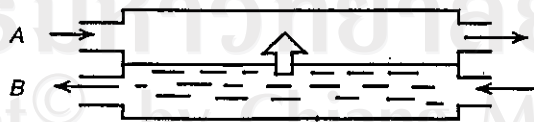


บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

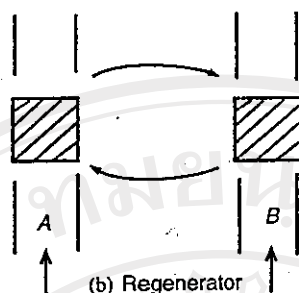
2.1 เครื่องอุ่นอากาศ

เครื่องอุ่นอากาศเป็นอุปกรณ์ที่มีหน้าที่ดึงเอาพลังงานความร้อนจากไอเสียที่หม้อไอน้ำส่งออกมาอุ่นอากาศ เพื่อให้อากาศนั้นมีอุณหภูมิสูงขึ้นก่อนที่จะนำอากาศที่ร้อนไปใช้ในกระบวนการผลิตต่างๆ ซึ่งไอเสียที่หม้อไอน้ำส่งออกมาจะต้องมีอุณหภูมิสูงพอที่จะใช้งานได้ โดยทั่วไปเครื่องอุ่นอากาศที่ใช้งานอยู่มี 2 ลักษณะคือ ลักษณะที่มีการส่งถ่ายความร้อนระหว่างของไหลสองชนิดหรือเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ Recuperative heat exchanger ทั้งนี้เนื่องจากของไหลที่เย็น(A) ได้ดึงเอาความร้อนบางส่วนจากของไหลที่ร้อน(B) กลับคืนมา การส่งถ่ายความร้อนจะเป็นไปอย่างต่อเนื่องไม่ว่าของไหลทั้งคู่จะถูกแยกโดยผนังหรือของไหลทั้งคู่สัมผัสกันโดยตรง ดังรูป 2.1 อีกลักษณะหนึ่งเป็นลักษณะที่มีการส่งถ่ายความร้อนโดยผ่านตัวดูดซับความร้อน (Heat absorbing body) หรือการสลับการไหลของของไหลผ่านตัวดูดซับความร้อนที่อยู่กับที่ซึ่งเรียกว่า เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ Regenerative heat exchanger ดังรูป 2.2 แสดงการหมุนเวียนของความร้อนในขณะที่ตัวดูดซับความร้อนด้านของไหลที่เย็น(A) มีการสูญเสียความร้อนขณะเดียวกันที่ตัวดูดซับความร้อนด้านของไหลที่ร้อน(B) จะได้รับความร้อน



(a) Recuperator

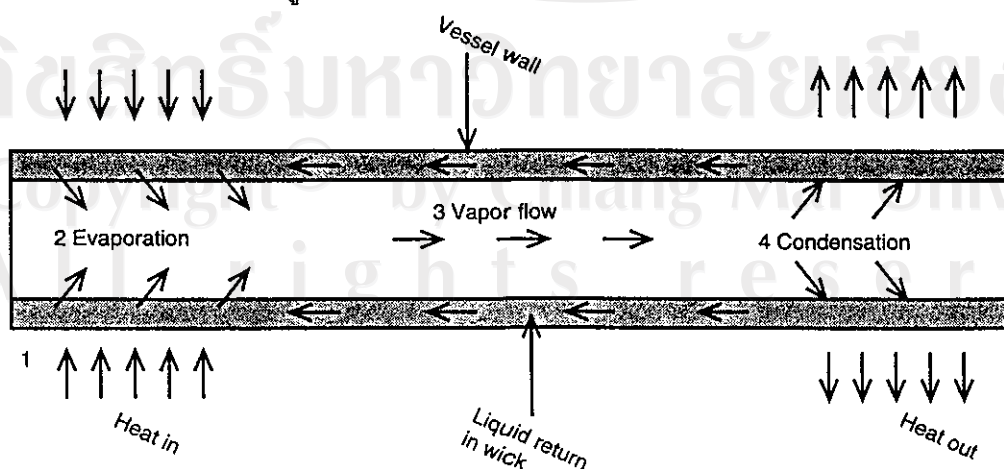
รูป 2.1 แสดงเครื่องอุ่นอากาศแบบ Recuperative heat exchanger (19)



รูป 2.2 แสดงเครื่องอุ่นอากาศแบบ Regenerative heat exchanger (19)

2.2 ท่อความร้อน

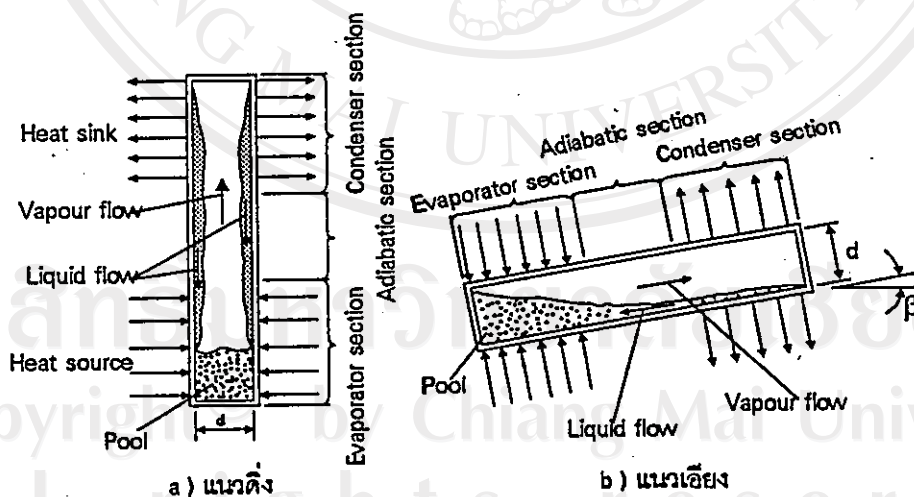
ท่อความร้อนเป็นอุปกรณ์ที่มีความสามารถในการนำความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูง มีลักษณะเป็นท่อปลายปิดทั้ง 2 ข้าง ที่ผนังด้านในของท่อความร้อนจะมีวัสดุพรุน (Wick) โดยภายในท่อจะเป็นสุญญากาศและมีการบรรจุสารทำงาน (Working fluid) จำนวนหนึ่งไว้ภายใน แล้วจึงปิดปลายท่อ สารทำงานมีหน้าที่รับความร้อนจากส่วนทำระเหย (Evaporator) แล้วนำความร้อนระเหยไปยังส่วนควบแน่น (Condenser) จากนั้นสารทำงานจะกลั่นตัวคายความร้อน ออกแล้วไหลกลับไปที่ส่วนทำระเหยอีกครั้ง สารทำงานที่กลั่นตัวแล้วจะไหลกลับมาโดยอาศัยวัสดุพรุนที่มีแรงดึงผิว (Capillary force) ซึ่งช่วยในการดึงเอาสารทำงานที่กลั่นตัวบริเวณส่วนควบแน่น ให้ไหลมายังส่วนทำระเหย ดังรูป 2.3



รูป 2.3 แสดงการทำงานของท่อความร้อน (19)

2.3 เทอร์โมไซฟอน

เทอร์โมไซฟอน คือ ท่อความร้อนที่ปราศจากวัสดุพูนที่จะช่วยในการดึงสารทำงานที่กลั่นตัวกลับลงมายังส่วนทำระเหย เทอร์โมไซฟอนประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนทำระเหย (Evaporator section) ส่วนกันความร้อน (Adiabatic section) และส่วนควบแน่น (Condenser section) หลักการทำงานของเทอร์โมไซฟอน คือ เมื่อสารทำงานภายในท่อบริเวณส่วนทำระเหยที่ปลายด้านล่างของท่อได้รับความร้อน สารทำงานจะระเหยกลายเป็นไอและลอยขึ้นไปด้านบนในส่วนควบแน่นซึ่งเย็นกว่าและเมื่อปลดปล่อยความร้อนในส่วนควบแน่นแล้วก็จะกลั่นตัวกลายเป็นของเหลวไหลย้อนกลับคืนลงมาตามผนังด้านในของท่อสู่ส่วนทำระเหยโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลกเพื่อรับความร้อนกลับไปทำงานอีกครั้ง ข้อจำกัดข้อหนึ่งของเทอร์โมไซฟอนแบบนี้ คือ ของเหลวที่ควบแน่นแล้วจะไหลกลับคืนไปที่ส่วนทำระเหยได้ด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก ดังนั้น การใช้ท่อความร้อนแบบนี้จะต้องให้ส่วนทำระเหยอยู่ด้านล่างเสมอ ในการทำงานของเทอร์โมไซฟอนนั้นสามารถถ่ายเทความร้อนได้ทั้งในแนวตั้งและแนวเอียง ดังรูป 2.4



รูป 2.4 แสดงลักษณะของเทอร์โมไซฟอนสองสถานะแบบท่อแนวตั้งและแนวเอียง

2.3.1 ทฤษฎีการคำนวณหาสมรรถนะของเทอร์โมไซฟอน

สมรรถนะของเทอร์โมไซฟอนสองสถานะแบบท่อแนวดิ่ง สามารถแสดงได้ โดยค่าความต้านทานทางความร้อนรวม (Z) อัตราการส่งถ่ายความร้อนตามจริง($\dot{Q}$) และผลต่างของอุณหภูมิระหว่างแหล่งให้ความร้อนและแหล่งรับความร้อน ($\Delta T = T_{so} - T_{si} - \Delta T_h$) โดยจะใช้ความสัมพันธ์เป็นดังนี้

$$\dot{Q} = \Delta T / Z_{total} \quad (2.1)$$

$$\text{โดยที่ } Z_{total} = Z_1 + (Z_{int} \times Z_{10} / Z_{int} + Z_{10}) + Z_9$$

$$\text{เมื่อ } Z_{int} = Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5 + Z_6 + Z_7 + Z_8$$

ค่าความต้านทานทางความร้อนรวม ถูกแทนในรูปของเครือข่ายทางอุณหคติของค่าความต้านทานทางความร้อน Z_1 ถึง Z_{10} ดังรูป 2.5

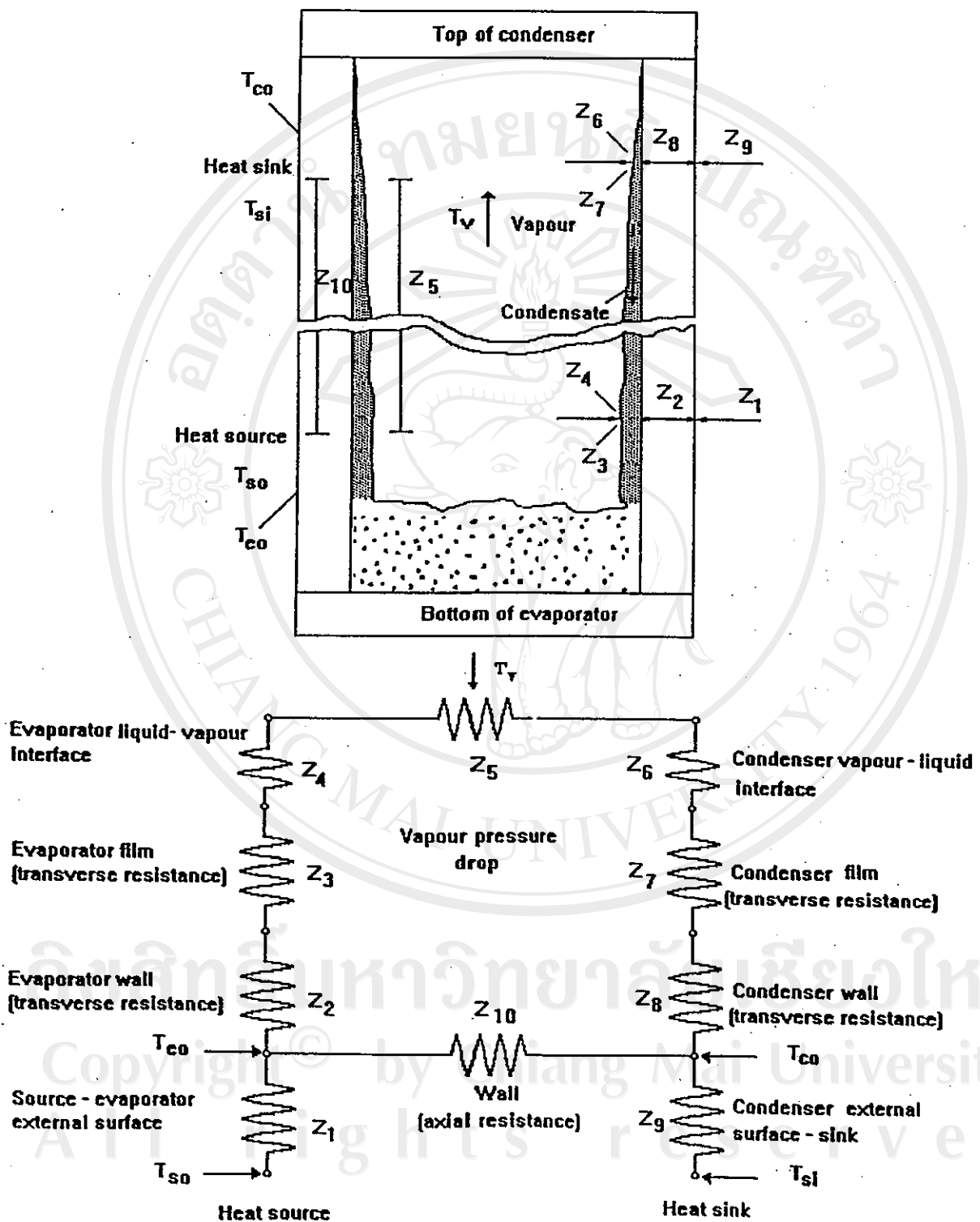
การคำนวณหาค่าของสมรรถนะทางความร้อนของเทอร์โมไซฟอน สามารถหาค่าได้ตาม Flow chart ดังรูป 2.6

ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เมื่อใช้งานไประยะหนึ่งจะมีตะกอนไปจับที่ผิวของท่อ ซึ่งทำให้ค่าความร้อนที่ถ่ายเทได้ลดลง สามารถหาค่าความต้านทานเนื่องจากตะกอน , R_f (Fouling resistance) ได้ดังนี้

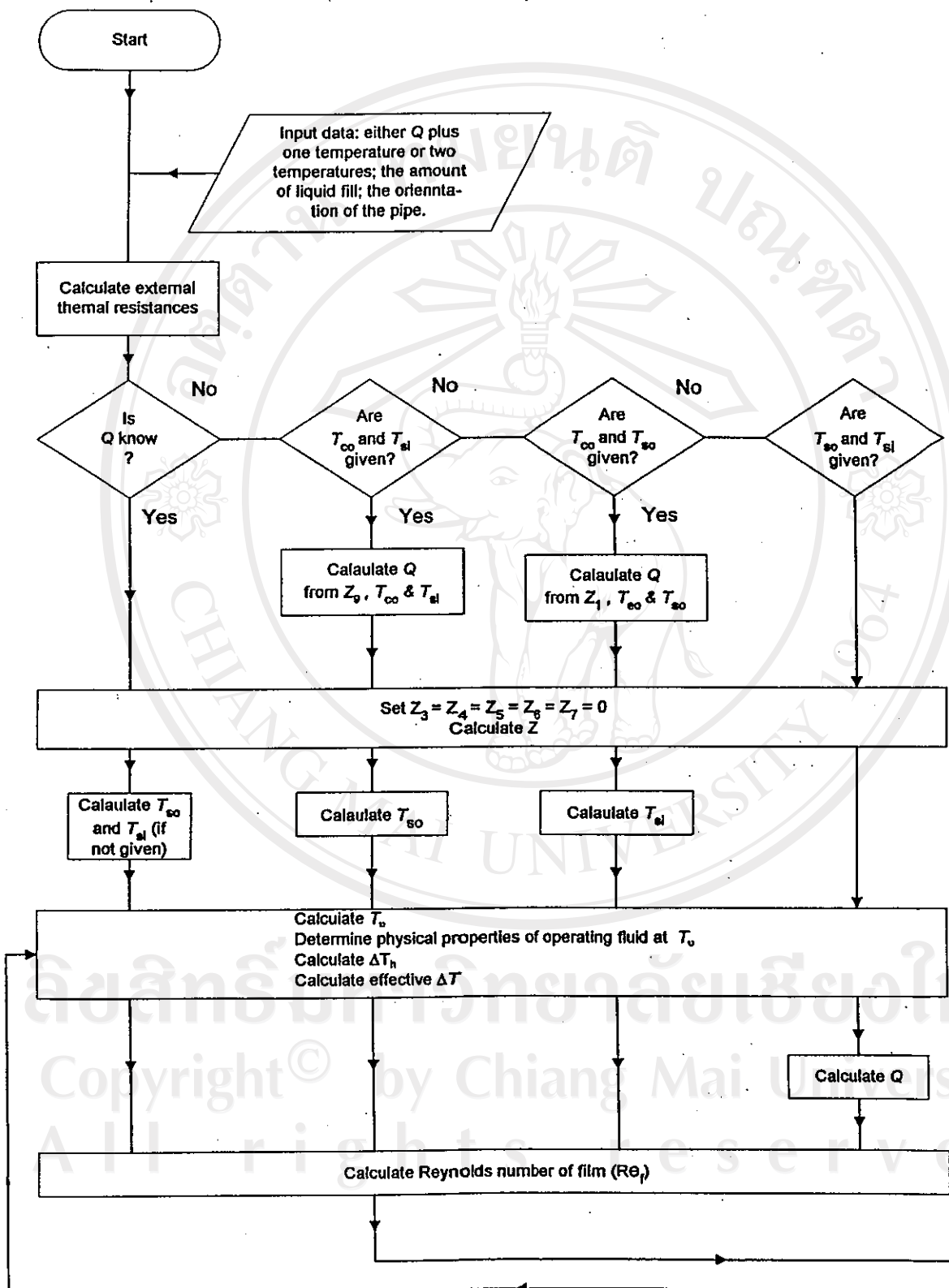
$$R_f = \frac{x}{\lambda} \quad (2.2)$$

โดยที่ x = Thickness of the layer (m)

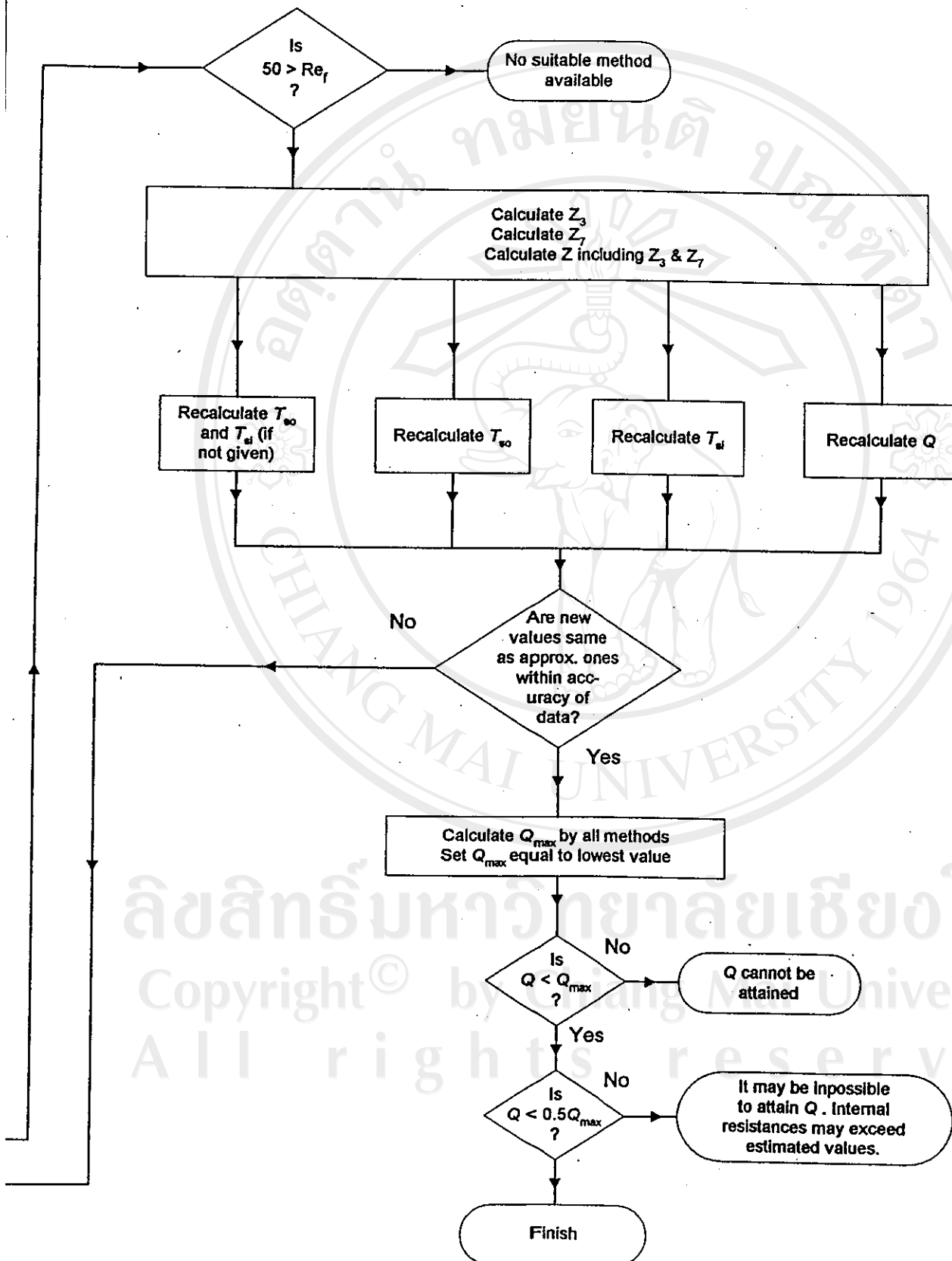
λ = Thermal conductivity (W / m.K)



รูป 2.5 แสดงตำแหน่งของความต้านทานทางความร้อน (17)

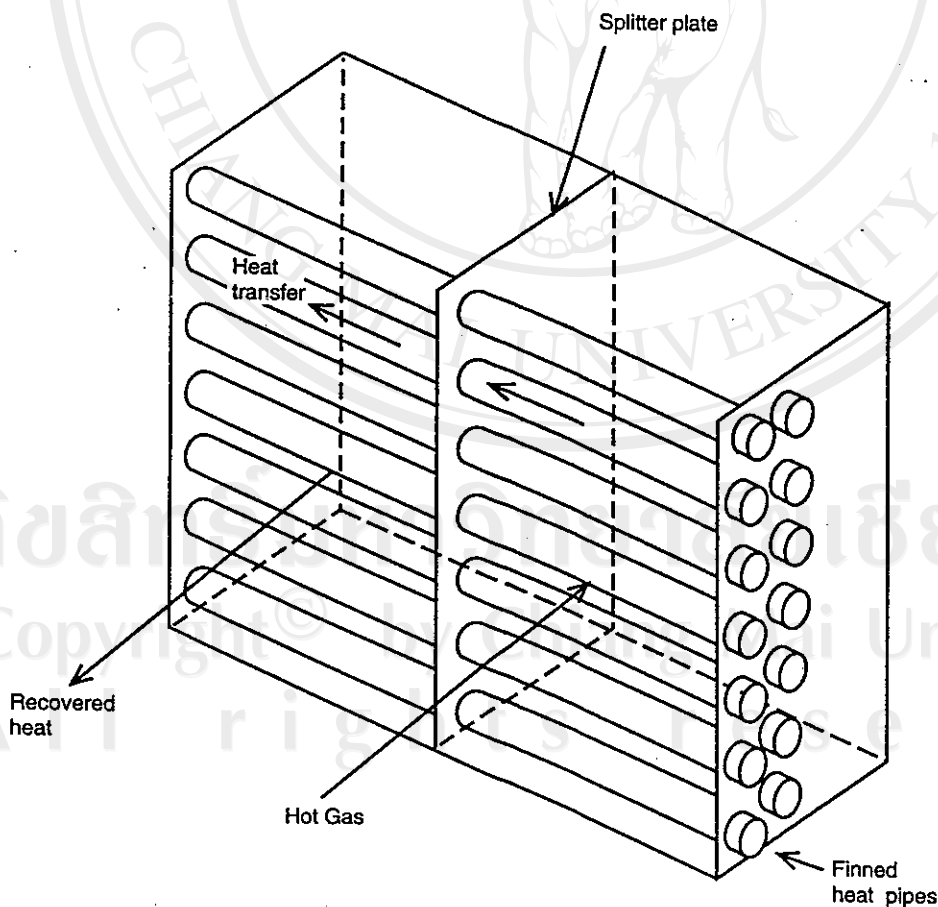


รูป 2.6 แสดง Flow chart การคำนวณหาสมรรถนะทางความร้อน (17)



2.4 เครื่องอุ่นอากาศแบบทอความร้อน

เครื่องอุ่นอากาศแบบทอความร้อนเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลที่ร้อน (Hot fluid) กับอากาศเย็น (Cold air) โดยใช้ทอความร้อนซึ่งมีประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนได้สูง เครื่องอุ่นอากาศแบบทอความร้อนมีลักษณะโครงสร้างโดยทั่วไปดังรูป 2.7 กล่าวคือ ประกอบด้วยทอความร้อนเรียงกันเป็นแถวอยู่ในตัวเครื่องและมีแผ่นกัน (Splitter plate) ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้อากาศร้อนและอากาศเย็นที่ไหลผ่านเครื่องปนกัน และยังช่วยยืดทอความร้อนไว้ ส่วนทำระเหยของทอความร้อนจะเป็นด้านที่ให้ของไหลร้อนไหลผ่านเครื่องอุ่นอากาศแบบทอความร้อนอาจใช้ทอความร้อนแบบมีวัสดุพูนหรือทอความร้อนแบบเทอร์โมไโซโฟนก็ได้ แต่ตำแหน่งการวางใช้งานของเครื่องอุ่นอากาศแบบทอความร้อนจะแตกต่างกัน ในการวิจัยนี้ต้องการศึกษาถึงเครื่องอุ่นอากาศแบบทอความร้อนชนิดเทอร์โมไโซโฟนเนื่องจากทอความร้อนชนิดเทอร์โมไโซโฟนมีข้อดีคือ สร้างง่าย ราคาถูกและนิยมใช้ในอุตสาหกรรมมากกว่า



รูป 2.7 แสดงลักษณะของโครงสร้างของเครื่องอุ่นอากาศแบบทอความร้อน (19)

2.4.1 ทฤษฎีการคำนวณหาสมรรถนะของเครื่องอุ่นอากาศแบบท่อความร้อน

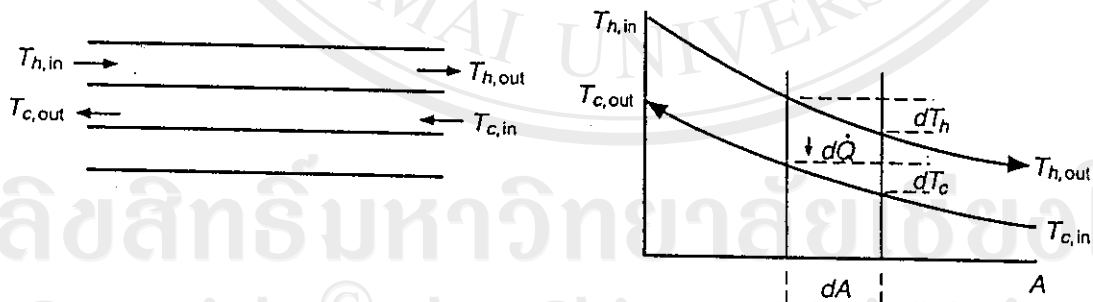
การคำนวณหาการถ่ายเทความร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ของไหลทั้ง 2 ชนิด ไม่ผสมกัน (ของไหล 1 มีอุณหภูมิสูงกว่าของไหล 2) สามารถแสดงลักษณะการไหล ดังรูป 2.8 และมีสมการการคำนวณหาการถ่ายเทความร้อน ดังนี้

$$\dot{Q}_{hot} = \dot{m}_h C_{ph} (T_{h,in} - T_{h,out}) \quad (2.3)$$

$$\dot{Q}_{cold} = \dot{m}_c C_{pc} (T_{c,out} - T_{c,in}) \quad (2.4)$$

เมื่อรวมเอาสองสมการข้างบนและจัดให้อยู่ในรูปของ Logarithmic Mean Temperature Difference (LMTD) จะได้

$$\dot{Q} = UA \frac{[(T_{h,in} - T_{c,out}) - (T_{h,out} - T_{c,in})]}{\ln(T_{h,in} - T_{c,out}) / (T_{h,out} - T_{c,in})} \quad (2.5)$$



รูป 2.8 แสดงอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบการไหล 2 ชนิดไม่ผสมกัน (19)

อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุด ($\dot{Q}_{\max}$) ระหว่างของไหล 2 ชนิดที่มีการไหลแบบ
ไหลสวนทางกันในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะเกิดขึ้น ณ จุดที่อุณหภูมิขาออกของของไหล
ที่เย็นเท่ากับอุณหภูมิขาเข้าของของไหลที่ร้อน ($T_{c,out} = T_{h,in}$) ดังสมการต่อไปนี้

$$\dot{Q}_{\max} = (\dot{m}C_p)_{\min} \Delta T_{\max} \quad (2.6)$$

เมื่อ $(\dot{m}C_p)_{\min}$ คือ ค่าที่น้อยที่สุดระหว่างของไหลทั้งสอง

$$\Delta T_{\max} = T_{h,in} - T_{c,in} \quad (2.7)$$

ดังนั้นประสิทธิภาพ (Effectiveness) ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (E) คือ
อัตราส่วนระหว่างอัตราส่วนการถ่ายเทความร้อนได้จริงกับอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เป็นไป
ได้สูงสุดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

$$E = \dot{Q} / \dot{Q}_{\max} \quad (2.8)$$

$$E = \frac{UA}{(\dot{m}C_p)_{\min}} \frac{\Delta T_M}{\Delta T_{\max}} \quad (2.9)$$

$$E = \frac{(\dot{m}C_p)_h (T_{h,in} - T_{h,out})}{(\dot{m}C_p)_{\min} (T_{h,in} - T_{c,in})} \quad (2.10)$$

$$E = \frac{(\dot{m}C_p)_c (T_{c,out} - T_{c,in})}{(\dot{m}C_p)_{\min} (T_{h,in} - T_{c,in})} \quad (2.11)$$

$$\text{และ} \quad E_{hot} = \frac{T_{h,in} - T_{h,out}}{T_{h,in} - T_{c,in}} ; (\dot{m}C_p)_h = (\dot{m}C_p)_{\min} \quad (2.12)$$

$$E_{cold} = \frac{T_{c,out} - T_{c,in}}{T_{h,in} - T_{c,in}} ; (\dot{m}C_p)_c = (\dot{m}C_p)_{\min} \quad (2.13)$$

ความสัมพันธ์ระหว่าง E และ NTU' (Number of Transfer Units) จะมีประโยชน์มากในการคำนวณเพื่อออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ตามสมการดังนี้

$$NTU_h = AU / m_h C_{ph} \quad (2.14)$$

$$NTU_c = AU / m_c C_{pc} \quad (2.15)$$

กำหนดให้ NTU_{min} เป็นค่า NTU ของของไหลที่มีค่า mC_p น้อยที่สุด ดังนั้น

$$NTU_{min} = AU / (mC_p)_{min} \quad (2.16)$$

จะได้

$$E = NTU_{min} \frac{\Delta T_M}{\Delta T_{max}} \quad (2.17)$$

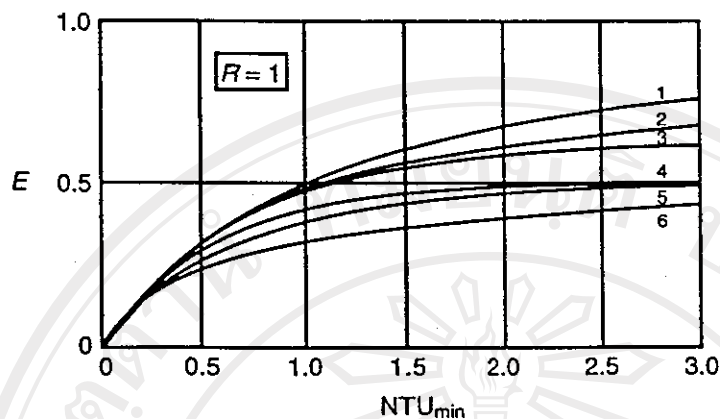
ตัวอย่าง การ Plot กราฟระหว่าง E และ NTU_{min} สำหรับรูปแบบการไหลชนิดต่างๆ โดยที่ $R = 1$ ดังรูป 2.9

เมื่อ

$$R = \frac{T_{h,in} - T_{h,out}}{T_{c,out} - T_{c,in}} = 1 \quad (2.18)$$

จะได้

$$NTU_{min} = NTU_h = NTU_c$$



รูป 2.9 แสดงประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งเป็นฟังก์ชันของ NTU_{min} เมื่อ $R = 1$ และสำหรับรูปแบบการไหลชนิดต่าง ๆ เส้นกราฟ 1 เป็นการไหลแบบไหลสวนทางกัน (ดีที่สุด); เส้นกราฟ 4 เป็นการไหลแบบไหลขนานกัน; เส้นกราฟ 2, 3, 5 และ 6 เป็นการไหลแบบไหลตั้งฉากกันโดยของไหลมีการไหลปนกันในหลายลักษณะ (19)

2.5 ทฤษฎีเบื้องต้นของการอบแห้ง

การอบแห้ง คือ กระบวนการที่ความชื้นถูกถ่ายเทด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งไปยังวัสดุที่มีความชื้นเพื่อให้ความชื้นออกโดยการระเหย โดยอาศัยความร้อนที่ได้รับเป็นความร้อนแฝงของการระเหย

โดยทั่วไปแล้วปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุอบแห้งมักจะถูกให้ค่านิยามในรูปของอัตราส่วนของน้ำต่อมวลทั้งหมด โดยใช้มวลของวัสดุขึ้นเป็นมาตรฐานของการคำนวณความชื้น แต่ในกระบวนการอบแห้งมวลของวัสดุขึ้นจะเปลี่ยนค่าอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นจึงเป็นการสะดวกกว่าที่จะใช้มวลของวัสดุแห้งเป็นมาตรฐานในการคำนวณความชื้น โดยการหาปริมาณความชื้นจะบอกในรูปของเปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีวิธีบอกอยู่ 2 แบบ คือ

1. แบบมาตรฐานเปียก (Wet basis)
2. แบบมาตรฐานแห้ง (Dry basis)

ถ้า M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก (เปอร์เซ็นต์)

M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง (เปอร์เซ็นต์)

W_w คือ น้ำหนักของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุ (kg)

W_d คือ น้ำหนักของวัสดุแห้ง (kg)

โดยที่แบบมาตรฐานเปียก เขียนในรูปสมการได้ดังนี้

$$M_w = \frac{W_w}{W_w + W_d} \times 100 \quad (2.19)$$

และแบบมาตรฐานแห้ง เขียนในรูปสมการได้ดังนี้

$$M_d = \frac{W_w}{W_d} \times 100 \quad (2.20)$$

จะเห็นได้ว่า ถ้าความชื้นกล่าวในรูปมาตรฐานเปียกจะมีค่าไม่เกิน 100 เปอร์เซ็นต์เสมอ แต่ในขณะเดียวกันถ้ากล่าวในรูปแบบมาตรฐานแห้งนั้น อาจจะมีค่าเกิน 100 เปอร์เซ็นต์ได้ โดยทั่วไปแล้วมักจะใช้มาตรฐานเปียกในการพูดถึงความชื้นทั่วไปในทางเกษตร แต่ในการคำนวณ บางครั้งอาจใช้มาตรฐานแห้งเป็นหลักอย่างไรก็ดีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นทั้งสองมาตรฐานนี้สามารถเขียนได้ดังนี้

$$M_w = \frac{100M_d}{100 + M_d} \quad (2.21)$$

หรือ $M_d = \frac{100M_w}{100 - M_w} \quad (2.22)$

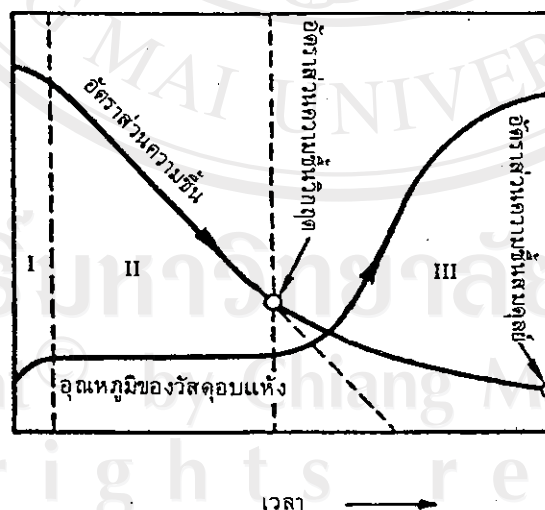
เมื่อต้องการลดปริมาณความชื้นออกจากวัสดุจนเหลือค่าที่ต้องการก็ทำได้โดยการกำจัดน้ำออกจากวัสดุนั้นปริมาณหนึ่ง ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$W_f = \frac{W_i(100 - M_i)}{(100 - M_f)} \quad (2.23)$$

โดยที่ W_i คือ น้ำหนักของวัสดุเริ่มต้น (kg)
 W_f คือ น้ำหนักของวัสดุสุดท้าย (kg)
 M_i คือ ปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียกเริ่มต้น (เปอร์เซ็นต์)
 M_f คือ ปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียกสุดท้าย (เปอร์เซ็นต์)

2.5.1 เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้ง (Drying characteristic curve)

การอบแห้งวัสดุที่เปียกขึ้นอย่างมากภายใต้เงื่อนไขของการอบแห้งที่คงที่ ยกตัวอย่างเช่น ในกรณีที่วางวัสดุเปียกขึ้นภายในกระแสมปริมาณมากที่มีอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลมคงที่ ถ้าทำการวัดการเปลี่ยนแปลงมวลและอุณหภูมิของวัสดุแห้งกับเวลา จะได้เส้นกราฟคล้ายคลึงกับในรูป 2.10



รูป 2.10 แสดงการเปลี่ยนแปลงมวลและอุณหภูมิของวัสดุอบแห้งกับเวลา (9)

ในขบวนการอบแห้งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วงใหญ่ ๆ ดังต่อไปนี้

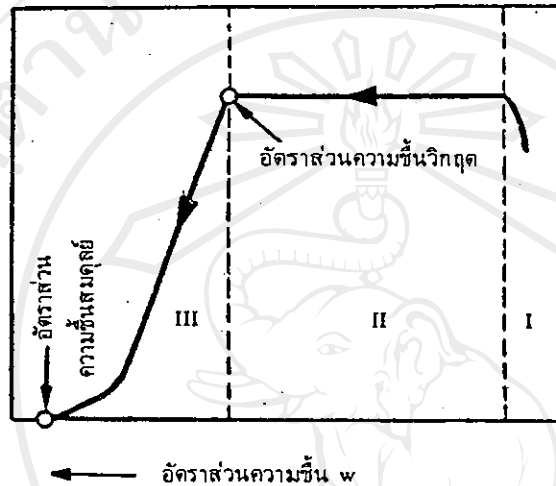
- I : ช่วงการให้ความร้อนเบื้องต้นแก่วัสดุ
- II : ช่วงการอบแห้งที่ความเร็วคงที่
- III : ช่วงการอบแห้งที่ความเร็วลดลง

ที่ผิวของวัสดุที่เปียกชื้น ความชื้นที่ผิวจะอยู่ในรูปของน้ำ ถ้านำวัสดุนี้ออบแห้งภายใต้เงื่อนไขที่คงที่ อุณหภูมิของวัสดุจะมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียก (T_{wb}) ของกระแสลมร้อน ช่วงเวลาที่วัสดุใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิจนถึงค่านี้ คือ ช่วง I ในรูป 2.10 ในช่วงเวลา II ที่ถัดไป อุณหภูมิของวัสดุจะมีค่าคงที่ประมาณ T_{wb} ตราบใดที่ยังมีความชื้นเหลืออยู่ในรูปของน้ำที่ผิววัสดุ ความร้อนทั้งหมดที่วัสดุได้รับในช่วงนี้จะถูกใช้ในการระเหยความชื้นเท่านั้น ดังเห็นได้จากรูป 2.10 อัตราส่วนความชื้นเฉลี่ย (w) ของวัสดุจะลดลงเป็นสัดส่วนกับเวลาในช่วง II นี้ ดังนั้น ความเร็วของการระเหยจะมีค่าคงที่ ในช่วง III ความชื้นในรูปของน้ำที่ผิวของวัสดุจะระเหยหมดไป เพราะการถ่ายเทความชื้นในรูปของน้ำจากส่วนในของวัสดุเกิดขึ้นไม่ทันกับการระเหยของน้ำจากผิวของวัสดุ ดังนั้นผิวของวัสดุจะอยู่ในสภาพที่แห้งและอุณหภูมิของวัสดุจะเริ่มสูงขึ้น สรุปแล้วความเร็วของการอบแห้งจะค่อยๆ ลดลงเพราะปริมาณความร้อนที่วัสดุได้รับนอกจากจะลดลงแล้วความร้อนนี้ยังต้องใช้ในการระเหยความชื้นและเพิ่มอุณหภูมิของวัสดุด้วยการอบแห้งจะสิ้นสุดเมื่ออัตราส่วนความชื้นลดลงถึงค่าอัตราส่วนความชื้นสมดุลย์ (w_c) ค่าอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยที่จุดต่อระหว่างช่วง II และ III มีชื่อเรียกว่าอัตราส่วนความชื้นวิกฤต (w_c) ผลต่างระหว่างอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยใดๆ และอัตราส่วนความชื้นสมดุลย์ มีชื่อว่าอัตราส่วนความชื้นอิสระ (F)

เงื่อนไขของการอบแห้ง อาจแบ่งได้ออกเป็น 2 ประเภท คือ เงื่อนไขภายนอกวัสดุที่ก่อให้เกิดการอบแห้งและเงื่อนไขภายในวัสดุเอง เงื่อนไขภายนอกจะเกี่ยวข้องกับวิธีถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุและวิธีกำจัดไอน้ำที่ระเหยออกมา ส่วนเงื่อนไขภายในได้แก่ องค์ประกอบและรูปร่าง อัตราส่วนความชื้น อัตราส่วนความชื้นสมดุลย์ของวัสดุอบแห้งเป็นต้น สัญลักษณ์ที่ใช้แทนความร้อนของการอบแห้ง เช่น R (kg.water / hr.m², drying area) , R_w (kg.water / hr.kg, dry solid) ถ้าให้ W เป็นมวล (kg) ของวัสดุแห้งและ A เป็นพื้นที่ (m²) ของการอบแห้งจะได้

$$R = R_w (W / A) \quad (2.24)$$

เส้นกราฟที่ได้จากการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการอบแห้ง และ w มีชื่อเรียกว่าเส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้ง อัตราการเปลี่ยนแปลงของเส้นอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยกับเวลาในรูป 2.10 คือ R_w นั่นเอง ถ้าเขียนกราฟของ R_w (หรือ R) กับ w จะได้ ดังรูป 2.11



รูป 2.11 แสดงเส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้ง (9)

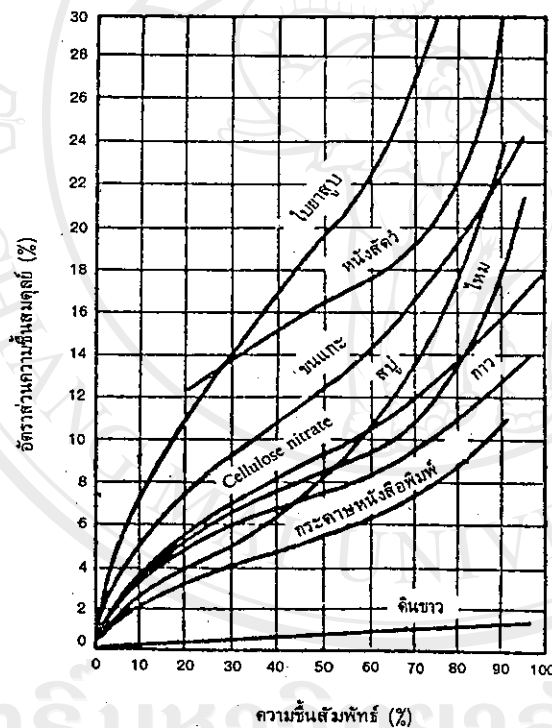
2.5.2 อัตราความชื้นวิกฤต (w_c)

w_c คืออัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยของวัสดุที่จุดต่อระหว่างช่วงของการอบแห้งที่ความเร็วคงที่และช่วงของการอบแห้งที่ความเร็วลดลง ค่าของ w_c มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งในการออกแบบอุปกรณ์อบแห้ง เนื่องจาก w_c เป็นค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความชื้นของวัสดุอบแห้ง ถึงแม้วัสดุประเภทเดียวกันค่า w_c อาจเปลี่ยนแปลงไปได้มาก ขึ้นกับเงื่อนไขของการอบแห้ง ถ้าให้ c เป็นอัตราส่วนความชื้นเฉพาะจุดภายในชั้นของวัสดุหนา H ที่มีการกระจายความชื้น สามารถคำนวณ w_c ได้จาก

$$w_c = \frac{1}{H} \int_0^H c dx \quad (2.25)$$

2.5.3 อัตราส่วนความชื้นสมดุล (w_e)

w_e เป็นค่าเฉพาะอย่างหนึ่งของวัสดุ โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัสดุประเภทเซลล์ (Cell) จะมีค่า w_e มาก โดยทั่วไปแล้ว ค่าของ w_e จะเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ $100 P/P_s$ (เปอร์เซ็นต์) ดังในรูป 2.12 ในที่นี้ P คือ ความดันพาร์เชียล (Partial pressure) ของไอน้ำในอากาศ ส่วน P_s คือ ความดันไออิ่มตัว (Saturation vapor pressure) ที่อุณหภูมิเดียวกัน ยิ่งความชื้นสูงขึ้นและยิ่งอุณหภูมิต่ำลง ค่าของ w_e จะยิ่งสูงขึ้น แต่จะไม่ขึ้นกับอุณหภูมิเท่าใดนัก สำหรับวัสดุเส้นใยที่ความชื้นสัมพัทธ์เดียวกัน ค่าของ w_e ที่อุณหภูมิต่างกัน 10°C จะผิดกันประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น



รูป 2.12 แสดงเส้นอัตราส่วนความชื้นสมดุลสำหรับวัสดุประเภทต่างๆ (อ้างอิงอุณหภูมิที่ 25°C) (9)

2.5.4 ชนิดของเครื่องอบแห้งด้วยความร้อนแบบต่อเนื่อง

เครื่องอบแห้งด้วยลมร้อนแบบต่อเนื่อง จำแนกออกเป็น 2 ประเภทดังนี้

ก. ประเภทที่วัสดุกับลมร้อนเคลื่อนที่ในทิศทางตรงกันข้าม (ไหลสวนทาง) หรือในทิศทางเดียวกัน (ไหลขนาน) ตัวอย่างของประเภทนี้ได้แก่

- แบบไหลขนาน เช่น เครื่องอบแห้งแบบพาหะลม แบบพ่นฝอย (Spray) แบบหมุน (Rotary) แบบอุโมงค์ (Tunnel)
- แบบไหลสวนทาง เช่น เครื่องอบแห้งแบบหมุน แบบพ่นฝอย แบบอุโมงค์

ข. ประเภทที่ชั้นของวัสดุอบแห้งเคลื่อนที่ในทิศทางตั้งฉากกับลมร้อน (ไหลตั้ง) ตัวอย่างของประเภทนี้ได้แก่ เครื่องอบแห้งแบบ Fluidized bed แบบไหลผ่าน (Through flow)

สำหรับประเภท ก. คุณสมบัติของลมร้อนจะเป็นฟังก์ชันของตำแหน่ง ดังนั้น การอบแห้งจึงเป็นแบบสถานะไม่คงที่ (Unsteady state) ในทางตรงกันข้ามประเภท ข. อุณหภูมิของลมร้อนที่เข้ามาจะมีค่าที่ไม่ขึ้นกับทิศทางการเคลื่อนที่ของวัสดุ แม้ว่าอัตราส่วนความชื้นและอุณหภูมิของวัสดุแปรผันตามทิศทางการเคลื่อนที่ของวัสดุก็ตาม ในกรณีที่ลมร้อนไหลผ่านชั้นวัสดุ อุณหภูมิของลมร้อนจะเปลี่ยนไปตามความสูงของชั้นวัสดุ ดังนั้นผู้ออกแบบจึงต้องใช้วิธี ออกแบบที่แตกต่างกันสำหรับเครื่องอบแห้งแต่ละประเภท

2.5.5 เครื่องอบแห้งด้วยความร้อนแบบไหลผ่าน

ในการอบแห้งโดยการไหลของลมร้อนเป่าผ่าน เป็นการพาความร้อนแบบบังคับ (Forced convection) โดยจะทำให้ลมร้อนเคลื่อนที่ผ่านวัสดุตามที่ได้ออกแบบไว้ เมื่อความร้อนเป่าผ่านวัสดุจะทำให้ความชื้นในวัสดุถูกดึงออกเป็นการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างลมร้อนกับวัสดุ ซึ่งจะเป็นไปตามสมมูลย์ความร้อนดังสมการต่อไปนี้

$$m_c C_{pc} (T_i - T_f) = m_w L \quad (2.26)$$

โดยที่ m_c คือ อัตราการไหลของมวลอากาศ (Kg.dry air / hr.)

m_w คือ อัตราการไหลของมวลน้ำที่ถูกดึงออกจากวัสดุ (Kg / hr.)

C_{pc} คือ ความร้อนจำเพาะของอากาศ (KJ / Kg. °C)

L คือ ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำ (KJ / Kg)

T_i คือ อุณหภูมิก่อนผ่านวัสดุ (°C)

T_f คือ อุณหภูมิของลมหลังผ่านวัสดุ (°C)