บทที่ 3
วิธีดำเนินงาน

3.1 การสำรวจและรวบรวมข้อมูล

การสำรวจและรวบรวมข้อมูล เป็นการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของระบบที่ใช้เทอร์โมไซฟอนจากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ เช่น บทความ วารสาร หนังสือ เป็นต้น แล้วนำข้อมูลที่ได้มาจดบันทึกไว้ ซึ่งสามารถแสดงเป็นข้อ ๆ ได้ดังนี้

3.1.1 ศึกษาการทำงานของเทอร์โมไซฟอนและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ประกอบไปด้วย

1. ลักษณะการทำงานของเทอร์โมไซฟอน
2. วัสดุที่ใช้ทำท่อ สารทำงานและอัตราการเติม
3. ความร้อนที่ถ่ายเทผ่านท่อเทอร์โมไซฟอน
4. ข้อดีข้อเสีย

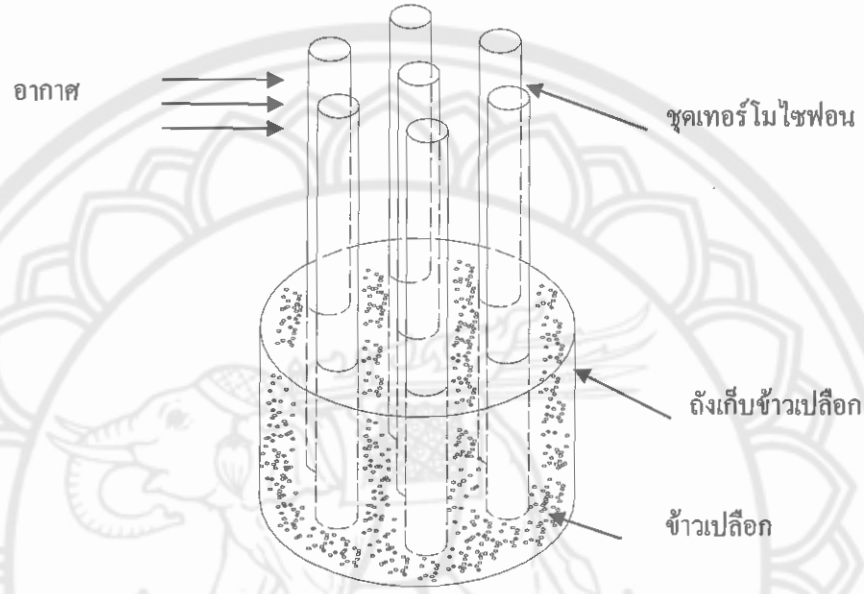
3.1.2 ศึกษาวิธีการเก็บรักษาข้าวเปลือก ซึ่งสามารถเก็บได้หลายวิธี โดยจะศึกษาในส่วนการเก็บรักษาในสภาพที่มีการควบคุมเพียงอย่างเดียว ซึ่งจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

1. การเก็บแบบใช้ลมเป่า
2. การเก็บโดยใช้เทอร์โมไซฟอน

3.2 แบบจำลองการทำงานของระบบระบายความร้อนในข้าวเปลือกที่ใช้ชุดเทอร์โมไซฟอน

การทำงานของระบบระบายความร้อนในข้าวเปลือกที่ใช้ชุดเทอร์โมไซฟอนจะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.1 คือ เมื่อมีการเก็บข้าวเปลือกไว้ในถังข้าวเปลือก ข้าวเปลือกในถังจะมีการหายใจทำให้เกิดความร้อน ความร้อนดังกล่าวจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ทำให้ส่วนทำระเหยของท่อเทอร์โมไซฟอนที่อยู่ในถังมีอุณหภูมิสูงขึ้น สารทำงานภายในส่วนทำระเหยเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้นก็จะเดือดและระเหยเป็นไอแล้วลอยขึ้นไปส่วนควบแน่นของท่อเทอร์โมไซฟอนที่สัมผัสกับอากาศในบรรยากาศ และจะทำให้สารทำงานในส่วนควบแน่นของท่อเทอร์โมไซฟอนเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศภายนอกโดยการพาความร้อนแบบธรรมชาติจากผิวท่อส่วนควบแน่นไปยัง

อากาศ สารทำงานในท่อเทอร์โมไซฟอนก็จะควบแน่นไหลลงตามผนังของท่อเทอร์โมไซฟอนด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก ลงสู่ส่วนทำระเหยเพื่อไปรับความร้อนจากข้าวเปลือกอีกครั้ง



รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะของถังเก็บข้าวที่ติดตั้งชุดเทอร์โมไซฟอนแล้ว

3.3 สมมุติฐาน

เนื่องจากในการทำงานจริงของระบบที่ใช้เทอร์โมไซฟอนแสดงดังรูปที่ 3.1 ซึ่งจะมีปัจจัยหลายอย่างที่เกี่ยวข้อง ดังนั้น เพื่อให้เกิดความสะดวกและคำนวณได้ง่าย จึงกำหนดเงื่อนไขต่าง ๆ ออกเป็นดังนี้

3.3.1 การกระจายอุณหภูมิของข้าวเปลือกภายในถังข้าวเปลือกที่ใช้เทอร์โมไซฟอนมีการกระจายสม่ำเสมอ

3.3.2 อุณหภูมิบรรยากาศที่ระบายความร้อนให้กับท่อเทอร์โมไซฟอนเป็นอุณหภูมิเฉลี่ยมีค่าคงที่เท่ากับ 27 องศาเซลเซียส เนื่องจากงานวิจัยของ Dussadee et al. (2003) อุณหภูมิบรรยากาศมีการเปลี่ยนแปลงช่วง 23 – 31 องศาเซลเซียส ดังนั้น จึงใช้อุณหภูมิบรรยากาศเฉลี่ยได้เป็น 27 องศาเซลเซียส

3.3.3 มวลของข้าวที่ใช้เทอร์โมไซฟอนในการระบายความร้อน คือ 1000 กิโลกรัมและมีความชื้น 13.5 % เนื่องจากที่ความชื้นดังกล่าวสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนและความชื้น ซึ่งมาจากงานวิจัยของ Dussadee et al. (2003)

3.3.4 การถ่ายเทความร้อนจากถังเก็บข้าวเปลือกสู่บรรยากาศมีค่าน้อยมาก

3.3.5 เทอร์โมไซฟอนส่วนทำระเหยอยู่ติดกับส่วนควบแน่นไม่มี Adiabatic section

3.3.6 ความต้านทานความร้อนระหว่างแหล่งกำเนิดความร้อนและผิวข้างนอกของส่วนทำระเหย (Z_1) มีค่าน้อยมาก เนื่องจากผิวข้างนอกของส่วนทำระเหยอยู่ติดกับแหล่งกำเนิดความร้อน จึงมีการสัมผัสอากาศน้อยมากทำให้ความต้านทานมีค่าน้อยมาก ดังนั้น สามารถไม่นำมาคิดได้

3.3.7 เทอร์โมไซฟอนสร้างจากท่อทองแดง วางในแนวดิ่ง สารทำงานที่ใช้เป็น R134a อัตราการเติมสารทำงาน 50 % ของส่วนทำระเหย เนื่องจากโดยปรกติอัตราการเติมสารทำงานจะอยู่ในช่วง 40 – 60 % ของส่วนทำระเหย ซึ่งอัตราการเติมสาร 50 % ของส่วนทำระเหยเป็นอัตราการเติมดีที่สุด ตามทฤษฎีหัวข้อที่ 2.2.5

3.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการระบายความร้อนในข้าวเปลือกโดยใช้เทอร์โมไซฟอน

การระบายความร้อนในข้าวเปลือกโดยใช้เทอร์โมไซฟอน แสดงไว้ในรูปที่ 3.2

ซึ่งแสดงปริมาตรควบคุม (Control Volume) ของถังข้าวเปลือกที่มีเทอร์โมไซฟอนและใช้การสมดุลพลังงานจะได้

$$\dot{E}g + \dot{E}in - \dot{E}out = \dot{E}st \qquad (3.1)$$

โดย $\dot{E}g$ คือ พลังงานที่ข้าวผลิตขึ้น

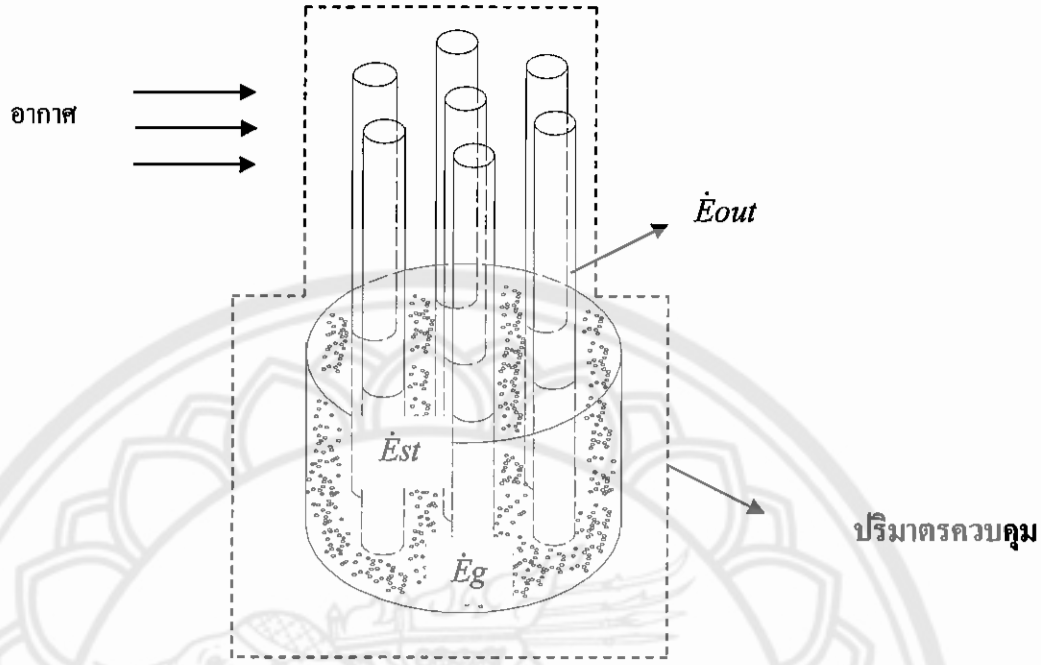
$\dot{E}in$ คือ พลังงานเข้าสู่ปริมาตรควบคุม

$\dot{E}out$ คือ พลังงานออกจากปริมาตรควบคุม

$\dot{E}st$ คือ พลังงานที่ข้าวเก็บไว้

เนื่องจากไม่มีพลังงานเข้าสู่ปริมาตรควบคุมของถังข้าวเปลือกที่มีเทอร์โมไซฟอน ($\dot{E}in = 0$) ดังนั้น จะได้สมการสมดุลพลังงาน

$$\dot{E}g - \dot{E}out = \dot{E}st \qquad (3.2)$$



รูปที่ 3.2 แสดงปริมาตรควบคุมของถังข้าวเปลือกที่มีเทอร์โมไซฟอน

พลังงานที่ข้าวผลิตขึ้น ($\dot{E}g$) คือ ความร้อนของข้าวเปลือก ($Qpaddy$) ที่เกิดจากการหายใจของข้าวเปลือกดังจะแสดงได้ดังสมการปฏิกิริยาเคมีที่ 1.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อข้าวมีการหายใจเกิดขึ้นจะมีความร้อนออกมาเป็นผลให้เกิดความเสียหายเนื่องจากความร้อนในข้าวเปลือก ซึ่งเป็นความสัมพันธ์กับฟังก์ชันของเวลา ฟังก์ชันของเวลาสามารถแสดงดังสมการ

$$\text{Term} = A\left(\frac{t}{1000}\right)^{c} \exp[D(1.8t_b - 28)]\exp[E(M_w - 0.14)] \qquad (3.3)$$

โดยที่ A = 0.000914, D = 0.03756 , C = 0.654 , E = 33.61

M_w คือ ปริมาณความชื้นของข้าวเปลือก

t_b คือ อุณหภูมิในข้าวเปลือก, °C

t คือ ช่วงเวลาในการเก็บข้าวเปลือก

ความเสียหายเนื่องจากความร้อนในข้าวเปลือก จะหาได้จากสมการดังนี้

$$DML = 1 - \exp(-Term) \tag{3.4}$$

โดยที่ DML คือ ฟังก์ชันของเวลา

ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิในข้าวเปลือกหาได้จากสมการ

$$\Delta T = \frac{15778(DML)}{Cp}. \tag{3.5}$$

โดยที่ C_p คือ ค่าความจุความร้อนของข้าวเปลือก, kJ/kg °c

ΔT คือ ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิในข้าวเปลือก, °C

ความร้อนของข้าวเปลือก ($Qpaddy$) มีความสัมพันธ์กับค่าความแตกต่างของอุณหภูมิหาได้จาก

$$\dot{E}g = Qpaddy = mC_p\Delta T \tag{3.6}$$

โดยที่ $Qpaddy$ คือ ค่าความร้อนของข้าวเปลือก, kW

จากปริมาตรควบคุมของเทอร์โมไซฟอน แสดงดังรูป 3.3 และใช้สมดุลพลังงาน สามารถหาค่าความร้อนของท่อเทอร์โมไซฟอนที่ระบายออก (Qts) ได้จาก

$$Qts = \Delta T / Z_t \tag{3.7}$$

โดยที่ $\Delta T = T_{so} - T_{si}$

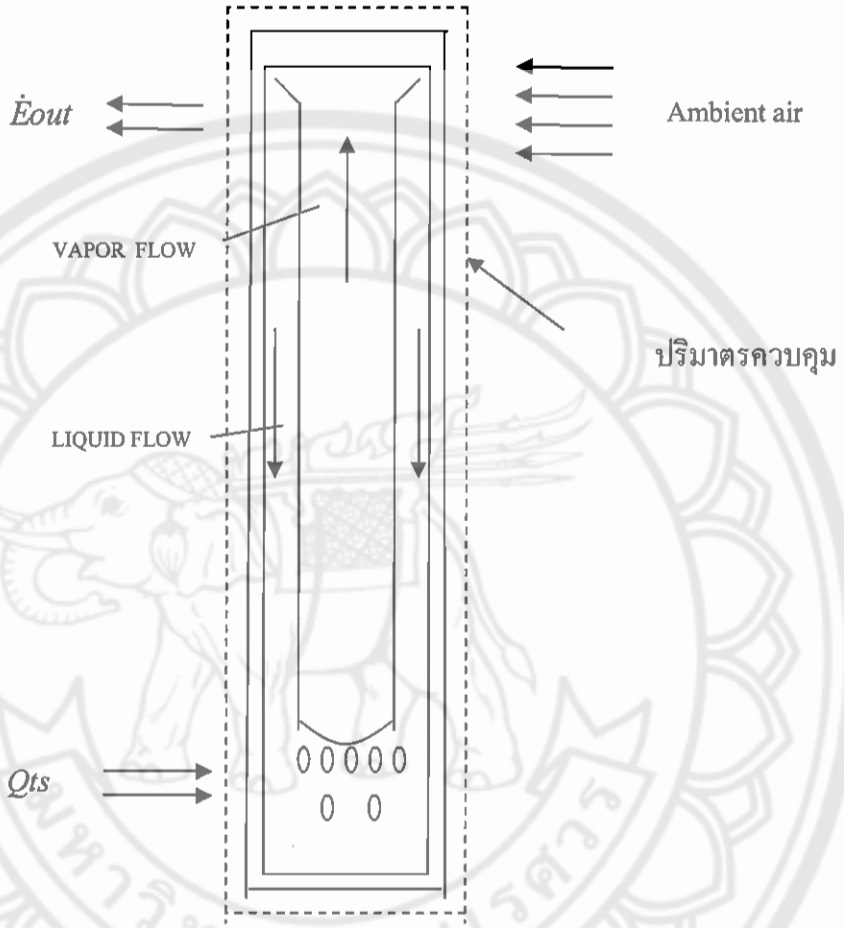
T_{so} **คือ** อุณหภูมิแหล่งกำเนิดความร้อน, °c

T_{si} **คือ** อุณหภูมิแหล่งระบายความร้อน, °c

Z_t **คือ** ความต้านทานความร้อนรวม (แสดงดังรูป 2.3)

Qts **คือ** ค่าความร้อนของท่อเทอร์โมไซฟอนที่ระบายออก, kW

ค่าความต้านทานความร้อนรวมแสดงไว้ในบทที่ 2 โดยค่าความต้านทานความร้อนรวมเป็นผลรวมของค่าความด้านทานความร้อนที่ส่วนต่าง ๆ ของเทอร์โมไซฟอน



รูปที่ 3.3 แสดงปริมาตรควบคุมการระบายความร้อนของเทอร์โมไซฟอน

ความร้อนของข้าวเปลือกในถัง จะมีส่วนหนึ่งระบายความร้อนออกโดยใช้เทอร์โมไซฟอน และอีกส่วนก็ยังคงเหลืออยู่ภายในถังข้าวเปลือก ซึ่งความร้อนนี้จะถูกสะสมไว้ในแต่ละชั่วโมงหรือเท่ากับพลังงานที่ข้าวเก็บไว้ ($\dot{E}st$) จะได้สมการ

$$\dot{E}st = \frac{mCp\Delta T}{\Delta t} \tag{3.8}$$

โดยที่ Δt คือ ค่าความแตกต่างของช่วงเวลาที่เก็บข้าว, hr

m คือ มวลของข้าวเปลือก, kg

แทนค่าสมการ (3.6) , (3.7) และ (3.8) ลงในสมการหลัก (3.2) ดังนั้น จะได้สมการการถ่ายเทความร้อนของระบบที่ใช้เทอร์โมไซฟอนเป็นไปตามสมการดังนี้

$$Qpaddy - Qts = \frac{mCp\Delta T}{\Delta t} \qquad (3.9)$$

ค่าอุณหภูมิของข้าวเปลือกเมื่อมีการระบายความร้อนออกโดยใช้เทอร์โมไซฟอนซึ่งอุณหภูมิของข้าวเปลือกในแต่ละชั่วโมงก็จะขึ้นอยู่กับค่าความร้อนของข้าวเปลือก ที่ผลิตออกมาและค่าความร้อนที่เทอร์โมไซฟอนสามารถระบายออก (Qts) ไปได้และประยุกต์ตามระเบียบวิธีเชิงตัวเลข จะได้ตามสมการต่อไปนี้

$$T_{b,new} = [\,(Qpaddy - Qts) * 3600 / mC_p] + T_{b,0} \qquad (3.9)$$

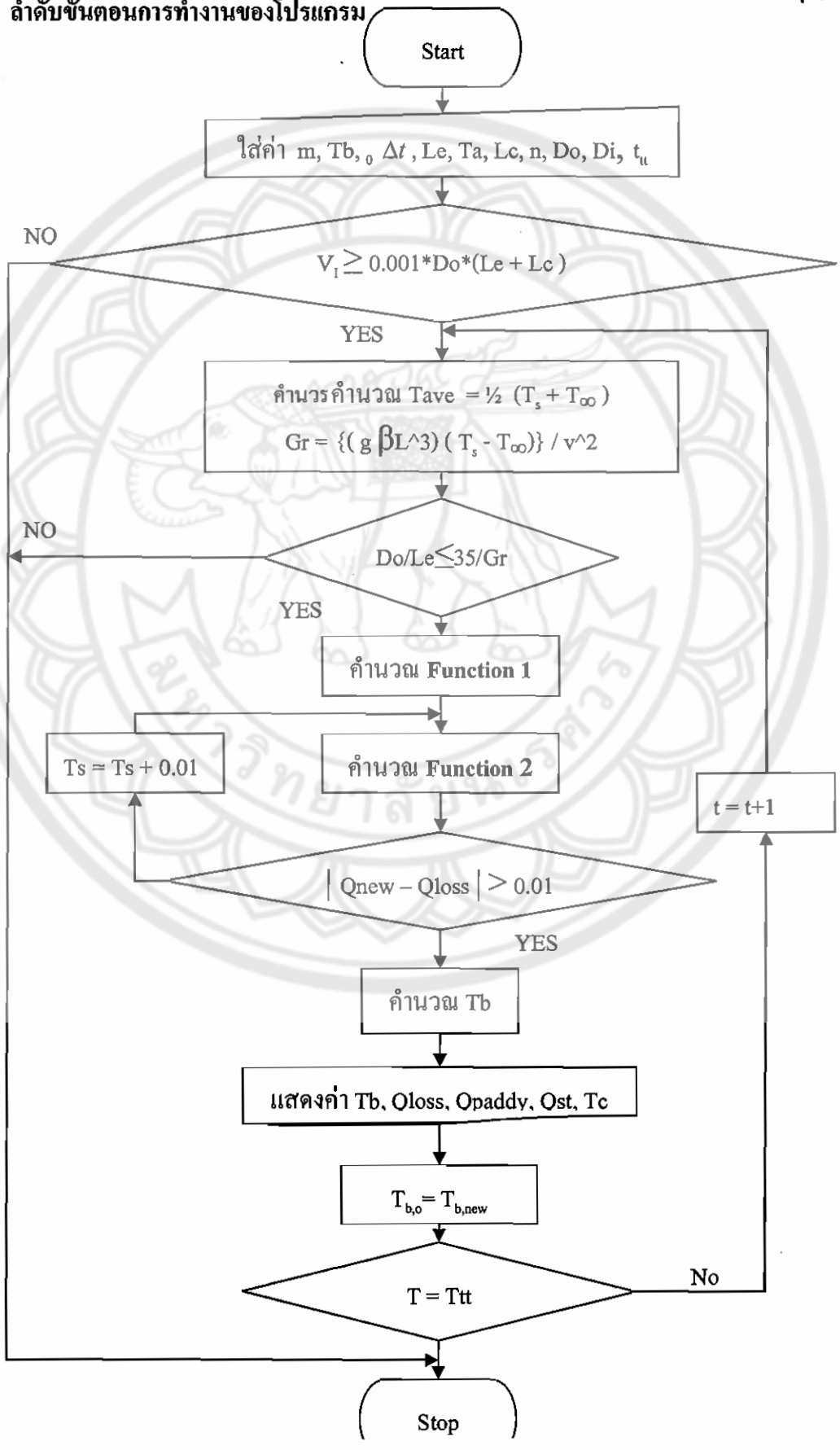
โดยที่ $T_{b,new}$ คือ อุณหภูมิข้าวเปลือกในชั่งโมงที่ทำการคำนวณ

$T_{b,o}$ คือ อุณหภูมิข้าวเปลือกในชั่วโมงที่ผ่านมา

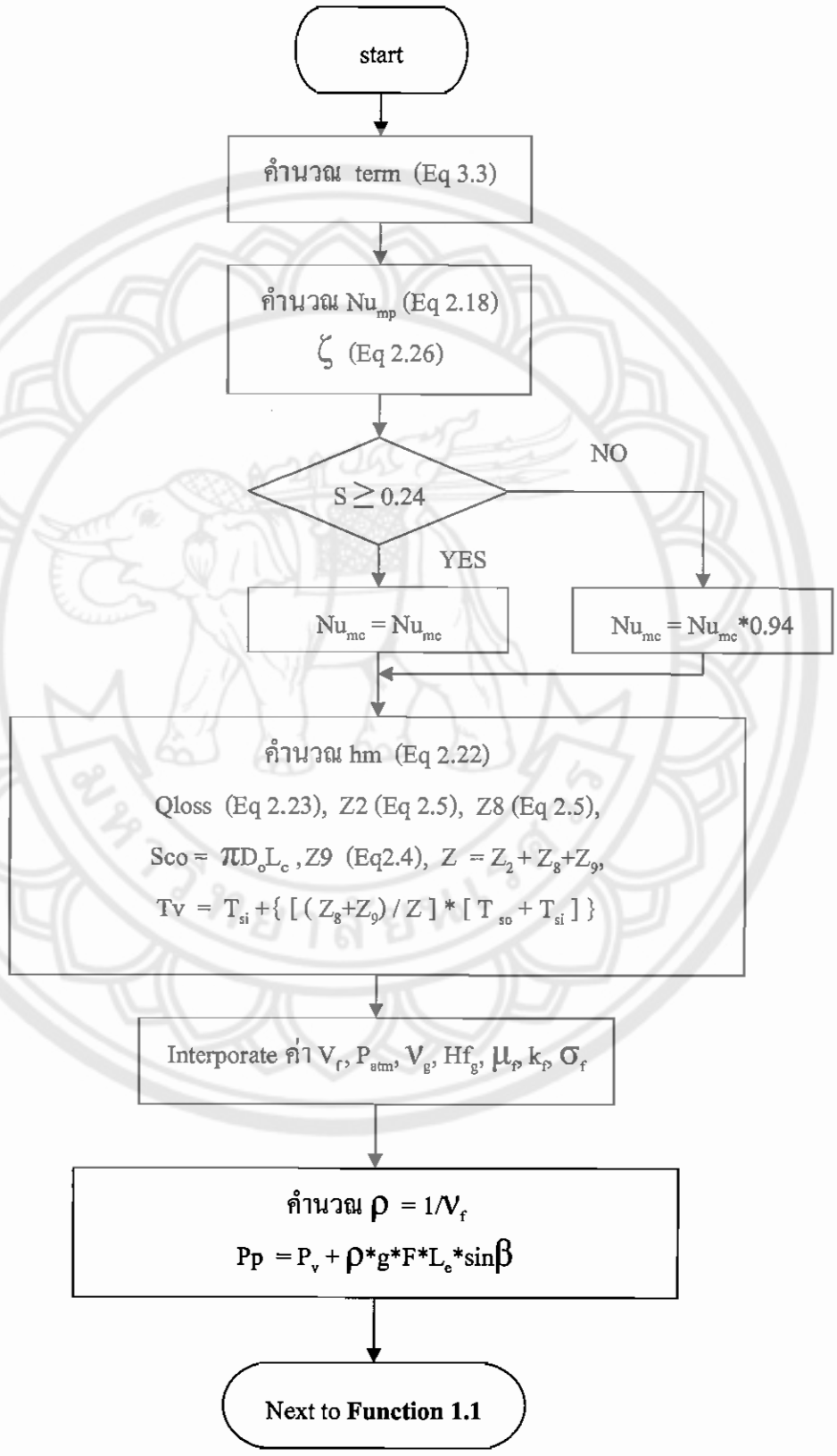
ซึ่งค่า $T_{b,new}$ ที่ได้นั้น คือ อุณหภูมิของข้าวเปลือกที่ระบายความร้อนด้วยเทอร์โมไซฟอนในแต่ละชั่วโมง เพื่อที่จะให้การระบายความร้อนได้อุณหภูมิที่เหมาะสมเราจะต้องเพิ่มจำนวนท่อเทอร์โมไซฟอน หรืออาจจะทดลองเปลี่ยนขนาดของท่อและส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอนเพื่อหาขนาด และจำนวนที่เหมาะสม ที่เทอร์โมไซฟอนระบายความร้อนได้ตามต้องการและรักษาอุณหภูมิให้คงที่

ฝ
TJ
263
ท179ท
2549
1.0862491
สำนักหอสมุด
17 มี.ค. 2551

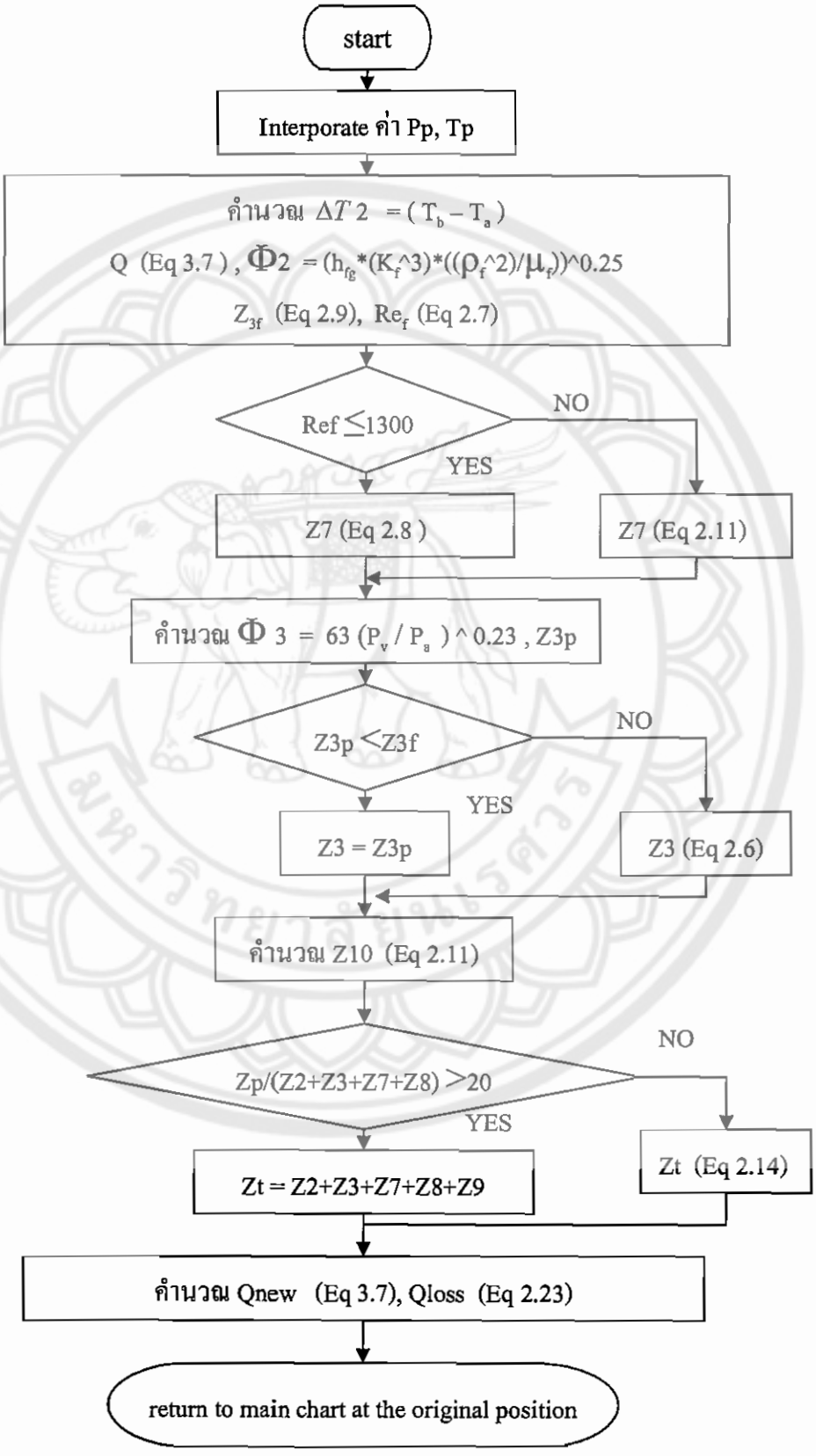
3.5 ลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม



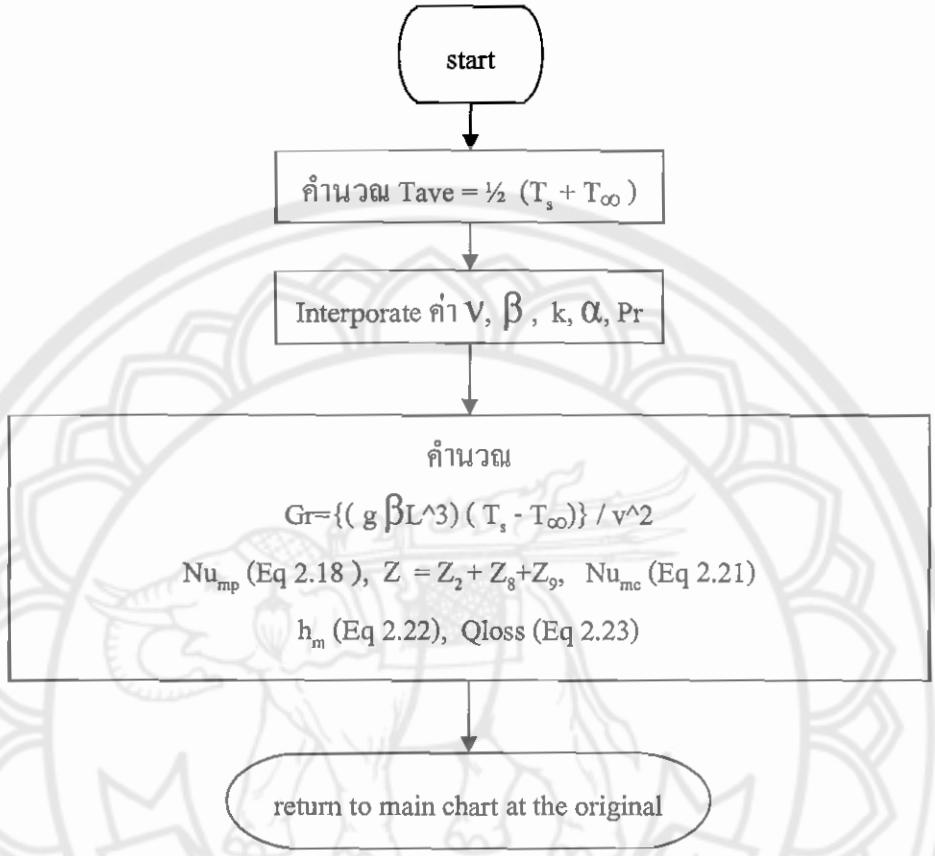
Function1


start
คำนวณ term (Eq 3.3)
คำนวณ Nu_{mp} (Eq 2.18)
ζ (Eq 2.26)
$S \geq 0.24$
NO
YES
$Nu_{mc} = Nu_{mc}$
$Nu_{mc} = Nu_{mc}*0.94$
คำนวณ hm (Eq 2.22)
Qloss (Eq 2.23), Z2 (Eq 2.5), Z8 (Eq 2.5),
$Sco = \pi D_o L_c$, Z9 (Eq2.4), $Z = Z_2 + Z_8 + Z_9$,
$Tv = T_{si} + \{ [(Z_8 + Z_9) / Z] * [T_{so} + T_{si}] \}$
Interporate ค่า V_f, P_{atm}, V_g, Hf_g, μ_f, k_f, σ_f
คำนวณ $\rho = 1/V_f$
$Pp = P_v + \rho*g*F*L_e*\sin\beta$
Next to **Function 1.1**

Function1.1


start
Interporate ค่า Pp, Tp
คำนวณ ΔT 2 = (T_b – T_a)
Q (Eq 3.7), Φ2 = (h_fg*(K_f^3)*((ρ_f^2)/μ_f))^0.25
Z_3f (Eq 2.9), Re_f (Eq 2.7)
Ref ≤1300
NO
YES
Z7 (Eq 2.8)
Z7 (Eq 2.11)
คำนวณ Φ 3 = 63 (P_v / P_a) ^ 0.23 , Z3p
Z3p <Z3f
NO
YES
Z3 = Z3p
Z3 (Eq 2.6)
คำนวณ Z10 (Eq 2.11)
Zp/(Z2+Z3+Z7+Z8) >20
NO
YES
Zt = Z2+Z3+Z7+Z8+Z9
Zt (Eq 2.14)
คำนวณ Qnew (Eq 3.7), Qloss (Eq 2.23)
return to main chart at the original position

Function 2


start
คำนวณ Tave = ½ (T_s + T∞)
Interporate ค่า ν, β , k, α, Pr
คำนวณ
Gr={(g βL^3) (T_s - T∞)} / v^2
Nu_mp (Eq 2.18), Z = Z_2 + Z_8+Z_9, Nu_mc (Eq 2.21)
h_m (Eq 2.22), Qloss (Eq 2.23)
return to main chart at the original

3.6 การวิเคราะห์ผล

หลังจากที่คำนวณหาอุณหภูมิของข้าวเปลือกได้แล้ว นำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ผลของตัวแปรต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อเทอร์โมไซฟอน โดยการทดลองเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อเทอร์โมไซฟอนเป็น 3 ขนาด คือ 0.5 นิ้ว, 1 นิ้วและ 1.5 นิ้ว เนื่องจากงานวิจัยของ Dussadee et al. (2003) ได้ใช้ท่อเทอร์โมไซฟอนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว ดังนั้นจึงต้องศึกษาผลกระทบของเส้นผ่านศูนย์กลางที่น้อยกว่าและมากกว่า

2. จำนวนท่อเทอร์โมไซฟอน โดยการทดลองเปลี่ยนจำนวนของท่อเทอร์โมไซฟอน 5 จำนวน คือ 100 ท่อ, 115 ท่อ, 130 ท่อ, 145 ท่อและ 160 ท่อ เนื่องจากงานวิจัยของ Dussadee et al. (2003) ได้ใช้ท่อเทอร์โมไซฟอนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว และจากปริมาตรที่เหลือของถังข้าวเปลือก เมื่อนำข้าวเปลือกมาใส่ในถังแล้ว ดังนั้นจะเหลือปริมาตรที่จะใส่ท่อเทอร์โมไซฟอนเท่ากับ 130 ท่อ ดังนั้นจึงต้องศึกษาผลกระทบของจำนวนท่อที่น้อยกว่าและมากกว่า

3. ความยาวท่อเทอร์โมไซฟอนส่วนทำระเหย โดยการทดลองเปลี่ยนความยาวส่วนทำระเหยของท่อเทอร์โมไซฟอน 3 ขนาด คือ 1 เมตร, 1.5 เมตรและ 2 เมตร เนื่องจากความสูงของถังเก็บข้าวเปลือกในงานวิจัยของ Dussadee et al. (2003) เท่ากับ 1.5 เมตร ดังนั้นจึงต้องศึกษาผลกระทบของความยาวส่วนทำระเหยที่น้อยกว่าและมากกว่า

4. ความยาวท่อเทอร์โมไซฟอนส่วนควบแน่น โดยการทดลองเปลี่ยนความยาวส่วนควบแน่นของท่อเทอร์โมไซฟอน 3 ขนาด คือ 1 เมตร,1.5 เมตรและ 2 เมตร เนื่องจากทฤษฎีหัวข้อที่ 2.2.5 ในบทที่ 2 จะทำให้ทราบช่วงความยาวส่วนควบแน่นของท่อเทอร์โมไซฟอนที่สามารถใช้งานได้และเพื่อให้ง่ายต่อการศึกษาจึงกำหนดให้ความยาวส่วนควบแน่นเท่ากับความยาวส่วนทำระเหย คือ 1.5 เมตร ดังนั้นจึงต้องศึกษาผลกระทบของความยาวส่วนควบแน่นที่น้อยกว่าและมากกว่า

เมื่อวิเคราะห์ผลของตัวแปรต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้ว ก็จะสามารถบอกสมรรถนะของถังเทอร์โมไซฟอนว่าสามารถจะรักษาอุณหภูมิให้ลดลงได้เท่าไรและนำมาวิเคราะห์ผลเชิงเศรษฐศาสตร์ ในการวิเคราะห์ผลเชิงเศรษฐศาสตร์นี้เป็นการเปรียบเทียบการเก็บข้าวเปลือกโดยใช้ลมเป่าและชุดเทอร์โมไซฟอนในงานวิจัยของ Dussadee et al. (2003) สุดท้ายหาระยะคืนทุนและอัตราการตอบแทนภายในของระบบที่ใช้เทอร์โมไซฟอน