บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

2.1 การคำนวณค่ารังสีแสงอาทิตย์

ในการคำนวณค่ารังสีอาทิตย์นั้นเวลาที่ใช้ในการคำนวณจะเป็นค่าเวลาสุริยะ (Solar time) ซึ่งจะมีค่าแตกต่างจากเวลามาตรฐานท้องถิ่น (Standard time) สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างเวลามาตรฐานท้องถิ่นและเวลาสุริยะแสดงได้ดังสมการ (2.1) ดังนี้ (Duffie and Beckman, 1980)

$$\text{Solar time} - \text{Standard time} = 4(L_{st} - L_{loc}) + E, \text{ min} \qquad (2.1)$$

โดยที่ $E = 9.87\sin(2B) - 7.53\cos B - 1.5\sin B \qquad (2.2)$

และ $B = \dfrac{360(n-81)}{364} \qquad (2.3)$

เมื่อ E = สมการเวลา (Equation of time, E)

n = วันที่ของปี

L_{st} = ตำแหน่งเส้นลองจิจูด (Longitude) ที่ใช้คำนวณเวลามาตรฐานท้องถิ่น

L_{loc} = ตำแหน่งเส้นลองจิจูดของบริเวณที่พิจารณา

ค่ารังสีแสงอาทิตย์เมื่ออยู่นอกชั้นบรรยากาศของโลกในแต่ละวัน จากพระอาทิตย์ขึ้นจนถึงพระอาทิตย์ตก สามารถคำนวณได้ดังนี้ (Duffie and Beckman, 1980)

$$H_o = \frac{24 \times 3600}{\pi} G_{sc}\left[1 + 0.033\cos\left(\frac{360n}{365}\right)\right] \times \left[\cos\phi\cos\delta\sin\omega_s + \frac{2\pi\omega_s}{360}\sin\phi\sin\delta\right] \qquad (2.4)$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยที่ $\delta = 23.45\sin\left[\frac{360(284+n)}{365}\right]$ (2.5)

และ $\omega s = \cos^{-1}\left[-\frac{\sin\phi\sin\delta}{\cos\phi\cos\delta}\right] = \cos^{-1}(-\tan\phi\tan\delta)$ (2.6)

เมื่อ H_o = ค่ารังสีแสงอาทิตย์เมื่ออยู่นอกชั้นบรรยากาศของโลก, MJ/m^2-day

G_{sc} = ค่าคงที่สุริยะ (Solar constant) ซึ่งมีค่าประมาณ 1353 W/m^2

n = วันที่ของปี

ϕ = มุมละติจูด (Latitude angle) หรือเส้นรุ้งของตำแหน่งที่พิจารณา

ω_s = มุมชั่วโมงที่พระอาทิตย์ตกดิน (Sunset hour angle) เป็นมุมตกกระทบระหว่างค่ารังสีตรงกับพื้นในแนวระดับ

δ = มุมเดคลิเนชัน (Declination angle) หรือมุมระหว่างตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่เที่ยงสุริยะกระทำกับแนวระนาบอิเควเตอร์

ในการคำนวณค่ารังสีแสงอาทิตย์โดยทั่วไปแล้วมักจะใช้วันที่ที่เป็นตัวแทนของเดือนในการคำนวณ ซึ่งในการหาวันที่ที่เป็นตัวแทนของเดือนนั้นทำได้โดยการคำนวณหาค่ารังสีแสงอาทิตย์เมื่ออยู่นอกชั้นบรรยากาศของโลก (H_o) ในแต่ละวันของเดือนนั้น ๆ แล้วหาค่าเฉลี่ยตลอดทั้งเดือน ถ้าค่าเฉลี่ยของเดือนนั้นใกล้เคียงกับวันใดมากที่สุดวันนั้นก็จะเป็นวันที่ที่เป็นตัวแทนของเดือน ซึ่งจากการศึกษาจะได้วันที่ที่เป็นตัวแทนของเดือนแสดงดังในตารางที่ 2.1

รังสีแสงอาทิตย์รวมที่ตกบนพื้นโลกจะประกอบด้วยรังสีตรงและรังสีกระจาย สำหรับประเทศไทยค่ารังสีกระจายเฉลี่ย (Daily diffuse solar radiation, H_d) จะพิจารณาค่ารังสีอาทิตย์รายวันที่เฉลี่ยในแต่ละเดือน จากข้อมูลทางสถิติของประเทศไทย ซึ่งคำนวณได้ดังนี้ (ธีระพงษ์ ว่องรัตนะไพศาล และคณะ, 2546)

$$\frac{H_d}{H_o} = -4.6408 + 26.5495\left(\frac{H}{H_o}\right) - 28.3422\left(\frac{H}{H_o}\right)^2 - 31.4546\left(\frac{H}{H_o}\right)^3 + 46.4421\left(\frac{H}{H_o}\right)^4 \quad (2.7)$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อ H_d = รังสีกระจายรายวัน, MJ/m^2-day

H = รังสีรวมรายวัน, MJ/m^2-day

ตารางที่ 2.1 วันที่ที่เป็นตัวแทนของแต่ละเดือน (กำหนดวันที่ค่ารังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศของโลกมีค่าที่ใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยตลอดทั้งเดือนของค่ารังสีดังกล่าว)

เดือน	วันที่ของเดือน	วันที่ของปี (n)
มกราคม	17	17
กุมภาพันธ์	16	47
มีนาคม	16	75
เมษายน	15	105
พฤษภาคม	15	135
มิถุนายน	11	162
กรกฎาคม	17	198
สิงหาคม	16	228
กันยายน	15	258
ตุลาคม	15	288
พฤศจิกายน	14	318
ธันวาคม	10	344

ที่มา : ธีระพงษ์ ว่องรัตนะไพศาล และคณะ (2546)

ค่ารังสีแสงอาทิตย์รวมรายชั่วโมงสามารถคำนวณได้โดยกำหนดค่าอัตราส่วนรังสีรวมรายชั่วโมงต่อรังสีรวมรายวันดังนี้

$$r_t = \frac{I}{H} = \frac{\pi}{24} x \frac{(a + b\cos\omega)(\cos\omega - \cos\omega_s)}{\sin\omega_s - \frac{2\pi\omega_s \cos\omega_s}{360}} \quad (2.8)$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยที่ $a = a_1 + a_2\sin(\omega_s - 60^\circ)$

และ $b = b_1 + b_2\sin(\omega_s - 60^\circ)$

เมื่อ I = ค่ารังสีแสงอาทิตย์รายชั่วโมง, MJ/m^2-hr

ω = มุมชั่วโมง (hour angle) กำหนดให้เที่ยงวันเวลาสุริยะมีค่าเป็นศูนย์ และให้แต่ละชั่วโมงมีค่าเท่ากับ 15° โดยในตอนเช้ามีค่าเป็นลบและตอนบ่ายมีค่าเป็นบวก

a_1, a_2, b_1, b_2 = ค่าคงที่ที่สถานีต่าง ๆ ของประเทศไทยซึ่งแสดงดังในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ค่าสัมประสิทธิ์ a_1, a_2, b_1, b_2 ของสถานีต่าง ๆ ในประเทศไทย

สถานี	a_1	a_2	b_1	b_2
เชียงใหม่	0.514	0.228	0.512	0.033
อุบลราชธานี	0.760	-0.031	0.207	0.238
หาดใหญ่	0.607	-0.124	0.417	0.007
กรุงเทพฯ	0.792	-0.250	0.189	0.471

ที่มา : ธีระพงษ์ ว่องรัตนะไพศาล และคณะ (2546)

ค่ารังสีกระจายรายชั่วโมงสามารถคำนวณได้โดยกำหนดค่าอัตราส่วนของรังสีกระจายรายชั่วโมงต่อค่ารังสีกระจายรายวันดังนี้

$$r_d = \frac{I_d}{H_d} = \frac{\pi}{24} x \frac{\cos\omega - \cos\omega_s}{\sin\omega_s - \frac{2\pi\omega_s\cos\omega_s}{360}} \qquad (2.9)$$

เมื่อทราบค่ารังสีรวมและรังสีกระจายรายชั่วโมงจากสมการ (2.8) และ (2.9) ดังนั้นจะคำนวณหาค่ารังสีตรงรายชั่วโมงได้ดังนี้

$$I_b = I - I_d \qquad (2.10)$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อ I_b = ค่ารังสีตรงรายชั่วโมง, MJ/m^2-hr

I_d = ค่ารังสีกระจายรายชั่วโมง, MJ/m^2-hr

ในการใช้งานจริงจะต้องวางตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์ให้ทำมุมเอียงกับแนวระดับเพื่อให้สามารถรับรังสีแสงอาทิตย์ได้ดีตลอดทั้งปี ซึ่งจากการศึกษาพบว่ามุมเอียงที่ดีที่สุดมีค่าเท่ากับมุมละติจูดของพื้นที่ที่พิจารณา ดังนั้นจะคำนวณหาค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่ตกบนระนาบในแนวเอียงได้ดังนี้

$$I_T = I_b R_b + I_d \frac{1+\cos\beta}{2} \qquad (2.11)$$

นอกจากนี้ในกรณีที่วางตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์ทำมุมเอียงกับแนวระดับยังมีรังสีแสงอาทิตย์อีกส่วนหนึ่งที่สะท้อนมาจากสิ่งแวดล้อมรอบ ๆ ตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์ ดังนั้นค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์จะคำนวณได้จาก

$$I_T = I_b R_b + I_d \frac{1+\cos\beta}{2} + \rho(I_b + I_d)\left(\frac{1-\cos\beta}{2}\right) \qquad (2.12)$$

โดยที่ $$R_b = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z} \qquad (2.13)$$

$$\cos\theta = \sin\delta\sin\phi\cos\beta - \sin\delta\cos\phi\sin\beta\cos\gamma + \cos\delta\cos\phi\cos\beta\cos\omega + \cos\delta\sin\phi\sin\beta\cos\gamma\cos\omega + \cos\delta\sin\beta\sin\gamma\sin\omega \qquad (2.14)$$

$$\cos\theta_z = \sin\delta\sin\phi + \cos\delta\cos\phi\cos\omega \qquad (2.15)$$

เมื่อ I_T = ค่ารังสีแสงอาทิตย์รายชั่วโมงที่ตกบนระนาบเอียง, MJ/m^2-hr

β = มุมที่ตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์เอียงทำมุมกับแนวระดับ

θ = มุมที่รังสีตรงตกกระทบบนระนาบในแนวเอียง

θ_z = มุมที่รังสีตรงตกกระทบบนระนาบในแนวระดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ρ = แฟกเตอร์ของรังสีแสงอาทิตย์ที่สะท้อนมาจากสิ่งแวดล้อม (Ground reflectance or Albedo) มีค่าประมาณ 0.2 เมื่อตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์วางบนพื้นดินหรือพื้นหญ้า และ 0.8 เมื่อวางบนพื้นคอนกรีต

γ = มุมอะซิมุธ (Azimuth angle) ของระนาบเอียง มีค่าเป็นศูนย์เมื่อตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์เอียงไปทางทิศใต้ มีค่าเป็นลบในทิศตะวันออก และมีค่าเป็นบวกในทิศตะวันตก

2.2 ตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์

ตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์ (Solar collector) เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดหนึ่ง ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อน และถ่ายเทความร้อนให้กับของไหลทำงานที่ไหลผ่าน ทำให้ของไหลดังกล่าวมีอุณหภูมิสูงขึ้น ตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์แบ่งออกเป็นสองชนิดใหญ่ ๆ ชนิดแรกคือตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์ชนิดไม่รวมแสง (Non – concentrating collectors) เช่น ตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ (Flat plate solar collectors) และตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศ (Evacuated tubular solar collectors) ชนิดที่สองคือตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์แบบรวมแสง (Concentrating collectors) ซึ่งสามารถทำงานในช่วงอุณหภูมิสูง ๆ ได้ สำหรับในกรณีที่ไม่ต้องการอุณหภูมิสูงมากนักมักจะใช้ตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ซึ่งประกอบไปด้วยแผ่นดูดรังสี (Absorber plate) ทาสีดำ มีลักษณะเป็นท่อและครีบ ภายในท่อจะมีของไหลทำงานบรรจุอยู่ ตัวถังมีการบุฉนวนความร้อนอย่างดี และมีฝาปิดโปร่งแสง (Transparent cover) ซึ่งจะช่วยลดการสูญเสียความร้อนจากแผ่นดูดรังสีโดยการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนไปยังสิ่งแวดล้อมรอบ ๆ แสงอาทิตย์ที่ทะลุผ่านฝาปิดโปร่งแสงซึ่งเป็นกระจกหรือพลาสติกใสจะถูกดูดกลืนโดยแผ่นดูดรังสี และจะเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนถ่ายเทให้กับของไหลในท่อ ซึ่งอาจจะเป็นของเหลว เช่น น้ำ, น้ำมัน หรือแก๊ส เช่น อากาศ ทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นและนำไปใช้งานต่อไป

อัตราความร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ขณะใด ๆ ซึ่งเขียนให้อยู่ในรูปของอุณหภูมิของไหลเข้า (T_{fi}) ที่สภาวะคงตัว คือ

$$Q_u = F_R(\tau\alpha)I_T A_c - F_R U_L A_c(T_{fi} - T_a) \qquad (2.16)$$

โดยที่ $Q_u = \dot{m}_f (h_{fo} - h_{fi})$ (2.17)

เมื่อ Q_u = อัตราความร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์, W

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

A_c = พื้นที่ของตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์, m^2

I_T = รังสีแสงอาทิตย์ที่ตกบนระนาบตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์, W/m^2

$F_R(\tau\alpha)$ = ค่าผลคูณประสิทธิผลการส่งผ่านและดูดกลืนของตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์

$F_R U_L$ = ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม, W/m^2-K

T_{fi} = อุณหภูมิของไหลเข้า, °C

T_a = อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม, °C

$\dot{m}_f$ = อัตราการไหลของของไหล, kg/s

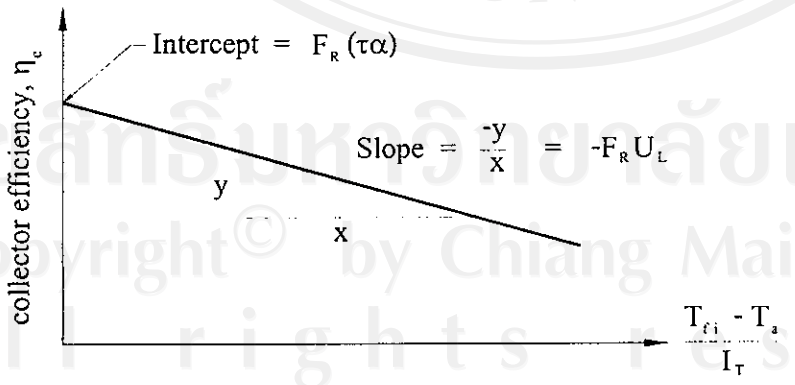
h_{fi} = เอนทัลปีของของไหลที่เข้าสู่ตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์, kJ/kg

h_{fo} = เอนทัลปีของของไหลที่ออกจากตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์, kJ/kg

ค่าประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์ (Collector efficiency, η_c) จะคำนวณได้จากสมการ

$$\eta_c = \frac{Q_u}{I_T A_c} = F_R(\tau\alpha) - F_R U_L \frac{(T_{fi} - T_a)}{I_T} \qquad (2.18)$$

เมื่อพล็อตความสัมพันธ์ระหว่าง η_c และ $(T_{fi} - T_a)/I_T$ จะได้สมการเส้นตรงดังแสดงในรูป 2.1 โดยที่ค่าความชันของเส้นคือค่า $-F_R U_L$ ส่วนค่าที่ตัดบนแกนประสิทธิภาพคือค่า $F_R(\tau\alpha)$ ในทางปฏิบัติการสร้างเส้นสมรรถนะของตัวเก็บรังสีจะกระทำเมื่อรังสีแสงอาทิตย์ตกตั้งฉากกับตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์ (ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์, 2535)



รูป 2.1 เส้นแสดงสมรรถนะของตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์ (ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์, 2535)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

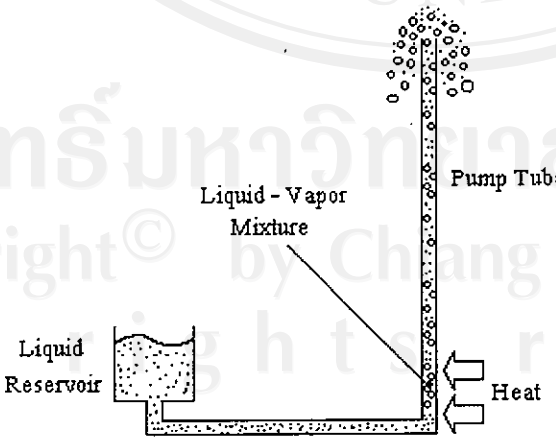
การคำนวณหาค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่น้อยที่สุด ($I_{T,\ min}$) ที่ตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์ยังสามารถทำงานได้ ($Q_u > 0$) อาจจะพิจารณาได้จากสมการ (2.16) โดยกำหนดให้ค่า Q_u มีค่าเป็นศูนย์ เมื่อปรับสมการใหม่จะได้ความสัมพันธ์ตามสมการ (2.19) ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อ U_L มีค่าน้อย ๆ จะทำให้ $I_{T,\ min}$ มีค่าน้อยตามไปด้วย ดังนั้นตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์ที่มีค่า U_L น้อย ๆ จะสามารถให้อัตราความร้อนใช้งานได้แม้ในขณะที่มีปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ไม่มาก ซึ่งจะทำให้สามารถให้อัตราความร้อนใช้งานได้ในระยะเวลาที่ยาวนานมากขึ้น

$$I_{T,\ min} = \frac{F_R U_L (T_{fi} - T_a)}{F_R (\tau\alpha)} \qquad (2.19)$$

2.3 เทคนิคบับเบิ้ลปั๊ม

เทคนิคบับเบิ้ลปั๊ม (Bubble pump technique) เป็นเทคนิคที่ใช้ความร้อนในการขับเคลื่อนของไหลภายในท่อให้ไหลขึ้นสู่ที่สูง ซึ่งการเคลื่อนที่ของของไหลจะไม่มีงานทางกลเข้ามาเกี่ยวข้องเลย หลักการทำงานของบับเบิ้ลปั๊มอย่างง่าย ๆ แสดงดังในรูป 2.2 เมื่อของไหลภายในท่อได้รับความร้อนจะค่อย ๆ เดือดกลายเป็นไอทำให้มีความดันสูงขึ้นและผลักให้ของผสมระหว่างไอและของเหลวไหลขึ้นสู่ที่สูงได้ (Srikirin, 2002)

สมรรถนะของบับเบิ้ลปั๊ม (Bubble pump performance) จะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ความยาวท่อ, เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ, ความร้อนที่ให้ และคุณสมบัติของของเหลวที่อยู่ภายในท่อ เป็นต้น ดังนั้นในการศึกษาและวิเคราะห์การทำงานของบับเบิ้ลปั๊มจำเป็นจะต้องวิเคราะห์ตัวแปรที่เกี่ยวข้องเหล่านี้ด้วย



รูป 2.2 หลักการทำงานของบับเบิ้ลปั๊ม (Srikirin, 2002)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4 กระบวนการกลั่น

การกลั่นเป็นกรรมวิธีแยกองค์ประกอบของสารละลายโดยอาศัยความแตกต่างของจุดเดือด เมื่อสารละลายได้รับความร้อน สารที่มีจุดเดือดต่ำจะระเหยออกมาในปริมาณที่มากกว่าสารที่มีจุดเดือดสูง มีผลทำให้ความเข้มข้นของสารที่มีจุดเดือดต่ำมีค่าสูงขึ้น โดยทั่วไปสามารถจำแนกการกลั่นออกเป็น 2 ประเภทด้วยกัน (ธีระพงษ์ ว่องรัตนะไพศาล และคณะ, 2546) ได้แก่ การกลั่นแบบเติมสารครั้งเดียว และการกลั่นแบบเติมสารอย่างต่อเนื่อง

2.4.1 การกลั่นแบบเติมสารครั้งเดียว (Batch distillation)

การกลั่นด้วยวิธีนี้ สารละลายจะถูกเติมเข้าไปในระบบก่อนเริ่มการกลั่นเพียงครั้งเดียว เมื่อเริ่มการกลั่นความร้อนจะถูกป้อนให้กับสารละลายเพื่อให้อุณหภูมิของสารละลายสูงขึ้นและเกิดการระเหย แล้วควบแน่นกลายเป็นของเหลวที่เครื่องควบแน่น ซึ่งจะได้ของเหลวที่ได้จากการควบแน่นมีความเข้มข้นขององค์ประกอบจุดเดือดต่ำมีค่าสูงขึ้นเมื่อกระบวนการกลั่นดำเนินไปเรื่อย ๆ ความเข้มข้นของสารละลายที่เหลืออยู่จะลดลงเรื่อย ๆ ทำให้กระบวนการกลั่นเกิดยากขึ้นเนื่องจากสารที่มีจุดเดือดต่ำเหลืออยู่ปริมาณน้อย

2.4.2 การกลั่นแบบเติมสารอย่างต่อเนื่อง (Continuous distillation)

การกลั่นด้วยวิธีการนี้ ละลายจะถูกป้อนเข้าสู่ระบบอย่างต่อเนื่อง อัตราการป้อนสารละลายเข้าสู่ระบบจะค่อนข้างคงที่ ความร้อนจะถูกป้อนให้กับสารละลายเพื่อให้อุณหภูมิของสารละลายสูงขึ้นและเกิดการระเหย แล้วควบแน่นกลายเป็นของเหลวที่เครื่องควบแน่น ซึ่งจะได้ของเหลวที่ได้จากการควบแน่นมีความเข้มข้นขององค์ประกอบจุดเดือดต่ำมีค่าสูงขึ้น กระบวนการกลั่นจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ

2.5 การวิเคราะห์มิติ

การวิเคราะห์มิติมีประโยชน์อย่างมากในการศึกษาทางวิศวกรรม โดยเฉพาะในเชิงกลศาสตร์ของไหล เนื่องจากจำนวนลักษณะการไหลที่สามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการต่าง ๆ หรือได้จากการคำนวณอย่างเดียวนั้นมีน้อยมาก ซึ่งในความเป็นจริงแล้วสมการต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการไหลจะได้จากการทดลองผสมผสานกับการวิเคราห์คำนวณเป็นส่วนใหญ่ อย่างไรก็ตามในการทดลองในห้องปฏิบัติการนั้นต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้นการนำเอาหลักการของ "การวิเคราะห์มิติ" (Dimensional Analysis) มาใช้จะช่วยให้ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายลงและยังช่วยให้ได้ข้อมูลที่สมบูรณ์ด้วย สำหรับวิธีการที่จะได้มาซึ่งกลุ่มที่ไม่มีมิตินั้นส่วนใหญ่จะใช้ "ทฤษฎีของบัคกิ้งแฮมพาย" (Buckingham Pi Theorem) เข้าช่วยดังนี้ (Fox and McDonald, 1978)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ถ้าหากเราพิจารณาความสัมพันธ์ใด ๆ ที่มีตัวแปรตามเป็นฟังก์ชั่นกับตัวแปรอิสระจำนวน n – 1 ตัวแล้ว เราสามารถเขียนได้ในรูปของ

$$q_1 = f(q_2, q_3, \ldots, q_n) \qquad (2.20)$$

โดยที่ q_1 เป็นตัวแปรตาม (Dependent parameter) และ $q_2, q_3, \ldots, q_n$ เป็นตัวแปรอิสระ (Independent parameter) จำนวน n – 1 ตัว ในทางคณิตศาสตร์แล้วเราสามารถเขียนรูปใหม่ที่เทียบเท่ากันได้ว่า

$$g(q_2, q_3, \ldots, q_n) = 0 \qquad (2.21)$$

โดยที่ g เป็นฟังก์ชั่นทั่ว ๆ ไป จากหลักการข้างต้น ทฤษฎีของบัคกิ้งแฮมพาย กล่าวไว้ว่า ถ้ามีตัวแปรจำนวน n ตัวที่สามารถเขียนได้ในรูปของ $g(q_2, q_3, \ldots, q_n) = 0$ แล้ว จำนวนตัวแปร n ตัวนั้นสามารถจัดกลุ่มเป็นกลุ่มตัวแปรอิสระที่ไม่มีมิติ (Independent dimensionless) ได้จำนวน n – m กลุ่ม หรือเรียกกลุ่มเหล่านั้นว่า $\prod$ Parameter ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$G(\prod_1, \prod_2, \ldots, \prod_{n-m}) = 0 \qquad (2.22)$$

หรือ

$$\prod_1 = G_1(\prod_2, \prod_3, \ldots, \prod_{n-m}) \qquad (2.23)$$

โดยที่ m นั้นโดยทั่วไปจะเท่ากับจำนวนของมิติพื้นฐานที่ต้องการเพื่อใช้กับตัวแปรต่าง ๆ นั้น สำหรับทฤษฎีของบัคกิ้งแฮมพายนั้นไม่ได้ใช้สำหรับหาสมการโดยตรงแต่จะใช้สำหรับหาความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มเท่านั้น กล่าวคือ ไม่สามารถหาค่าของ G หรือ G_1 ได้ แต่ค่าของ G หรือ G_1 นั้นจะสามารถหาได้โดยทำการทดลองในห้องปฏิบัติการต่อไป

2.6 การประเมินค่าทางเศรษฐศาสตร์

การประเมินค่าทางเศรษฐศาสตร์ในทางวิศวกรรมมีความสำคัญมาก ซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ได้จะต้องใช้ประกอบการตัดสินใจว่ามีความคุ้มค่ากับการลงทุนหรือไม่ สำหรับการประเมินค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการศึกษาครั้งนี้จะเป็นการประเมินค่าต้นทุนต่อหน่วยเอทานอลที่ผลิตได้โดยใช้วิธีการประเมินค่าใช้จ่ายรายปี (Annual Cost, A) ตลอดอายุโครงการ ซึ่งค่าใช้จ่ายรายปีที่พิจารณาจะ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ประกอบไปด้วย เงินลงทุนรายปี (Investment Cost. C_I), ค่าดำเนินการและบำรุงรักษา (Operating and Maintenance Cost, $C_{O\&M}$) และค่าพลังงาน (Energy Cost, C_E) ดังนั้นผลรวมของค่าใช้จ่ายรายปีที่เกิดขึ้นจะหาได้จาก

$$\text{ผลรวมค่าใช้จ่ายรายปี,} \quad A = C_I + C_{O\&M} + C_E \tag{2.24}$$

สำหรับการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์จะต้องคำนึงถึงมูลค่าเงินในแต่ละช่วงเวลาด้วยเนื่องจากจะมีค่าไม่เท่ากันตลอดเวลาซึ่งจะขึ้นอยู่กับอัตราดอกเบี้ย (Interest Rate, i) หรืออัตราส่วนลด (Discount Rate) ดังนั้นในการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์จะต้องทำการปรับมูลค่าของเงินต่างเวลาให้เป็นมูลค่าที่เวลาเดียวกันก่อน สำหรับในการศึกษานี้จะทำการปรับมูลค่าของเงินที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาให้เป็นมูลค่าของเงินในปัจจุบัน ดังนั้นมูลค่าของเงินลงทุนรายปีจะหาได้จาก

$$\text{เงินลงทุนรายปี } (C_I) = P\left[\frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1}\right] \tag{2.25}$$

โดย P = เงินลงทุนเบื้องต้น (Capital Cost), บาท

N = อายุของโครงการ, ปี

i = อัตราดอกเบี้ย (Discount Rate), ร้อยละ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved