บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

2.1 การเก็บรักษาข้าว

เป้าหมายหลักของการเก็บรักษาข้าว คือต้องมีการสูญเสียของข้าวในขณะเก็บรักษาน้อยที่สุดทั้งด้านปริมาณและคุณภาพ หลักการเก็บรักษาโดยทั่วไปคือ ควรเก็บรักษาข้าวไว้ในสภาพหรือโรงเก็บที่มีความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิของอากาศต่ำ (ในที่แห้งและเย็น)

2.1.1 วิธีการเก็บรักษาข้าว

การเก็บรักษาข้าวโดยทั่ว ๆ ไป แบ่งออกได้เป็น 4 วิธี ได้แก่

1. การเก็บในสภาพปกติ ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ หมายถึง การเก็บข้าวไว้ในโรงเก็บปกติที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเก็บ เป็นวิธีที่นิยมใช้อยู่เป็นส่วนใหญ่ เพราะมีการลงทุนน้อย และเสียค่าใช้จ่ายต่ำ แต่โอกาสที่จะเกิดความเสียหายในระหว่างการเก็บรักษามีสูง เช่น การเก็บในโรงเก็บหรือยุ้งฉางของเกษตรกร โรงสีหรือโกดังส่งออกข้าวขนาดใหญ่ๆ

2. การเก็บในสภาพที่มีการควบคุมอุณหภูมิเพียงอย่างเดียว เช่น การเก็บข้าวไว้ในตู้แช่ ตู้เย็น หรือในไซโลเก็บข้าวที่มีการเป่าลมเย็น เป็นต้น

3. การเก็บในสภาพที่มีการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ได้แก่ การเก็บข้าวไว้ในภาชนะเก็บที่มิดชิด สามารถป้องกันการเคลื่อนที่ผ่านเข้าออกของอากาศได้ เช่น การเก็บเมล็ดพันธุ์ไว้ในถังสังกะสี หรือ Polyethylene bags เป็นต้น การเก็บข้าวในสภาพปิดเช่นนี้ ความชื้นของข้าวจะเป็นตัวกำหนดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในภาชนะที่เก็บ ถ้าความชื้นของข้าวต่ำ ความชื้นสัมพัทธ์ภายในภาชนะบรรจุก็จะต่ำ ข้าวที่เก็บจะเกิดความเสียหายน้อย ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ของข้าวสูง ความชื้นสัมพัทธ์ภายในภาชนะบรรจุก็จะสูง ข้าวที่เก็บจะเกิดความเสียหายสูง ดังนั้น การเก็บรักษาข้าวด้วยวิธีนี้ ข้าวควรมีความชื้นก่อนเก็บต่ำ ทั้งนี้ขึ้นกับระยะเวลาที่ต้องการเก็บรักษา อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปความชื้นไม่ควรเกิน 10% วิธีนี้เป็นวิธีที่ได้ผลดี และมีค่าใช้จ่ายต่ำ

4. การเก็บในสภาพที่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ วิธีนี้เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด สามารถป้องกันและลดความเสียหายของข้าวได้ดี เก็บรักษาข้าวให้คงคุณภาพดี ได้เป็นเวลานาน แต่มีการลงทุน และเสียค่าใช้จ่ายในการดูแลสูง เช่นการเก็บอนุรักษ์เชื้อพันธุ์ข้าวในธนาคารเชื้อพันธุ์

จากวิธีการเก็บรักษาข้าวทั้ง 4 วิธีข้างต้น พบว่าการเก็บรักษาข้าวในถังเก็บข้าวเปลือกที่มีเทอร์โมไซฟอนจะจัดอยู่ในวิธีที่ 2 คือ การเก็บในสภาพที่มีการควบคุมอุณหภูมิเพียงอย่างเดียว โดยจะรักษาอุณหภูมิข้าวเปลือกไว้ที่ประมาณ 28 – 29 องศาเซลเซียส

2.1.2 วิธีปฏิบัติในการเก็บรักษาข้าว

สิ่งที่ควรคำนึงถึงในการเก็บรักษาข้าว คือ การรักษาปริมาณและคุณภาพข้าวที่เก็บให้คงที่หรือมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเก็บรักษาข้าวได้แก่

1. ความชื้นของข้าวที่จะเก็บ โดยทั่วไปความชื้นของข้าวไม่ควรสูงเกิน 14% ถ้าเป็นเมล็ดพันธุ์ความชื้นไม่ควรเกิน 10%

2. ความสะอาด ข้าวที่จะเก็บต้องสะอาดไม่มีสิ่งเจือปน เช่น เศษฟาง ตอซัง วัชพืช กรวด หิน ดิน ทราย เพราะสิ่งเหล่านี้ดูดความชื้นได้ดี ทำให้ข้าวมีความชื้นเพิ่มขึ้นในขณะเก็บรักษา

3. การปลอดจากโรค แมลง ศัตรูต่างๆ ข้าวที่จะนำเข้าเก็บต้องปลอดจากโรค แมลง และศัตรูต่างๆ หากพบควรหาวิธีป้องกันกำจัดที่ถูกต้องและเหมาะสม

4. การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเก็บให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสม

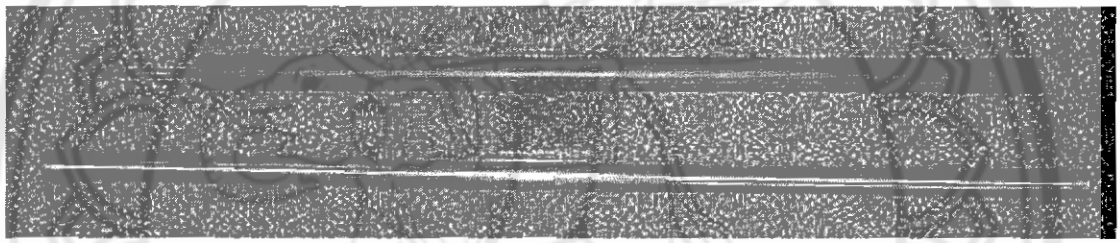
5. ลักษณะและสถานที่ตั้งของโรงเก็บ โรงเก็บที่ดีควรตั้งอยู่บนที่ดอน และแห้ง มีการระบายน้ำดี เพื่อป้องกันน้ำท่วม รอบๆบริเวณโรงเก็บต้องสะอาด โปร่ง ไม่มีต้นไม้ใหญ่ขึ้นปกคลุม สภาพโรงเก็บต้องมีผนังปิดมิดชิด แน่นหนา มีหลังคากันแดด กันฝน น้ำค้าง ควรยกพื้นสูงเพื่อให้มีการถ่ายเทอากาศด้านล่างตามช่องเปิดต่างๆ ควรมีตาข่ายป้องกัน นก หนู และสัตว์ศัตรูต่างๆ

6. การจัดการในขณะเก็บรักษา ควรมีการตรวจสอบข้าวที่เก็บและโรงเก็บเป็นระยะๆ

2.2 เทอร์โมไซฟอน

2.2.1 ลักษณะของเทอร์โมไซฟอน

เทอร์โมไซฟอน เป็นอุปกรณ์ส่งถ่ายความร้อนชนิดหนึ่งที่มีความสามารถส่งถ่ายความร้อนได้สูงมาก ประมาณ 200 เท่าเมื่อเทียบกับค่าการนำความร้อนของทองแดงที่มีมิติเท่ากัน (Dunn, P.D. และ Reay, D.A., 1981) ท่อที่ใช้ทำจากท่อปลายปิดทั้งสองด้านภายในเป็นสุญญากาศบรรจุด้วยสารทำงาน (Working fluid) ไว้จำนวนหนึ่ง แสดงดังรูป 2.1



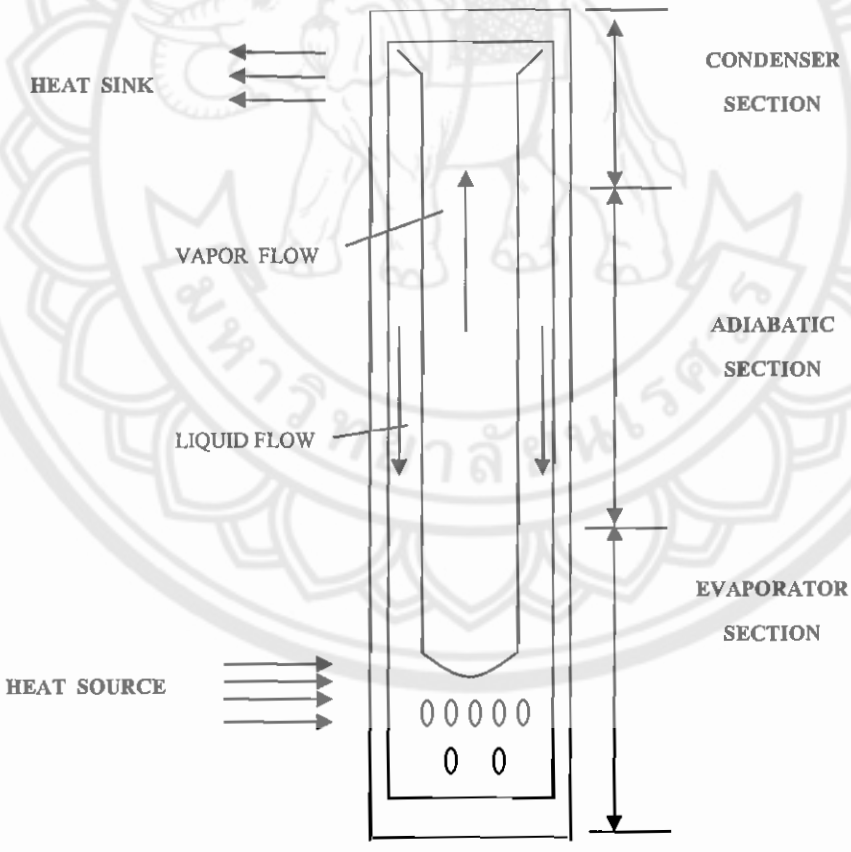
รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะของเทอร์โมไซฟอน, [9]

2.2.2 โครงสร้างของเทอร์โมไซฟอน

การทำงานของเทอร์โมไซฟอนจะอาศัยการเปลี่ยนสถานะ และความร้อนแฝงที่เกิดขึ้นอยู่ภายในของท่อความร้อนเป็นตัวส่งถ่ายความร้อน ซึ่งชนิดของสารทำงานขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่จะนำเทอร์โมไซฟอนไปใช้งาน เช่น การใช้งานที่มีอุณหภูมิในช่วง 30 – 200 องศาเซลเซียส ควรจะใช้วัสดุที่ใช้ทำท่อบรรจุคือท่อทองแดง และมีน้ำเป็นสารทำงานภายใน เนื่องจากน้ำมีราคาต่ำและสามารถส่งถ่ายความร้อนได้เป็นอย่างดีที่อุณหภูมิการทำงานดังกล่าว นอกจากนั้นการเลือกสารทำงานจำเป็นต้องพิจารณาความเข้ากันของวัสดุที่ใช้ทำท่อด้วย เนื่องจากถ้าสารทำงานไม่สามารถเข้าท่อที่ใช้ทำเป็นท่อบรรจุได้ อาจทำให้เกิดการกัดกร่อนขึ้นอย่างรวดเร็วและส่งผลทำให้ท่อมีอายุการใช้งานสั้นลง โดยทั่วไปเทอร์โมไซฟอนมีส่วนประกอบ 3 ส่วนคือ ส่วนทำระเหย (Evaporator) ส่วนกันความร้อน (Adiabatic) และส่วนควบแน่น (Condenser) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.2

2.2.3 หลักการทำงานของเทอร์โมไซฟอน

ท่อเทอร์โมไซฟอนอาศัยความร้อนแฝงของสารทำงานภายในท่อเป็นตัวถ่ายเทความร้อน เมื่อให้ความร้อนแก่ส่วนทำระเหยซึ่งอยู่ด้านล่างโดยก๊าซหรือน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิสูง สารทำงานภายในจะเดือดและระเหยกลายเป็นไอลอยขึ้นไปยังส่วนควบแน่น ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าทำให้เกิดการส่งถ่ายความร้อนเกิดขึ้น หลังจากที่ไอได้ลอยไปอยู่ที่ส่วนควบแน่นก็จะเกิดการควบแน่นกลายเป็นของเหลวไหลย้อนกลับลงมาตามผิวท่อด้านในของท่อโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก จากนั้นของเหลวที่ไหลลงมาส่วนทำระเหยซึ่งอยู่ทางด้านล่างของท่อก็จะระเหยกลายเป็นไอต่อไป ทำให้เกิดการส่งถ่ายความร้อน และทำงานเป็นวัฏจักร



รูปที่ 2.2 แสดงหลักการทำงานของเทอร์โมไซฟอน, [4]

2.2.4 ข้อดีของเทอร์โมไซฟอน

1. ง่ายต่อการสร้าง
2. สามารถนำความร้อนสูง
3. สามารถถ่ายเทความร้อนได้เมื่อแหล่งรับและระบายความร้อนอยู่ห่างกันได้
4. สามารถใช้เป็นอุปกรณ์ความร้อนบริเวณที่มีพื้นที่เล็กและแคบได้
5. ไม่ต้องการพลังงานภายนอกสำหรับใช้ในการทำงาน

2.2.5 อัตราการเติมสารทำงาน

ควรหลีกเลี่ยงการเติมสารทำงานมากเกินไป เพราะสารทำงานจะไปลดพื้นที่ในส่วนควบแน่น และทำให้การถ่ายเทความร้อนลดลง แต่ถ้าเติมสารทำงานไม่พอเพียง จะเกิดการแห้ง (Dry out) ขึ้นที่ผิวท่อส่วนทำระเหย อัตราการเติมสารทำงานแทนด้วยสัญลักษณ์ F เป็นสัดส่วนกับปริมาตรของของเหลวในเทอร์โมไซฟอนที่ขณะยังไม่ได้ทำงาน (V_Q) กับปริมาตรในส่วนทำระเหย, [3] คือ

$$F = V_Q/Al_e \qquad (2.1)$$

โดยที่ A เป็นพื้นที่หน้าตัดภายในของเทอร์โมไซฟอนมีค่าเท่ากับ $\pi D^2/4$, m^2

l_e เป็นความยาวในส่วนทำระเหย, m

D เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเทอร์โมไซฟอน, m

สำหรับเทอร์โมไซฟอนที่วางตัวอยู่ในแนวดิ่ง โดยปกติจะเติมของเหลวมากกว่าครึ่งหนึ่งของส่วนทำระเหยซึ่งจะอยู่ในช่วง 40% ถึง 60% ของส่วนทำระเหย และ

$$V_Q \geq 0.001D_o\ (l_e+l_a+l_c) \qquad (2.2)$$

เมื่อ D_o เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อเทอร์โมไซฟอน, m

l_e เป็นความยาวในส่วนทำระเหย, m

l_a เป็นความยาวในส่วน ที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน, m

l_c เป็นความยาวในส่วนส่วนควบแน่น, m

เพื่อให้ความหนา film มากกว่า 0.3 mm ตลอดความยาวท่อ

2.2.6 การถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอน

สมรรถนะของเทอร์โมไซฟอนแบบปิดสองสถานะในสภาวะการทำงานปกติสามารถแสดงได้ในรูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ของความต้านทานความร้อนรวม (Z) ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนจริง (Q) และค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างแหล่งกำเนิดความร้อนกับแหล่งระบายความร้อน ($\Delta T=T_{so}-T_{si}$) คือ

$$Q = \Delta T/Z \qquad (2.3)$$

โดยที่ T_{so} คือ อุณหภูมิแหล่งกำเนิดความร้อน,° C

T_{si} คือ อุณหภูมิแหล่งระบายความร้อน,° C

ค่าความต้านทานความร้อนรวมประกอบด้วยค่าความต้านทานต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.3

Z_1 และ Z_9 เป็นความต้านทานความร้อนระหว่างแหล่งกำเนิดความร้อนและผิวข้างนอกของส่วนทำระเหย และระหว่างผิวของส่วนควบแน่นกับแหล่งระบายความร้อน สามารถหาค่า Z_1 และ Z_9 ได้จาก

$$Z_1=1/(h_{eo}S_{eo}) \text{ and } Z_9=1/(h_{co}S_{co}) \qquad (2.4)$$

โดยที่ h_{eo} คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการพาที่พื้นที่ผิวของส่วนทำระเหย, W/m^2K

S_{eo} คือ พื้นที่ผิวของส่วนทำระเหย, m^2

h_{co} คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการพาที่พื้นที่ผิวของส่วนควบแน่น W/m^2K

S_{co} คือ พื้นที่ผิวของส่วนควบแน่น, m^2

Z_2 และ Z_8 เป็นความต้านทานความร้อนโดยการนำผ่านความหนาของผนังท่อเทอร์โมไซฟอนในส่วนของส่วนทำระเหย และส่วนควบแน่น ตามลำดับ ความต้านทานเหล่านี้ สามารถหาได้จาก

$$Z_2= \ln(D_o/D)/2\pi l_e\lambda_x \text{ และ } Z_8= \ln(D_o/D)/2\pi l_c\lambda_x \qquad (2.5)$$

โดยที่ D_o คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก, m

λ_x คือ ค่าการนำความร้อน(Thermal conductivity), W/m.K

Z_3 และ Z_7 เป็นความต้านทานความร้อนภายในของของไหลที่กำลังเดือดและกำลังควบแน่นในเทอร์โมไซฟอน ตามลำดับ และขึ้นอยู่กับสมบัติของของไหล ขนาดของเทอร์โมไซฟอนและอัตราการถ่ายเทความร้อน วิธีการประมาณ Z_3 และ Z_7 สามารถหาได้ดังนี้

$$Z_3 = Z_{3p}F + Z_{3f}(1-F) \quad (2.6)$$

$$Re_f = (4Q_2) / (h_{fg}\mu_l \pi D_i) \quad (2.7)$$

ถ้า $50 < Re_f < 1300$ ก็คำนวณค่า Z_{3f} ถ้าไม่ใช่

$$Z_7 = (C*Q_2\text{^}(1/3))/(D_i\text{^}(4/3)*g\text{^}(1/3)*L_c * \varnothing_2\text{^}(4/3)) * 191\, Re_f^{-0.733} \quad (2.8)$$

$$Z_{3f} = CQ^{1/3}/D^{4/3}g^{1/3}l_e(\Phi_2)^{4/3} \quad (2.9)$$

$$Z_{3p} = 1/\Phi_3 g^{0.2}Q^{0.4}(\pi D l_c)^{0.6} \quad (2.10)$$

ถ้า $Z_{3p} < Z_{3f}$ ให้ $Z_3 = Z_{3p}$

โดยที่ Z_{3f} คือ ความต้านทานความร้อนฟิล์มของเหลว, K/W

Z_{3p} คือ ความต้านทานความร้อนในแอ่งเดือด, K/W

สำหรับน้ำ $\Phi_3 = 63(P_v/P_a)^{0.23}$

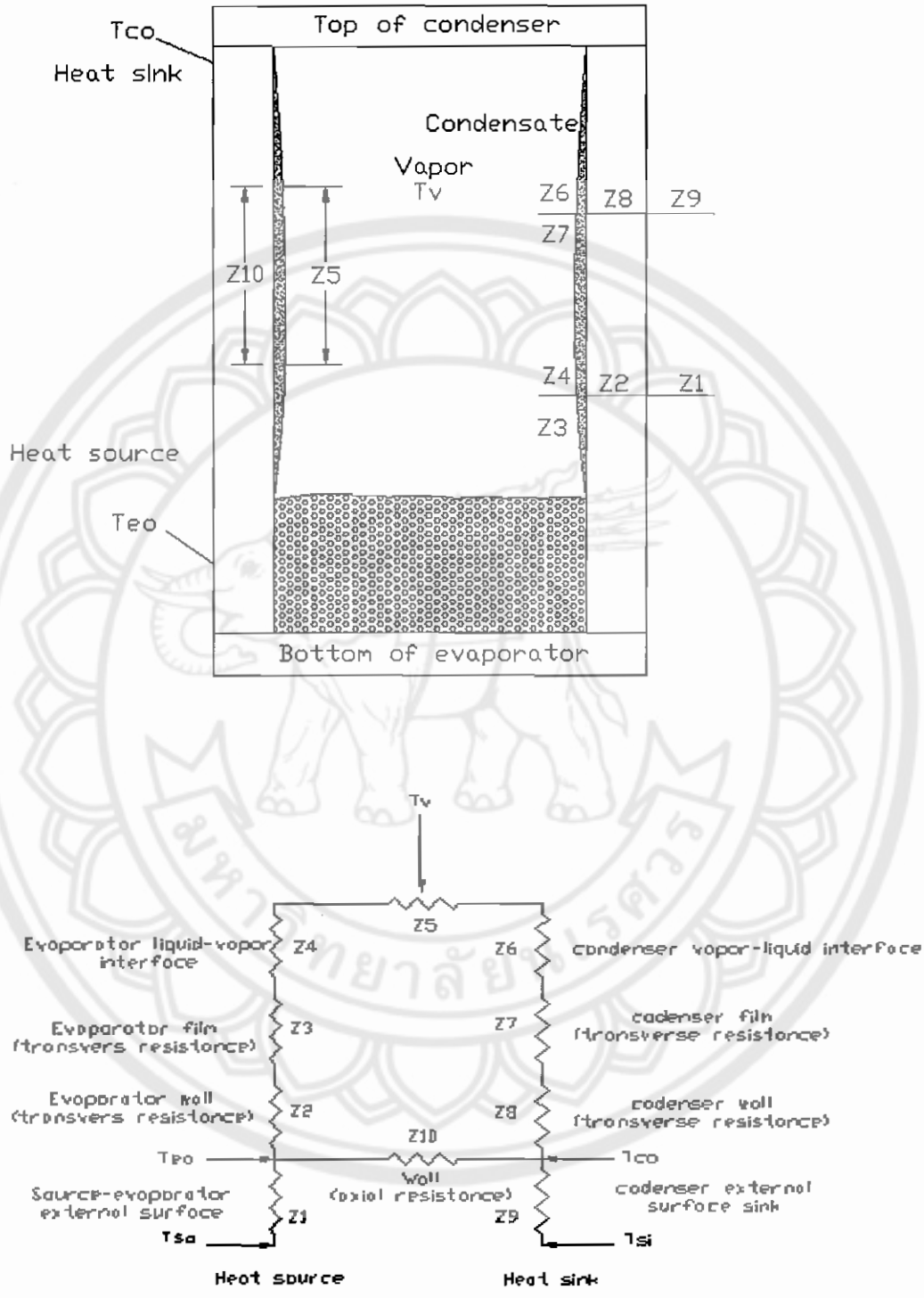
$$Z_7 = CQ^{1/3}/D^{4/3}g^{1/3}l_c(\Phi_2)^{4/3} \quad (2.11)$$

โดยที่ C= 0.235

Z_4 และ Z_6 เป็นความต้านทานความร้อน ระหว่างหน้าสัมผัสไอกับผิวของของเหลวในส่วนของ ส่วนทำระเหย และส่วนควบแน่น ตามลำดับ ซึ่งน้อยมากดังนั้นสามารถไม่นำมาคิด

Z_5 เป็นค่าความต้านทานความร้อนของ Pressure drop ระหว่างทางจากส่วนทำระเหยไปส่วนควบแน่น แต่น้อยมากดังนั้นสามารถไม่นำมาคิดได้

Z_{10} เป็นความต้านทานความร้อนในแนวแกนตามผนังของท่อ หาได้จาก



รูปที่ 2.3 วงจรความต้านทานความร้อน, [3]

$$Z_{10}=(0.5l_e+l_a+0.5l_c)/(A_x\lambda_x) \quad (2.12)$$

โดยที่ A_x **เป็นพื้นที่หน้าตัดของผนังท่อ,** m^2

สำหรับตำแหน่งการทำงานปกติ เมื่อส่วนทำระเหยอยู่ต่ำกว่าส่วนควบแน่นการนำความร้อนผ่านผนังตามแนวแกนท่อจะมีผลน้อยมากต่อสมรรถนะของเทอร์โมไซฟอน ในทางกลับกันถ้าส่วนทำระเหย อยู่สูงกว่าส่วนควบแน่น การถ่ายเทความร้อนในเทอร์โมไซฟอน จะเกิดขึ้นจากการนำความร้อนผ่านผนังตามแนวแกนท่ออย่างเดียวเท่านั้น ซึ่งมีค่าน้อยมากดังนั้นสามารถใช้เทอร์โม-ไซฟอนเป็น Thermal diode ได้

เงื่อนไขของการออกแบบเมื่อไม่พิจารณาการนำความร้อนในแนวแกน คือ

$$Z_{10}/(Z_2+Z_3+Z_5+Z_7+Z_8) > 20 \quad (2.13)$$

ถ้าเป็นไปตามสมการ (2.13) ค่าความต้านทานความร้อนรวมคือ

$$Z = Z_1+Z_2+Z_3+Z_5+Z_7+Z_8+Z_9 \quad (2.14)$$

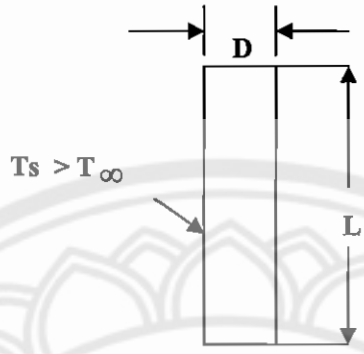
ถ้าไม่เป็นไปตามสมการ (2.13) จะได้

$$Z = Z_1+[(Z_2+Z_3+Z_5+Z_7+Z_8)^{-1}+1/Z_{10}]^{-1}+Z_9 \quad (2.15)$$

เมื่อความร้อนไหลย้อนกลับใน Thermal diode จะไม่มีการถ่ายเทความร้อนภายใน และความต้านทานรวมจะเป็น

$$Z = Z_1+Z_9+Z_{10} \quad (2.16)$$

2.2.7 การพาความร้อนแบบธรรมชาติ (Free convection) บนทรงกระบอกแนวดิ่ง



รูปที่ 2.4 การความร้อนตามธรรมชาติบนทรงกระบอกแนวดิ่ง, [10]

พิจารณาทรงกระบอกแนวดิ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) และสูง (L) ภายในของไหลที่มี $Pr \geq 0.7$ เกบฮาร์ท (Gebhart) สแปร์โรว์และเกรกก์ พบว่าถ้า

$$D/L < 35/(Gr_L)^{1/4} \tag{2.17}$$

หากเป็นตามสมการ (2.17) แสดงว่าทรงกระบอกที่ใช้เป็นทรงกระบอกเรียวยาวหรือเส้นลวด เซเบชี (Cebeci) มินโควิกซ์ (Minkowycz) และสแปร์โรว์แนะนำให้พิจารณาสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ยจาก

$$Nu_{m,\,plate} = \left\{0.825 + \frac{0.387 Ra_L^{1/6}}{\left[1+(0.492/0.700)^{9/16}\right]^{8/27}}\right\}^2 \tag{2.18}$$

$$Ra_L = Gr_L \times Pr \tag{2.19}$$

$$\zeta = \frac{L/D}{Ra_L^{1/4}} \tag{2.20}$$

$$Nu_{m,\,cyl} = Nu_{m,\,plate}\,(1+1.3\zeta^{0.9}) \tag{2.21}$$

สำหรับอากาศและ $\varsigma <$ 0.024 ตัวเลขนัสเซลท์ที่คำนวณได้จากสมการ (2.21) นั้นให้คูณด้วย 0.94 จึงเป็นคำตอบ

ดังนั้น จะหาสัมประสิทธิ์การพาความร้อนตามธรรมชาติ (h_m) หาได้จากสมการ

$$h_m = Nu_m k / L \qquad (2.22)$$

อัตราความร้อนสูญเสีย (Q_{loss}) จากท่อหาได้จากสมการ

$$Q_{loss} = \pi DL\, h_m (Ts - T_\infty) \qquad (2.23)$$

การพาความร้อนแบบธรรมชาติ (Free convection) บนทรงกระบอกแนวดิ่งสามารถหาค่าอัตราความร้อนสูญเสีย (Q_{loss}) ได้จากสมการข้างต้น

2.3 การทบทวนผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

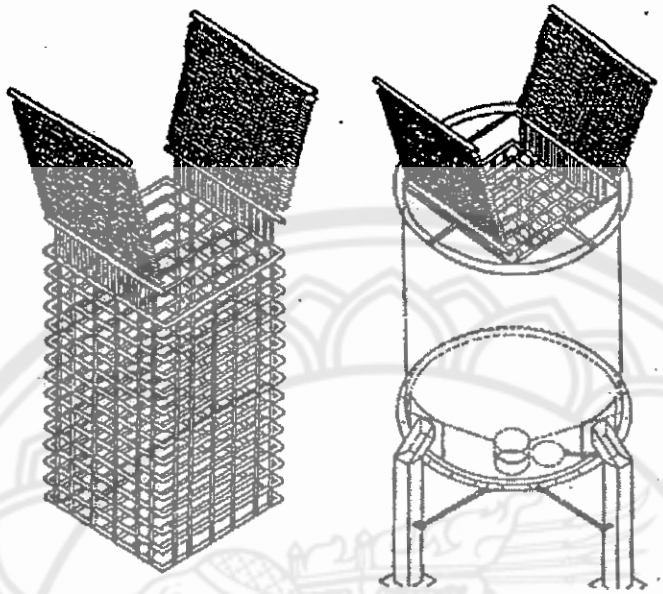
จากงานวิจัยของ Dussadee et al. (2003)

เรื่อง การวิเคราะห์สมรรถนะและเศรษฐศาสตร์ของถังเก็บข้าวเปลือกที่ใช้เทอร์โมไซฟอน

การวิเคราะห์สมรรถนะ และเศรษฐศาสตร์ของถังเก็บข้าวเปลือกที่มีเทอร์โมไซฟอนที่ใช้ R22 เป็นสารทำงานเพื่อระบายความร้อนออกถังเก็บข้าวเปลือก ดังรูปที่ 2.4

โดยที่ใช้ถังเหล็กทรงกระบอกขนาด 1250 มิลลิเมตรและมีความยาว 1500 มิลลิเมตร ซึ่งบรรจุข้าวเปลือก 1000 กิโลกรัม ในส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอนอยู่ในข้าวเปลือก ซึ่งทำมาจากชุดท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว และมีพื้นที่ถ่ายเทความร้อน 8.5 ตารางเมตร และส่วนควบแน่นมีพื้นที่ 12.2 ตารางเมตร โดยใช้อากาศในบรรยากาศระบายความร้อน การวิเคราะห์สมรรถนะและเศรษฐศาสตร์ของถังเก็บข้าวเปลือกที่ใช้เทอร์โมไซฟอน จะวิเคราะห์เปรียบเทียบกับถังที่มีการระบายความร้อนแบบใช้อากาศไหลผ่านข้าวเปลือก

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การใช้เทอร์โมไซฟอนมีศักยภาพสูงในการควบคุมอุณหภูมิในข้าวเปลือกและสามารถรักษาอุณหภูมิเหลือเพียง 28– 29 องศาเซลเซียส



รูปที่ 2.5 ท่อเทอร์โมไซฟอนและถังข้าวเปลือกที่มีเทอร์โมไซฟอน, [2]

เมื่อเทียบกับการไม่มีการควบคุม จะมีอุณหภูมิ 31 -32 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ยิ่งไปกว่านั้นเทอร์โมไซฟอนยังสามารถใช้ได้กับช่วงอุณหภูมิที่แตกต่างเพียงเล็กน้อยได้อีกด้วย ด้านคุณภาพของข้าวจะใกล้เคียงกันสำหรับการใช้เทอร์โมไซฟอนเมื่อเทียบกับการระบายความร้อนที่ใช้ลมเป่า แบบจำลองระบบนี้ยังทำนายว่าสำหรับข้าว 1000 กิโลกรัมส่วนทำระเหยควรมีพื้นที่อย่างน้อยที่สุด 16 ตารางเมตรและส่วนควบแน่นควรมีพื้นที่ 12.2 ตารางเมตร จากการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ พบว่าระยะคืนทุน คือ 8.2 ปี และอัตราผลตอบแทน คือ 8.6 % เมื่อเทียบกับระบบที่ใช้พัดลมขนาด 1/8 แรงม้าในการระบายความร้อนและสัดส่วนเวลาทำงานของพัดลมคือ 20 % ต่อปี

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการระบายความร้อนของเทอร์โมไซฟอน ที่ศึกษาในเอกสารนี้สามารถช่วยระบายความร้อนเป็นอย่างดีและยังสามารถลดค่าใช้จ่ายในระหว่างการเก็บข้าว คือ ค่าไฟฟ้าเมื่อเทียบกับการเก็บรักษาแบบใช้พัดลมเป่า แต่รูปแบบการติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอนมีรูปแบบที่ยุ่งยากทำให้ต้องเสียค่าติดตั้งสูง และกลุ่มของข้าพเจ้าจะนำเอาหลักการนี้ไปปรับปรุงแก้ไขโดยการติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอนเป็นแบบท่อเดี่ยวเพื่อให้ง่ายต่อการติดตั้งและยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งอีกด้วย