บทที่ 5

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

5.1 ค่าทางเศรษฐศาสตร์จากการคำนวณ (แบบจำลองท่อความร้อนใช้ลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าโรงเรือน)

การคำนวณหาความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ความร้อนของท่อความร้อนนั้นสามารถทำได้โดยคำนวณค่ากำไรสุทธิสูงสุด ซึ่งคำนวณได้จากการประยุกต์ใช้สมการของ Soylemez et al. (2003) ดังนี้

$$S = C_E HQ - C_{HP} \tag{5.1}$$

เมื่อ

S คือ มูลค่ากำไรสุทธิ (บาท)

C_E คือ ราคาของพลังงานความร้อนที่สามารถถ่ายเทได้ (บาท/Wh)

H คือ อายุการทำงานของท่อความร้อน (hr)

Q คือ อัตราความร้อนที่สามารถถ่ายเทได้ (W)

C_{HP} คือ ราคาชุดท่อความร้อน (บาท)

หรือ

$$S = \frac{(P_1)(Diesel)}{CE}(H)(Heat_rate) - (1 - R_v(1+d)^{-Year})(Cu_tube_price) \tag{5.2}$$

เมื่อ

$$P_1 = (\frac{Year}{1+d}) \tag{5.3}$$

และ

$$Cu_tube_price = (Cu_price + weld_Cu + Cap_Cu + WF_price)(tube) \quad (5.4)$$

เมื่อ

$$WF_price = (R134a_P)(\rho_{l,R134a})(FR)(\frac{\pi D_i^2}{4})(L_e) \quad (5.5)$$

เมื่อ

P1	คือ ปี (year)
Diesel	คือ น้ำมันดีเซล (Baht / liter)
CE	คือ ค่าการทำความร้อน (MJ / liter)
H	คือ อายุการใช้งาน (hrs / year)
Heatrate	คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน (Watt)
Rv	คือ resale value (%)
d	คือ อัตราดอกเบี้ย (%)
Year	คือ ปี (year)
Cu_tube_price	คือ ราคาสร้างท่อความร้อน (Baht)
Cu_price	คือ ราคาท่อทองแดง (Baht)
weld_Cu	คือ ราคาค่าเชื่อมท่อ (Baht)
Cap_Cu	คือ ราคาฝาปิดท่อ (Baht)
WF_price	คือ ราคาสารทำงาน (Baht / kg)
tube	คือ จำนวนท่อ (ท่อ)

โดยกำหนดค่าต่างๆ ดังนี้

L_e = 0.9 m

L_c = 0.6 m

tube = 1 ท่อ

weld_Cu = 20 Baht

Cap_Cu = 100 Baht

WF_Price = R134a_P*density [Baht/m^3]

R134a_P = 300 Baht/kg

Density = 1210 kg/m^3

H = 365*8*60*60 hr

DieselDen = 0.84

CE = 38 MJ / liter

Diesel = 30 Baht/Liter

R_v = 0.05%

P_1 = Year/(1+d)

Year = 5 ปี

d=interest = 0.03%

จากสมการ (5.3) จะได้

$$P_1 = (\frac{5}{1+0.03}) = 4.85 \text{ ปี}$$

จากสมการ (5.4) จะได้

$$Cu_tube_price = ((1200/4)+20+100+72.823)(1) = 492.82 \text{ Baht}$$

จากสมการ (5.5) จะได้

$$WF_price = (300)(1210)(0.5)(\frac{\pi 0.02382^2}{4})(0.9) = 72.82 \text{ Baht}$$

พิจารณาการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนที่ได้จากแบบจำลอง จะได้

$$Heat_rate = \frac{\Delta T}{Z_{tot}}$$

เมื่อ

$$\Delta T = T_e - T_c = 35 - 25 = 10^{\circ}C$$

$$Z_{tot} = Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_7 + Z_8 + Z_9 = 0.166\,^{\circ}C/W$$

ดังนั้น

$$Heat_rate = \frac{\Delta T}{Z} = \frac{10}{0.166} = 60.24 \text{ W}$$

จากสมการ (5.2) จะได้

$$S = \frac{(4.85)(30)}{38x10^6}(365x8x60x60)(60.24) - (1-0.05(1+0.03)^{-5})(492.82)$$
$$= 2426.892 - 471.567$$
$$= 1955.32 \text{ Baht}$$

ได้มูลค่ากำไรสุทธิเท่ากับ 1,955.32 บาท

พิจารณาค่าการทำความร้อนของท่อความร้อนต่อค่าการสร้างท่อความร้อน(E/C)

$$\frac{E}{C} = \frac{Heat_rate}{Cu_tube_price} = \frac{60.24}{492.82} = 0.122 \text{ W/Baht}$$

พิจารณาค่าอุณหภูมิที่ท่อความร้อนสามารถลดได้จาก

$$Q_TS = \dot{m} c_p \Delta T \quad ; \dot{m} = \rho Q = \rho A v$$

เมื่อ

Q_TS	คือ ความร้อนที่ท่อความร้อนถ่ายเทได้ (W)
$\dot{m}$	คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ (kg/s)
c_p	คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (kJ/kg.°C)
ΔT	คือ ความแตกต่างอุณหภูมิ (°C)
ρ	คือ ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)
Q	คือ อัตราการไหลของอากาศ (m^3/s)
A	คือ พื้นที่ที่อากาศไหลผ่านท่อความร้อน (m^2)
v	คือ ความเร็วของอากาศ (m/s)

ซึ่งค่าตัวแปรต่างๆ มีค่า ดังนี้

Q_TS = 60.24 W (ต่อ 1 ท่อ)

ρ = 1.2 kg/m^3

A = ระยะห่างระหว่างท่อความร้อน x ความสูงของส่วนทำระเหย
x จำนวนท่อความร้อนต่อแถว x จำนวนแถว

= (0.02858 x 2) x (0.9) x (81) x (2) = 8.334 m^2

v = 2 m/s

$\dot{m} = \rho A v = 1.2x8.334x2 = 20.00\ kg/s$

c_p = 1.2 kJ/kg.°C

จำนวนท่อ = 243 ท่อ

ดังนั้น พิจารณาคำนวณหาค่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่ท่อความร้อนทำได้จาก

$$\Delta T = \frac{Q_TS\ x\ tube}{\dot{m}c_p} = \frac{60.24x243}{20.0x1.2x1000} = 0.61\ ^{\circ}\text{C}$$

ดังนั้น จากการคำนวณจะได้ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเท่ากับ 0.61 °C ซึ่งท่อความร้อนสามารถถ่ายเทความร้อนได้ 60.24 W ต่อท่อและมีค่าต้นทุนการสร้างท่อความร้อนต่อท่อเป็น 471.567 บาท และมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อการสร้าง (E/C) เป็น 0.122 W/Baht ซึ่งมีค่าที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับของ Srihajong et al., 2005 จะมีค่าเป็น 0.29 W/Baht เนื่องจากปัจจุบันราคาท่อทองแดงและราคาสารทำงานมีราคาที่ปรับตัวสูงขึ้นมากและมีค่ามูลค่ากำไรสุทธิเท่ากับ 1,955.325 บาทต่อ 1 ท่อ

5.2 ค่าทางเศรษฐศาสตร์จากการทดลอง

ท่อความร้อนที่ใช้ลดอุณหภูมิอากาศ

พิจารณาพลังงานที่ได้จากการติดตั้งและไม่ได้ติดตั้งท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนเพื่อลดอุณหภูมิอากาศก่อนผ่านระบบทำความเย็นแบบแผงระเหย ซึ่งค่าตัวแปรที่ใช้คำนวณหาค่าพลังงานดังนี้

- อากาศมีความเร็วที่ไหลผ่านท่อความร้อน 2 เมตรต่อวินาที
- ความแตกต่างอุณหภูมิของอากาศที่ไหลผ่านท่อความร้อน 1.4 °C
- ค่า COP ของระบบทำความเย็นแบบแผงระเหยมีค่าเท่ากับ 4 (cengel and boles, 2002)
- ค่า c_p ของอากาศมีค่าประมาณ 1.005 kJ/kg.°C
- ค่าความหนาแน่น (ρ) ของอากาศมีค่าประมาณ 1.2 kg/m^3
- ระยะห่างระหว่างท่อเท่ากับ 0.0572 m ความสูงเป็น 0.9 m. มีท่อทั้งหมด 81 ท่อต่อแถว มีอยู่ 2 แถว ดั้งนั้นจะมีพื้นที่ทั้งหมดเท่ากับ 0.0572 x 0.9 x 81 x 2 = 8.334 m^2

พิจารณาค่าการส่งถ่ายความร้อนที่ได้จากท่อความร้อน

$$Q = \dot{m}c_p\Delta T \quad ; \dot{m} = \rho Q = \rho Av$$

ความแตกต่างอุณหภูมิเฉลี่ยอากาศสูงสุดที่ผ่านท่อความร้อน $\Delta T_{max} = 1.4\ ^{\circ}\text{C}$

$$Q = (1.2x8.334x2)(1.005)(1.4) = 28.14\ kW$$

พิจารณาค่าความต้องการพลังงานที่ต้องใส่เข้าไปในระบบทำความเย็นแบบแผงระเหยเพื่อทำความเย็นอากาศ

จาก

$$COP = \frac{Q}{W_{net}} \quad ; \quad COP = 4$$

เมื่อ $Q = 28.14kW$ จะได้ว่า

$$W_{net} = \frac{Q}{COP} = \frac{28.14\ kW}{4} = 7.03\ kW$$

เมื่อพิจารณาความต้องการพลังงานไฟฟ้าของระบบทำความเย็นแบบแผงระเหยเพื่อทำความเย็นอากาศแล้ว พบว่าจะต้องการพลังงานไฟฟ้าเพื่อทำความเย็นอากาศเป็น 7.03 kW

พิจารณาถึงการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของการติดตั้งท่อความร้อนดังนี้

เวลาการทำงานของระบบทำความเย็นอากาศ (hr/month)

ระยะเวลาทำงาน = (8 hr/day) x (30 day/month) = 240 hr/month

ดังนั้น ความต้องการพลังงานที่ประหยัดได้ต่อเดือนเท่ากับ

ความต้องการพลังงานที่ประหยัด = (7.03 kW) x (240 hr/month) = 1,687.2 kWhr/month

เมื่อค่าไฟฟ้าเท่ากับ 3 Baht/kWhr

ดังนั้น ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อเดือนจะเท่ากับ

ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อเดือน = (1,687.2 kWhr/month) x (3 Baht/kWhr)

= 5,061.6 Baht/month

ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อปี = 5,061.6 x 12 = 60,739.2 Baht/yr

พิจารณาต้นทุนการสร้างท่อความร้อน

ต้นทุน = ราคาท่อทองแดง + สารทำงานที่เติม + ค่าเชื่อม + ฝาปิดหัวและท้ายท่อ

= 300 + 73 + 20 + 100 = 493 Baht/tube

ค่าอุปกรณ์ชุดติดตั้งท่อความร้อน = 20,000 Baht

ชุดบนและล่างมีท่อชุดมีรวม 243 ท่อ ราคาต้นทุนท่อความร้อนมีค่า

= 243 x 493 = 119,799 Baht

ดังนั้น

ราคาต้นทุนรวม = ราคาสร้างท่อความร้อน + ชุดติดตั้ง

= 119,799 + 20,000 = 139,799 Baht

พิจารณาระยะคืนทุน

ระยะคืนทุน = (139,799 Baht)/(60,739.2 Baht/yr) = 2.3 yr หรือ 2 ปี 4 เดือน

ดังนั้น เมื่อพิจารณาผลการทดลองอุณหภูมิที่ท่อความร้อนสามารถลดอุณหภูมิอากาศจะได้เป็น 1.4 °C ซึ่งเมื่อเทียบกับผลการคำนวณจะได้เป็น 0.61 °C และจากการทดลองสามารถหาค่าการประหยัดพลังงานไฟฟ้าต่อเดือนได้เป็น1,687.2 kWhr/เดือน หรือคิดเป็นเงินที่สามารถประหยัดได้เป็น 5,061.6 บาท/เดือน (ช่วงเดือนกันยายน-ตุลาคม 2553) ซึ่งถ้านำค่าดังกล่าวไปเปรียบเทียบกับข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในตาราง 4.6 จะพบว่า ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจะมีค่าไม่เท่ากัน เนื่องมาจากระบบการควบคุมไฟฟ้าหลักจะอยู่ที่โรงเรือนที่ติดตั้งท่อความร้อน (T2) เมื่อระบบควบคุมไฟฟ้าของโรงเรือนที่ติดตั้งท่อความร้อนตัดไฟจะทำให้โรงเรือนที่ไม่ได้ติดตั้งท่อความร้อน (T1) ตัดไฟไปด้วย ทำให้ไม่สามารถแยกการใช้พลังงานไฟฟ้าของทั้งสองโรงเรือนออกจากกันได้ แต่จากข้อมูลพบว่าแนวโน้มของการใช้พลังงานไฟฟ้ามีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อติดตั้งท่อความร้อนแล้ว และระยะเวลาคืนทุนในการติดตั้งท่อความร้อนเพื่อลดอุณหภูมิอากาศจะใช้ระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 2 ปี 4 เดือน

ท่อความร้อนที่ใช้ลดอุณหภูมิสารอาหารพืช

พิจารณาพลังงานที่ได้จากการติดตั้งและไม่ได้ติดตั้งท่อความร้อนแบบมีวัสดุพรุนของโต๊ะปลูกที่ 7 ซึ่งค่าตัวแปรที่ใช้คำนวณหาค่าพลังงานดังนี้

- สารอาหารพืชมีอัตราการไหล 2 ลิตรต่อนาทีต่อ 1 รางปลูก พิจารณาทั้งหมด 7 รางปลูก
- ความแตกต่างอุณหภูมิสารอาหารเฉลี่ยที่ไหลผ่านท่อความร้อน = (0.7+0.5)/2 = 0.6 °C
- ค่า COP ของระบบทำความเย็นสารอาหารพืชมีค่าเท่ากับ 2 (cengel and boles, 2002)
- ค่า c_p ของสารอาหารพืชมีค่าประมาณ 4.2 kJ/kg. °C
- ค่าความหนาแน่น (ρ) ของสารอาหารพืชมีค่าประมาณ 1,000 kg/m^3

พิจารณาค่าการส่งถ่ายความร้อนที่ได้จากท่อความร้อน

$$Q = \dot{m} c_p \Delta T \quad ; \dot{m} = \rho Q_{sol}$$

เมื่อ Q_{sol} คือ อัตราการไหลของสารอาหารพืช

$$Q_{sol} = 2L/min._{\text{ราง}} = \frac{2x10^{-3}x7_{\text{ราง}}}{60} = 0.000233\ m^3/s$$

พิจารณาความร้อนที่โต๊ะปลูกที่ไม่ได้ติดตั้งท่อความร้อนที่ค่าความแตกต่างอุณหภูมิสารอาหารพืชเฉลี่ยสูงสุด $\Delta T_{max} = 0.6$ °C จะได้

$$Q = (1{,}000x0.000233)(4.2)(0.6) = 588\ W$$

พิจารณาค่าการพลังงานที่ต้องใส่เข้าไปในระบบเพื่อทำความเย็นสารอาหารพืช

จาก

$$COP = \frac{Q}{W_{net}} \quad ; \quad COP = 2$$

พิจารณาโต๊ะปลูกที่ไม่ได้ติดตั้งท่อความร้อน $Q = 588\ W$

$$W_{net} = \frac{Q}{COP} = \frac{588}{2} = 294\ W$$

เมื่อพิจารณาความต้องการพลังงานไฟฟ้าของระบบทำความเย็นสารอาหารพืชแล้ว พบว่าจะต้องการพลังงานไฟฟ้าเพื่อทำความเย็นสารอาหารพืชเป็น 294 W

พิจารณาถึงถึงการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของการติดตั้งท่อความร้อนดังนี้

เวลาการทำงานของระบบทำความเย็นสารอาหารพืช (hr/month)

ระยะเวลาทำงาน = (12 hr/day) x (30 day/month) = 360 hr/month

ดังนั้น ความต้องการพลังงานที่ประหยัดได้ต่อปีเท่ากับ

ความต้องการพลังงานที่ประหยัด = (294W) x (360 hr/month)

= 105,840 Whr/month = 105.84 kWhr/month

เมื่อค่าไฟฟ้าเท่ากับ 3 Baht/kWhr

ดังนั้น ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อเดือนจะเท่ากับ

ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อเดือน = (105.84 kWhr/yr) x (3 Baht/kWhr)

= 317.52 Baht/month

ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อปีจะเท่ากับ

ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อปี = (317.52 kWhr/month) x (12 m/yr)

= 3,810.24 Baht/yr

พิจารณาต้นทุนการสร้างท่อความร้อน

ต้นทุน = ราคาท่อความร้อน + สารทำงานที่เติม + ค่าเชื่อม

= 30 Baht/tube

1 ชุดมี 32 ท่อ ราคาต้นทุนมีค่า

= 30 x 32 = 1,600 Baht

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ค่าชุดติดตั้ง = 500 Baht

ดังนั้น

ต้นทุนสร้างท่อความร้อนรวม = 1,600 + 500 = 2,100 Baht

พิจารณาระยะคืนทุน

ระยะคืนทุน = (2,100 Baht) / (3,810.24 Baht/yr) = 0.55 yr หรือ 7 เดือน

ดังนั้น ท่อความร้อนที่ติดตั้งเพื่อลดอุณหภูมิสารอาหารพืชสามารถประหยัดค่าไฟฟ้าต่อเดือนได้เป็น 105.84 kWhr/เดือน หรือคิดเป็นเงินที่สามารถประหยัดได้เป็น 317.52 บาท/เดือน และสามารถลดอุณหภูมิสารอาหารพืชได้ 0.5-0.7 °C และมีระยะเวลาคืนทุนในการติดตั้งท่อความร้อนเพื่อลดอุณหภูมิสารอาหารพืชจะใช้ระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 7 เดือน