

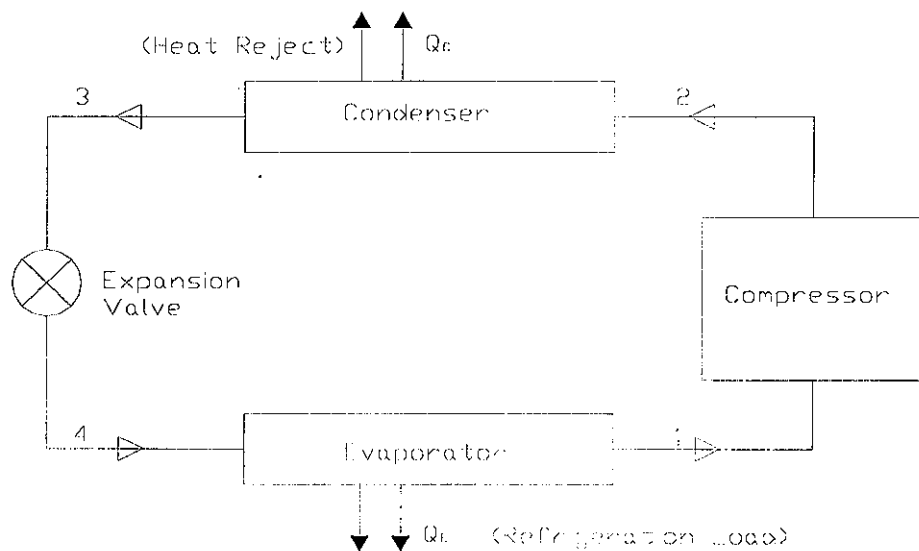
บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

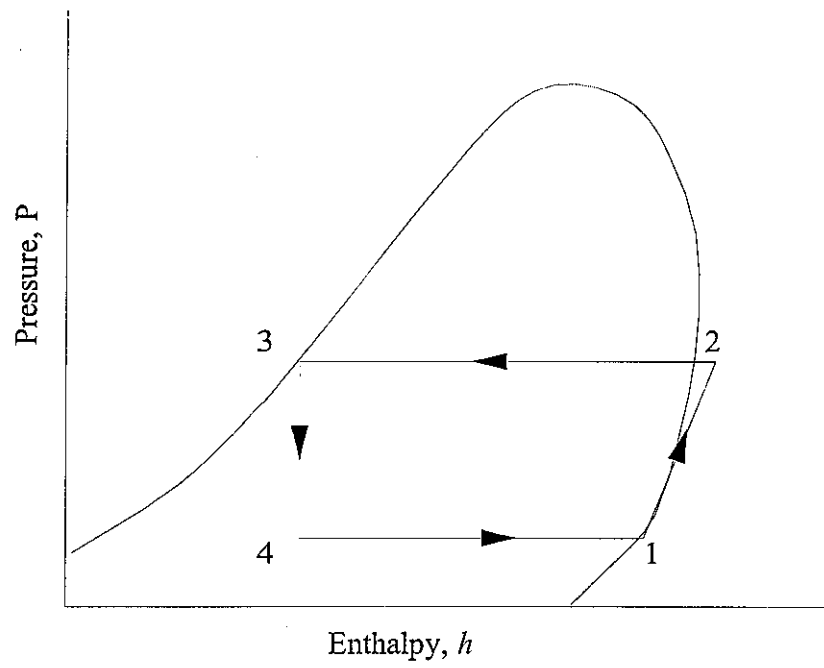
2.1 วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ

ทฤษฎีที่ใช้ในการวิเคราะห์ วิเคราะห์ตามกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์จากหนังสืออุณหพลศาสตร์^[4] วิเคราะห์วัฏจักรแบบอัดไอเบื้องต้น ประกอบด้วยอุปกรณ์หลักคือ คอมเพรสเซอร์ คอนเดนเซอร์ เอ็กเพนชันวาล์ว และอีวาปอเรเตอร์ ดังรูปที่ 2.1

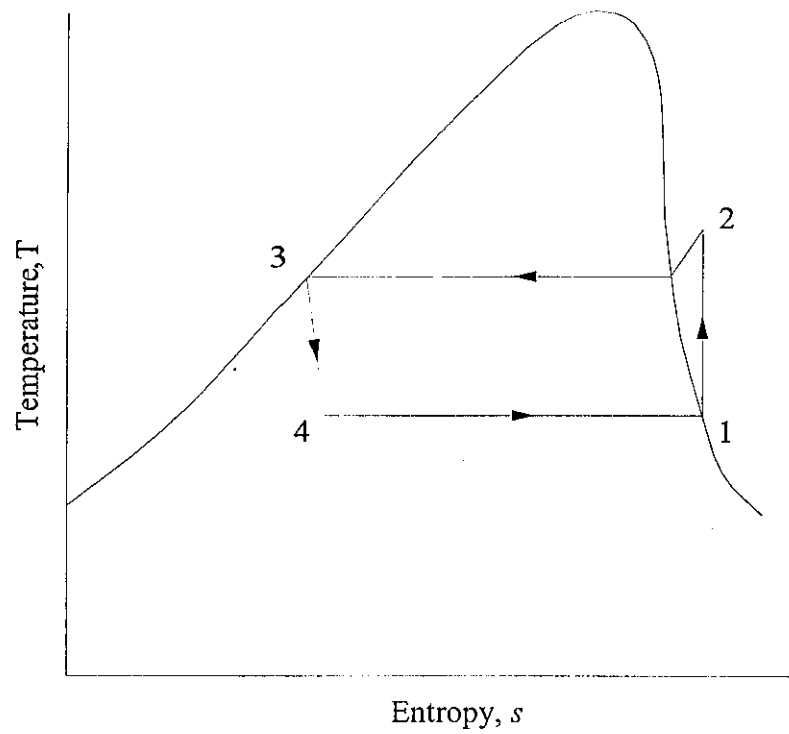
จากรูปที่ 2.1 การทำงานของวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ เริ่มจากคอมเพรสเซอร์ดูดสารทำความเย็นซึ่งอยู่ในสถานะไอที่ จุดที่ (1) และอัดเพื่อเพิ่มความดันสูงขึ้นตามกระบวนการไอเซนโทรปิก(Isentropic Process) เพื่อที่จะทำให้สารทำความเย็นมีอุณหภูมิสูงขึ้น ที่จุด (2) จากนั้นสารทำความเย็นที่เป็นแก๊สจะถูกส่งมาถ่ายเทความร้อนที่คอนเดนเซอร์ เพื่อให้สารทำความเย็นกลั่นตัวตามขบวนการคายความร้อนออก สารทำความเย็นก็จะควบแน่น จนกลายเป็นสารทำความเย็นที่มีความดันสูงที่จุด(3) จากนั้นถูกส่งผ่านเอ็กเพนชันวาล์วเพื่อลดความดันและเข้าอีวาปอเรเตอร์ ที่จุด (4) ซึ่ง ในอีวาปอเรเตอร์สารทำความเย็นเหลวจะเริ่มเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ



รูปที่ 2.1 วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอเบื้องต้น



รูปที่ 2.2 ไดอะแกรมความดันและเอนทัลปีของสารทำความเย็น



รูปที่ 2.3 ไดอะแกรมอุณหภูมิและเอนโทรปีของสารทำความเย็น

ในการพิจารณาบนแกนความสัมพันธ์ของความดันและเอนทัลปี หรืออุณหภูมิและเอนโทรปี สามารถอธิบายได้เช่นเดียวกัน ดังรูปที่ 2.2 และรูปที่ 2.3 ตามลำดับ

2.2 สมมติฐานในการวิเคราะห์ระบบปรับอากาศแบบอัดไอ

ในการวิเคราะห์ตามกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ จะถือว่า

1. ไม่คิดการเปลี่ยนแปลงของพลังงานจลน์และพลังงานศักย์
2. ไม่คิดความดันตกคร่อมผ่านอุปกรณ์ทดสอบ
3. สภาพของสารทำความเย็นก่อนเข้าและออกจากคอมเพรสเซอร์เป็นไออิ่มตัวและไอร้อนยิ่งยวดตามลำดับ
4. สภาพของเหลวที่ออกจากคอนเดนเซอร์มีสภาพเป็นของเหลวอิ่มตัวหรือของเหลวเย็นเยือก

จากกระบวนการ ภาควิทยุที่ใช้ในการวิเคราะห์ตามกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ สำหรับอุปกรณ์ความร้อนต่างๆ จะถือว่าเป็นปริมาตรควบคุม อาศัยสมการการไหลแบบสม่ำเสมอจะได้

- กระบวนการ 1-2 เป็นการอัดสารทำงานตามกระบวนการ ไอเซนโทรปิก (Isentropic Process)

$$W_c = m_r(h_2 - h_1) \quad (2.1)$$

โดยที่ W_c = งานของคอมเพรสเซอร์ , kW

h_2, h_1 = เอนทัลปีจำเพาะของสารทำงานที่เข้าและออกจากคอมเพรสเซอร์ตามลำดับ (kJ/kg)

m_r = อัตราการไหลของสารทำความเย็น , (kg/s)

- กระบวนการ 2-3 เป็นการระบายความร้อนออกจากสารทำงานตามสถานะความดันคงที่ (Isobaric Process)

Q_{cond} = อัตราความร้อนทิ้งของคอนเดนเซอร์ , kW

h_2, h_3 = เอนทัลปีจำเพาะของสารทำงานที่เข้าและออกจากคอนเดนเซอร์ ตามลำดับ , kJ/kg

- กระบวนการ 3-4 เป็นการขยายตัวของสารทำงาน ตามกระบวนการเอนทาลปีคงที่ (Constant Enthalpy)

$$h_3 = h_4 \quad (2.2)$$

โดยที่ h_4 = เอนทาลปีจำเพาะของสารทำงานที่ออกจากเอ็กเพนชันวาล์ว, kJ/kg

- กระบวนการ 4-1 เป็นการรับความร้อน ของสารทำงานเพื่อเปลี่ยนสถานะตามกระบวนการความดันคงที่ (Isobaric Process)

$$Q_{EVAP} = m_r (h_1 - h_4) \quad (2.3)$$

โดยที่ Q_{EVAP} = อัตราดึงความร้อนของอีวาปอเรเตอร์, kW

สมรรถนะของวัฏจักรในเทอมสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) การทำความเย็นจะได้

$$COP = \frac{\text{อัตราความร้อนที่ได้รับประโยชน์จากระบบ}}{\text{งานที่ใส่ให้กับระบบ}}$$

$$COP = \frac{Q_{EVAP}}{W_c} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (2.4)$$

ในการหาค่าเอนทาลปี เพื่อลดความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากการอ่านค่าโดยตรงจาก ตารางคุณสมบัติของสารทำความเย็น R-22 จึงใช้สมการสำหรับหาค่าเอนทาลปีของของสารทำความเย็น R-22 ดังนี้

เอนทาลปีของ R-22 ก่อนเข้าคอมเพรสเซอร์ (h_1)^[5]

$$h_1 = 443.24397 - 6.0866 \ln P_1 + 0.70432 t_1 - 0.00037 t_1^2 \quad (2.5)$$

โดยที่ : $-10 \leq T_1 \leq 40 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$350 \leq P_1 \leq 550 \text{ kPa (abs)}$$

เอนทาลปีของ R-22 ออกจากคอมเพรสเซอร์ (h_2)^[5]

$$h_2 = 435.68938 - 3.93376 \ln P_2 + 0.68643 t_2 + 0.00019 t_2^2 \quad (2.6)$$

โดยที่ : $40 \leq T_2 \leq 120 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$1,400 \leq P_2 \leq 2,000 \text{ kPa (abs)}$$

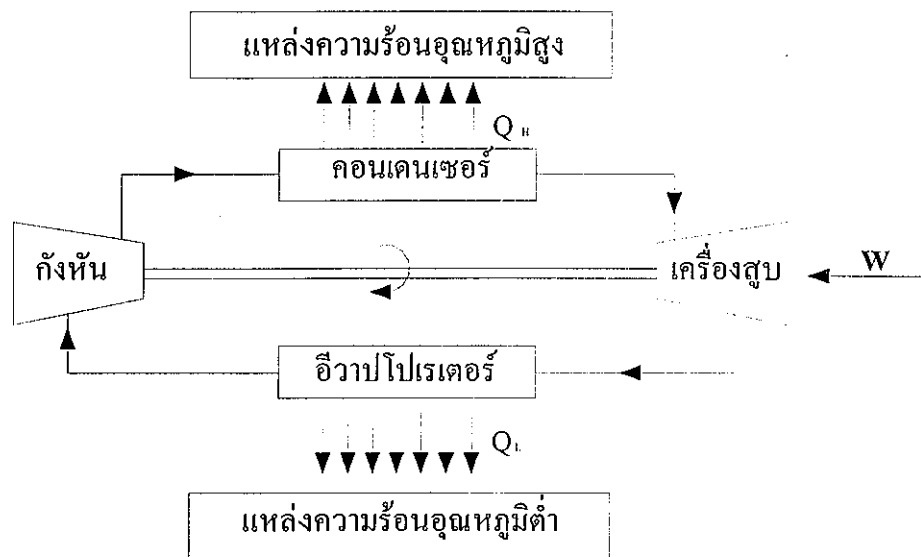
เอนทาลปีของ R-22 ออกจากคอนเดนเซอร์ (h_3)^[5]

$$h_3 = 0.00003T_3^3 - 0.0002T_3^2 + 1.2195T_3 + 199.55 \quad (2.7)$$

โดยที่ : $20 \leq T_3 \leq 60 \text{ } ^\circ\text{C}$

วัฏจักรคาร์โนต์^[4]

วัฏจักรคาร์โนต์เป็นวัฏจักรทางอุณหพลศาสตร์โดยเป็นวัฏจักรที่ย้อนกลับได้และมีประสิทธิภาพสูงสุด



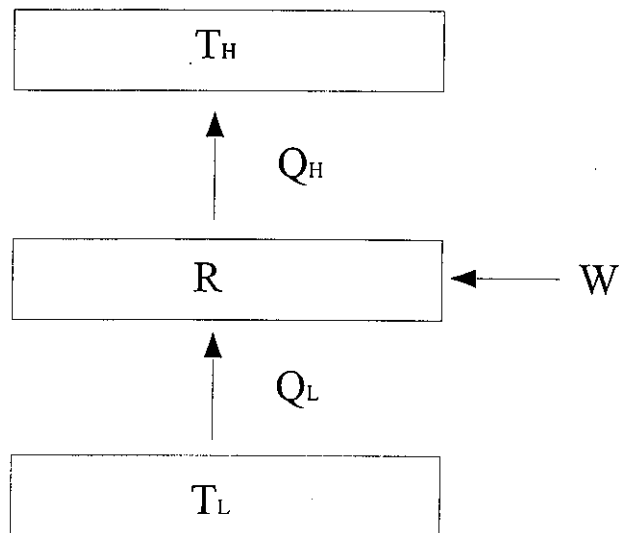
รูป 2.4 กลจักรความร้อนที่ดำเนินภายใต้วัฏจักรคาร์โนต์

วัฏจักรคาร์โนต์สามารถย้อนกลับได้ ดังนั้นทุกๆ กระบวนการในวัฏจักรจึงสามารถย้อนกลับได้ และในกรณีจะเป็นวัฏจักรการทำงานของเครื่องทำความเย็นดังรูป 2.4 โดยที่อุณหภูมิของสารทำงานในอีวาปอเรตอร์นั้นจะต่ำกว่าอุณหภูมิของแหล่งความร้อน อุณหภูมิสูง

การดำเนินวัฏจักรคาร์โนต์จะประกอบด้วยกระบวนการหลัก 4 กระบวนการเสมอ ไม่ว่าสารทำงานนั้นจะเป็นสารใดก็ได้ ซึ่งได้แก่

1. กระบวนการอุณหพลศาสตร์ที่แบบย้อนกลับได้ เป็นกระบวนการถ่ายเทความร้อนจาก(หรือไปสู่)แหล่งความร้อนอุณหภูมิสูง
2. กระบวนการแอดิแบติกแบบย้อนกลับได้ เป็นกระบวนการที่ทำให้อุณหภูมิของสารทำงานลดลงจากอุณหภูมิไปสู่อุณหภูมิต่ำ

3. กระบวนการอุณหภูมิจึงที่แบบย้อนกลับได้ เป็นกระบวนการถ่ายเทความร้อนไปสู่แหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำ
4. กระบวนการแอเดียแบติกแบบย้อนกลับได้ เป็นกระบวนการที่ทำให้อุณหภูมิจึงของสารทำงานเพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิต่ำไปสู่อุณหภูมิสูง



รูป 2.5 กลจักรความเย็นตามวัฏจักรคาร์โนต์

ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของวัฏจักรคาร์โนต์หาได้จาก

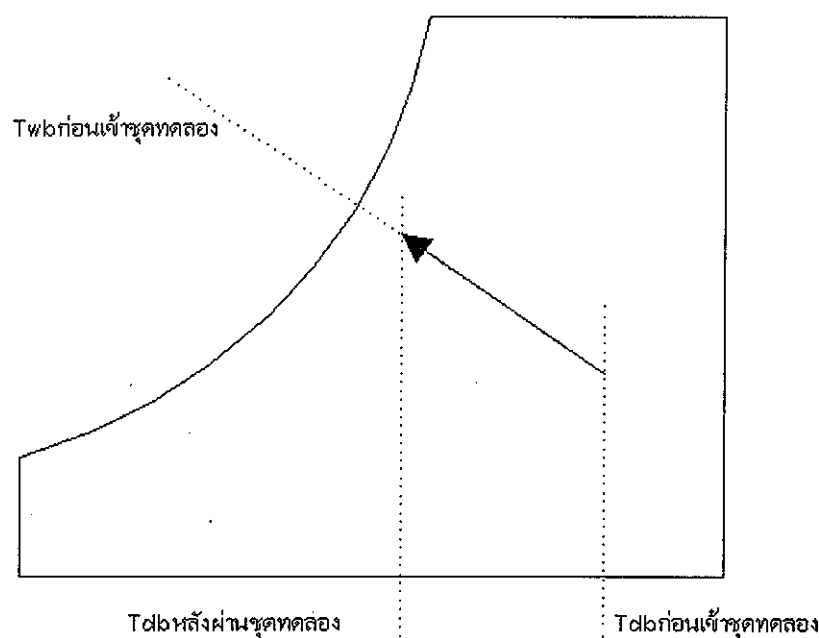
$$COP = \frac{T_L}{T_H - T_L} \quad (2.8)$$

พิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) ของระบบ ดังสมการ 2.8 เมื่ออุณหภูมิอากาศก่อนเข้าสู่คอนเดนเซอร์ลดลง ความสามารถในการระบายความร้อนที่คอนเดนเซอร์มากขึ้น ทำให้แหล่งรับความร้อนที่อุณหภูมิสูงลดต่ำลง ส่งผลให้ค่า COP เพิ่มขึ้น

2.3 หลักการของระบบทำความเย็นแบบระเหย

ระบบการทำงานของเครื่องทำความเย็นแบบระเหย ระบบนี้จะลดอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าคอนเดนเซอร์โดยอาศัยการระเหยของน้ำ เมื่ออากาศเคลื่อนผ่านน้ำ น้ำจะดึงความร้อนจากอากาศมาใช้ในการเปลี่ยนสถานะ จากของเหลวกลายเป็นไอที่ความดันต่ำ ทำให้อากาศมีอุณหภูมิลดลงและความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น ดังรูปที่ 2.6

กระบวนการทำให้อากาศเย็นโดยการระเหยนี้ ทำให้อากาศร้อนแฝง ของอากาศเพิ่มขึ้นและความร้อนสัมผัสลดลง โดยไม่มีแหล่งความร้อนภายนอกเข้ามาเกี่ยวข้อง และใช้น้ำหมุนเวียนในกระบวนการอย่างต่อเนื่อง โดยการปล่อยให้น้ำไหลจากด้านบนของเครื่อง น้ำบางส่วนจะระเหยทำให้อากาศมีความชื้นสูงขึ้นและมีอุณหภูมิต่ำลง น้ำส่วนที่ไม่ระเหยจะถูกปั้มน้ำดูดไปปล่อยให้ตกลงมาวนเวียนเช่นนี้เรื่อยไป



รูปที่ 2. 6 กระบวนการทำความเย็นแบบระเหย

เมื่อสมดุลมวลก่อนเข้าและหลังออกจากเครื่องทำความเย็นแบบระเหยได้ดังสมการ

$$m_{a1} + m_{w1} = m_{a2} + m_{w2} \quad (2.9)$$

สมดุลพลังงาน

$$Q_{in} = Q_{out} \quad (2.10)$$

$$m_{a1}h_{a1} + m_{w1}h_{w1} = m_{a2}h_{a2} + m_{w2}h_{w2} \quad (2.11)$$

โดยที่อัตราการไหลโดยมวลของอากาศหาได้จากสมการ

$$m_a = \rho_{air} A U \quad (2.12)$$

เมื่อ ρ_{air} = ความหนาแน่นของอากาศ, kg/m³

U = ความเร็วของอากาศไหลผ่าน, m/s

A = พื้นที่หน้าตัดที่อากาศไหลผ่าน, m²

2.4 ประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นแบบระเหย

ประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นแบบระเหย โดยทั่วไปจะแสดงในรูปของประสิทธิภาพอิ่มตัว (Saturating Efficiency) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างอุณหภูมิที่ลดได้จริง ของระบบ ต่อ อุณหภูมิที่ลดได้สูงสุดตามทฤษฎี โดยอุณหภูมิที่ลดได้จริงของระบบก็คือผลต่าง ระหว่างอุณหภูมิ กระเปาะแห้งก่อนเข้าและหลังผ่านระบบ ส่วนอุณหภูมิที่ลดได้สูงสุดตามทฤษฎีก็คือ ผลต่างของ อุณหภูมิกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียกก่อนเข้าระบบ เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\varepsilon = \frac{T_{db\text{ก่อนเข้าสู่ชุดทดลอง}} - T_{db\text{แห้งผ่านชุดทดลอง}}}{T_{db\text{ก่อนเข้าสู่ชุดทดลอง}} - T_{wb\text{ก่อนเข้าสู่ชุดทดลอง}}} \quad (2.13)$$

เมื่อ ε = ประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นแบบระเหย

$T_{db\text{ก่อนเข้าสู่ชุดทดลอง}}$ = อุณหภูมิกระเปาะแห้งก่อนผ่านระบบการระเหยของน้ำ, °C

$T_{db\text{หลังผ่านชุดทดลอง}}$ = อุณหภูมิกระเปาะแห้งหลังผ่านระบบการระเหยของน้ำ, °C

$T_{wb\text{ก่อนเข้าสู่ชุดทดลอง}}$ = อุณหภูมิกระเปาะเปียกก่อนผ่านระบบการระเหยของน้ำ, °C

2.5 วิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน^[7]

ในวิเคราะห์การลงทุนการเงิน มีจุดประสงค์ด้านการเงิน มีจุดประสงค์เพื่อต้องการหาว่า โครงการที่ลงทุนนี้มีความเหมาะสมหรือไม่ โดยพิจารณาจากผลตอบแทนการลงทุน และผลการดำเนินงานนี้สามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลาเท่าใด โดยใช้ระยะเวลาคืนทุนเป็นเกณฑ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

2.5.1 ระยะเวลาคืนทุน (Simple Payback Period)

ระยะเวลาผลตอบแทนสุทธิสะสมจากการดำเนินงานมีค่าเท่ากับ เงินลงทุน ผลที่ได้รับจากการประเมินการลงทุน โดยวิธีนี้ก็คือ จะทำให้ทราบว่า จะได้รับเงินคืนทุนช้าหรือเร็วเท่าใด ถ้าคืนทุนได้เร็วเท่าใดก็จะได้ดีมากขึ้นเท่านั้น เพราะโอกาสเสี่ยงต่อการขาดทุนในอนาคตมีน้อยลง และสามารถนำเงินที่คืนทุนไปลงทุนในกิจการอื่นได้ วิธีหาระยะเวลาคืนทุนเบื้องต้น เป็นวิธีคิดแบบง่าย ๆ และเป็นที่ยอมรับให้แต่มีข้อเสียคือ ไม่ได้พิจารณาถึงผลตอบแทนที่ได้รับหลังระยะเวลาคืนทุนแล้ว และไม่ได้พิจารณาปรับมูลค่าเงินตามเวลา ซึ่งหาได้ดังนี้

สำหรับในกรณีที่ผลตอบแทนและค่าใช้จ่ายในแต่ละปีมีค่าเท่ากันทุกปี ระยะเวลาคืนทุนหาได้ดังนี้

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินลงทุน}}{\text{กระแสเงินสดสุทธิต่อปี}} \quad (2.14)$$

โดยที่

$$\text{กระแสเงินสดสุทธิต่อปี} = \text{ค่าไฟฟ้าที่ลดได้ต่อปี}$$

กรณีที่ผลตอบแทนสุทธิที่ได้รับต่อปีไม่เท่ากัน จะรวมผลตอบแทนสุทธิที่ได้รับแต่ละปีจนกระทั่งถึงปีที่ผลสะสมของผลตอบแทนสุทธิเท่ากับจำนวนเงินที่ลงทุน จำนวนปีนี้คือระยะเวลาคืนทุน