.13E+04	1.95E-03	3.79	72.12	142.53	50.60	99.99	41.88
6.00	500.00	8.46	14.62	294.17	1.17E+05	1.69E-03	3.35	55.40	123.66	44.80	99.77	39.86
7.00	400.00	7.49	13.51	275.19	1.65E+05	1.43E-03	2.96	41.20	101.23	40.70	99.81	38.72
8.00	300.00	6.22	11.93	243.53	2.33E+05	1.12E-03	2.59	28.48	74.57	38.20	99.87	38.03
9.00	200.00	4.53	9.80	209.11	3.34E+05	6.97E-04	2.23	15.18	44.42	34.17	89.85	33.65
10.00	100.00	2.39	6.62	148.17	4.89E+05	1.50E-03	107.59	*****	15.80*****			

ตารางที่ 4.22

R=0.4 , KR=0.004
DIA=0.0380, FR=0.030, HS=2, LE=20

DATA#	J (W/SQ.M)	I (A)	U (V)	SP (RAD/S)	RB ()	Q1 (CUR/S)	H1 (M)	PW (W)	PM (W)	EFF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	11.16	17.57	343.02	5.91E+04	2.16E-03	4.92	103.62	196.06	52.85	99.88	33.51
2.00	900.00	10.78	17.16	336.45	6.26E+04	2.09E-03	4.74	96.93	185.01	52.39	99.65	35.30
3.00	800.00	10.34	16.70	328.79	6.71E+04	2.02E-03	4.54	89.51	172.65	51.84	99.61	37.25
4.00	700.00	9.83	16.14	319.65	7.30E+04	1.92E-03	4.32	81.18	158.65	51.17	99.53	39.41
5.00	600.00	9.22	15.47	308.44	8.13E+04	1.81E-03	4.05	71.70	142.53	50.31	99.41	41.64
6.00	500.00	8.46	14.62	294.17	1.17E+05	1.59E-03	3.58	55.48	123.66	44.86	99.91	39.91
7.00	400.00	7.49	13.51	275.19	1.65E+05	1.35E-03	3.14	41.26	101.23	40.76	99.95	38.78
8.00	300.00	6.22	11.93	243.53	2.33E+05	1.07E-03	2.71	28.27	74.57	37.91	99.13	37.74
9.00	200.00	4.53	9.80	209.11	3.34E+05	6.63E-04	2.28	14.75	44.42	33.20	87.31	32.70
10.00	100.00	2.39	6.62	148.17	4.89E+05	4.69E-03	21.11	966.54	15.806116.99*****			5310.68

ตารางที่ 4.23

R=0.4 , FR=0.004
DIA=0.0380, FR=0.030, HS=2, TE=25

DATA#	J (W/SQ.M)	I (A)	U (V)	SP (RAD/S)	RB ()	U1 (CUB/S)	H1 (M)	PW (W)	PM (W)	EFF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	11.16	17.57	343.02	5.91E+04	2.02E-03	5.19	102.30	196.06	52.18	98.40	33.09
2.00	900.00	10.78	17.16	336.45	6.26E+04	1.96E-03	5.00	95.68	185.01	51.72	98.36	34.84
3.00	800.00	10.34	16.70	328.79	6.71E+04	1.89E-03	4.79	88.33	172.65	51.16	98.29	36.76
4.00	700.00	9.83	16.14	319.65	7.30E+04	1.80E-03	4.54	80.07	158.65	50.47	98.17	38.87
5.00	600.00	9.22	15.47	308.44	8.13E+04	1.70E-03	4.26	70.67	142.53	49.53	97.98	41.04
6.00	500.00	8.46	14.62	294.17	1.17E+05	1.50E-03	3.76	55.06	123.66	44.53	99.16	39.61
7.00	400.00	7.49	13.51	275.19	1.65E+05	1.28E-03	3.28	41.02	101.23	40.52	99.36	38.55
8.00	300.00	6.22	11.98	248.53	2.33E+05	1.02E-03	2.81	27.95	74.57	37.43	97.99	37.31
9.00	200.00	4.53	9.80	209.11	3.34E+05	6.34E-04	2.31	14.34	44.42	32.29	84.92	31.80
10.00	100.00	2.39	6.62	148.17	4.87E+05	-2.45E-04	1.41	-3.38	15.80	-21.37	-48.87	-18.55



ตารางที่ 4.24

R=0.4 , KR=0.004
DIA=0.0380, FR=0.030, HS=3, LE=3

DATA#	J (W/SQ.M)	I (A)	U (V)	SP (RAD/S)	RB ()	Q1 (CUB/S)	H1 (M)	PW (W)	PM (W)	EFF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	11.16	17.57	343.02	5.91E+04	2.72E-03	3.70	98.27	196.06	50.12	94.52	31.78
2.00	900.00	10.78	17.16	336.45	6.26E+04	2.61E-03	3.64	92.73	185.01	50.15	95.39	33.79
3.00	800.00	10.34	16.70	328.79	6.71E+04	2.48E-03	3.58	86.61	172.65	50.16	96.38	36.04
4.00	700.00	9.83	16.14	319.63	7.30E+04	2.32E-03	3.51	79.52	158.65	50.12	97.50	38.70
5.00	600.00	9.22	15.47	308.44	8.13E+04	2.13E-03	3.43	71.21	142.53	49.96	98.72	41.35
6.00	500.00	8.46	14.62	294.17	1.17E+05	1.72E-03	3.38	55.26	123.66	44.68	99.51	39.75
7.00	400.00	7.49	13.51	275.19	1.65E+05	1.33E-03	3.17	41.23	101.23	40.73	99.88	38.75
8.00	300.00	6.22	11.93	248.53	2.33E+05	8.77E-04	3.07	26.32	74.57	35.30	92.29	35.14
9.00	200.00	4.53	9.30	209.11	3.34E+05	7.48E-05	2.83	-2.07	44.42	-4.66	-12.24	-4.58
10.00	100.00	2.39	6.62	148.17	4.89E+05	1.04E-02	13.19	1341.76	15.303491.63*****7372.31			

ตารางที่ 4.25

R=0.4 , KR=0.004
DIA=0.0380, FR=0.030, HS=3, LE=5

DATA#	J (W/SQ.M)	I (A)	U (V)	SP (RAD/S)	RB ()	Q1 (CUB/S)	H1 (M)	PW (W)	PM (W)	EFF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	11.16	17.57	343.02	5.91E+04	2.72E-03	4.04	101.43	196.06	51.74	97.57	32.80
2.00	900.00	10.78	17.16	336.45	6.26E+04	2.47E-03	3.95	95.39	185.01	51.56	98.06	34.74
3.00	800.00	10.34	16.70	328.79	6.71E+04	2.35E-03	3.86	88.61	172.65	51.37	98.61	36.88
4.00	700.00	9.83	16.14	319.63	7.30E+04	2.20E-03	3.76	80.90	158.65	50.99	99.19	39.27
5.00	600.00	9.22	15.47	308.44	8.13E+04	2.02E-03	3.64	71.95	142.53	50.48	99.75	41.78
6.00	500.00	8.46	14.62	294.17	1.17E+05	1.66E-03	3.43	55.80	123.66	44.38	99.95	39.93
7.00	400.00	7.49	13.51	275.19	1.65E+05	1.29E-03	3.26	41.07	101.23	40.57	99.49	38.60
8.00	300.00	6.22	11.93	248.53	2.33E+05	8.53E-04	3.11	25.95	74.57	34.80	90.98	34.64
9.00	200.00	4.53	9.30	209.11	3.34E+05	1.63E-04	2.75	4.40	44.42	9.91	26.05	9.76
10.00	100.00	2.39	6.62	148.17	4.89E+05	1.13E-02	27.55	2462.17	15.303*****			

R=0.4, FR=0.004
 HIA=0.0390, ER=0.030, HS=3, LE=7

ตารางที่ 4.26

DATA#	J (W/SQ.M)	I (A)	h (V)	SP (RAD/S)	RB ()	RI (CUB/S)	HI (M)	PW (W)	PH (W)	EFF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	11.16	17.57	343.02	5.91E+04	2.45E+03	4.31	103.10	196.06	52.19	99.17	33.34
2.00	500.00	10.73	17.16	336.45	6.26E+04	2.35E+03	4.21	96.71	185.01	52.27	99.42	35.22
3.00	300.00	10.34	16.70	328.79	6.71E+04	2.24E+03	4.10	89.57	172.65	51.38	99.67	37.27
4.00	200.00	9.83	16.14	319.65	7.30E+04	2.10E+03	3.97	81.47	158.65	51.35	99.89	39.55
5.00	100.00	9.22	15.47	308.44	8.13E+04	1.93E+03	3.82	72.13	142.53	50.60	99.99	41.88
6.00	500.00	8.46	14.62	294.17	1.17E+05	1.60E+03	3.56	55.50	123.66	44.38	99.94	39.93
7.00	400.00	7.49	13.51	275.19	1.65E+05	1.25E+03	3.34	40.83	101.23	40.33	98.91	38.37
8.00	300.00	6.22	11.98	248.53	2.33E+05	8.31E+02	3.15	25.53	74.57	34.31	89.70	34.16
9.00	200.00	4.53	9.39	209.11	3.34E+05	1.54E+02	56.14	8542.38	44.42	*****	*****	*****
10.00	100.00	2.39	6.62	148.17	4.82E+05	1.19E+02	34.26	3997.13	15.80	*****	*****	*****

R=0.4, FR=0.004
 HIA=0.0390, ER=0.030, HS=3, LE=10

ตารางที่ 4.27

DATA#	J (W/SQ.M)	I (A)	h (V)	SP (RAD/S)	RB ()	RI (CUB/S)	HI (M)	PW (W)	PH (W)	EFF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	11.16	17.57	343.02	5.91E+04	2.24E+03	4.64	103.94	196.06	53.02	99.98	33.62
2.00	500.00	10.73	17.16	336.45	6.26E+04	2.20E+03	4.52	97.27	185.01	52.33	100.00	35.42
3.00	300.00	10.34	16.70	328.79	6.71E+04	2.10E+03	4.38	89.83	172.65	52.03	99.97	37.28
4.00	200.00	9.83	16.14	319.65	7.30E+04	1.94E+03	4.22	81.43	158.65	51.32	99.84	39.53
5.00	100.00	9.22	15.47	308.44	8.13E+04	1.82E+03	4.04	71.76	142.53	50.34	99.48	41.67
6.00	500.00	8.46	14.62	294.17	1.17E+05	1.53E+03	3.72	55.19	123.66	44.63	99.38	39.70
7.00	400.00	7.49	13.51	275.19	1.65E+05	1.20E+03	3.45	40.38	101.23	39.89	97.82	37.95
8.00	300.00	6.22	11.98	248.53	2.33E+05	8.01E+02	3.20	25.05	74.57	33.59	87.83	33.44
9.00	200.00	4.53	9.39	209.11	3.34E+05	7.03E+02	2.49	-17.07	44.42	-38.42	-101.05	-37.84
10.00	100.00	2.39	6.62	148.17	4.82E+05	4.35E+02	140.04	*****	15.80	*****	*****	*****

ตารางที่ 4.28

R=0.4 , KR=0.004
DIA=0.0380, FR=0.030, IS=3, LE=13

DATA#	J (W/SQ.M)	I (A)	U (V)	SP (RAD/S)	RB ()	U1 (CUB/S)	H1 (H)	PW (W)	PM (W)	EFF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	11.16	17.57	343.02	5.91E+04	2.09E-03	5.05	103.10	196.06	52.59	99.17	33.34
2.00	900.00	10.78	17.16	336.45	6.26E+04	2.01E-03	4.90	96.28	185.01	52.04	98.99	35.06
3.00	800.00	10.34	16.70	328.79	6.71E+04	1.92E-03	4.73	88.69	172.65	51.37	98.70	36.91
4.00	700.00	9.83	16.14	319.65	7.30E+04	1.81E-03	4.54	80.13	158.65	50.51	98.25	38.90
5.00	600.00	9.22	15.47	308.44	8.13E+04	1.67E-03	4.31	70.31	142.53	49.33	97.48	40.83
6.00	500.00	8.46	14.62	294.17	1.17E+05	1.41E-03	3.93	54.22	124.66	43.85	97.65	39.01
7.00	400.00	7.49	13.51	275.19	1.65E+05	1.12E-03	3.59	39.50	101.23	39.02	95.68	37.12
8.00	300.00	6.22	11.98	248.53	2.48E+05	7.53E-04	3.27	24.21	74.57	32.47	84.90	32.33
9.00	200.00	4.53	9.80	209.11	3.34E+05	1.89E-02	169.94	*****	44.42*****			
10.00	100.00	2.39	6.62	148.17	4.89E+05	-6.07E-03	-40.59	2405.68	15.80*****			

R=0.4 ; ER=0.004
 DIA=0.0330, FR=0.030, HS=0, LE= 5

ตารางที่ 4.29

DATA#	J (W/SQ.M)	I (A)	U (V)	SP (RAD/S)	RB ()	Q1 (CUB/S)	H1 (M)	PW (W)	PM (W)	EFF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	11.16	17.57	343.02	5.91E+04	1.84E-03	5.53	99.10	196.06	50.55	95.33	32.05
2.00	900.00	10.78	17.16	336.45	6.26E+04	1.71E-03	5.46	90.97	185.01	49.17	93.52	33.13
3.00	800.00	10.34	16.70	328.79	6.71E+04	1.55E-03	5.38	81.53	172.65	47.22	90.73	33.93
4.00	700.00	9.83	16.14	319.65	7.30E+04	1.36E-03	5.29	70.22	158.65	44.26	86.10	34.09
5.00	600.00	9.22	15.47	308.44	8.13E+04	1.10E-03	5.19	55.98	142.53	39.27	77.60	32.51
6.00	500.00	8.46	14.62	294.17	1.17E+05	6.78E-04	5.07	33.59	123.66	27.17	60.50	24.17
7.00	400.00	7.49	13.51	275.19	1.65E+05	-2.79E-03	-1.63	44.55	101.23	44.01	107.92	41.87
8.00	300.00	6.22	11.98	243.53	2.33E+05	1.76E-02	53.54	9212.02	74.57*****			
9.00	200.00	4.53	9.80	209.11	3.34E+05	2.98E-03	-4.21	-122.68	44.42-276.20-726.33-272.01			
10.00	100.00	2.39	6.62	148.17	4.52E+05	1.14E-02	25.22	2300.07	15.80*****			

R=0.4 ; ER=0.004
 DIA=0.0330, FR=0.030, HS=0, LE= 7

ตารางที่ 4.30

DATA#	J (W/SQ.M)	I (A)	U (V)	SP (RAD/S)	RB ()	Q1 (CUB/S)	H1 (M)	PW (W)	PM (W)	EFF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	11.16	17.57	343.02	5.91E+04	1.79E-03	5.67	99.14	196.06	49.55	93.44	31.42
2.00	900.00	10.78	17.16	336.45	6.26E+04	1.63E-03	5.58	89.00	185.01	48.10	91.49	32.41
3.00	800.00	10.34	16.70	328.79	6.71E+04	1.49E-03	5.48	79.59	172.65	46.10	88.57	33.42
4.00	700.00	9.83	16.14	319.65	7.30E+04	1.30E-03	5.37	68.40	158.65	43.11	83.86	33.20
5.00	600.00	9.22	15.47	308.44	8.13E+04	1.06E-03	5.25	54.40	142.53	38.16	75.42	31.59
6.00	500.00	8.46	14.62	294.17	1.17E+05	6.98E-04	5.09	32.74	123.66	26.43	58.97	23.56
7.00	400.00	7.49	13.51	275.19	1.65E+05	-4.89E-04	4.83	-32.87	101.23	-22.59	-55.41	-21.10
8.00	300.00	6.22	11.98	243.53	2.33E+05	1.86E-02	50.74	*****	74.57*****			
9.00	200.00	4.53	9.80	209.11	3.34E+05	1.97E-02	58.87	9018.72	44.42*****			
10.00	100.00	2.39	6.62	148.17	4.52E+05	1.21E-02	37.14	4374.55	15.80*****			

ตารางที่ 4.31

R=0.4 KR=0.004
DIA=0.0330, FR=0.030, HS=5, LE=10

DATA#	J (W/SQ.M)	I (A)	U (V)	SP (RAD/S)	RB ()	Q1 (CUB/S)	H1 (M)	PW (W)	PM (W)	EFF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	11.16	17.57	343.02	5.91E+04	1.65E-03	5.85	94.23	196.06	48.06	90.64	30.47
2.00	900.00	10.78	17.16	336.45	6.26E+04	1.54E-03	5.74	86.15	185.01	46.57	88.57	31.37
3.00	800.00	10.34	16.70	328.79	6.71E+04	1.40E-03	5.61	76.87	172.65	44.52	85.55	31.99
4.00	700.00	9.83	16.14	319.65	7.30E+04	1.23E-03	5.48	65.89	158.65	41.53	80.79	31.99
5.00	600.00	9.22	15.47	308.44	8.13E+04	1.01E-03	5.32	52.27	142.53	36.67	72.46	30.35
6.00	500.00	8.46	14.62	294.17	1.17E+05	6.31E-04	5.12	31.59	123.66	25.55	56.89	22.73
7.00	400.00	7.49	13.51	275.19	1.65E+05	2.74E-05	4.87	1.30	101.23	1.29	3.16	1.22
8.00	300.00	6.22	11.93	243.53	2.39E+05	2.01E-02	131.05	*****	74.57*****			
9.00	200.00	4.53	9.80	209.11	3.34E+05	7.24E-04	2.46	-17.39	44.42	-39.16	-102.97	-38.56
10.00	100.00	2.39	6.62	148.17	4.89E+05	1.34E-04	1.38	1.80	15.80	11.40	26.08	9.90



R=0.2 , KR=0.003
DIA=0.0254, FR=0.032, HS=2, LE=2

ตารางที่ 4.32

DATA#	I (W/SQ.M)	J (A)	U (V)	SP (RAD/S)	RB ()	Q1 (CUB/S)	H1 (M)	PW (W)	FM (W)	EFF (%)	LW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	19.54	15.19	393.86	3.90E+04	2.84E-03	6.03	167.03	296.78	56.23	99.95	54.07
2.00	900.00	18.43	14.61	381.27	4.30E+04	2.70E-03	5.66	149.41	269.23	55.50	99.95	54.41
3.00	800.00	17.16	13.93	366.43	4.85E+04	2.55E-03	5.24	130.38	239.01	54.55	99.96	54.76
4.00	700.00	15.69	13.13	348.76	5.62E+04	2.36E-03	4.73	110.03	206.06	53.40	99.98	53.41
5.00	600.00	14.01	12.19	327.56	6.78E+04	2.13E-03	4.27	88.71	170.72	51.96	100.00	51.96
6.00	500.00	12.09	11.07	302.07	9.67E+04	1.80E-03	3.63	63.83	133.89	47.71	99.98	45.96
7.00	400.00	9.95	9.77	271.46	1.75E+05	1.36E-03	2.93	39.09	97.17	40.73	99.95	36.74
8.00	300.00	7.61	8.25	234.63	2.69E+05	9.69E-04	2.47	23.34	62.79	37.24	98.52	31.21
9.00	200.00	5.14	6.46	189.77	3.83E+05	4.16E-04	2.09	8.48	33.20	25.55	65.51	18.81
10.00	100.00	2.57	4.27	131.22	5.32E+05	-1.12E-03	0.41	4.55	10.98	-41.45	-88.34	-25.00

R=0.2 , KR=0.003
DIA=0.0254, FR=0.032, HS=2, LE=5

ตารางที่ 4.33

DATA#	I (W/SQ.M)	J (A)	U (V)	SP (RAD/S)	RB ()	Q1 (CUB/S)	H1 (M)	PW (W)	FM (W)	EFF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	19.54	15.19	393.86	3.90E+04	2.10E-03	7.53	154.65	296.78	52.11	92.54	50.07
2.00	900.00	18.43	14.61	381.27	4.30E+04	2.01E-03	7.05	138.50	269.23	51.44	92.65	50.44
3.00	800.00	17.16	13.93	366.43	4.85E+04	1.90E-03	6.52	120.96	239.01	50.61	92.74	50.34
4.00	700.00	15.69	13.13	348.76	5.62E+04	1.77E-03	5.91	102.03	206.06	49.54	92.76	49.55
5.00	600.00	14.01	12.19	327.56	6.78E+04	1.61E-03	5.23	82.13	170.72	48.12	92.61	47.71
6.00	500.00	12.09	11.07	302.07	9.67E+04	1.39E-03	4.41	59.88	133.89	44.72	93.72	43.08
7.00	400.00	9.95	9.77	271.46	1.75E+05	1.09E-03	3.50	37.42	97.17	38.51	95.69	35.17
8.00	300.00	7.61	8.25	234.63	2.69E+05	7.92E-04	2.73	21.53	62.79	34.29	90.74	28.75
9.00	200.00	5.14	6.46	189.77	3.83E+05	3.47E-04	2.15	7.21	33.20	21.73	55.71	16.00
10.00	100.00	2.57	4.27	131.22	5.32E+05	-1.31E-02	-268.63	#####	10.98#####	#####	#####	#####

ตารางที่ 4.34

R=0.2 , FR=0.003
 HIA=0.0254, FR=0.032, HS=2, LF=7

DATA#	J (W/SU.M)	I (A)	II (V)	SP (RAD/S)	RB ()	RI (CUR/S)	HI (M)	PW (W)	PM (W)	LEF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	19.54	15.19	393.86	3.96E+04	1.85E-03	7.98	144.07	296.78	48.54	86.21	46.59
2.00	900.00	18.43	14.61	331.27	4.30E+04	1.77E-03	7.48	129.13	269.23	47.96	86.38	47.02
3.00	800.00	17.16	13.93	366.43	4.85E+04	1.67E-03	6.90	112.87	239.01	47.22	86.53	46.97
4.00	700.00	15.69	13.13	343.76	5.63E+04	1.56E-03	6.26	95.33	206.06	46.26	86.62	46.28
5.00	600.00	14.01	12.19	327.56	6.73E+04	1.42E-03	5.53	76.76	170.72	44.97	86.53	44.58
6.00	500.00	12.09	11.07	302.07	9.67E+04	1.23E-03	4.67	56.30	133.09	42.05	88.12	40.50
7.00	400.00	9.95	9.77	271.46	1.75E+05	9.86E-04	3.70	35.64	97.17	36.68	91.13	33.50
8.00	300.00	7.61	8.25	234.68	2.69E+05	7.17E-04	2.90	20.33	62.79	32.38	85.68	27.14
9.00	200.00	5.14	6.46	189.77	3.83E+05	3.13E-04	2.17	6.64	33.20	19.99	51.26	14.72
10.00	100.00	2.57	4.27	131.22	5.32E+05	1.17E-03	0.26	2.93	10.98	26.73	56.97	16.12

R=0.2 , FR=0.003
DIA=0.0254, FR=0.032, HS=3, LE=3

ตารางที่ 4.35

DATA#	J (W/SQ.M)	I (A)	U (V)	SP (RAD/S)	RB ()	Q1 (CUR/S)	H1 (M)	PW (W)	PM (W)	EFF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	19.54	15.19	393.86	3.90E+04	2.38E-03	7.09	161.59	296.78	54.45	96.69	52.26
2.00	900.00	18.43	14.61	381.27	4.30E+04	2.21E-03	6.67	144.25	269.23	53.58	96.49	52.53
3.00	800.00	17.16	13.93	366.43	4.85E+04	2.07E-03	6.21	125.43	239.01	52.48	96.17	52.80
4.00	700.00	15.69	13.13	348.76	5.62E+04	1.89E-03	5.69	105.19	206.06	51.05	95.58	51.06
5.00	600.00	14.01	12.19	327.56	6.78E+04	1.68E-03	5.11	89.78	170.72	49.08	94.45	48.66
6.00	500.00	12.09	11.07	302.07	9.67E+04	1.38E-03	4.43	59.69	133.89	44.58	93.43	42.94
7.00	400.00	9.95	9.77	271.46	1.75E+05	9.77E-04	3.72	35.48	97.17	36.51	90.71	33.54
8.00	300.00	7.61	8.25	234.68	2.69E+05	5.02E-04	3.19	15.65	67.79	24.92	65.94	20.89
9.00	200.00	5.14	6.46	189.77	3.83E+05	5.50E-04	2.15	-11.55	33.20	-34.79	-89.19	-25.61
10.00	100.00	2.57	4.27	131.22	5.33E+05	3.42E-03	-8.33	278.13	10.98	534.04	5400.53	1578.17

R=0.2 , FR=0.003
DIA=0.0254, FR=0.032, HS=3, LE=7

ตารางที่ 4.36

DATA#	J (W/SQ.M)	I (A)	U (V)	SP (RAD/S)	RB ()	Q1 (CUR/S)	H1 (M)	PW (W)	PM (W)	EFF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	19.54	15.19	393.86	3.90E+04	1.72E-03	8.19	137.74	296.78	46.41	82.42	44.55
2.00	900.00	18.43	14.61	381.27	4.30E+04	1.64E-03	7.69	122.94	269.23	45.66	82.24	44.77
3.00	800.00	17.16	13.93	366.43	4.85E+04	1.53E-03	7.13	106.83	239.01	44.70	81.90	44.46
4.00	700.00	15.69	13.13	348.76	5.62E+04	1.41E-03	6.49	89.42	206.06	43.40	81.26	43.41
5.00	600.00	14.01	12.19	327.56	6.78E+04	1.26E-03	5.77	70.96	170.72	41.56	79.99	41.21
6.00	500.00	12.09	11.07	302.07	9.67E+04	1.05E-03	4.94	50.83	133.89	37.96	79.55	37.57
7.00	400.00	9.95	9.77	271.46	1.75E+05	7.74E-04	4.05	30.59	97.17	31.48	78.22	28.75
8.00	300.00	7.61	8.25	234.68	2.69E+05	4.03E-04	3.22	13.11	67.79	20.88	55.25	17.50
9.00	200.00	5.14	6.46	189.77	3.83E+05	5.14E-04	2.18	-10.94	33.20	32.93	-84.47	-24.26
10.00	100.00	2.57	4.27	131.22	5.33E+05	3.11E-02	1697.05	*****	10.98	*****	*****	*****

ตารางที่ 4.37

Reo.2 , Rf=0.003
 HfA=0.0254, Ff=0.032, HS=3, LL=10

DATA#	Q (W/SQ.FT)	I (A)	U (V)	SP (RAD/S)	RB ()	Q1 (CUB/S)	H1 (ft)	PW (W)	PM (W)	EFF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	19.54	15.19	393.86	3.90E+04	1.49E-03	3.55	124.40	296.78	41.92	74.44	40.23
2.00	900.00	18.43	14.61	331.27	4.30E+04	1.42E-03	3.02	111.06	269.23	41.25	74.30	40.45
3.00	800.00	17.16	13.93	366.43	4.85E+04	1.33E-03	2.43	96.52	239.01	40.39	74.00	40.17
4.00	700.00	15.69	13.13	343.76	5.63E+04	1.22E-03	2.75	80.80	206.06	39.21	73.42	39.22
5.00	600.00	14.01	12.19	327.56	6.78E+04	1.09E-03	3.09	64.08	170.72	37.54	72.24	37.22
6.00	500.00	12.09	11.07	302.07	9.67E+04	9.21E-04	3.12	46.06	133.89	34.40	72.09	33.13
7.00	400.00	9.95	9.77	271.46	1.75E+05	6.85E-04	4.17	27.93	92.17	28.74	71.42	26.25
8.00	300.00	7.61	8.25	234.68	2.69E+05	3.65E-04	3.33	11.87	62.79	18.90	50.02	15.85
9.00	200.00	5.14	6.46	189.77	3.83E+05	-2.44E-04	2.32	-5.53	33.20	16.65	-42.68	-12.26
10.00	100.00	2.57	4.27	131.22	5.53E+05	-4.29E-04	1.06	-4.42	10.98	-40.29	-85.87	-24.30

R=0.2, ER=0.003
 DIA=0.0254, FR=0.032, HS=5, LE=5

ตารางที่ 4.38

DATA#	J (W/SQ.M)	I (A)	H (V)	SP (RAD/S)	RB ()	Q1 (CUB/S)	H1 (M)	PW (W)	PM (W)	EFF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	19.54	15.19	393.86	3.90E+04	1.63E-03	8.33	132.87	296.78	44.77	79.50	42.97
2.00	900.00	18.43	14.61	391.27	4.30E+04	1.52E-03	7.88	116.63	269.23	43.34	78.05	42.49
3.00	800.00	17.16	13.93	366.43	4.85E+04	1.37E-03	7.36	98.90	239.01	41.38	75.82	41.16
4.00	700.00	15.69	13.13	348.76	5.63E+04	1.20E-03	6.79	79.38	206.06	38.52	72.13	38.54
5.00	600.00	14.01	12.19	327.56	6.78E+04	9.63E-04	6.16	57.91	170.72	33.92	65.28	33.63
6.00	500.00	12.09	11.07	302.07	9.67E+04	6.14E-04	5.47	32.81	133.89	24.51	51.35	23.60
7.00	400.00	9.95	9.77	271.46	1.75E+05	-1.44E-02	-314.40	*****	97.17*****			
8.00	300.00	7.61	8.25	234.68	2.69E+05	3.25E-02	1325.91	*****	62.79*****			
9.00	200.00	5.14	6.46	189.77	3.83E+05	2.63E-04	2.21	5.66	33.20	17.05	43.71	12.55
10.00	100.00	2.57	4.27	131.22	5.32E+05	-2.08E-03	-1.83	37.29	10.98	339.80	724.17	204.92

R=0.2, KR=0.003
 DIA=0.0254, FR=0.032, HS=5, LE=10

ตารางที่ 4.39

DATA#	J (W/SQ.M)	I (A)	H (V)	SP (RAD/S)	RB ()	Q1 (CUB/S)	H1 (M)	PW (W)	PM (W)	EFF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	19.54	15.19	393.86	3.90E+04	1.25E-03	8.89	108.28	296.78	36.48	64.79	35.62
2.00	900.00	18.43	14.61	391.27	4.30E+04	1.16E-03	8.37	94.95	269.23	35.27	63.52	34.58
3.00	800.00	17.16	13.93	366.43	4.85E+04	1.06E-03	7.79	80.32	239.01	33.61	61.58	33.42
4.00	700.00	15.69	13.13	348.76	5.63E+04	9.23E-04	7.13	64.27	206.06	31.19	58.40	31.20
5.00	600.00	14.01	12.19	327.56	6.78E+04	7.47E-04	6.40	46.68	170.72	27.35	52.63	27.11
6.00	500.00	12.09	11.07	302.07	9.67E+04	4.86E-04	5.59	26.51	133.89	19.00	41.50	19.07
7.00	400.00	9.95	9.77	271.46	1.75E+05	1.33E-09	4.69	6.10	97.17	6.28	15.60	5.74
8.00	300.00	7.61	8.25	234.68	2.69E+05	4.35E-09	3.31	-16.29	62.79	-25.94	-68.63	-21.74
9.00	200.00	5.14	6.46	189.77	3.83E+05	6.11E-04	3632.96	4.31E+03	33.20*****			
10.00	100.00	2.57	4.27	131.22	5.32E+05	4.10E-02	9.19.10	8.48E+03	10.98*****			

R=0.2 , KR=0.003
 DIA=0.0380, FR=0.030, HS=2, LE=2

ตารางที่ 4.40

DATA#	J (W/SQ.M)	I (A)	H (V)	SP (RAD/VS)	RB ()	Q1 (CUH/VS)	H1 (M)	FW (W)	FM (W)	EFF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	19.54	15.19	393.86	3.90E+04	4.03E-03	3.02	118.99	296.78	40.09	71.20	38.48
2.00	900.00	18.43	14.61	381.27	4.30E+04	3.82E-03	2.91	108.53	269.23	40.31	72.60	39.52
3.00	800.00	17.16	13.93	366.43	4.85E+04	3.56E-03	2.79	97.15	239.01	40.65	74.49	40.43
4.00	700.00	15.69	13.13	349.76	5.62E+04	3.26E-03	2.66	84.82	206.06	41.16	77.07	41.17
5.00	600.00	14.01	12.19	327.56	6.78E+04	2.90E-03	2.53	71.59	170.72	41.93	80.70	41.57
6.00	500.00	12.09	11.07	302.07	9.67E+04	2.36E-03	2.35	54.23	133.89	40.50	84.88	39.01
7.00	400.00	9.95	9.77	271.46	1.75E+05	1.67E-03	2.13	35.54	97.17	36.58	90.88	33.41
8.00	300.00	7.61	8.25	234.63	2.69E+05	1.16E-03	2.03	23.56	62.79	37.53	99.29	31.46
9.00	200.00	5.14	6.46	189.77	3.83E+05	4.91E-04	2.02	9.66	33.20	29.09	74.57	21.41
0.00	100.00	2.57	4.27	131.22	5.32E+05	9.01E-03	7.08	622.79	10.98	5674.26	*****	3421.90

R=0.2 , KR=0.003
 DIA=0.0380, FR=0.030, HS=2, LE=5

ตารางที่ 4.41

DATA#	J (W/SQ.M)	I (A)	H (V)	SP (RAD/VS)	RB ()	Q1 (CUH/VS)	H1 (M)	FW (W)	FM (W)	EFF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	19.54	15.19	393.86	3.90E+04	3.64E-03	4.07	144.95	296.78	48.84	86.73	46.88
2.00	900.00	18.43	14.61	381.27	4.30E+04	3.45E-03	3.87	130.46	269.23	48.46	87.27	47.51
3.00	800.00	17.16	13.93	366.43	4.85E+04	3.23E-03	3.64	114.86	239.01	48.06	88.06	47.80
4.00	700.00	15.69	13.13	349.76	5.62E+04	2.97E-03	3.38	98.19	206.06	47.65	89.22	47.67
5.00	600.00	14.01	12.19	327.56	6.78E+04	2.66E-03	3.11	80.70	170.72	47.27	90.97	46.67
6.00	500.00	12.09	11.07	302.07	9.67E+04	2.20E-03	2.75	59.09	133.89	44.13	92.48	42.51
7.00	400.00	9.95	9.77	271.46	1.75E+05	1.59E-03	2.39	37.15	97.17	38.23	94.98	34.91
8.00	300.00	7.61	8.25	234.63	2.69E+05	1.11E-03	2.19	23.71	62.79	37.76	99.90	31.75
9.00	200.00	5.14	6.46	189.77	3.83E+05	4.71E-04	2.03	9.36	33.20	28.20	72.29	20.76
0.00	100.00	2.57	4.27	131.22	5.32E+05	1.03E-02	18.36	1818.80	10.98	*****	*****	9993.40

R=0.2 KR=0.003
DIA=0.0380, FR=0.030, Hs=2, LE=7

ตารางที่ 4.42

DATA#	J (W/SQ.M)	I (A)	U (V)	SP (RAD/S)	RR ()	Q1 (CUH/S)	H1 (M)	PW (W)	PM (W)	EFF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	19.54	15.19	393.86	3.90E+04	3.44E-03	4.59	154.29	296.78	51.99	92.32	49.90
2.00	900.00	18.43	14.61	381.27	4.30E+04	3.27E-03	4.34	138.44	269.23	51.42	92.61	50.41
3.00	800.00	17.16	13.93	366.43	4.85E+04	3.06E-03	4.06	121.37	239.01	50.78	93.05	50.51
4.00	700.00	15.69	13.13	348.76	5.62E+04	2.82E-03	3.74	103.16	206.06	50.07	93.74	50.08
5.00	600.00	14.01	12.19	327.56	6.78E+04	2.53E-03	3.40	84.12	170.72	49.28	94.83	48.85
6.00	500.00	12.09	11.07	302.07	9.67E+04	2.10E-03	2.97	61.02	133.89	45.58	95.52	43.90
7.00	400.00	9.95	9.77	271.46	1.75E+05	1.54E-03	2.52	37.66	97.17	38.96	96.80	35.58
8.00	300.00	7.61	8.25	234.68	2.69E+05	1.03E-03	2.25	23.73	62.79	37.79	99.98	31.60
9.00	200.00	5.14	6.46	189.77	3.83E+05	4.59E-04	2.05	9.18	33.20	27.65	70.89	20.36
10.00	100.00	2.57	4.27	131.22	5.32E+05	-7.57E-04	0.85	-6.25	10.98	-56.96	-121.40	-34.35

R=0.2, KR=0.003
DIA=0.0380, FR=0.030, Hs=2, LE=10

ตารางที่ 4.43

DATA#	J (W/SQ.M)	I (A)	U (V)	SP (RAD/S)	RR ()	Q1 (CUH/S)	H1 (M)	PW (W)	PM (W)	EFF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	19.54	15.19	393.86	3.90E+04	3.20E-03	5.19	162.14	296.78	54.63	97.02	52.44
2.00	900.00	18.43	14.61	381.27	4.30E+04	3.04E-03	4.89	145.18	269.23	53.92	97.11	52.87
3.00	800.00	17.16	13.93	366.43	4.85E+04	2.85E-03	4.55	126.90	239.01	53.10	97.32	52.81
4.00	700.00	15.69	13.13	348.76	5.62E+04	2.64E-03	4.17	107.41	206.06	52.13	97.56	52.14
5.00	600.00	14.01	12.19	327.56	6.78E+04	2.37E-03	3.76	87.03	170.72	50.98	98.11	50.54
6.00	500.00	12.09	11.07	302.07	9.67E+04	1.92E-03	3.23	62.76	133.89	46.87	98.23	45.15
7.00	400.00	9.95	9.77	271.46	1.75E+05	1.47E-03	2.68	38.55	97.17	39.67	98.57	36.23
8.00	300.00	7.61	8.25	234.68	2.69E+05	1.04E-03	2.34	23.67	62.79	37.70	99.75	31.60
9.00	200.00	5.14	6.46	189.77	3.83E+05	4.43E-04	2.02	8.93	33.20	26.89	68.94	19.80
10.00	100.00	2.57	4.27	131.22	5.32E+05	8.77E-04	0.58	4.98	10.98	45.39	96.75	27.38

R=0.2, FR=0.003
 DIA=0.0380, ER=0.030, HS=2, LE=15

ตารางที่ 4.44

DATA#	I (W/SO.D)	I (A)	U (V)	SP (RAD/S)	RB ()	Q1 (CUB/S)	H1 (H)	FW (W)	PM (W)	EFF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	19.54	15.19	393.86	3.90E+04	7.88E+03	5.91	166.80	296.78	56.20	99.81	53.95
2.00	900.00	18.43	14.61	381.27	4.30E+04	2.75E+03	5.95	149.21	269.23	55.42	99.81	54.34
3.00	800.00	17.16	13.93	366.43	4.85E+04	7.50E+03	5.15	130.22	239.01	54.48	99.86	54.19
4.00	700.00	15.69	13.13	348.76	5.63E+04	2.40E+03	4.70	109.92	206.06	53.34	99.84	53.36
5.00	600.00	14.01	12.19	327.56	6.78E+04	2.16E+03	4.20	88.46	170.72	51.93	99.95	51.49
6.00	500.00	12.09	11.07	302.07	9.67E+04	1.33E+03	3.57	63.83	133.89	47.68	99.91	45.92
7.00	400.00	9.95	9.77	271.46	1.75E+05	1.38E+03	2.90	39.08	97.17	40.19	99.87	36.71
8.00	300.00	7.61	8.25	234.68	2.69E+05	9.79E+02	2.45	23.44	62.79	37.33	98.77	31.29
9.00	200.00	5.14	6.46	189.77	3.83E+05	4.20E+02	2.03	8.55	33.20	25.76	66.04	18.96
10.00	100.00	2.57	4.27	131.22	5.32E+05	1.43E+02	97.09	*****	10.98*****	*****	*****	*****

R=0.2, FR=0.003
 DIA=0.0380, ER=0.030, HS=2, LE=20

ตารางที่ 4.45

DATA#	J (W/SO.M)	I (A)	U (V)	SP (RAD/S)	RB ()	Q1 (CUB/S)	H1 (M)	FW (W)	PM (W)	EFF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	19.54	15.19	393.86	3.90E+04	7.88E+03	6.42	166.68	296.78	56.16	99.74	53.91
2.00	900.00	18.43	14.61	381.27	4.30E+04	2.53E+03	6.02	149.10	269.23	55.38	99.73	54.30
3.00	800.00	17.16	13.93	366.43	4.85E+04	2.39E+03	5.57	130.09	239.01	54.43	99.76	54.14
4.00	700.00	15.69	13.13	348.76	5.63E+04	2.22E+03	5.07	109.72	206.06	53.25	99.66	53.26
5.00	600.00	14.01	12.19	327.56	6.78E+04	2.00E+03	4.54	88.35	170.72	51.75	99.60	51.31
6.00	500.00	12.09	11.07	302.07	9.67E+04	1.71E+03	3.82	63.73	133.89	47.60	99.74	45.85
7.00	400.00	9.95	9.77	271.46	1.75E+05	1.30E+03	3.07	39.08	97.17	40.22	99.93	36.73
8.00	300.00	7.61	8.25	234.68	2.69E+05	9.31E+02	2.54	23.11	62.79	36.81	97.38	30.85
9.00	200.00	5.14	6.46	189.77	3.83E+05	4.01E+02	2.10	8.27	33.20	24.76	63.48	18.23
10.00	100.00	2.57	4.27	131.22	5.32E+05	1.18E+02	1.12	-1.27	10.98	-11.59	-24.70	-6.99

R=0.2 , Kf=0.003
 DTA=0.0380 , FR=0.030 , HS=3 , LF=3

ตารางที่ 4.46

Q/TAH	J (W/SQ.M)	I (A)	U (V)	SP (RAD/S)	RB ()	OI (CUR/S)	HI (M)	PW (W)	PM (W)	EFF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	19.54	15.19	393.86	3.90E+04	3.59E-03	4.21	147.61	296.78	49.74	88.33	47.74
2.00	500.00	13.43	14.61	381.27	4.30E+04	3.37E-03	4.07	134.13	269.23	49.82	89.72	48.85
3.00	300.00	17.16	13.93	365.43	4.85E+04	3.12E-03	3.91	119.36	239.01	49.84	91.51	49.67
4.00	200.00	15.69	13.13	348.76	5.62E+04	2.82E-03	3.75	103.20	206.06	50.08	93.78	50.10
5.00	100.00	14.01	12.19	327.56	6.78E+04	2.46E-03	3.57	85.63	170.72	50.16	96.53	49.73
6.00	500.00	12.09	11.07	302.07	9.67E+04	1.93E-03	3.35	63.28	133.89	47.26	99.04	45.52
7.00	400.00	9.95	9.77	271.46	1.75E+05	1.27E-03	3.15	38.96	97.17	40.10	99.62	36.62
8.00	300.00	7.61	8.25	234.63	2.69E+05	6.23E-04	3.04	18.49	62.79	29.45	77.93	24.69
9.00	200.00	5.14	6.46	189.77	3.83E+05	1.28E-02	18.31	2285.21	33.206877.31*****	0.02	0.02	0.02
10.00	100.00	2.57	4.27	131.22	5.32E+05	9.54E-03	11.54	1075.87	10.989802.35*****	5911.38		

R=0.2 , FR=0.003
 DTA=0.0380 , FR=0.030 , HS=3 , LF=7

ตารางที่ 4.47

Q/TAH	J (W/SQ.M)	I (A)	U (V)	SP (RAD/S)	RB ()	OI (CUR/S)	HI (M)	PW (W)	PM (W)	EFF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	19.54	15.19	393.86	3.90E+04	3.13E-03	5.22	162.80	296.78	54.72	97.18	52.52
2.00	500.00	13.43	14.61	381.27	4.30E+04	3.00E-03	4.93	145.95	269.23	54.21	97.63	53.15
3.00	300.00	17.16	13.93	365.43	4.85E+04	2.79E-03	4.70	128.12	239.01	53.60	98.23	53.32
4.00	200.00	15.69	13.13	348.76	5.62E+04	2.53E-03	4.40	108.90	206.06	52.85	98.95	53.86
5.00	100.00	14.01	12.19	327.56	6.78E+04	2.22E-03	4.08	88.45	170.72	51.81	99.71	51.36
6.00	500.00	12.09	11.07	302.07	9.67E+04	1.77E-03	3.69	63.83	133.89	47.71	99.99	45.96
7.00	400.00	9.95	9.77	271.46	1.75E+05	1.19E-03	3.31	38.48	97.17	39.60	98.38	36.16
8.00	300.00	7.61	8.25	234.63	2.69E+05	5.93E-04	3.08	17.33	62.79	28.39	75.12	23.80
9.00	200.00	5.14	6.46	189.77	3.83E+05	1.43E-02	47.97	6715.07	33.20*****			
10.00	100.00	2.57	4.27	131.22	5.32E+05	1.11E-02	29.93	3250.93	10.98*****			

R=0.2 , KR=0.003
DIA=0.0380, FR=0.030, HS=3, LE=10

ตารางที่ 4.48

DATA#	J (N/SU.M)	I (A)	U (V)	SP (CALZ/S)	RB ()	BI (CURZ/S)	H1 (M)	PW (W)	PM (W)	EFF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	19.54	15.19	393.86	3.90E+04	2.94E-03	5.74	166.19	296.78	56.00	99.45	53.75
2.00	900.00	18.43	14.61	381.27	4.30E+04	2.80E-03	5.45	148.89	269.23	55.30	99.60	54.22
3.00	800.00	17.16	13.93	366.43	4.85E+04	2.60E-03	5.12	130.15	239.01	54.46	99.79	54.16
4.00	700.00	15.69	13.13	348.76	5.62E+04	2.37E-03	4.76	110.01	206.06	53.39	99.96	53.40
5.00	600.00	14.01	12.19	327.56	6.78E+04	2.08E-03	4.35	88.67	170.72	51.94	99.96	51.49
6.00	500.00	12.09	11.07	302.07	9.67E+04	1.68E-03	3.83	63.58	133.89	47.49	99.52	45.74
7.00	400.00	9.95	9.77	271.46	1.75E+05	1.14E-03	3.41	38.00	97.17	39.11	97.17	35.72
8.00	300.00	7.61	8.25	234.68	2.69E+05	5.73E-04	3.10	17.37	62.79	27.67	73.21	24.20
9.00	200.00	5.14	6.46	189.77	3.83E+05	1.13E-04	2.29	2.53	33.20	7.63	19.55	5.61
10.00	100.00	2.57	4.27	131.22	5.32E+05	-2.00E-03	-1.58	30.91	10.98	281.62	600.19	169.83

R=0.2 , KR=0.003
DIA=0.0380, FR=0.030, HS=3, LE=15

ตารางที่ 4.49

DATA#	J (N/SU.M)	I (A)	U (V)	SP (CALZ/S)	RB ()	BI (CURZ/S)	H1 (M)	PW (W)	PM (W)	EFF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	19.54	15.19	393.86	3.90E+04	2.68E-03	6.37	166.82	296.78	56.21	99.82	53.95
2.00	900.00	18.43	14.61	381.27	4.30E+04	2.54E-03	6.02	149.11	269.23	55.38	99.74	54.30
3.00	800.00	17.16	13.93	366.43	4.85E+04	2.36E-03	5.62	129.92	239.01	54.36	99.63	54.07
4.00	700.00	15.69	13.13	348.76	5.62E+04	2.16E-03	5.19	109.30	206.06	53.04	99.27	53.06
5.00	600.00	14.01	12.19	327.56	6.78E+04	1.90E-03	4.70	87.51	170.72	51.26	98.65	50.82
6.00	500.00	12.09	11.07	302.07	9.67E+04	1.55E-03	4.13	62.43	133.89	46.63	97.72	44.92
7.00	400.00	9.95	9.77	271.46	1.75E+05	1.07E-03	3.54	37.17	97.17	38.20	94.91	34.89
8.00	300.00	7.61	8.25	234.68	2.69E+05	5.44E-04	3.14	16.69	62.79	26.58	70.34	22.38
9.00	200.00	5.14	6.46	189.77	3.83E+05	8.32E-04	1.58	12.84	33.20	38.67	99.13	28.47
10.00	100.00	2.57	4.27	131.22	5.32E+05	5.97E-03	-4.73	275.60	10.98*****			

ตารางที่ 4.50

R=0.2 KR=0.003
DIA=0.030, FR=0.030, HS=5, LE=5

ATAB	Q (W/SQ.M)	I (A)	U (V)	SP (RAD/S)	RB ()	Q1 (CUB/S)	HL (M)	PW (W)	PM (W)	EFF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	19.54	15.19	393.86	3.90E+04	2.76E-03	6.19	167.11	296.78	56.31	99.99	54.04
2.00	900.00	18.43	14.61	381.27	4.30E+04	2.54E-03	6.01	149.14	269.23	55.39	99.76	54.31
3.00	800.00	17.16	13.93	366.43	4.85E+04	2.27E-03	5.81	129.02	239.01	53.98	98.92	53.69
4.00	700.00	15.69	13.13	348.76	5.62E+04	1.95E-03	5.59	106.28	206.06	51.53	96.57	51.39
5.00	600.00	14.01	12.19	327.56	6.78E+04	1.53E-03	5.36	80.01	170.72	46.87	90.19	46.46
6.00	500.00	12.09	11.07	302.07	9.67E+04	9.13E-04	5.13	45.77	133.89	34.18	71.63	32.93
7.00	400.00	9.95	9.77	271.46	1.75E+05	3.83E-04	4.52	16.89	97.17	17.38	43.18	15.87
8.00	300.00	7.61	8.25	234.63	2.69E+05	1.66E-02	48.35	7841.91	62.79	*****		
9.00	200.00	5.14	6.46	189.77	3.83E+05	5.60E-03	112.90	705.30	33.20	*****		
10.00	100.00	2.57	4.27	131.22	5.32E+05	1.05E-02	22.38	2304.13	10.98	*****		

R=0.2, KR=0.003
DIA=0.030, FR=0.030, HS=5, LE=10

ตารางที่ 4.51

ATAB	Q (W/SQ.M)	I (A)	U (V)	SP (RAD/S)	RB ()	Q1 (CUB/S)	HL (M)	PW (W)	PM (W)	EFF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	19.54	15.19	393.86	3.90E+04	2.44E-03	6.37	163.93	296.78	55.24	98.09	53.02
2.00	900.00	18.43	14.61	381.27	4.30E+04	2.25E-03	6.59	145.19	269.23	53.93	97.13	52.87
3.00	800.00	17.16	13.93	366.43	4.85E+04	2.03E-03	6.29	124.46	239.01	52.08	95.43	51.80
4.00	700.00	15.69	13.13	348.76	5.62E+04	1.74E-03	5.95	101.40	206.06	49.21	92.14	49.22
5.00	600.00	14.01	12.19	327.56	6.78E+04	1.38E-03	5.60	75.39	170.72	44.16	84.98	43.78
6.00	500.00	12.09	11.07	302.07	9.67E+04	8.41E-04	5.22	42.83	133.89	32.03	67.11	30.35
7.00	400.00	9.95	9.77	271.46	1.75E+05	3.02E-04	4.58	13.52	97.17	13.92	34.58	12.71
8.00	300.00	7.61	8.25	234.63	2.69E+05	1.23E-02	116.15	*****	62.79	*****		
9.00	200.00	5.14	6.46	189.77	3.83E+05	1.53E-02	81.22	*****	33.20	*****		
10.00	100.00	2.57	4.27	131.22	5.32E+05	3.73E-02	*****	*****	10.98	*****		

ผลการพิจารณาจากตารางที่ 4.2 ถึง 4.31

เมื่อใช้มอเตอร์ตัวที่หนึ่ง ($R = 0.4 \Omega$, $R_R = 0.004$ โวลต์/รอบต่อนาที)
ระบบสูบน้ำควรเป็นดังนี้

ตารางที่ 4.52 ระบบสูบน้ำที่ให้กำลังงานของน้ำมีค่าสูง

เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ DIA (ม.)	ตัวคูณเนื่องจากความลึก FR	หัวทางสะแตกิก HS (ม.)	ความยาวท่อ LE (ม.)
0.0254	0.032	2	2
0.0254	0.032	3	3
0.0254	0.032	5	5
0.038	0.030	1	25
0.038	0.030	2	15
0.038	0.030	3	7
0.038	0.030	5	5

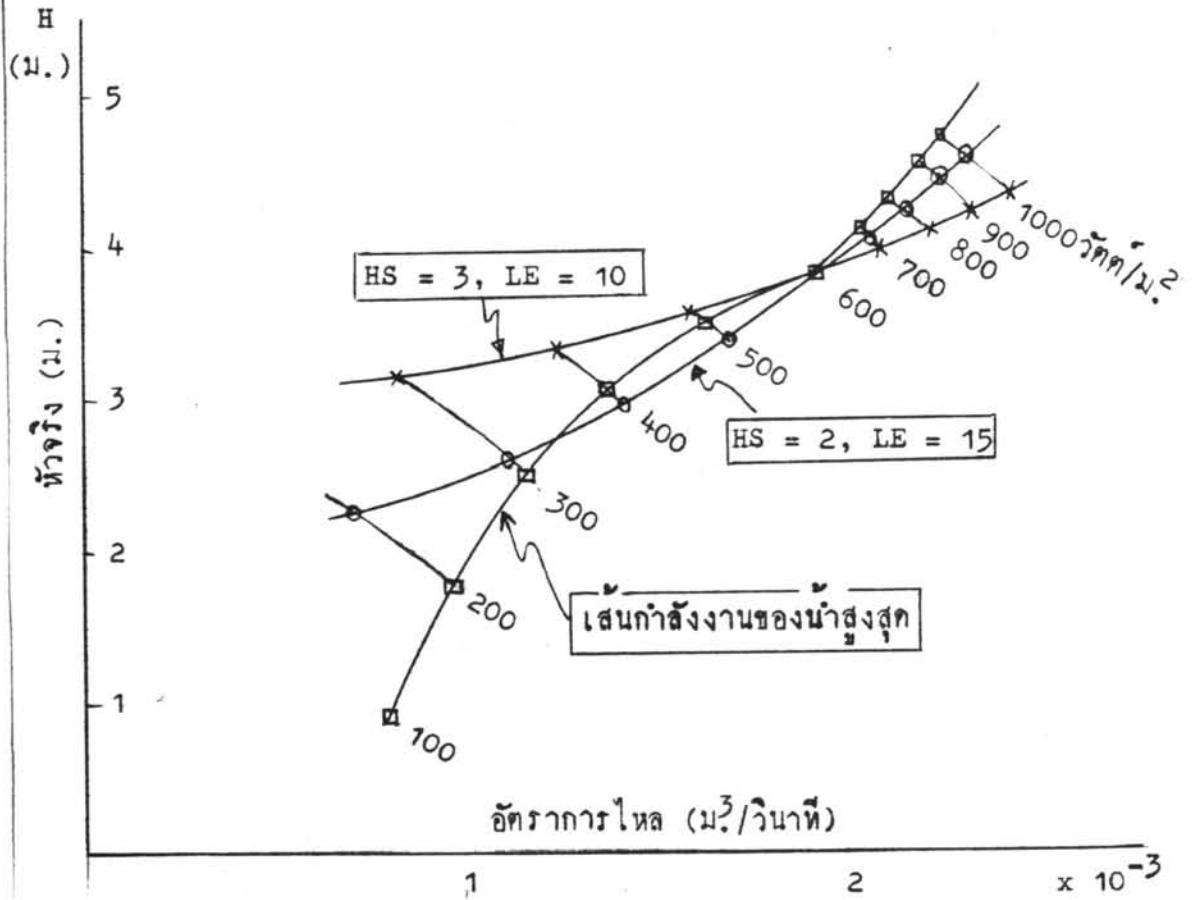
เนื่องจากท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.0254 ม. ให้อัตราการไหลน้อยและ
ความยาวท่อควรเท่ากับหัวทางสะแตกิก จึงไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในทางปฏิบัติ จึงพิจารณา
ที่จะใช้ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.038 ม. หัวทางสะแตกิก 1 เมตร ก็น้อยเกินไป และ
ต้องใช้ท่อยาวถึง 25 ม. กับหัวทางสะแตกิก 5 เมตร ซึ่งท่อควรยาว 5 เมตร นั้นไม่เหมาะ
สม จึงจะเลือกใช้หัวทางสะแตกิก 2 ม. หรือ 3 ม. โดยการศึกษา 2 กรณีนี้เปรียบเทียบ
กัน ปรากฏว่า จากภาพที่ 4.8 หน้า 97

1. เมื่อค่าการรับรังสีต่ำ คือ ค่าระหว่าง 500 ถึง 200 วัตต์/ม² ควรใช้หัว
ทางสะแตกิก 2 ม. ความยาวท่อ 15 ม.

2. เมื่อค่าการรับรังสีระหว่าง 800 ถึง 600 วัตต์/ม² ใช้หัวทางสะแตกิก
3 ม. ท่อยาว 7 ม. ย่อมดีกว่า



$R = 0.4$ โอน์ม, $KR = 0.004$ โวลต์/รอบต่อนาที
 $DIA = 0.038$ ม., $FR = 0.030$



ภาพที่ 4.8 แสดงเส้นคุณลักษณะหัวจิ้งและอัตราการไหลของระบบสูบน้ำที่ใช้มอเตอร์ซึ่ง $R = 0.4$ โอน์ม $KR = 0.004$ โวลต์/รอบต่อนาที

อย่างไรก็ตามการพิจารณาเลือกระบบของท่อ ซึ่งขึ้นอยู่กับข้อกำหนดในความต้องการ ค่าย เช่น สุ่มน้ำขึ้นมาสูงเท่าใด และแหล่งน้ำอยู่ห่างจากที่ใช้น้ำเท่าใด เป็นต้น

เมื่อใช้มอเตอร์ตัวที่สอง ($R = 0.2 \Omega$, $KR = 0.003$ โวลต์/รพมก่อนาที) ระบบสุมน้ำควรเป็นดังนี้ โดยพิจารณาตารางที่ 4.32 ถึง 4.51

ตารางที่ 4.53 ระบบสุมน้ำที่ให้กำลังงานของน้ำมีค่าสูง

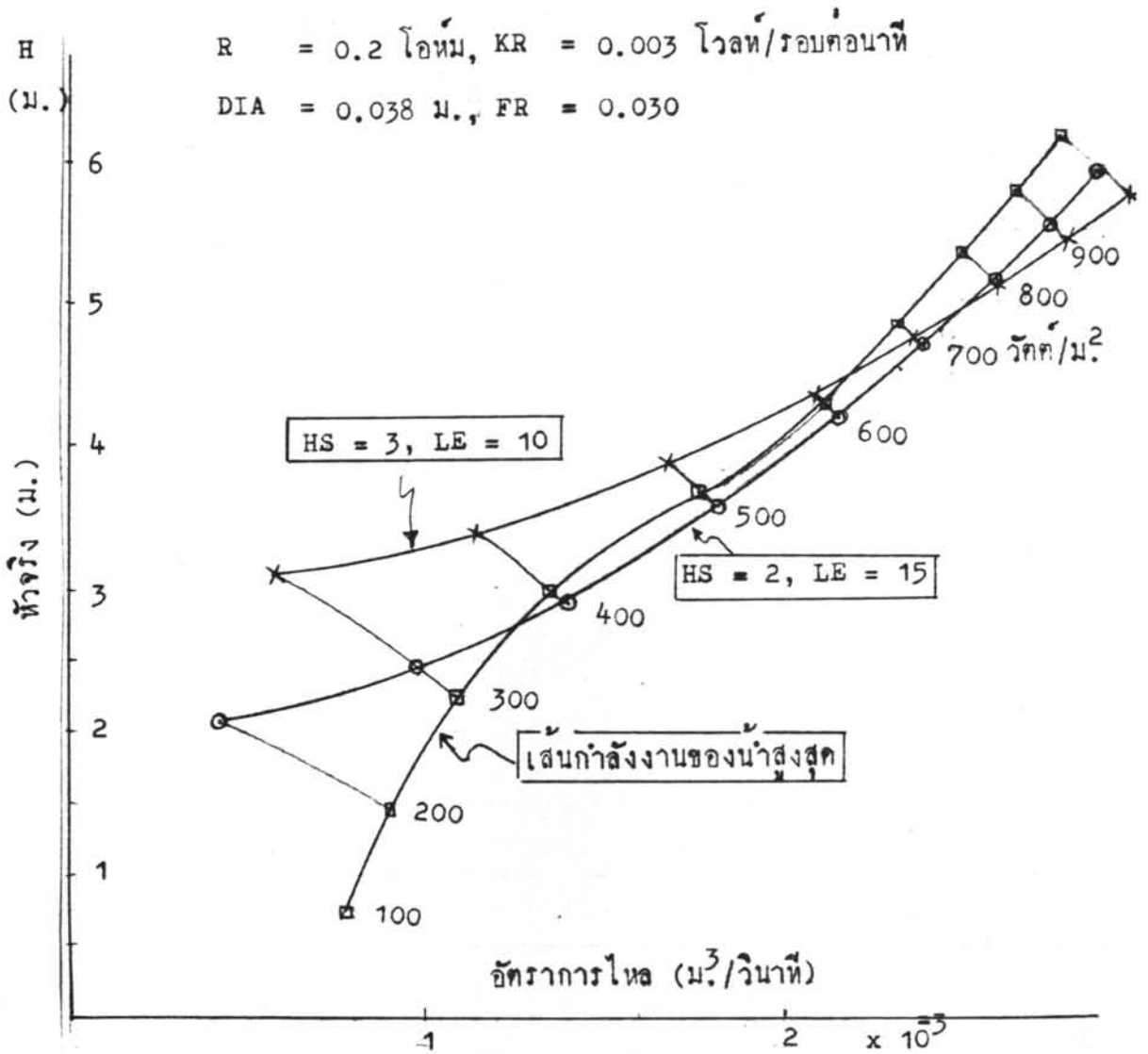
เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ DIA (ม.)	ตัวคูณเนื่องจากความฝืด FR	หัวทางสะแตกิก HS (ม.)	ความยาวท่อ LE (ม.)
0.0254	0.032	2	2
0.0254	0.032	3	3
0.0254	0.032	5	5
0.038	0.030	2	15
0.038	0.030	3	10
0.038	0.030	5	5

ผลการพิจารณาเช่นเดียวกับตอนที่หนึ่ง คือจะเลือกใช้ระบบของท่อแบบหัวทางสะแตกิก 2 ม. หรือ 3 ม. โดยห่อมีขนาด 0.038 ม. ปรากฏว่าจากภาพที่ 4.9 หน้า 99

1. เมื่อค่าการรับรังสี 700 ถึง 300 วัตต์/ม² ควรใช้หัวทางสะแตกิก 2 ม. ท่อยาว 15 ม.

2. เมื่อค่าการรับรังสี 1000 ถึง 800 วัตต์/ม² ควรใช้หัวทางสะแตกิก 3 ม. ท่อยาว 10 ม.

แต่ถ้าจำเป็นต้องสุมน้ำขึ้นสูง 3 ม. ก็จำเป็นต้องใช้หัวทางสะแตกิก 3 ม. ท่อยาว 10 ม. ซึ่งไม่ทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดไปจากหัวทางสะแตกิก 2 ม. ท่อยาว 15 ม. เท่าใดนัก



ภาพที่ 4.9 แสดงเส้นคุณลักษณะหัวจิ้งและอัตราการไหลของระบบสูบน้ำที่ใช้มอเตอร์ ซึ่ง $R = 0.2$ โอน์ม, $KR = 0.003$ โวลต์/รอบต่อนาที

การปรับปรุงระบบสูบน้ำให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น

วิธีการปรับปรุงระบบสูบน้ำในงานวิจัยเรื่องนี้ เป้าหมายอยู่ที่การพยายามนำกำลังงานไฟฟ้าจากแถวแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ได้มากที่สุดในวันหนึ่ง ๆ เพื่อมาใช้กับชุดมอเตอร์และเครื่องสูบน้ำ

การบรรลุเป้าหมายดังกล่าว โดยการเลือกชุดมอเตอร์และเครื่องสูบน้ำให้เหมาะสมกับแถวแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีอยู่ ความเหมาะสมที่สุด คือ เส้นทำงานของชุดมอเตอร์และเครื่องสูบน้ำ ทับกับเส้นกำลังงานสูงสุดของแถวแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้น ถ้าสามารถเลือกชุดมอเตอร์และเครื่องสูบน้ำให้เส้นการทำงานใกล้เคียงกับเส้นกำลังงานสูงสุดก็เพียงพอแล้ว แต่เมื่อเลือกชุดมอเตอร์และเครื่องสูบน้ำได้แล้ว ยังมีอีกวิธีที่จะทำให้จุดทำงานของชุดมอเตอร์และเครื่องสูบน้ำ ใกล้เคียงจุดกำลังงานสูงสุดของแถวแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ค่าการรับรังสีต่าง ๆ นั่นคือ โดยการเปลี่ยนค่าความต้านทานอาร์มาเจอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร กล่าวโดยสรุปการปรับปรุงจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงค่าต่าง ๆ คือ [12]

1. เปลี่ยนค่าความต้านทานอาร์มาเจอร์ โดยเพิ่มความต้านทานเข้าไป นั่นคือ มอเตอร์มีค่า R ค่าใหม่
2. เปลี่ยนมอเตอร์ นั่นคือ มอเตอร์มีค่า KR ค่าใหม่

ผลการวิเคราะห์จากตารางที่ 4.52 , 4.53 นำมาเป็นแนวทางในการปรับปรุงระบบสูบน้ำให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น สมมติว่ามีมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวรอยู่ 2 ตัว

มอเตอร์ตัวที่หนึ่ง	$R = 0.2 \Omega$, $KR = 0.004$	โวลต์/รอบก่อนน้ำที่
มอเตอร์ตัวที่สอง	$R = 0.2 \Omega$, $KR = 0.003$	โวลต์/รอบก่อนน้ำที่

วิเคราะห์จากตารางที่ 4.54-4.65 ว่า เมื่อกำหนดระบบของท่อ (piping system) หมายความว่า กำหนดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ (DIA), ชนิดของท่อ, ตัวคูณเนื่องจากความฝืดของท่อ (FR), หัวทางสะแตกิก (HS), และความยาวท่อ (LE) ถ้าเพิ่มความต้านทานอาร์มาเจอร์ (R) เป็น 0.4Ω ควรเพิ่มเมื่อค่าการรับรังสีมีค่าประมาณเท่าใด เพื่อให้กำลังงานของน้ำมีค่ามากขึ้นกว่ากรณีที่ $R = 0.2 \Omega$

R=0.2 , KR=0.004
 DUA=0.0380, FR=0.030, HS=2, LE=15

ตารางที่ 4.54

DATA#	J (W/SQ.M)	I (A)	U (V)	SP (RAD/S)	RB ()	Q1 (CUR/S)	H1 (M)	PW (W)	PM (W)	EFF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	14.22	16.85	366.76	4.83E+04	2.59E+03	5.16	130.62	239.65	54.50	99.84	42.24
2.00	900.00	13.61	16.41	358.24	5.19E+04	2.50E+03	4.93	120.51	223.34	53.96	99.84	43.89
3.00	800.00	12.92	15.89	348.26	5.64E+04	2.39E+03	4.68	109.39	205.19	53.31	99.88	45.52
4.00	700.00	12.10	15.27	336.33	6.27E+04	2.26E+03	4.40	97.07	184.81	52.52	99.92	47.12
5.00	600.00	11.14	14.52	321.73	7.18E+04	2.10E+03	4.07	83.37	161.77	51.54	99.97	48.42
6.00	500.00	9.98	13.59	304.83	8.49E+04	1.89E+03	3.61	69.45	135.64	48.25	99.94	47.08
7.00	400.00	8.57	12.40	279.64	1.03E+05	1.40E+03	3.03	43.98	106.23	41.41	99.76	41.34
8.00	300.00	6.84	10.35	248.16	2.04E+05	1.13E+03	2.59	28.34	74.23	38.17	99.85	37.83
9.00	200.00	4.73	8.00	205.45	3.93E+05	6.52E+04	1.70	14.00	42.12	33.24	87.14	31.05
10.00	100.00	2.45	6.02	134.68	4.93E+05	2.14E+03	12.76	47.92	14.71	326.75	785.04	263.32

R=0.4 , KR=0.004
 DUA=0.0380, FR=0.030, HS=2, LE=15

ตารางที่ 4.55

DATA#	J (W/SQ.M)	I (A)	U (V)	SP (RAD/S)	RB ()	Q1 (CUR/S)	H1 (M)	PW (W)	PM (W)	EFF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	11.16	17.57	343.02	5.91E+04	2.53E+03	4.56	103.85	196.06	52.97	99.89	33.59
2.00	900.00	10.73	17.16	336.45	6.26E+04	2.26E+03	4.40	97.19	185.01	52.53	99.92	35.39
3.00	800.00	10.34	16.70	330.79	6.71E+04	2.13E+03	4.22	89.81	172.65	52.02	99.94	37.37
4.00	700.00	9.83	16.14	319.65	7.30E+04	2.03E+03	4.02	81.33	158.65	51.39	99.97	39.58
5.00	600.00	8.22	15.47	303.43	8.13E+04	1.95E+03	3.79	72.12	142.53	50.60	99.99	41.88
6.00	500.00	8.46	14.62	293.17	1.12E+05	1.69E+03	3.35	55.40	123.66	44.80	99.77	39.86
7.00	400.00	7.47	13.51	275.19	1.53E+05	1.43E+03	2.96	41.20	101.23	40.70	99.81	38.72
8.00	300.00	6.22	11.93	248.53	2.33E+05	1.14E+03	2.59	28.48	74.57	38.20	99.87	38.03
9.00	200.00	4.53	9.00	205.11	3.93E+05	5.97E+04	2.23	15.18	44.47	34.17	89.85	33.65
10.00	100.00	2.39	6.62	134.17	4.93E+05	1.50E+03	107.57	444.88	15.30	*****	*****	*****

R=0.2 , KR=0.004
DIA=0.0380, FR=0.030, HS=3, LF=7

ตารางที่ 4.56

DATA#	J (W/SQ.M)	I (A)	U (V)	SP (RAD/S)	RB ()	U1 (CUR/S)	H1 (M)	PW (W)	PM (W)	EFF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	14.22	16.25	366.76	4.83E+04	2.77E+03	4.71	128.49	239.65	53.62	98.21	41.56
2.00	900.00	13.61	16.41	353.24	5.19E+04	2.67E+03	4.56	113.95	223.34	53.26	98.55	43.32
3.00	800.00	12.92	15.89	348.26	5.64E+04	2.52E+03	4.40	108.39	205.19	52.82	98.97	45.11
4.00	700.00	12.10	15.37	336.83	6.27E+04	2.35E+03	4.21	96.59	184.81	52.26	99.43	46.89
5.00	600.00	11.14	14.52	321.73	7.16E+04	2.13E+03	4.00	83.28	161.77	51.48	99.86	48.36
6.00	500.00	9.93	13.59	303.33	9.34E+04	1.81E+03	3.71	65.49	135.64	48.28	99.99	47.11
7.00	400.00	8.57	12.40	279.64	1.54E+05	1.33E+03	3.38	43.81	106.23	41.24	99.37	41.18
8.00	300.00	6.84	10.35	243.16	2.34E+05	8.25E+04	3.15	25.38	74.23	34.19	89.43	33.89
9.00	200.00	4.73	8.39	205.45	3.43E+05	-1.14E+03	1.65	-13.35	44.12	-43.56	-114.18	-40.68
10.00	100.00	2.45	6.02	144.63	4.92E+05	1.13E+02	33.32	323.86	14.71	*****	*****	*****

R=0.4 , KR=0.004
DIA=0.0380, FR=0.030, HS=3, LF=7

ตารางที่ 4.57

DATA#	J (W/SQ.M)	I (A)	U (V)	SP (RAD/S)	RB ()	U1 (CUR/S)	H1 (M)	PW (W)	PM (W)	EFF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	11.16	17.57	343.02	5.91E+04	2.45E+03	4.31	103.10	196.06	52.59	99.17	33.84
2.00	900.00	10.78	17.16	336.45	6.32E+04	2.35E+03	4.21	96.71	185.01	52.27	99.42	35.27
3.00	800.00	10.34	16.70	328.79	6.71E+04	2.24E+03	4.10	89.57	172.65	51.88	99.67	37.07
4.00	700.00	9.83	16.14	319.05	7.30E+04	2.10E+03	3.97	81.47	158.65	51.35	99.89	37.55
5.00	600.00	9.22	15.47	308.44	8.13E+04	1.93E+03	3.82	72.13	142.53	50.60	99.99	41.88
6.00	500.00	8.46	14.62	294.17	1.17E+05	1.60E+03	3.56	53.50	124.66	44.83	99.94	39.93
7.00	400.00	7.49	13.51	275.19	1.65E+05	1.25E+03	3.39	40.83	101.29	40.33	98.91	38.37
8.00	300.00	6.22	11.99	248.39	2.33E+05	8.31E+04	3.15	25.58	74.57	34.31	89.70	34.16
9.00	200.00	4.53	9.39	209.11	3.34E+05	1.56E+02	6.14	3342.38	44.42	*****	*****	*****
10.00	100.00	2.39	6.62	144.12	4.89E+05	1.19E+02	34.26	3397.13	15.80	*****	*****	*****

R=0.2 , FR=0.004
DIA=0.0380, FR=0.030, HS=5, LE=10

ตารางที่ 4.58

DATA#	J (W/Sq.M)	I (A)	U (V)	SP (RAD/S)	KB ()	Q1 (LUB/S)	H1 (M)	PW (W)	PM (W)	EFF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	14.22	16.85	366.76	4.83E+04	2.03E-03	6.29	124.91	239.65	52.12	95.47	40.40
2.00	900.00	13.61	16.41	358.24	5.19E+04	1.90E-03	6.13	113.58	223.34	50.86	94.10	41.36
3.00	800.00	12.92	15.89	348.26	5.64E+04	1.74E-03	5.94	100.78	205.19	49.12	92.02	41.94
4.00	700.00	12.10	15.27	336.33	6.27E+04	1.53E-03	5.74	86.01	184.81	46.54	88.53	41.75
5.00	600.00	11.14	14.52	321.73	7.16E+04	1.27E-03	5.51	68.40	161.77	42.28	82.01	39.72
6.00	500.00	9.98	13.59	303.38	9.34E+04	9.75E-04	5.24	44.78	135.64	33.02	68.38	32.20
7.00	400.00	8.57	12.40	279.64	1.54E+05	9.45E-05	5.00	4.62	106.23	4.35	10.48	4.34
8.00	300.00	6.84	10.35	248.16	2.34E+05	1.08E-04	3.93	4.14	74.23	5.58	14.60	5.53
9.00	200.00	4.78	8.30	205.45	3.43E+05	1.66E-02	91.67	*****	42.12*****			
10.00	100.00	2.45	6.02	144.68	4.98E+05	1.31E+02	58.49	7470.21	14.71*****			

R=0.4 , FR=0.004
DIA=0.0380, FR=0.030, HS=5, LE=10

ตารางที่ 4.59

DATA#	J (W/Sq.M)	I (A)	U (V)	SP (RAD/S)	KB ()	Q1 (LUB/S)	H1 (M)	PW (W)	PM (W)	EFF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	11.16	17.57	343.02	5.91E+04	1.65E-03	5.85	94.23	196.06	48.06	90.64	30.47
2.00	900.00	10.78	17.16	336.45	6.26E+04	1.54E-03	5.74	86.15	185.01	46.57	88.57	31.37
3.00	800.00	10.34	16.70	328.79	6.71E+04	1.40E-03	5.61	76.87	172.65	44.52	85.55	31.99
4.00	700.00	9.83	16.14	319.65	7.30E+04	1.23E-03	5.43	65.89	158.65	41.53	80.79	31.99
5.00	600.00	9.22	15.47	308.44	8.13E+04	1.01E-03	5.29	52.27	142.53	36.67	72.46	30.35
6.00	500.00	8.46	14.62	294.17	1.17E+05	6.31E-04	5.12	31.59	123.66	25.55	56.89	22.73
7.00	400.00	7.49	13.51	275.19	1.65E+05	2.74E-05	4.87	1.80	101.23	1.29	3.16	1.22
8.00	300.00	6.22	11.93	243.53	2.33E+05	2.01E-02	131.05	*****	74.57*****			
9.00	200.00	4.53	9.80	209.11	3.23E+05	7.24E-04	2.46	17.37	44.42	-39.16	-102.97	-38.58
10.00	100.00	2.39	6.62	148.17	4.89E+05	1.34E+04	1.38	1.80	15.80	11.40	26.08	9.90

R=0.2 , KR=0.003
 DIA=0.0390, FR=0.030, HS=2, LE=15

ตารางที่ 4.60

Q10#	J (W/SQ.M)	I (A)	U (V)	SP (RAD/S)	RB ()	Q1 (CUB/S)	HI (M)	PW (W)	PM (W)	EFF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	19.54	17.19	393.86	3.90E+04	2.89E-03	5.91	166.80	296.78	56.20	99.81	53.95
2.00	900.00	18.43	16.61	331.27	4.30E+04	2.75E-03	5.53	149.21	269.23	55.42	99.81	54.34
3.00	800.00	17.16	16.23	366.43	4.85E+04	2.59E-03	5.15	130.22	259.01	54.48	99.86	54.19
4.00	700.00	15.69	15.13	343.76	5.62E+04	2.40E-03	4.70	109.92	206.06	53.34	99.84	53.36
5.00	600.00	14.01	12.19	327.56	6.78E+04	2.16E-03	4.20	88.66	170.72	51.93	99.95	51.49
6.00	500.00	12.09	11.07	302.07	9.67E+04	1.83E-03	3.57	63.83	133.89	47.68	99.91	45.92
7.00	400.00	9.95	9.77	271.46	1.75E+05	1.53E-03	2.90	39.06	97.17	40.19	99.87	36.71
8.00	300.00	7.61	8.25	234.63	2.69E+05	9.79E-04	2.45	23.44	62.79	37.33	98.77	31.29
9.00	200.00	5.14	6.46	189.77	3.83E+05	4.20E-04	2.08	8.55	33.20	25.76	66.04	18.96
0.00	100.00	2.57	4.27	131.22	5.32E+05	1.42E-02	97.09	*****	10.93*****	*****	*****	*****

R=0.4 , KR=0.003
 DIA=0.0390, FR=0.030, HS=2, LE=15

ตารางที่ 4.61

Q10#	J (W/SQ.M)	I (A)	U (V)	SP (RAD/S)	RB ()	Q1 (CUB/S)	HI (M)	PW (W)	PM (W)	EFF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	15.00	16.65	371.83	4.64E+04	2.65E-03	5.27	136.91	249.71	54.83	99.83	44.28
2.00	900.00	14.40	16.17	363.23	4.97E+04	2.53E-03	5.04	126.38	232.83	54.28	99.82	46.02
3.00	800.00	13.71	15.60	353.06	5.42E+04	2.44E-03	4.80	114.63	213.78	53.62	99.86	47.70
4.00	700.00	12.83	14.91	340.67	6.03E+04	2.31E-03	4.50	101.43	192.06	52.81	99.90	49.24
5.00	600.00	11.88	14.07	325.22	6.93E+04	2.14E-03	4.14	86.51	167.09	51.77	99.95	50.24
6.00	500.00	10.64	13.00	305.40	8.32E+04	1.89E-03	3.63	63.09	130.37	49.21	99.97	48.99
7.00	400.00	9.10	11.64	279.38	1.164E+05	1.48E-03	3.03	43.81	105.93	41.36	99.76	41.18
8.00	300.00	7.21	9.90	244.86	2.43E+05	1.09E-03	2.55	27.08	71.31	37.97	99.73	36.15
9.00	200.00	4.98	7.70	199.13	3.59E+05	5.67E-04	2.15	11.92	38.35	31.09	80.85	26.44
0.00	100.00	2.53	4.93	136.94	5.18E+05	1.45E-02	100.35	*****	12.47*****	*****	*****	*****

R=0.2 , KR=0.003
DIA=0.0330, FR=0.030, HS=3, LE=10

ตารางที่ 4.62

DATA#	J (W/SQ.M)	I (A)	U (V)	SP (RAD/S)	RB ()	Q1 (CUR/S)	H1 (M)	PW (W)	PM (W)	EFF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	19.54	15.19	393.86	3.90E+04	2.96E-03	5.74	166.19	296.78	56.00	99.45	53.75
2.00	900.00	18.43	14.64	331.27	4.30E+04	2.80E-03	5.45	143.89	269.23	55.30	99.59	54.22
3.00	800.00	17.16	13.93	266.43	4.85E+04	2.60E-03	5.12	130.15	239.01	54.46	99.81	54.16
4.00	700.00	15.69	13.13	243.76	5.62E+04	2.37E-03	4.76	110.01	206.06	53.39	99.91	53.40
5.00	600.00	14.01	12.19	227.56	6.78E+04	2.08E-03	4.36	88.67	170.72	51.94	99.96	51.49
6.00	500.00	12.09	11.07	202.07	9.67E+04	1.68E-03	3.88	63.53	133.39	47.49	99.52	45.74
7.00	400.00	9.95	9.77	271.46	1.75E+05	1.14E-03	3.41	38.00	97.17	39.11	97.17	35.72
8.00	300.00	7.61	8.25	234.63	2.69E+05	5.73E-04	3.10	17.37	62.79	27.67	73.21	23.20
9.00	200.00	5.14	6.46	189.77	3.83E+05	1.55E-02	78.22	*****	33.20*****			
0.00	100.00	2.57	4.27	131.22	5.37E+05	-2.00E-03	-1.58	30.91	10.98	281.62	600.19	169.83

R=0.4 , KR=0.003
DIA=0.0380, FR=0.030, HS=3, LE=10

ตารางที่ 4.63

DATA#	J (W/SQ.M)	I (A)	U (V)	SP (RAD/S)	RB ()	Q1 (CUR/S)	H1 (M)	PW (W)	PM (W)	EFF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	15.00	16.65	371.83	4.64E+04	2.67E-03	5.24	136.76	249.71	54.77	99.72	44.23
2.00	900.00	14.40	16.17	363.25	4.97E+04	2.56E-03	5.03	126.35	232.83	54.27	99.80	46.01
3.00	800.00	13.71	15.60	353.06	5.41E+04	2.43E-03	4.84	114.70	213.78	53.65	99.92	47.73
4.00	700.00	12.88	14.91	340.67	6.03E+04	2.26E-03	4.60	101.52	192.06	52.86	99.99	49.28
5.00	600.00	11.88	14.07	325.22	6.93E+04	2.05E-03	4.32	86.49	167.09	51.76	99.93	50.23
6.00	500.00	10.64	13.00	303.40	8.02E+04	1.73E-03	3.96	67.73	133.37	48.98	99.51	43.76
7.00	400.00	9.10	11.64	279.38	1.15E+05	1.26E-03	3.50	43.21	105.93	40.79	98.38	40.61
8.00	300.00	7.21	9.90	244.86	2.43E+05	7.44E-04	3.12	23.07	71.31	32.35	84.97	30.80
9.00	200.00	4.98	7.70	199.13	3.59E+05	1.61E-02	84.29	*****	30.35*****			
10.00	100.00	2.53	4.93	136.94	5.13E+05	-5.03E-02	*****	*****	12.47*****			

R=0.2, KR=0.003
DIA=0.0380, FR=0.030, HS=5, LE=10

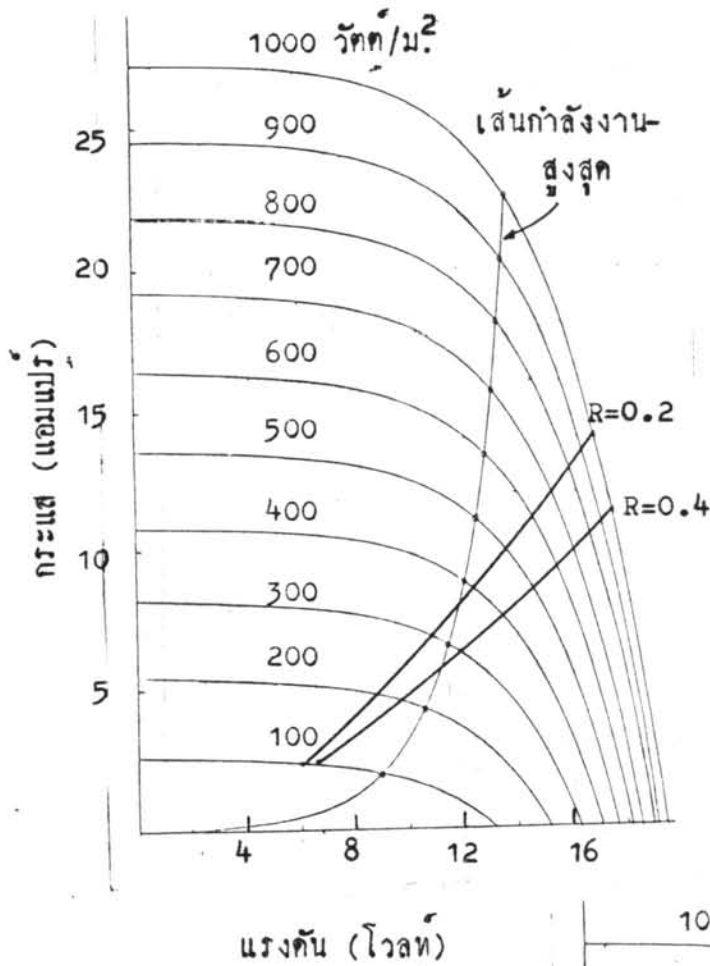
ตารางที่ 4.64

DATA#	J (W/SQ.M)	I (A)	U (V)	SP (RAD/S)	RB ()	O1 (CUB/S)	HI (M)	PI (W)	PM (W)	EFF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	19.54	15.19	393.86	3.50E+04	2.44E-03	6.87	163.93	295.78	55.24	98.09	53.02
2.00	900.00	18.43	14.61	381.27	4.30E+04	2.25E-03	6.59	145.19	269.23	53.93	97.12	52.87
3.00	800.00	17.16	13.93	366.43	4.85E+04	2.03E-03	6.29	124.46	239.01	52.08	95.45	51.80
4.00	700.00	15.69	13.13	348.76	5.63E+04	1.74E-03	5.95	101.40	206.06	49.21	92.10	49.22
5.00	600.00	14.01	12.19	327.56	6.73E+04	1.38E-03	5.60	75.59	170.72	44.16	84.98	43.78
6.00	500.00	12.09	11.07	302.07	9.67E+04	8.41E-04	5.22	42.88	133.89	32.03	67.11	30.85
7.00	400.00	9.95	9.77	271.46	1.75E+05	4.02E-04	4.58	13.52	97.17	13.92	34.58	12.71
8.00	300.00	7.61	8.25	234.63	3.64E+05	1.88E-02	116.15	*****	62.79*****			
9.00	200.00	5.14	6.46	189.77	8.83E+05	1.56E-02	81.22	*****	33.20*****			
10.00	100.00	2.57	4.27	131.22	5.33E+06	-3.73E-02	*****	*****	10.98*****			

R=0.4, KR=0.003
DIA=0.0380, FR=0.030, HS=5, LE=10

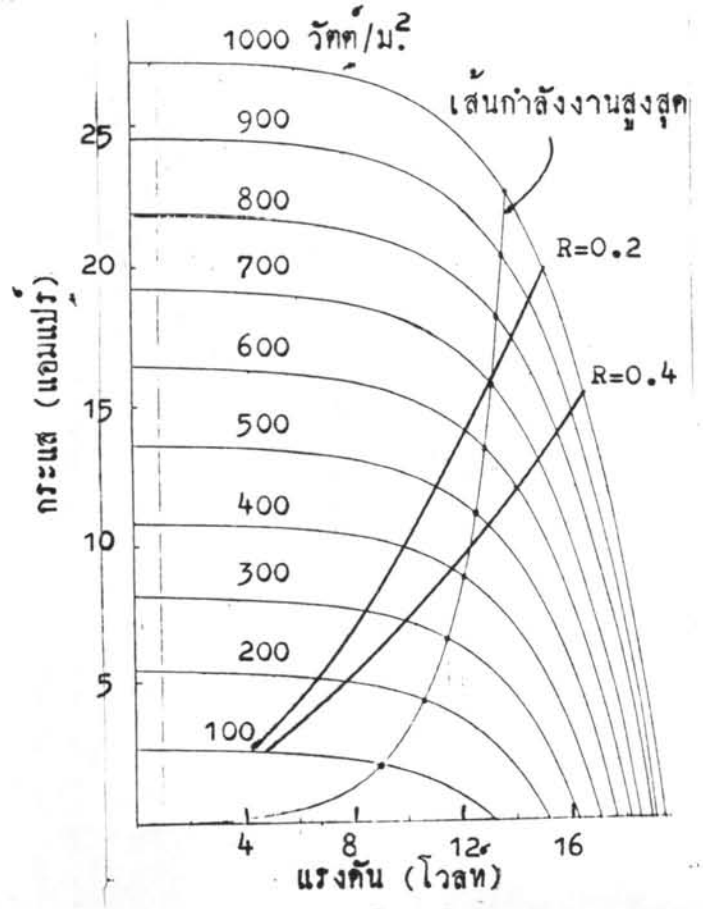
ตารางที่ 4.65

DATA#	J (W/SQ.M)	I (A)	U (V)	SP (RAD/S)	RB ()	O1 (CUB/S)	HI (M)	PI (W)	PM (W)	EFF (%)	EW (%)	EFFW (%)
1.00	1000.00	15.00	16.65	371.83	4.44E+04	2.11E-03	6.39	131.84	249.71	52.80	96.13	42.64
2.00	900.00	14.40	16.17	363.25	4.97E+04	1.93E-03	6.22	120.19	232.83	51.62	94.93	43.77
3.00	800.00	13.71	15.60	353.06	5.42E+04	1.81E-03	6.03	106.87	213.78	49.99	93.10	44.47
4.00	700.00	12.82	14.91	340.67	6.03E+04	1.61E-03	5.81	91.32	192.06	47.55	89.94	44.33
5.00	600.00	11.88	14.07	325.22	7.93E+04	1.34E-03	5.56	72.58	167.09	43.44	83.86	42.15
6.00	500.00	10.64	13.00	305.40	8.83E+04	9.23E-04	5.27	47.77	133.37	34.53	70.14	34.37
7.00	400.00	9.10	11.64	279.38	1.55E+05	7.52E-05	5.00	3.67	105.93	3.47	8.36	3.45
8.00	300.00	7.21	9.90	244.86	2.43E+05	-3.69E-01	-10.30	361.96	71.31	507.59	1333.27	483.29
9.00	200.00	4.98	7.76	196.13	3.59E+05	1.33E-03	6.83	10.81	33.35	28.20	73.32	33.98
10.00	100.00	2.53	4.93	132.94	5.19E+05	1.27E-02	53.54	3834.55	12.47*****			



ภาพที่ 4.10
แสดงเส้นคุณลักษณะกระแสและแรงดัน
ของมอเตอร์ที่มี $KR = 0.004$ โวลต์/
รอบต่อนาที

ภาพที่ 4.11
แสดงเส้นคุณลักษณะกระแส
และแรงดันของมอเตอร์ที่มี
 $KR = 0.003$ โวลต์/
รอบต่อนาที



ผลการวิเคราะห์จากตารางที่ 4.54 ถึง 4.65 นำไปเขียนเส้นคุณลักษณะกระแส และแรงคั้นของมอเตอร์เทียบกับเส้นกำลังงานสูงสุดของแฉวงแมง ดังในภาพที่ 4.10 และ 4.11 ซึ่งนำไปพิจารณาร่วมกับค่าประสิทธิภาพในตารางที่ 4.54 ถึง 4.65 ได้ผลออกมาว่า

มอเตอร์ตัวที่หนึ่ง $KR = 0.004$, $DIA = 0.038$, $FR = 0.030$

HS (ม.)	LE (ม.)	R = 0.2 ในช่วงค่าการรับรังสี (วัตต์/ม ²)	R = 0.4 ในช่วงค่าการรับรังสี (วัตต์/ม ²)
2	15	มากกว่า 400	น้อยกว่า 400
3	7	มากกว่า 400	น้อยกว่า 400
5	10	มากกว่า 400	น้อยกว่า 400

มอเตอร์ตัวที่สอง $KR = 0.003$, $DIA = 0.038$, $FR = 0.030$

HS (ม.)	LE (ม.)	R = 0.2 ในช่วงค่าการรับรังสี (วัตต์/ม ²)	R = 0.4 ในช่วงค่าการรับรังสี (วัตต์/ม ²)
2	15	มากกว่า 600	น้อยกว่า 600
3	10	มากกว่า 700	น้อยกว่า 700
5	10	มากกว่า 600	น้อยกว่า 600

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบในกรณีของมอเตอร์ทั้งสองตัว ปรากฏว่าระบบสูบน้ำที่ใ้มอเตอร์ตัวที่สองดีกว่าระบบสูบน้ำที่ใ้มอเตอร์ตัวที่หนึ่ง