บทที่ 4

การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

การออกแบบระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เมื่อออกแบบและหาตัวแปรที่เหมาะสมได้แล้ว ในทางปฏิบัติจะเลือกระบบที่ให้สมรรถนะและประสิทธิภาพสูงยังไม่พอจะต้องวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ว่าระบบใดจะเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด

4.1 ราคาและค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวกับระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

4.1.1 การลงทุน

การลงทุนติดตั้งอุปกรณ์เกี่ยวกับระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นแฟคเตอร์ที่สำคัญในการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ การลงทุนประกอบด้วยการซื้อกรรมสิทธิอุปกรณ์ได้แก่ แผงรับแสงอาทิตย์ ถังเก็บน้ำร้อน ปั๊ม ระบบควบคุม ฯลฯ และค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบ เป็นต้น

4.1.2 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานที่เกี่ยวข้องกับระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ประกอบด้วย

- ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับพลังงานเสริม
- ค่าใช้จ่ายที่ทำให้ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ทำงานได้ (PARASITIC ENERGY) เช่น ค่ากระแสไฟฟ้าในการเดินปั๊ม
- ค่าใช้จ่ายในการประกันทรัพย์สินเกี่ยวกับอุปกรณ์ทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์
- ค่าบำรุงรักษา
- ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับภาษีทรัพย์สิน
- ดอกเบี้ยเงินกู้ยืมเพื่อซื้ออุปกรณ์ทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

ฯลฯ

สมการที่ใช้คำนวณหาค่าใช้จ่ายรายปีของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์และระบบทำน้ำร้อนแบบอื่น ๆ มีดังนี้

ค่าใช้จ่ายรายปี = เงินกู้ยืมเพื่อซื้อกรรมสิทธิอุปกรณ์ + ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับพลังงานเสริม
+ ค่าบำรุงรักษา + ค่าเบี้ยประกัน + ค่ากระแสไฟฟ้าในการเดินปั๊ม
+ ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับภาษีทรัพย์สิน - ภาษีรายได้ที่ประหยัด (1)

4.1.3 ค่าเสื่อมราคา (DEPRECIATION)

ในระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งประกอบด้วยแผงรับแสงอาทิตย์ ปั๊ม ถังเก็บน้ำร้อน ฯลฯ ย่อมมีการแตกชำรุดเมื่อใช้งานไปทำให้ระบบทำน้ำร้อนเสื่อมคุณค่าไปด้วย ดังนั้นจึงมีการหักค่าเสื่อมราคาเพื่อชดเชย เงินลงทุนติดตั้งระบบโดยจัดสรรเป็นค่าใช้จ่ายตามระบบบัญชี ค่าเสื่อมราคาที่หักสะสมไว้แต่ละปีเท่ากับเป็นการถอนทุนเงินลงทุนภายในช่วงเวลาการใช้งานของระบบ

วิธีการคิดค่าเสื่อมราคาที่ใช้กันมากแบ่งออกได้เป็น 4 แบบ

1. การคิดค่าเสื่อมราคาแบบเส้นตรง
2. การคิดค่าเสื่อมราคาแบบลดส่วน
3. การคิดค่าเสื่อมราคาแบบผลบวกตัวเลข
4. การคิดค่าเสื่อมราคาแบบทุนจม

1. การคิดค่าเสื่อมราคาแบบเส้นตรง

การคิดค่าเสื่อมราคาแบบนี้เป็นแบบธรรมดาที่สุดซึ่งเป็นระบบจัดสรรค่าเสื่อมราคาไว้เท่า ๆ กันตลอดอายุการใช้งาน

ถ้ากำหนดให้ C = ราคาต้นทุนของระบบ

L = ราคาขายของระบบเมื่อหมดอายุการใช้งานหรือมูลค่าซาก

N = อายุการใช้งานของระบบในการ คิดค่าเสื่อมราคา

ค่าเสื่อมราคาต่อปี = $(C-L)/N$ (2)

อัตราค่าเสื่อมราคาต่อปี = $((1-L/C)/N) \times 100\%$ (3)

ราคาของระบบเมื่อสิ้นปีที่ x = $C - ((C-L)/N)(x)$ (4)

ในกรณีราคาขายของระบบเมื่อหมดอายุการใช้งานเป็นศูนย์

อัตราค่าเสื่อมราคาต่อปี = $100\%/N$ (5)

2. การคิดค่าเสื่อมราคาแบบลดส่วน

การคิดค่าเสื่อมราคาแบบนี้เป็นระบบจัดสรรค่าเสื่อมราคาไว้มากในระยะแรกของการใช้งานและราคาระบบจะต้องไม่เป็นศูนย์เมื่อหมดอายุการใช้งาน

ในการคำนวณจะกำหนดอัตราค่าเสื่อมราคาซึ่งเป็นค่าคงที่เท่ากับ f

ค่าเสื่อมราคาในปีที่ x $= C(1-f)^{x-1} \cdot f$ (6)

ราคาของระบบเมื่อสิ้นปีที่ x $= C(1-f)^{x}$ (7)

3. การคิดค่าเสื่อมราคาแบบผลบวกตัวเลข

การคิดค่าเสื่อมราคาแบบนี้เป็นการจัดสรรค่าเสื่อมราคาไว้มากในระยะแรกของการใช้งานเช่นเดียวกับแบบลดส่วน แต่ไม่มีขอจำกัดว่าเมื่อหมดอายุการใช้งานราคาระบบจะต้องเป็นศูนย์

ค่าเสื่อมราคาในปีที่ x $= (C-L) \dfrac{(N-x+1)}{N(N+1)/2}$ (8)

ราคาระบบเมื่อสิ้นปีที่ x $= C-(C-L) \{\sum_{j=1}^{x} (N-j+1)/(N(N+1)/2)\}$ (9)

4. การคิดค่าเสื่อมราคาแบบทุนจม

การคิดค่าเสื่อมราคาแบบนี้เป็นระบบจัดสรรค่าเสื่อมราคาไว้มากในระยะหลังของการใช้งาน วิธีนี้จะคิดค่าเสื่อมราคาในอัตราที่เพิ่มตามอายุการใช้งาน

ค่าเสื่อมราคาในปีที่ x $= (C-L) \{ \dfrac{1}{(1+i)^{N-1}} \}(1+i)^{x-1}$ (10)

ราคาของระบบเมื่อสิ้นปีที่ x $= C-(C-L) \{ \dfrac{i}{(1+i)^{N-1}} \} \{ \dfrac{(1+i)^{x-1}}{i} \}$ (11)

โดยที่ i อัตราดอกเบี้ย

ในการศึกษานี้ได้คิดค่าเสื่อมราคาแบบเส้นตรงเพราะเป็นที่นิยมกันทั่วไป สำหรับการคิดค่าเสื่อมราคาแบบอื่นได้จัดรวมไว้ในโปรแกรมในภาคผนวก ฉ

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 การประหยัดในระบบพลังงานแสงอาทิตย์

การชำระเงินกู้ยืมเพื่อซื้ออุปกรณ์ในระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ประกอบด้วยค่าดอกเบี้ยและเงินกู้ยืมในการติดตั้งระบบ ค่าใช้จ่ายสำหรับเชื้อเพลิงเป็นการซื้อพลังงานเพื่อนำมาเสริมในระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ หรือนำมาใช้โดยตรงสำหรับระบบทำน้ำร้อนแบบอื่น ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา ค่าประกันของเสียหาย เพื่อให้ระบบทำงานภายใต้เงื่อนไขและป้องกันการสูญเสียอื่น ๆ นอกจากนี้ยังมีค่ากระแสไฟฟ้าในการเดินปั๊ม ภาษีทรัพย์สินที่ถูกกำหนดโดยรัฐบาล ฯลฯ

ในระบบทำน้ำร้อนที่ใช้ในกิจการที่มีรายได้ เช่น ระบบทำน้ำร้อนตามโรงแรม ภาษี-รายได้ที่ประหยัดจะเขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

$$\text{ภาษีรายได้ที่ประหยัด (TAX SAVING)} = \text{อัตราภาษีรายได้} \times \left[\begin{array}{l} \text{ดอกเบี้ยที่ต้องชำระเมื่อมีการกู้ยืม} \\ + \text{ภาษีทรัพย์สิน} \\ + \text{ค่าใช้จ่ายสำหรับเชื้อเพลิง} \\ + \text{ค่าบำรุงรักษา} \\ + \text{ค่าประกันของเสียหาย} \\ + \text{ค่ากระแสไฟฟ้าในการเดินปั๊ม} \\ + \text{ค่าเสื่อมราคา} \end{array}\right] \quad (12)$$

การประหยัดในระบบพลังงานแสงอาทิตย์ (SOLAR SAVING) คือความแตกต่างระหว่างราคาระบบที่ใช้พลังงานรูปอื่นกับระบบที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ เขียนเป็นรูปสมการได้ดังนี้

$$\text{การประหยัดในระบบพลังงานแสงอาทิตย์} = \text{ราคาของระบบที่ใช้พลังงานรูปอื่น} - \text{ราคาของระบบที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \text{การประหยัดในระบบพลังงานแสงอาทิตย์} = {} & \text{ค่าเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้} \\ & - \text{ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นในการกู้ยืมเพื่อการลงทุน} \\ & - \text{ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นในการประกันทรัพย์สิน} \\ & - \text{ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นในการบำรุงรักษา} \\ & - \text{ภาษีทรัพย์สินที่ต้องจ่ายเพิ่มขึ้น} \\ & - \text{ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับกระแสไฟฟ้าในการเดินปั๊ม} \\ & + \text{ภาษีรายได้ที่ประหยัด} \end{aligned} \quad (14)$$

ความสำคัญของแต่ละเทอมเหมือนกับสมการที่ (1) เพียงแต่เป็นค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นนั่นคือ ความแตกต่างระหว่างราคาและค่าใช้จ่ายของระบบที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับระบบที่ใช้พลังงานรูปอื่น

สมการที่คล้ายกับสมการที่ (12) เขียนได้ดังนี้คือ

$$\text{ภาษีรายได้ที่ประหยัด} = \text{อัตราภาษีรายได้} \times \left[\begin{array}{l} \text{ดอกเบี้ยเงินกู้ที่ต้องจ่ายเพิ่มขึ้น} \\ +\text{ภาษีทรัพย์สินที่ต้องจ่ายเพิ่มขึ้น} \\ +\text{ค่าบำรุงรักษาที่ต้องจ่ายเพิ่มขึ้น} \\ +\text{ค่าประกันของเสียหายที่จ่ายเพิ่มขึ้น} \\ +\text{ค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นเกี่ยวกับกระแสไฟฟ้าในการเดินปั๊ม} \\ +\text{ค่าเสื่อมราคา} \\ -\text{ค่าเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้} \end{array}\right] \quad (15)$$

ในการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ที่เปรียบเทียบว่าระบบใดจะดีกว่าโดยเปรียบเทียบเป็นมูลค่าปัจจุบันโดยใช้สมการ (1) และ (12) ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ช การวิเคราะห์ในที่นี้จะเป็นระบบที่โรงแรมมีระบบทำน้ำร้อนที่ใช้พลังงานรูปอื่นอยู่แล้ว และประมาณค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นถ้าติดตั้งระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้สมการ (14)และ (15) และเสนอการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ใน 3 ลักษณะคือ แบบที่หนึ่งเป็นการวิเคราะห์การประหยัดตลอดอายุการใช้งานของระบบ (LIFE CYCLE SAVING) แบบที่สองเป็นการวิเคราะห์หาอัตราผลตอบแทนในการลงทุน แบบที่สาม เป็นการวิเคราะห์หาระยะเวลาในการคืนทุน

ในการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์จะกำหนดหลักเกณฑ์ดังต่อไปนี้

1. อายุการใช้งานของระบบ 20 ปี [11]
2. ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาระบบ 0.5% ของราคาระบบต่อปี [11]
3. ค่าเสื่อมราคาเป็นแบบเส้นตรง ไม่มีมูลค่าซากและอายุการใช้งานของระบบในการหักค่าเสื่อมราคาคิดภายใน 5 ปี [24]
4. อัตราภาวะเงินเฟ้อโดยทั่วไป 6% ต่อปี [20]
5. ราคาพลังงานเพิ่มขึ้นปีละ 10% [20]
6. ภาษีรายได้นิติบุคคลคิดปีละ 40%

7. อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ตามสถาบันการเงินทั่วไป 18% ต่อปี

8. อัตราส่วนลด 14% ต่อปี

9. ไม่คิดภาษีทรัพย์สิน

10. ไม่คิดค่าประกันของเสียหาย

11. ในการซื้อกรรมสิทธิอุปกรณ์ไม่มีเงินดาวน์

อัตราการไหลของน้ำผ่านแผงรับแสงอาทิตย์ 0.015-0.025 ลิตร/วินาที-$ม^2$ ปั๊มต้องการกำลังไฟฟ้าในการ CIRCULATE น้ำผ่านแผงรับแสงอาทิตย์ประมาณ 13.44 วัตต์/$ม^2$ [18] ถ้าปั๊มทำงาน 8 ชั่วโมง/วัน และ 365 วัน/ปี ดังนั้นปั๊มจะใช้กำลังไฟฟ้าเท่ากับ

$\frac{13.44}{1000} \times 8 \times 365 = 39.2448$ กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี-$ม^2$

ราคากระแสไฟฟ้า 1.75 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง

ดังนั้นใน 1 ปี จะเสียค่าใช้จ่ายสำหรับกระแสไฟฟ้าในการเดินปั๊ม $= 1.75 \times 39.2448$ บาท/$ม^2$

$= 68.68$ บาท/$ม^2$

4.3 <u>การประหยัดตลอดอายุการใช้งานของระบบ</u> (LIFE CYCLE SAVING)

คือความแตกต่างระหว่างค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของระบบที่ใช้พลังงานรูปอื่นกับค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเครื่องทำความร้อนเสริม เทียบเป็นมูลค่าปัจจุบัน

- ค่าใช้จ่ายของเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้ (FUEL SAVINGS) (16)

$$FUS = (FF - FS)(1+E)^{M-1}$$

โดยที่

FUS - ค่าใช้จ่ายของเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้

FF - ค่าใช้จ่ายของเชื้อเพลิงสำหรับระบบที่ใช้พลังงานรูปอื่น

FS - ค่าใช้จ่ายของเชื้อเพลิงสำหรับระบบพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเครื่องทำความร้อนเสริม

M - 1,2,3,..., N เมื่อ N- อายุการใช้งานของระบบ

E - ราคาพลังงานที่เพิ่มขึ้น

- ค่าใช้จ่ายรายปีของเงินกู้ยืมเพื่อซื้อกรรมสิทธิอุปกรณ์ (MORTGAGE PAYMENT)

$$C_A = CI \qquad (17)$$

โดยที่ C_A - ค่าใช้จ่ายรายปีของเงินกู้ยืมเพื่อซื้อกรรมสิทธิอุปกรณ์

C - ราคาของระบบ

I - แฟคเตอร์สำหรับเทียบค่า เป็นเงินรายปีของเงินลงทุนกู้ยืมเพื่อซื้อกรรมสิทธิอุปกรณ์

เมื่อ $$I = \frac{i\,(1+i)^N}{(1+i)^N-1}$$

โดยที่ i - อัตราดอกเบี้ย

N - อายุการใช้งานของระบบ

- ค่าบำรุงรักษา (MAINTENANCE COST)

$$C_M = (MA)C(1+G)^{M-1} \qquad (18)$$

โดยที่ C_M - ค่าบำรุงรักษา

C - ราคาของระบบ

G - อัตราภาวะเงินเฟ้อ

MA - อัตราค่าบำรุงรักษา

- ค่าเสื่อมราคาแบบเส้นตรง (STRAIGHT LINE DEPRECIATION)

$$D = (C-L)/N \qquad (19)$$

โดยที่ D - ค่าเสื่อมราคา

C - ราคาของระบบ

L - มูลค่าซาก

N - อายุการใช้งานของระบบในการคิดค่าเสื่อมราคา

- ค่ากระแสไฟฟ้าในการเดินปั๊ม (PARASITIC ENERGY COST)

$$PAR = PE\ A_{op}(1+E)^{M-1} \qquad (20)$$

โดยที่ PAR - ค่ากระแสไฟฟ้าในการเดินปั๊ม

PE - อัตราค่ากระแสไฟฟ้าในการเดินปั๊ม

A_{op} - พื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ที่เหมาะสม

- ค่าใช้จ่ายแต่ละปีเทียบเท่าเงินปัจจุบัน (PRESENT WORTH)

$$P_w = \frac{C_T}{(1+DD)^M} \qquad (21)$$

โดยที่ P_w - เงินที่ประหยัดได้เทียบเป็นเงินปัจจุบัน

DD - อัตราส่วนลด

C_T - เงินที่ประหยัดในแต่ละปี

M - 1,2,3,...,N เมื่อ N - อายุการใช้งานของระบบ

ในที่นี้จะแสดงตัวอย่างการคำนวณระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีอัตราการใช้น้ำร้อน 1000 ลิตร/วัน อุณหภูมิน้ำร้อน $70^{\circ}C$ อัตราส่วนปริมาตรถังเก็บน้ำร้อน/พื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์เท่ากับ 50 ลิตร/$ม^2$ ใช้ก๊าซหุงต้มเป็นพลังงานเสริม ราคาระบบ 4000 บาท/$ม^2$ กรณีราคาระบบและพลังงานเสริมรูปอื่นแสดงไว้ในภาคผนวก ช สำหรับระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ประเภทอื่น จะใช้โปรแกรมโดยใช้เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ IBM-PC ที่แสดงไว้ในภาคผนวก ฉ

<u>ตัวอย่างการคำนวณ</u>

ราคาระบบ 85792.00 บาท

$$I = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N-1}$$

โดยที่ i - อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ยืมเท่ากับ 18%

$$I = \frac{0.18\ (1.18)^{20}}{(1.18)^{20}-1}$$

$$= 0.1868$$

<u>ในปีที่ 1</u>

- ค่าใช้จ่ายสำหรับเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้ $(FUS) = (FF-FS)(1+E)^{M-1}$

$$= (68300112 - 68380112\, e^{-0.0707991445 \times 21.45} \times (0.0004)$$

$$= 21360.82 \text{ บาท}$$

- ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นในการกู้ยืมเพื่อการลงทุน (C_A) = CI

= 85792 x 0.1868

= 16027.62 บาท

- ค่าบำรุงรักษา (C_M) $= (MA)C(1+G)^{M-1}$

$= \frac{0.5}{100} \times 85792$

= 428.96 บาท

- ค่ากระแสไฟฟ้าในการเดินปั๊ม (PAR) $= PE\ A_{op}(1+E)^{M-1}$

= 68.68 x 21.45

= 1473.04 บาท

- ค่าเสื่อมราคา (D) = (C-L)/N

= (85792-0)/5

= 17158.40 บาท

- ดอกเบี้ยที่ต้องชำระ = 0.18 (85792)

= 15442.56 บาท

ภาษีรายได้ที่ประหยัด = $0.40 \times \begin{bmatrix} 15442.56 \\ + 428.96 \\ +1473.04 \\ +17158.40 \\ -21360.82 \end{bmatrix}$

= 5256.86 บาท

การประหยัดในระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ = 21360.82 - 16027.62

-428.96-1473.04+5152.88

= 8688.02 บาท

การประหยัดในระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เทียบเท่าเงินปัจจุบัน

$$(Pw) = \frac{C_T}{(1+DD)^M}$$

$$= \frac{8688.02}{(1+0.14)^1}$$

$$= 7621.07 \quad \text{บาท}$$

ในปีที่ 2

- ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้ (FUS) $= (FF-FS)(1+E)^{M-1}$

$$= (68380112-68380112e^{-0.0707991445\times 21.4})$$

$$\times 0.0004 \times (1+0.1)^1$$

$$= 23496.91 \quad \text{บาท}$$

- ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นในการกู้ยืมเพื่อการลงทุน (C_A) $= CI$

$$= 85792 \times 0.1868$$

$$= 16027.66 \quad \text{บาท}$$

- ค่าบำรุงรักษา (C_M) $= (MA)C(1+G)^{M-1}$

$$= \frac{0.5}{100} \times 85792 \times (1+0.06)^1$$

$$= 454.70 \quad \text{บาท}$$

ค่ากระแสไฟฟ้าในการเดินปั๊ม (PAR) $= PE\ A_{op}(1+E)^{M-1}$

$$= 68.68 \times 21.45(1+0.1)$$

$$= 1620.35 \quad \text{บาท}$$

- ค่าเสื่อมราคา (D) $= (C-L)/N$

$$= (85792-0)/5$$

$$= 17158.40 \quad \text{บาท}$$

- ดอกเบี้ยที่ต้องชำระในปีที่ 1 $= 15442.56 \quad \text{บาท}$

∴ จ่ายเงินกู้ยืมเพื่อซื้อกรรมสิทธิอุปกรณ์ในปีที่ 1 = 16027.62 - 15442.56

= 985.06 บาท

เหลือเงินกู้ยืม = 85792 - 585.06

= 85706.94 บาท

ดอกเบี้ยที่ต้องชำระในปีที่ 2 = 0.18 × (85206.94)

= 15337.25

- ภาษีรายได้ที่ประหยัด = $0.4 \times \begin{bmatrix} 15337.25 \\ + 454.70 \\ +1620.35 \\ +17158.20 \\ -23496.91 \end{bmatrix}$

= 11073.59 บาท

การประหยัดในระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ = 23496.91-16027.62-454.70

-1620.51+11073.59

= 9823.72 บาท

การประหยัดในระบบทำน้อร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เทียบเป็นเงินปัจจุบัน (Pw) = $\frac{C_T}{(1+DD)^M}$

= $\frac{9823.72}{(1+0.014)^2}$

= 7559.03 บาท

ผลที่ได้ตลอด 20 ปี แสดงไว้ในตาราง 4.1

สำหรับการเปรียบเทียบว่าระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเครื่องทำความร้อนเสริม กับระบบทำน้ำร้อนที่ใช้พลังงานรูปอื่น ระบบใดจะดีกว่าได้แสดงไว้ในภาคผนวก ช

ตารางที่ 4.1

การประหยัดในระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ตลอดอายุการใช้งาน

TEMPERATURE OF HOT WATER	70 C^{O}
NUMBER OF COVER GLASS	1
TYPE OF ABSORBER PLATE	BLACK
STORAGE TANK PER COLLECTOR AREA	50 LITRES/M^2
SYSTEM COST	4000 Baht/M^2
INTEREST RATE	18.0 %
DISCOUNT RATE	14.0 %
TYPE OF FUEL	GAS
SUITABLE AREA	21.45 M^2
LOAD	1000 LITRES/DAY

YEAR	FUEL SAVING	MORTGAGE PAYMENT	MAINT-ENANCE	PARASITIC ENERGY	DEPRE-CIATION	SOLAR SAVING	PW OF SOLAR SAVINGS
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	21360.82	16027.62	428.96	1473.04	17158.36	8688.02	7621.07
2	23496.91	16027.62	454.70	1620.35	17158.36	9823.72	7559.03
3	25846.60	16027.62	481.98	1782.38	17158.36	11070.23	7472.09
4	28431.26	16027.62	510.90	1960.62	17158.36	12438.08	7364.34
5	31274.38	16027.62	541.55	2156.69	17158.36	13938.71	7239.33
6	34401.82	16027.62	574.04	2372.35	0.00	8721.26	3973.29
7	37842.01	16027.62	608.49	2609.59	0.00	10525.99	4206.58
8	41626.20	16027.62	645.00	2870.55	0.00	12504.30	4383.50
9	45788.83	16027.62	683.70	3157.60	0.00	14672.22	4511.82
10	50367.71	16027.62	724.72	3473.36	0.00	17047.14	4598.36
11	55404.48	16027.62	768.20	3820.70	0.00	19647.85	4649.02
12	60944.93	16027.62	814.29	4202.77	0.00	22494.74	4668.99
13	67039.43	16027.62	863.15	4623.05	0.00	25609.78	4662.76
14	73743.37	16027.62	914.94	5085.35	0.00	29016.69	4634.25
15	81117.70	16027.62	969.83	5593.89	0.00	32740.96	4586.89
16	89229.47	16027.62	1028.02	6153.28	0.00	36810.00	4523.64
17	98152.42	16027.62	1089.71	6768.60	0.00	41253.15	4447.08
18	107967.70	16027.62	1155.09	7445.46	0.00	46101.74	4359.43
19	118764.40	16027.62	1224.39	8190.01	0.00	51389.13	4262.64
20	130640.90	16027.62	1297.86	9009.01	0.00	57150.74	4158.39

TOTAL PRESENT WORTH OF SOLAR SAVING = 103882.5

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4 อัตราผลตอบแทนในการลงทุน

อัตราผลตอบแทนในการลงทุน คือผลได้จากการลงทุนเป็นอัตราร้อยละเมื่อเทียบต่อเวลาหนึ่งปีที่ลงทุนไป

$$\sum_{M=0}^{N} \left[\frac{A_M}{(1+R)^M}\right] = C \qquad (22)$$

โดยที่ A_M - เงินที่ประหยัดได้ในระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ในปีที่ M

N - อายุการใช้งานของระบบ (ช่วงเวลาสุดท้ายที่คิดอัตราผลตอบแทน)

R - อัตราผลตอบแทน

C - ราคาระบบ

เมื่อ $R = 16.00\%$ จะได้ $\sum_{M=0}^{20} \left[\frac{A_M}{(1+0.16)^M}\right] = 88664.74$

เมื่อ $R = 17.00\%$ จะได้ $\sum_{M=0}^{20} \left[\frac{A_M}{(1+0.17)^M}\right] = 82373.64$

หาค่า R ในการอินเตอร์โปเลชั่น (INTERPOLATION)

$$\frac{88664.74-85792}{88664.74-82373.64} \times 0.01 = 0.48$$

นั่นคือ $R = 16.48\%$ จะทำให้

$$\sum_{M=0}^{20} \left[\frac{A_M}{(1+0.1682)^M}\right] = 85792$$

4.5 ระยะเวลาในการคืนทุน

ระยะเวลาในการคืนทุน บอกให้ทราบถึงจำนวนปีที่จะได้รับเงินลงทุนกลับคืนมาก็คือจำนวนปีที่ทำให้เงินที่ประหยัดได้ในระบบพลังงานแสงอาทิตย์เป็นมูลค่าปัจจุบันมีค่าเท่ากับ ราคาระบบ เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\sum_{M=0}^{t} \left[\frac{A_M}{(1+DD)^M}\right] = C \qquad (23)$$

โดยที่ A_M - เงินที่ประหยัดได้ในระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ในปีที่ 3

DD - อัตราส่วนลด

t - ระยะเวลาในการคืนทุน

C - ราคาระบบ

เมื่อ C = 85972 บาท

$$85972 = \sum_{M=0}^{t} \left[\frac{A_M}{(1+0.14)^M}\right]$$

$$= 0 + 7621.07 + 7559.03 + \ldots$$

t = 15.81 ปี

การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์โดยประมาณค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นในการติดตั้งระบบ จากการศึกษาในตารางที่ 3.1 จะเห็นว่าการประหยัดตลอดอายุการใช้งานของระบบ ผลตอบแทนในการลงทุนของระบบและระยะเวลาในการคืนทุนของแต่ละประเภทจะมีค่าไม่เท่ากัน ระบบที่ให้ผลตอบแทนสูงจะเป็นระบบที่เหมาะสม ผลสรุปของระบบที่เหมาะสมได้เช่นเดียวกับตารางที่ 3.3 และนำผลที่ได้ไปศึกษาเมื่ออัตราการใช้น้ำร้อนเพิ่มขึ้น จากผลสรุปที่ได้เมื่ออัตราการใช้น้ำร้อนเพิ่มขึ้น การคำนวณหาพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์จะมีปัญหาเกิดขึ้น เนื่องจากการใช้โปรแกรม TRNSYS เพื่อหาปริมาณพลังงานเสริมที่ใช้ในการศึกษาเบื้องต้น จะกำหนดความสูงของถังเก็บน้ำร้อนเท่ากับ 1.5 เมตร เมื่ออัตราการใช้น้ำร้อนเพิ่มขึ้นความสูงของถังจะต้องเท่ากับ 1.5 เมตร เพื่อว่าการแบ่งชั้นความร้อนของน้ำภายในถังจะได้เหมือนกัน ในการติดตั้งระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์โดยทั่วไปจะมีข้อจำกัดทางพื้นที่ เมื่ออัตราการใช้น้ำร้อนเพิ่มขึ้นปริมาตรของถังเก็บน้ำร้อนจะเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อกำหนดความสูงของถังเท่ากับ 1.5 เมตร เท่ากับที่ศึกษาเบื้องต้นจะมีความยุ่งยากต่อการนำระบบไปใช้ ผลจากการใช้โปรแกรม TRNSYS วิเคราะห์สรุปผลเมื่ออัตราส่วนความสูงต่อเส้นผ่าศูนย์กลางของถังเก็บน้ำร้อนอยู่ในช่วง 1-4 เมตร จะไม่มีผลต่อระบบมากนัก ดังแสดงไว้ในตารางที่ ค-10 ในภาคผนวก ค ดังนั้นเมื่ออัตราการใช้น้ำร้อนเพิ่มขึ้นไม่จำเป็นต้องกำหนดความสูงของถังให้เท่ากับที่ศึกษาในเบื้องต้น จากการใช้โปรแกรม TYNSYS หาปริมาณพลังงานเสริมที่ใช้ต่อปีโดยที่อัตราการใช้น้ำร้อนเปลี่ยนไปและปริมาตรถังเก็บน้ำร้อนต่อพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ที่สรุปไว้ในตารางที่ 3.3 แสดงไว้ในภาคผนวก ค นำผลที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าคงที่ลดลงในการใช้พลังงานเสริมโดยแสดงไว้ในภาคผนวก จ ความสัมพันธ์

ตารางที่ 4.2

อัตราผลตอบแทนในการลงทุนและระยะเวลาในการคืนทุนเมื่อราคาพลังงานเพิ่มขึ้นปีละ 10%

TEMPERATURE OF HOT WATER	70 C^{O}
NUMBER OF COVER GLASS	1
TYPE OF ABSORBER PLATE	BLACK
INTEREST RATE	18.0 %
DISCOUNT RATE	14.0 %
LIFE CYCLE	20 YEARS

SYSTEM COST ($Baht/M^2$)	SUITABLE AREA	TYPE OF FUEL	RATE OF RETURN (%)	PAYBACK PERIOD (YEAR)
	24.20	ELECTRICITY	19.14	12.53
4000	21.45	GAS	16.48	15.81
	11.66	BUNKER OIL	8.03	-
	22.53	ELECTRICITY	17.65	14.22
4500	19.78	GAS	15.15	17.96
	9.99	BUNKER OIL	6.99	-
	21.05	ELECTRICITY	16.39	15.92
5000	18.30	GAS	13.93	-
	8.51	BUNKER OIL	5.94	-
	19.70	ELECTRICITY	15.31	17.66
5500	16.95	GAS	12.95	-
	7.16	BUNKER OIL	5.13	-
	18.47	ELECTRICITY	14.31	19.44
6000	15.72	GAS	11.98	-
	5.93	BUNKER OIL	4.27	-

ระหว่างอัตราการใช้น้ำร้อนกับพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ ตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์อุณหภูมิน้ำร้อน $70^{\circ}C$ กระจกชั้นเดียว แผ่นดูดสีดำ ปริมาตรถังเก็บน้ำร้อนต่อพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์เท่ากับ 50 ลิตร/$ม^2$ ราคาระบบ 4000 บาท/$ม^2$ ประเภทพลังงานเสริมเป็นก๊าซหุงต้ม

ตารางที่ 4.3

ตัวอย่าง ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้น้ำร้อนกับพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์

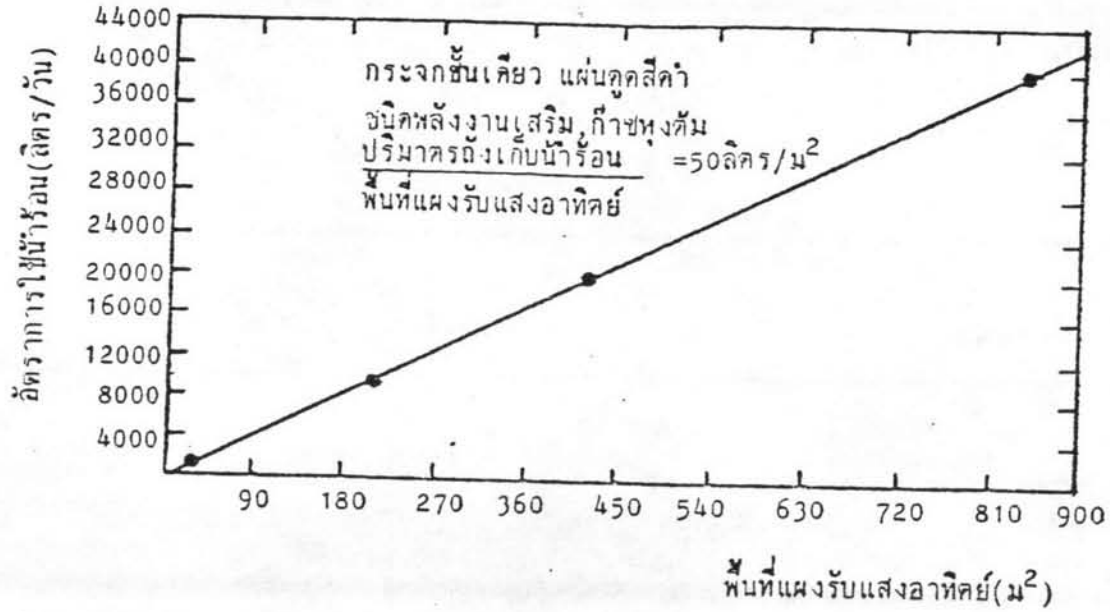
อัตราการใช้น้ำร้อน (ลิตร/วัน)	พื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ที่เหมาะสม($ม^2$)
1,000	21.45
10,000	213.37
20,000	425.64
40,000	849.94

จากความสัมพันธ์ที่ได้แสดงโดยรูปกราฟที่ 4.1 ความสัมพันธ์ที่ได้เขียนในรูปสมการได้ดังนี้

อัตราการใช้น้ำร้อน = -10.475 + 47.07 × (พื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์)

ในทางทฤษฎีขนาดของพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ไม่เป็นเลขจำนวนเต็มตามอัตราการใช้น้ำร้อนที่กำหนด เช่น พื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์เท่ากับ 21.45 $ม^2$ เป็นต้น ในกรณีเช่นนี้จะสามารถปรับขนาดพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์โดยที่ไม่มีผลต่อการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของระบบมากนัก ดังอธิบายไว้ในภาคผนวก ช

ข้อที่น่าสังเกตที่น่าสนใจก็คือ ในการศึกษาเบื้องต้นอัตราการใช้น้ำร้อน 1000 ลิตร/วัน เมื่อกำหนดหาพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมแล้วเมื่ออัตราการใช้น้ำร้อนเพิ่มขึ้นเป็น 10 เท่า พื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมจะเพิ่มขึ้นประมาณ 10 เท่าด้วย ซึ่งตัวเลขนี้สามารถนำไปใช้ในทางปฏิบัติได้



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้น้ำร้อนกับพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์