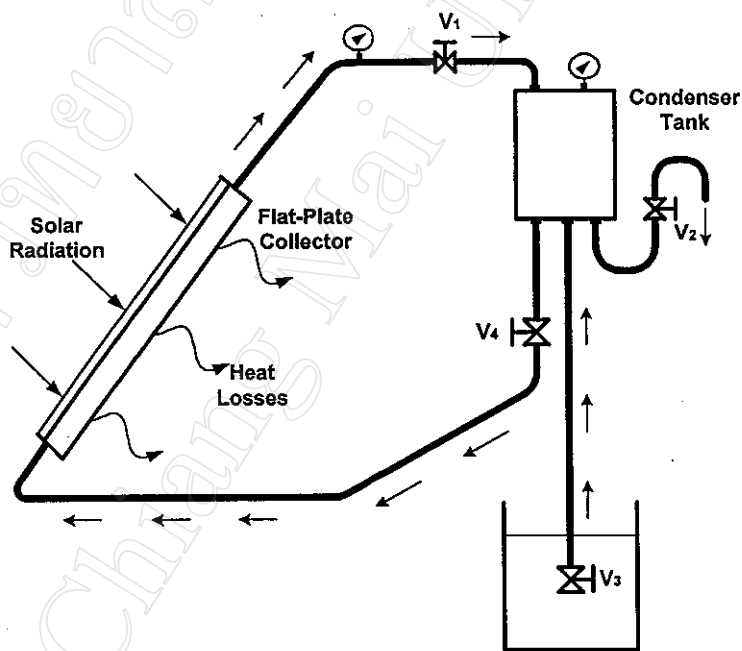


บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

โครงการวิจัยนี้จะทำการศึกษาสมรรถนะของระบบสูบน้ำแสงอาทิตย์โดยใช้หลักการชาเวรี คือเพิ่มและลดความดันไอน้ำ เพื่อให้เกิดการขับเคลื่อนน้ำออก และสูบน้ำเข้ามาในระบบตามลำดับ หลักการทำงานแสดงในรูป 2.1 โดยเริ่มจากของไหลในตัวรับรังสีได้รับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ จนของไหลบางส่วนกลายเป็นไอน้ำขึ้นสู่ถัง เมื่อหยุดรับความร้อนและระบายความร้อนออก ไอน้ำจะควบแน่นเป็นผลให้ความดันในส่วนนั้นลดลง สามารถสูบน้ำของไหลใหม่ขึ้นมาแทนที่จนกระทั่งความดันสมดุล (ไม่สามารถสูบน้ำได้อีก) จากนั้นก็ให้ของไหลในตัวรับรังสีรับพลังงานความร้อนเพื่อสร้างไอน้ำไปขับเคลื่อนของไหลในถังออกไป การเคลื่อนที่ของของไหลจะเป็นในลักษณะเดียวกันนี้ในรอบต่อไป



รูป 2.1 แผนผังระบบสูบน้ำแสงอาทิตย์ด้วยหลักการชาเวรี

หลักการทำงานของระบบที่ออกแบบ คือ เติมน้ำให้เต็มระบบก่อน ปิดวาล์ว V_1 และ V_4 เมื่อของไหลในตัวรับรังสีได้รับพลังงานความร้อนทำให้ของไหลบางส่วนกลายเป็นไอน้ำ ซึ่งอุณหภูมิและความดันจะสูงขึ้น หลังจากเปิดวาล์ว V_1 ไอน้ำความดันสูงจะไหลเข้าสู่ถังควบแน่น (Condenser tank) เพื่อขับเคลื่อนน้ำในถังออกไปทางวาล์ว V_2 (วาล์วทางเดียว) ไอน้ำจะเข้าไปแทนที่น้ำในถังควบแน่น เมื่อวาล์ว V_1 ปิด และระบายความร้อนออกที่ถังควบแน่น ไอน้ำจะควบแน่นทำให้ความดันลดลงของไหลใหม่จึงถูกสูบน้ำขึ้นมาโดยผ่านวาล์ว V_3 (วาล์วทางเดียว) เข้า

มาถึง จนกระทั่งความดันสมดุล (ไม่สามารถสูบน้ำได้อีก) เปิดวาล์ว V1 และ V4 เพื่อให้ของไหลในถังเข้ามาเติมในตัวรับรังสีโดยผ่านวาล์ว V4 ไปรับความร้อนเพื่อสร้างไอน้ำไปขับน้ำออกจากถัง ระบายความร้อนออกให้ไอน้ำควบแน่นเพื่อสูบน้ำขึ้น ซึ่งจะทำงานเช่นนี้ไปเรื่อยๆ โดยระบบจะสามารถทำงานได้ตลอดเวลาถ้าหากได้รับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ในปริมาณที่เพียงพอ

2.1 การคำนวณค่าอัตราความร้อนที่ได้จากตัวรับรังสีแสงอาทิตย์

ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดหนึ่ง ซึ่งเปลี่ยนรูปพลังงานจากพลังงานแสงอาทิตย์ไปเป็นพลังงานความร้อน โดยถ่ายเทให้กับของไหลที่ไหลภายในตัวรับรังสี ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบ่งเป็นสองประเภทใหญ่ๆ คือ ตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบ (Flat-Plate Collectors) และตัวรับรังสีแบบรวมแสง (Concentrating Collectors) ซึ่งตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบจะมีความเหมาะสมมากกว่าสำหรับประเทศไทย เนื่องจาก 40-50% ของรังสีที่ตกกระทบจะเป็นรังสีกระจาย (Diffuse Radiation) ทนงเกียรติ (2535) ซึ่งตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบยังสามารถทำงานได้ ส่วนตัวรับรังสีแบบรวมแสงจะใช้งานได้ดีกับรังสีตรง (Direct Radiation) เท่านั้น ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ที่ดีจะต้องมีความสามารถดูดกลืนรังสีแสงอาทิตย์ได้ดี มีการสูญเสียความร้อนน้อย และสามารถถ่ายเทความร้อนที่ดูดกลืนให้แก่ของไหลใช้งานได้รวดเร็ว เมื่อรังสีแสงอาทิตย์ตกกระทบมายังตัวรับรังสีจะมีพลังงานความร้อนส่วนหนึ่งสูญเสียไปให้กับสิ่งแวดล้อม ค่าอัตราความร้อนที่สูญเสีย (Q_{loss}) ได้จากการของ Duffie and Beckman (1980) ดังนี้

$$Q_{loss} = U_L A_C (T_C - T_a) \quad (2.1)$$

ค่าอัตราความร้อนที่ได้จากตัวรับรังสีที่เวลาใดๆ (Instantaneous Useful Energy, Q_u) สามารถ คำนวณได้จากการที่ Duffie and Beckman (1980) แนะนำไว้ดังนี้

$$Q_u = A_C [I_T (\tau\alpha)_{eff} - U_L (T_C - T_a)] \quad (2.2)$$

A_C คือพื้นที่รับรังสีแสงอาทิตย์ของตัวรับรังสี U_L คือสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนจากผิวคูดรังสีสู่สิ่งแวดล้อม T_C คืออุณหภูมิเฉลี่ยของผิวคูดรังสี T_a คืออุณหภูมิสิ่งแวดล้อม I_T คือปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกบนระนาบของตัวรับรังสี และ $(\tau\alpha)_{eff}$ คือประสิทธิภาพเชิงแสงของตัวรับรังสี ซึ่งเป็นอัตราส่วนของรังสีแสงอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนในตัวรับรังสีต่อรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกบนตัวรับรังสี โดย Duffie and Beckman (1980) ได้แนะนำค่าในการคำนวณดังนี้

$$(\tau\alpha)_{eff} \cong 1.01\tau\alpha \quad (2.3)$$

เมื่อ τ คือสภาพการส่งผ่านรังสีของแผ่นกระจก (Transmittance) และ α คือสภาพการคูดรังสีของแผ่นคูดรังสี (Absorptance)

ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม (U_L) หาได้จากสมการที่ Sayigh (1977) รวบรวมไว้ดังนี้

$$U_L = U_{top} + U_{bottom} \quad (2.4)$$

เมื่อ U_{top} เป็นค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนทางด้านบนของตัวรับรังสี และ U_{bottom} เป็นค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนทางด้านล่างของตัวรับรังสี โดยการสูญเสียความร้อนทางด้านล่างของตัวรับรังสีถือว่าน้อยมาก เนื่องจากมีการหุ้มฉนวนอย่างดีจึงไม่นำมาพิจารณา

โดยค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนทางด้านบนของตัวรับรังสี (U_{top}) หาได้จาก

$$U_{top} = \left[\frac{N}{\frac{A}{T_C} \left(\frac{T_C - T_a}{N+B} \right)^{0.33} + \frac{1}{h_w}} \right]^{-1} + \frac{\sigma(T_C - T_a)(T_C^2 + T_a^2)}{(\epsilon_p + 0.05N(1 - \epsilon_p))^{-1} + \left(\frac{2N+B-1}{\epsilon_g} \right) - N} \quad (2.5)$$

เมื่อ N คือจำนวนชั้นของกระจก T_C คืออุณหภูมิเฉลี่ยของผิวดูดรังสี T_a คืออุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ϵ_p คือค่า Emissivity ของผิวดูดรังสี ϵ_g คือค่า Emissivity ของกระจก S คือมุมเอียงของตัวรับรังสี σ คือค่าคงที่ของ Stefan-Boltzmann มีค่าเท่ากับ $5.6697 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ h_w คือสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากลม v เป็นความเร็วลมของอากาศภายนอกในหน่วย m/s

$$h_w = 2.8 + 3.0v \quad (2.6)$$

$$A = 250(1 - 0.0044(S - 90)) \quad (2.7)$$

$$B = (1 - 0.04h_w + 0.0005h_w^2)(1 + 0.091N) \quad (2.8)$$

ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนทางด้านล่างของตัวรับรังสี (U_{bottom}) หาได้จาก

$$U_{bottom} = \frac{k_I}{l_I} \quad (2.9)$$

เมื่อ k_I คือค่าสัมประสิทธิ์การต้านทานความร้อนของฉนวน และ l_I คือความหนาของฉนวน
ค่าประสิทธิภาพของตัวรับรังสี (Collector Efficiency) ที่ขณะใดๆ η_c จะคำนวณจาก

$$\eta_c = \frac{Q_u}{I_T A_C} \quad (2.10)$$

ส่วนค่าประสิทธิภาพของตัวรับรังสีทั้งวัน จะคำนวณได้จาก

$$\eta_{C,daily} = \frac{\int_0^1 Q_u dt}{H_{tot} A_C} \quad (2.11)$$

2.2 สมการพื้นฐานสำหรับการไหลของของไหล

สมการเบอร์นูลลีที่ปรับปรุง (Modified Bernoulli's Equation) สำหรับการไหลแบบไม่ยุบตัว (Incompressible Flow of Fluid) สามารถจัดได้ในรูป

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + h_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + h_2 + h_r \quad (2.12)$$

เมื่อ h_r เป็นค่าความเสียดทานรวมซึ่งเป็นผลมาจากท่อ เชื้อควาส้ว ทางเข้าท่อ การขยายและการหดตัวของท่อ ท่อโค้ง และข้องอ ในการทดลองถือว่าความสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานอื่นๆ นั้นน้อยมาก เมื่อเทียบกับการสูญเสียเนื่องจากความยาวของท่อ ดังนั้นหาความเสียดทานรวม h_r หาได้จากสมการของ White (1994) ดังนี้

$$h_r = \left(f \frac{L}{D} + \sum K \right) \frac{v^2}{2g} \quad (2.13)$$

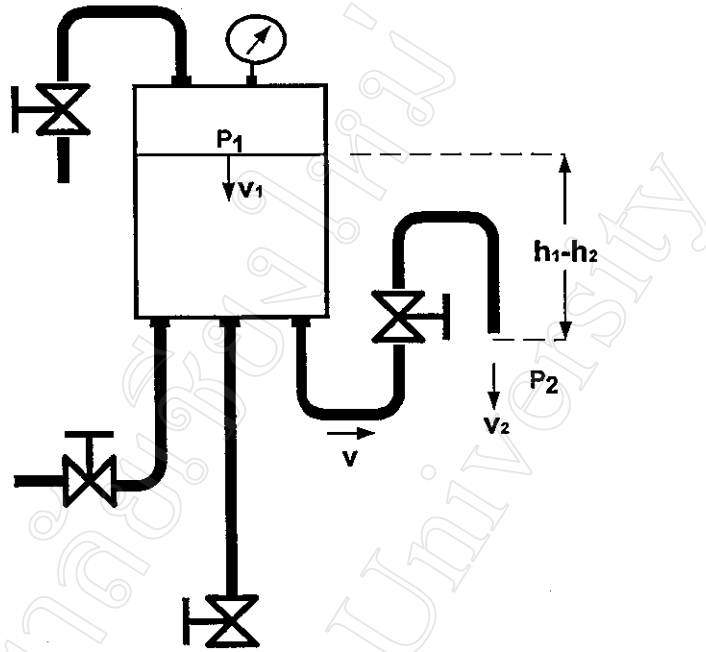
เมื่อ f เป็นค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของของไหล และ L เป็นความยาวทั้งหมดของท่อ และ K เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของความต้านทานการไหลของอุปกรณ์ในระบบ

2.3 วิธีการคำนวณเพื่อประมาณค่าอัตราการไหลในระบบ

ในการคำนวณเพื่อประมาณค่าอัตราการไหลของระบบ จึงเป็นที่จะต้องทราบค่าตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ คือ ความดันในระบบ ระดับความแตกต่างความสูงของการสูบน้ำ ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการไหลของอุปกรณ์ในระบบ ขนาดและความยาวของท่อที่ใช้ในระบบ ตลอดจนคุณสมบัติของของไหลที่อุณหภูมิต่างๆ จึงจะสามารถคำนวณหาอัตราการไหลได้

2.3.1 การคำนวณหาอัตราการไหลในช่วงจ่ายน้ำ

ทำการวัดความดันที่ทำให้เกิดการขับเคลื่อนน้ำออกจากถังความดัน จ่ายน้ำออกจากระบบเพื่อที่จะนำค่าความดันที่วัดได้จากการทดลอง ไปคำนวณหาความเร็วในการไหลที่ขณะใดขณะหนึ่ง ของของไหลในช่วงจ่าย



รูป 2.2 ตำแหน่งต่างๆ ในช่วงจ่ายน้ำ

ในรูป 2.2 เป็นช่วงที่มีการจ่ายน้ำ โดยตัวรับรังสีจะผลิตไอน้ำที่มีความดันสูง เพื่อมาดันน้ำในถังควบแน่น ซึ่งไอน้ำจะดันน้ำออกทางด้านล่างของถัง ผ่านวาล์วทางเดียวออกมาตามท่อจ่าย ดังรูป 2.2

จากสมการ (2.12) สามารถจัดเรียงใหม่ได้เป็น

$$\frac{v_2^2}{2g} + \left(f \frac{L}{D} + \sum K \right) \frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_1 - P_2}{\rho g} + (h_1 - h_2) \quad (2.14)$$

จากสมการความต่อเนื่อง (Continuity equation)

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (2.15)$$

แทนสมการ (2.15) ในสมการ (2.14) ได้เป็น

$$\frac{v_2^2}{2g} \left(1 + f \frac{L}{D} + \sum K - \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right) = \frac{P_1 - P_2}{\rho g} + (h_1 - h_2) \quad (2.16)$$

กำหนดให้ $(A_2/A_1)^2 \approx 0$ เนื่องจากถึงขนาดใหญ่มากเมื่อเทียบกับขนาดของท่อ ดังนั้น ความเร็วในการไหลภายในท่อ สามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$v_2 = \sqrt{\frac{\frac{2}{\rho}(p_1 - p_2) + 2g(h_1 - h_2)}{\left(1 + f \frac{L}{D} + \sum K\right)}} \quad (2.17)$$

ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของของไหล (f) สามารถหาได้โดยแยกเป็น 2 กรณี ดังนี้

1. สำหรับการไหลในท่อกลมแบบราบเรียบ (Laminar flow)

ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของของไหล (f) สำหรับผิวท่อเรียบ สามารถหาได้จากสมการของ White (1994) ดังนี้

$$f = \frac{64}{Re} \quad (2.18)$$

โดยความสับสนันนี้เกิดขึ้นในช่วง $Re \leq 2300$

2. สำหรับการไหลในท่อกลมแบบปั่นป่วน (Turbulent flow)

ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของของไหล (f) สำหรับผิวท่อเรียบ สามารถหาได้จากสมการของ White (1994) ดังนี้

$$f = 0.3164 Re^{-0.25} \quad (2.19)$$

โดยความสับสนันนี้เกิดขึ้นในช่วง $4000 < Re < 10^5$

สำหรับตัวเลขเรย์โนลด์ (Re) หาได้จากสมการดังนี้

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \quad (2.20)$$

ในการคำนวณจะทำการคำนวณแบบกลับไปกลับมา (Iterative) เพื่อหาค่า v_2 ที่ทำให้สมการเป็นจริง โดยเริ่มคำนวณจากการ สมมุติค่าเริ่มต้นของ f แล้วแทนค่าในสมการ (2.17) ซึ่งจะให้ได้ค่า v_2 ค่าหนึ่ง จากนั้นนำค่า v_2 ที่ได้ไปแทนต่อในสมการ (2.20) จะได้ค่า Re จากค่า Re ที่ได้ จะทำให้สามารถบอกได้ว่าการไหลเป็นแบบราบเรียบหรือปั่นป่วน ถ้าหากค่า $Re \leq 2300$ การไหลจะเป็นแบบราบเรียบ จึงแทน Re ในสมการ

(2.18) เพื่อหาค่า f และถ้าหาก $4000 < Re < 10^5$ การไหลจะเป็นแบบปั่นป่วน จึงแทน Re ในสมการ (2.19) เพื่อหาค่า f ด้วยค่า f ที่ได้นี้เองเมื่อนำไปแทนในสมการ (2.17) ก็จะทำให้ได้ค่า v_2 ค่าใหม่ ซึ่งค่า v_2 ใหม่จะนำกลับไปแทนในสมการ (2.20) เป็นรอบที่สองและวนซ้ำ จนกว่าค่าแปรทุกตัวจะเข้าหาค่าตอบเป็นค่าเดียว ซึ่งค่าความเร็วในการไหล (v_2) ที่ได้ในการคำนวณครั้งหลังสุดจะถือเป็นคำตอบที่ถูกต้อง โดยขั้นตอนการคำนวณแสดงได้ดังรูป 2.4

และจากความสัมพันธ์ $Q = Av$ ดังนั้นสามารถหาอัตราการไหลได้จาก

$$Q = A \sqrt{\frac{\frac{2}{\rho}(P_1 - P_2) + 2g(h_1 - h_2)}{\left(1 + f \frac{L}{D} + \sum K\right)}} \quad (2.21)$$

เพื่อให้สะดวกในการใช้งาน ค่าอัตราการไหลสามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$Q = AC_d \sqrt{\frac{2}{\rho}(P_1 - P_2) + 2g(h_1 - h_2)} \quad (2.22)$$

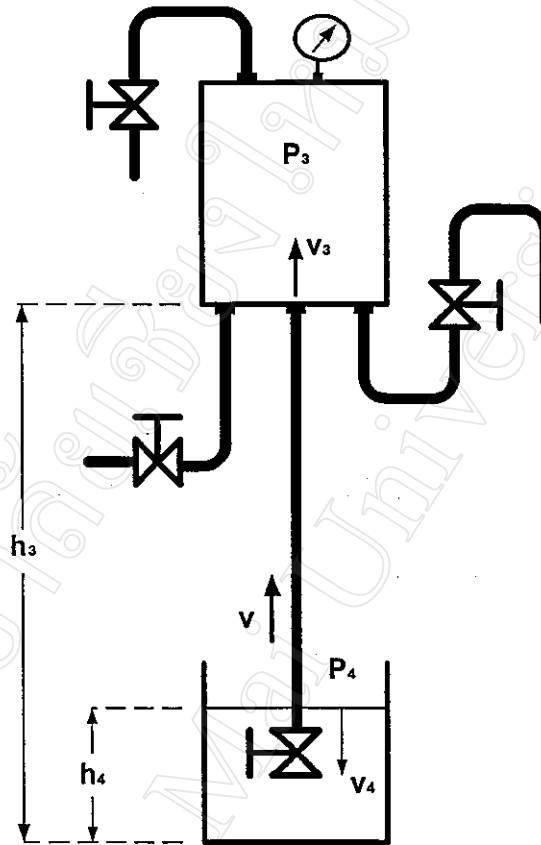
C_d เป็นค่าสัมประสิทธิ์ในการไหล แสดงได้ด้วยสมการดังนี้

$$C_d = a_1 \ln(Re) - b_1 \quad (2.23)$$

ซึ่งค่า a_1 และ b_1 เป็นค่าที่ได้จากการทดลอง

2.3.2 การคำนวณหาอัตราการไหลในช่วงสุบน้ำ

การคำนวณหาอัตราการไหลในช่วงสุบน้ำ สามารถทำได้เช่นเดียวกับการคำนวณหาอัตราการไหลในช่วงจ่ายน้ำ โดยสามารถหาค่าความเร็วในการไหลที่ขณะใดขณะหนึ่ง จากสมการเบอร์นูลีที่ปรับปรุง



รูป 2.3 ตำแหน่งต่างๆ ในช่วงสูบน้ำ

ในรูป 2.3 เป็นช่วงที่มีการสูบน้ำ โดยระบายความร้อนออกที่ถังควบแน่นด้านบน เพื่อให้ไอน้ำในถังควบแน่น ความดันลดลงต่ำกว่าความดันบรรยากาศ ทำให้น้ำจากถังด้านล่างที่ความดันบรรยากาศถูกสูบขึ้นมาผ่านวาล์วทางเดียวมาตามท่อสูด เข้าสู่ถังควบแน่นดังรูป 2.3

จากสมการ (2.12) สามารถจัดเรียงใหม่ได้เป็น

$$\frac{v_3^2}{2g} + \left(f \frac{L}{D} + \sum K \right) \frac{v_3^2}{2g} - \frac{v_4^2}{2g} = \frac{P_4 - P_3}{\rho g} - (h_3 - h_4) \quad (2.24)$$

จากสมการความต่อเนื่อง (Continuity equation)

$$A_3 v_3 = A_4 v_4 \quad (2.25)$$

แทนสมการ (2.25) ในสมการ (2.24) ได้เป็น

$$\frac{v_3^2}{2g} \left(1 + f \frac{L}{D} + \sum K - \left(\frac{A_3}{A_4} \right)^2 \right) = \frac{P_4 - P_3}{\rho g} + (h_3 - h_4) \quad (2.26)$$

กำหนดให้ $(A_3/A_4)^2 \approx 0$ เนื่องจากถึงขนาดใหญ่มากเมื่อเทียบกับขนาดของท่อ ดังนั้น ความเร็วในการไหลภายในท่อ สามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$v_3 = \sqrt{\frac{\frac{2}{\rho}(P_4 - P_3) - 2g(h_3 - h_4)}{\left(1 + f \frac{L}{D} + \sum K \right)}} \quad (2.27)$$

ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของของไหล (f) สามารถหาได้โดยแยกเป็น 2 กรณี ดังนี้

1. สำหรับการไหลในท่อกลมแบบราบเรียบ (Laminar flow)

ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของของไหล (f) สำหรับผิวท่อเรียบ สามารถหาได้จากสมการของ

White (1994) ดังนี้

$$f = \frac{64}{Re} \quad (2.28)$$

โดยความสัณฐานนี้เกิดขึ้นในช่วง $Re \leq 2300$

2. สำหรับการไหลในท่อกลมแบบปั่นป่วน (Turbulent flow)

ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของของไหล (f) สำหรับผิวท่อเรียบ สามารถหาได้จากสมการของ

White (1994) ดังนี้

$$f = 0.3164 Re^{(-0.25)} \quad (2.29)$$

โดยความสัณฐานนี้เกิดขึ้นในช่วง $4000 < Re < 10^5$

สำหรับตัวเลขเรย์โนลด์ (Re) หาได้จากสมการดังนี้

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \quad (2.30)$$

ในการคำนวณจะทำการคำนวณแบบกลับไปกลับมา (Iterative) เพื่อหาค่า v_3 ที่ทำให้สมการเป็นจริง โดยเริ่มคำนวณจากการ สมมุติค่าเริ่มต้นของ f แล้วแทนค่าในสมการ (2.27) ซึ่งจะให้ได้ค่า v_3 ค่าหนึ่ง จากนั้นนำค่า v_3 ที่ได้ไปแทนต่อในสมการ (2.30) จะได้ค่า Re จากค่า Re ที่ได้ จะทำให้สามารถบอกได้ว่าการไหลเป็นแบบราบเรียบหรือปั่นป่วน ถ้าหากค่า $Re \leq 2300$ การไหลจะเป็นแบบราบเรียบ จึงแทน Re ในสมการ (2.28) เพื่อหาค่า f และถ้าหาก $4000 < Re < 10^5$ การไหลจะเป็นแบบปั่นป่วน จึงแทน Re ในสมการ (2.29) เพื่อหาค่า f ด้วยค่า f ที่ได้นี้เองเมื่อนำไปแทนในสมการ (2.27) ก็จะทำให้ได้ค่า v_3 ค่าใหม่ ซึ่งค่า v_3 ใหม่นี้จะนำกลับไปแทนในสมการ (2.30) เป็นรอบที่สองและวนซ้ำ จนกว่าตัวแปรทุกตัวเข้าสู่หาค่าตอบเป็นค่าเดียว ซึ่งค่าความเร็วในการไหล (v_3) ที่ได้ในการคำนวณครั้งหลังสุดจะถือเป็นคำตอบที่ถูกต้อง ขั้นตอนการคำนวณแสดงได้ดังรูป 2.5

และจากความสัมพันธ์ $Q = Av$ ดังนั้นสามารถหาอัตราการไหลได้จาก

$$Q = A \sqrt{\frac{\frac{2}{\rho}(P_4 - P_3) - 2g(h_3 - h_4)}{\left(1 + f \frac{L}{D} + \sum K\right)}} \quad (2.31)$$

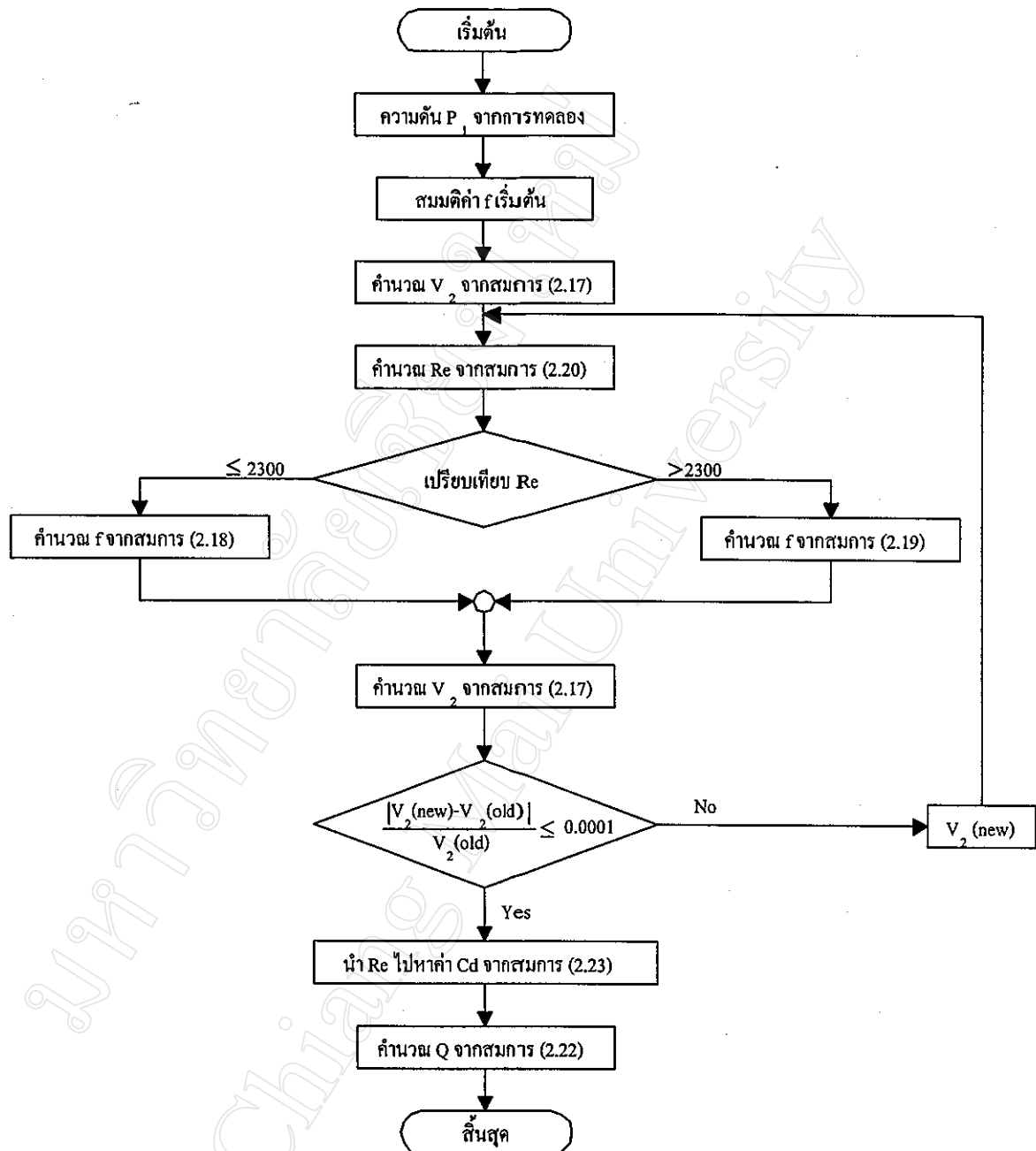
เพื่อให้สะดวกในการใช้งาน ค่าอัตราการไหล สามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$Q = AC_s \sqrt{\frac{2}{\rho}(P_4 - P_3) - 2g(h_3 - h_4)} \quad (2.32)$$

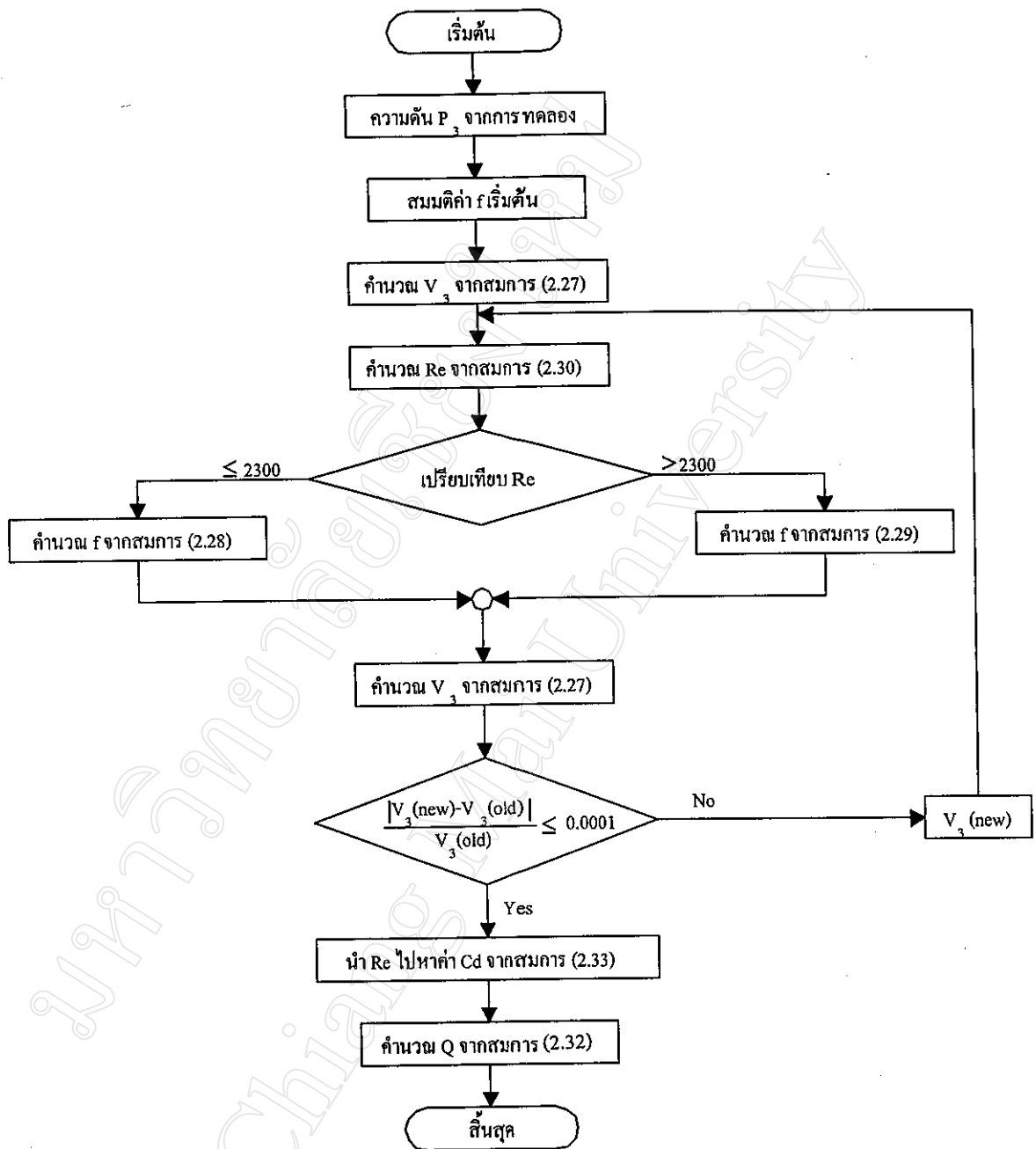
C_s เป็นค่าสัมประสิทธิ์ในการไหล ซึ่งแสดงได้ด้วยสมการดังนี้

$$C_s = a_2 \ln(Re) - b_2 \quad (2.33)$$

ซึ่งค่า a_2 และ b_2 เป็นค่าที่ได้จากการทดลอง



รูป 2.4 แผนภูมิลำดับการคำนวณเพื่อประมาณอัตราการไหลในช่วงจ่ายน้ำ



รูป 2.5 แผนภูมิลำดับการคำนวณเพื่อประมาณอัตราการไหลในช่วงสูบน้ำ

2.4 ประสิทธิภาพของระบบ

ประสิทธิภาพของระบบสูบน้ำแสงอาทิตย์ สามารถแยกคิดได้เป็น 2 แบบด้วยกัน ดังนี้

2.4.1 ประสิทธิภาพสูงสุดทางทฤษฎี

ประสิทธิภาพสูงสุดทางทฤษฎี Jenness (1961) ได้เสนอไว้ โดยคิดจากอัตราส่วนระหว่างพลังงานที่ได้จากถังสูบน้ำกับพลังงานที่ป้อนเข้าสู่ถังสูบน้ำ ดังนั้นประสิทธิภาพสูงสุดทางทฤษฎี จึงเขียนได้เป็น

$$\eta_p = \frac{\rho_w g h}{\rho_g \alpha} \quad (2.34)$$

เมื่อ ρ_w คือความหนาแน่นของน้ำ g คือความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก h คือความสูงของน้ำที่ยกได้ ρ_g คือความหนาแน่นของไอน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ V_g คือปริมาตรของไอน้ำในถังควบแน่น α คือค่าความร้อนแฝงของน้ำที่กลายเป็นไอน้ำที่ 100 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ

ประสิทธิภาพสูงสุดทางทฤษฎีที่คำนวณได้ จะมีค่าเท่ากับ 0.725 และ 1.45 เปอร์เซนต์ สำหรับความสูงทางด้านดูด 1 และ 2 เมตรตามลำดับ แต่ประสิทธิภาพจริงที่คำนวณได้จะมีค่าต่ำกว่ามาก เนื่องจากต้องสูญเสียความร้อน เพื่อทำให้น้ำร้อนขึ้นจากอุณหภูมิห้องเป็น 100 องศาเซลเซียส

2.4.2 ประสิทธิภาพรวมของระบบ

ประสิทธิภาพรวมของระบบสูบน้ำแสงอาทิตย์ในรูปความร้อนหาได้จากอัตราส่วนระหว่างกำลังที่ได้จากการไหลของน้ำในระบบ (Hydraulic Power) กับปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ที่ตัวรับรังสีได้รับ ในช่วงเวลาที่พิจารณา ดังนี้

$$\eta_{sys} = \frac{\int_0^t \rho_w g h \dot{V}_w dt}{\int_0^t A_c I_T dt} \quad (2.35)$$

เมื่อ $\dot{V}_w$ คืออัตราการไหลของน้ำ I_T คือความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์

ดังนั้น ประสิทธิภาพรวมต่อวันของระบบสูบน้ำแสงอาทิตย์ จึงเขียนได้เป็น

$$\eta_{sys, daily} = \frac{\rho_w g h V_w}{H_{tot} A_c} \quad (2.36)$$

เมื่อ V_w คือปริมาณน้ำที่สูบได้ทั้งวัน H_{tot} คือค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่ระบบได้รับรวมทั้งวัน A_c คือพื้นที่รับรังสีแสงอาทิตย์ของตัวรับรังสี

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University