

บทที่ 2

ทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 พลังงานแสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานที่มีอยู่ไม่จำกัด ซึ่งมีศักยภาพตอบสนองความต้องการของพลังงานในอนาคตสำหรับประชากรโลกและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยมาก ซึ่งโลกได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงความยาวคลื่น 0.2 – 3.0 ไมครอน และประกอบไปด้วยช่วงความยาวคลื่นแบบ Visible light, Infrared, Ultraviolet เป็นต้น โดยรังสีที่ตกกระทบบนพื้นราบ แบ่งได้เป็น 3 ประเภท

2.1.1 รังสีอาทิตย์ตรง (Direct or Beam Radiation)

รังสีอาทิตย์ตรง คือ รังสีที่แผ่มาจากดวงอาทิตย์มีทิศทางแน่นอนโดยไม่ถูกหักเหจากสิ่งกีดขวางอื่น ๆ เช่น กลุ่มเมฆ ฝุ่นละออง เป็นต้น รังสีตรงนี้จะมีค่ามากในวันที่มีสภาพท้องฟ้าโปร่ง

2.1.2 รังสีกระจาย (Diffuse Radiation)

รังสีกระจาย คือ รังสีที่ได้รับจากการหักเห การสะท้อน และการกระเจิงจากสิ่งต่างๆ เช่น เมฆ อากาศ ฝุ่นละออง โมเลกุลอากาศ เป็นต้น ค่ารังสีกระจายในฤดูร้อนอาจสูงถึง 400 W/m^2

2.1.3 รังสีอาทิตย์รวม (Total or Global Radiation)

รังสีอาทิตย์รวม คือ ค่ารังสีที่เกิดจากผลรวมของรังสีตรงและรังสีกระจาย

2.2 เซลล์แสงอาทิตย์

2.2.1 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยผ่านสารกึ่งตัวนำ โครงสร้างหลักของเซลล์แสงอาทิตย์ได้แก่ n-type silicon ซึ่งเป็นชั้นของซิลิกอนที่ผสมด้วยสารฟอสฟอรัสมีคุณสมบัติให้อิเล็กตรอนเมื่อรับพลังงานแสงอาทิตย์ ส่วน p-type silicon คือสารกึ่งตัวนำที่ได้การผสมด้วยสารโบรอน ซึ่งด้านหน้าของ n-type silicon จะมีแถบโลหะที่เรียกว่า Front Electrode มีหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอนด้านหลังของ p-type ซิลิกอนจะมีแถบโลหะเรียกว่า Back Electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรวบรวมโฮลเมื่อโฟตอน (จากแสงอาทิตย์) ซึ่งมีพลังงานเพียงพอตกกระทบจะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนและโฮลเมื่อพลังงานสูงพอทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเข้าหาเพื่อจับคู่กัน อิเล็กตรอนจะวิ่งไปยังชั้น n-type และโฮลจะวิ่งไปยังชั้น p-type อิเล็กตรอนวิ่งไป

รวมกันที่ Front Electrode และโฮลวิ่งไปรวมกันที่ Back Electrode เมื่อมีการต่อวงจรไฟฟ้าจาก Front Electrode และ Back Electrode ให้ครบวงจร ก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น เนื่องจากทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเพื่อจับคู่กัน

ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม p-n junction ในแต่ละเซลล์ของ single-crystal silicon จะมีค่าประมาณ 0.5 V โดยปริมาณกระแสไฟฟ้าจะขึ้นกับความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ที่ความเข้มรังสีประมาณ 1,000 W/m² จะได้กระแสประมาณ 100 mA/cm² ของพื้นที่ผิวเซลล์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร

2.2.2 ชนิดของแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์

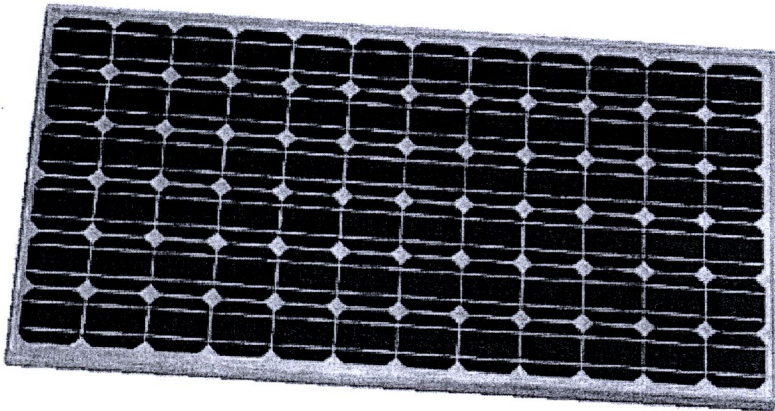
2.2.2.1 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตจากซิลิกอน ซิลิกอนเป็นธาตุที่มีมากที่สุดชนิดหนึ่งของโลกซึ่งเกิดมาจากการหลอมของหินและทรายพบมากในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์

ก. ซิลิคอนผลึกเดี่ยว (Monocrystalline Silicon Cell) มีลักษณะเป็นแผ่นแข็งและบางมาก ซึ่งประสิทธิภาพของเซลล์จะมีค่าประมาณ 15-24% ส่วนประสิทธิภาพโมดูลจะมีค่าเพียง 10-14%

ข. ซิลิคอนผลึกรวม (Polycrystalline Silicon Cell) คือก้อนซิลิคอนที่เกิดจากการรวมตัวกันของชิ้นเล็กๆ (ขนาดระดับ ไมโครเมตร - มิลลิเมตร) ของผลึกเดี่ยวของซิลิคอนและเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกโพลีได้ถูกพัฒนาขึ้น เพื่อแก้ปัญหาต้นทุนสูงของแบบผลึกเดี่ยวซิลิคอนแบบผลึกโพลีหรือโพลีซิลิคอน โดยประสิทธิภาพของเซลล์มีค่าประมาณ 10-17% และประสิทธิภาพของโมดูลอยู่ที่ 9-12%

ค. ไม่เป็นผลึกหรืออะมอร์ฟัส (Amorphous Silicon Cell) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้สามารถพอได้ทั่วไปในอุปกรณ์ที่กินไฟฟ้าน้อยเช่น เครื่องคิดเลข นาฬิกาข้อมือเป็นต้น ซึ่งมีลักษณะบางเป็นพิเศษประมาณ 0.5 ไมครอนเป็นเทคโนโลยีที่ใช้ซิลิกอนเช่นกันแต่จะไม่อยู่ในรูปของผลึกโดยประสิทธิภาพของเซลล์มีค่าประมาณ 8-13% และประสิทธิภาพโมดูลมีค่าประมาณ 6-9%

2.2.2.2 เซลล์แสงอาทิตย์ไม่ได้ผลิตจากซิลิกอน นอกเหนือจากซิลิกอนแล้วยังมีสารตัวอื่นๆ ที่สามารถนำมาใช้งานได้เช่น แกลเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) แคดเมียม เทลเลไนด์ (CdTe) และคอปเปอร์ อินเดียม ไดเซเลไนด์ (CuInSe₂) เป็นต้น มีทั้งชนิดผลึกเดี่ยว (Single Crystalline) และผลึกรวม (Polycrystalline) เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากแกลเลียมอาร์เซไนด์จะให้ประสิทธิภาพสูงถึง 20-25%



รูปที่ 2.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตจากซิลิกอน

(http://www.sharpthai.co.th/solar_cell/solar_index.aspx)

2.2.3 การหาประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถหาได้จาก

$$\text{ประสิทธิภาพ}(\eta) = \frac{\text{พลังงานที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตออกมา}}{\text{พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผงทั้งหมด}}$$

$$= \frac{W}{Q} = \frac{IV \times 100\%}{GA}$$

โดยที่ W คือ พลังงานที่ได้ออกมาจาก PV Panel = $I \times V$, Watt

I คือ กระแสที่ได้ออกมา, Ampere

V คือ ความต่างศักย์ของไฟฟ้า, Volt

Q คือ พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผง PV Panel = $G \times A$, Watt

G คือ ค่าความเข้มของแสงอาทิตย์, W/m^2

A คือ พื้นที่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์, m^2

2.2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

2.2.4.1 การรับแสง

การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ไม่ควรมีสิ่งบังรังสีแสงอาทิตย์ในช่วงเวลา 9:00 – 17:00 น. สำหรับพื้นที่เขตร้อนดวงอาทิตย์จะเคลื่อนไปทางทิศเหนือมากที่สุดในเดือนมิถุนายน และจะเคลื่อนที่ไปทางทิศใต้มากที่สุดในเดือนธันวาคม สำหรับสถานที่ติดตั้งที่อยู่ใต้เส้นศูนย์สูตรควรหันแผงไปทางทิศเหนือ ส่วนสถานที่อยู่เหนือเส้นศูนย์สูตรควรหันแผงไปทางทิศใต้ สำหรับพื้นที่ทดสอบในจังหวัดเชียงใหม่ควรวางเอียงทำมุม 15° กับแนวระดับ

2.2.4.2 ความเข้มรังสีอาทิตย์

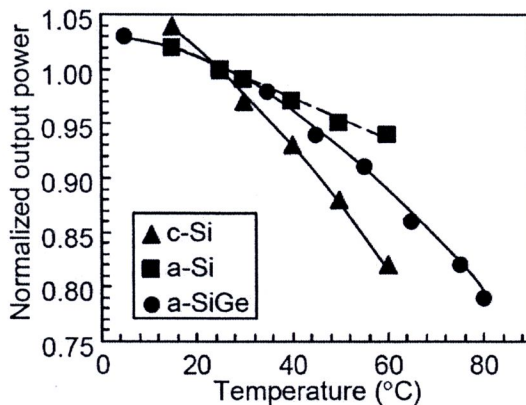
เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์ขณะทำงานต้องมีแสงมาตกกระทบเพื่อให้อิเล็กตรอนที่อยู่ภายในสารกึ่งตัวนำได้รับพลังงานสูงพอที่จะทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระและโฮลขึ้น ดังนั้นถ้าแสงที่ตกกระทบสารกึ่งตัวนำมีค่าความเข้มสูงมากหรือกล่าวอีกนัยคือมีปริมาณความหนาแน่นของโฟตอนสูงก็จะทำให้เกิดคู่พาหะอิเล็กตรอนอิสระกับโฮลเป็นจำนวนมากผลที่ได้ก็คือจะทำให้ปริมาณกระแสไฟฟ้าเนื่องจากแสงตกกระทบมีค่าสูงขึ้นด้วยในขณะที่แรงดันไฟฟ้าแทบจะไม่แปรผันตามความเข้มรังสีมากนักค่าความเข้มรังสีที่ใช้วัดเป็นมาตรฐานคือความเข้มรังสีที่วัดบนพื้นโลกในสภาพอากาศปลอดโปร่งปราศจากเมฆหมอกและวัดที่ระดับน้ำทะเลปานกลางในสภาพที่รังสีอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลก

2.2.4.3 อุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์

ในการนำเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกไปใช้งานจริงตัวเซลล์แสงอาทิตย์จะได้รับความร้อนจากรังสีอาทิตย์ด้วยดังนั้นเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปจะทำให้คุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์เปลี่ยนไปด้วย รูปที่ 2.2 แสดงถึงอุณหภูมิในการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์ชนิดต่างๆ ที่มีผลต่อการสร้างพลังงานไฟฟ้าออกมา โดยอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้การสร้างพลังงานลดลง ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นโดยเฉลี่ยแล้วอุณหภูมิที่มีค่าสูงขึ้นทุก 1°C จะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง 0.5% และในกรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาตรฐานกำหนดไว้ว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะมีแรงดันไฟฟ้าที่วงจรเปิด (Open Circuit Voltage, V_{oc}) ที่ 21 V ณ อุณหภูมิ 25°C จะมีความหมายว่าแรงดันไฟฟ้าที่จะได้จากแผงเซลล์ เมื่อยังไม่ได้ต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้า ณ อุณหภูมิ 25°C จะมีค่าเท่ากับ 21 V ถ้าอุณหภูมิสูงเกินกว่า 25°C อาทิ อุณหภูมิ 30°C จะทำให้แรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์ลดลง 2.5% นั่นคือแรงดันของแผงเซลล์ที่ V_{oc} จะลดลง 0.525 V ซึ่งจะทำให้แรงดันมีค่าลดลงเหลือเพียง 20.475 V เราอาจสรุปได้ว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แรงดันไฟฟ้าก็จะลดลง ซึ่งจะมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด และ ประสิทธิภาพ ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าลดลงด้วย

2.2.4.4 พื้นที่ของแผง

เมื่อมีการติดตั้งแผงที่เซลล์แสงอาทิตย์มีขนาดใหญ่ก็มีพื้นที่รับรังสีของแสงอาทิตย์ได้มากขึ้นส่งผลให้ได้พลังงานไฟฟ้าที่สูงขึ้น



รูปที่ 2.2 ผลของอุณหภูมิทำงานกับกำลังขาออกสำหรับแผงโซลาร์เซลล์ชนิดต่าง ๆ

(Masaki *et al.*, 2005)

2.2.4.5 ความโปร่งของบรรยากาศ

เนื่องจากในชั้นบรรยากาศประกอบไปด้วย ฝุ่นละออง เมฆ ไอน้ำและก๊าซมากมาย ซึ่งมีส่วนในการกระจาย, สะท้อน และการดูดซับรังสีจากดวงอาทิตย์ ในบริเวณเมฆหนาที่บหรืออากาศที่มีมลภาวะจะได้รับพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงน้อย

2.2.4.6 จำนวนเซลล์แสงอาทิตย์

โดยปกติเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตขึ้นจากซิลิคอนจะมีแรงดันไฟฟ้าต่อเซลล์ประมาณ 0.5 V ในการนำเซลล์ไปใช้งานจะต้องนำเซลล์มาต่อกันในลักษณะอนุกรมเพื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้า วงจรเปิดให้สูงขึ้นโดยจะมีผลต่อกระแสไฟฟ้าลัดวงจรของเซลล์น้อยมากในการต่อภาระทางไฟฟ้า เข้ากับเซลล์แสงอาทิตย์แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีจำนวนเซลล์มากกว่าจะจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับ ภาระทางไฟฟ้าได้สูงกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีจำนวนเซลล์น้อยกว่า

2.3 ท่อเทอร์โมไซฟอน

2.3.1 หลักการทั่วไปของท่อเทอร์โมไซฟอน

ลักษณะโครงสร้างของเทอร์โมไซฟอนจะเป็นท่อปลายปิด ซึ่งภายในทำให้เป็น สูญญากาศ และบรรจุสารทำงานเข้าไป ตัวท่อแบ่งออกเป็น 3 ส่วนตามลักษณะการแลกเปลี่ยนความร้อน ได้แก่ ส่วนทำระเหย (Evaporator section) คือ ส่วนที่ได้รับความร้อนจากแหล่งความร้อน อุณหภูมิสูง ส่วนควบแน่น (Condenser section) คือ ส่วนที่ระบายความร้อนออกสู่แหล่งความร้อน อุณหภูมิต่ำ และส่วนกันความร้อน (Adiabatic section) คือส่วนที่ไม่มีการแลกเปลี่ยนความร้อน ระหว่างท่อความร้อนและสิ่งแวดล้อม หลักการทำงานของเทอร์โมไซฟอน คือ เมื่อสารทำงาน

(Working fluid) ซึ่งอยู่ในสถานะของเหลวที่อยู่ในส่วนทำระเหยได้รับความร้อนจากสิ่งแวดล้อม จะเกิดการระเหยกลายเป็นไอโดยอาศัยความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ จากนั้นไอที่เกิดขึ้นจะลอยขึ้นไปสู่ส่วนควบแน่นและระบายความร้อนออกสู่สิ่งแวดล้อมโดยอาศัยความร้อนแฝงของการควบแน่น ทำให้สารทำงานควบแน่นกลายเป็นของเหลว ส่วนของเหลวควบแน่นจะไหลกลับลงมาสู่ส่วนทำระเหย โดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งเป็นการทำงานครบวัฏจักร

2.3.2 การคำนวณค่าการส่งถ่ายความร้อน

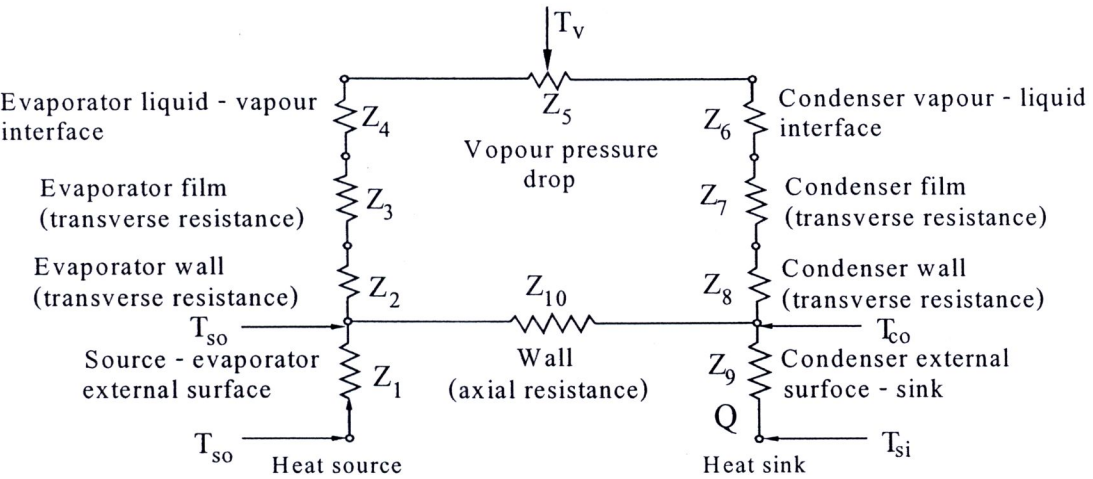
การส่งถ่ายความร้อนของท่อเทอร์โมไซฟอนหาได้จากหลักการความต้านทานทางความร้อน ดังนี้

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

เมื่อ Q คือ ค่าการส่งถ่ายความร้อน

ΔT คือ ผลต่างระหว่างอุณหภูมิของแหล่งความร้อนกับส่วนระบายความร้อน

Z คือ ความต้านทานรวมของท่อเทอร์โมไซฟอนเขียนในรูปของตัวความต้านทาน Z_1 ถึง Z_{10} แสดงในรูปที่ 2.3 และหาค่าได้ดังนี้



รูปที่ 2.3 ความต้านทานความร้อนรวม (Engineering Sciences Data Unit, 1981)

Z_1 และ Z_9 คือ ความต้านทานความร้อนระหว่างแหล่งความร้อนกับผิวท่อด้านนอกของส่วนทำระเหย และความต้านทานความร้อนระหว่างรับความร้อนกับผิวท่อด้านนอกของส่วนควบแน่น ตามลำดับ หาได้จาก

$$Z_1 = 1 / (h_{eo} \times A_{eo})$$

$$Z_9 = 1 / (h_{co} \times A_{co})$$

Z_2 และ Z_8 คือ ค่าความต้านทานความร้อนของผนังท่อในส่วนของการทำระเหยและส่วนควบแน่น ตามลำดับ หาได้จาก

$$Z_2 = \ln(D_o/D) / (2\pi l_c k_x)$$

$$Z_8 = \ln(D_o/D) / (2\pi l_c k_x)$$

Z_3 คือ ค่าความต้านทานความร้อนภายในท่อเทอร์โมไซฟอนเนื่องจากการเดือด แยกเป็นความต้านทานความร้อนในฟิล์ม (Z_{3f}) และในแอ่ง (Z_{3p}) หาค่าได้จาก

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

และ
$$Z_{3p} = \frac{1}{\Phi_3 g^{0.2} Q^{0.4} (\pi D l_e)^{0.6}}$$

$$\text{เมื่อ } \Phi_3 = \frac{\rho_l^{0.65} \lambda_l^{0.3} c_{pl}^{0.7}}{\rho_v^{0.25} L^{0.4} \mu_l^{0.1}} \left(\frac{P_v}{P_l} \right)^{0.23}$$

ถ้า $Z_{3p} > Z_{3f}$ แล้ว $Z_3 = Z_{3p}$ มิเช่นนั้นต้องทำการหาค่าเฉลี่ย Z_3 จาก

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

Z_7 คือ ค่าความต้านทานความร้อนภายในท่อเทอร์โมไซฟอนเนื่องจากการควบแน่นของสารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอน

$$Z_7 = \frac{CQ^{1/3}}{D^{4/3} g^{1/3} l_c \Phi_2^{4/3}}$$

โดยที่ $C = 0.235$

Φ_2 คือ ค่าของคุณสมบัติของท่อความร้อน (Thermophysical properties)

Z_4 และ Z_6 คือ ความต้านทานที่เกิดขึ้นระหว่างหน้าสัมผัสไอและของเหลวในส่วน ของส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยมากจนสามารถละทิ้งได้

Z_5 คือ ค่าความต้านทานความร้อนอันเนื่องมาจากความดันไอตกคร่อม เกิดจากการไหล ของไอจากส่วนทำระเหยไปยังส่วนควบแน่น ซึ่งมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับ Z_3 และ Z_7 จนสามารถ ละทิ้งได้

Z_{10} คือ ความต้านทานความร้อนเนื่องจากการนำความร้อนตามแนวแกนของท่อเทอร์โม ไซฟอน หากค่าได้จาก

$$Z_{10} = (0.5 l_e + l_a + 0.5 l_c) / (A_x k_x)$$

เมื่อ A_x คือ พื้นที่หน้าตัดของท่อบรรจุ

k_x คือ ค่าการนำความร้อนของวัสดุที่ใช้ทำท่อเทอร์โมไซฟอน

อย่างไรก็ตาม Z_{10} สามารถละทิ้งได้ ถ้ามีค่าน้อยมาก ตรวจสอบได้จากเงื่อนไข

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

ถ้าเป็นไปตามสมการข้างต้น ค่าความต้านทานความร้อนรวมจะเป็น

$$Z = Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_5 + Z_7 + Z_8 + Z_9$$

ในทางตรงกันข้ามถ้าไม่เป็นไปตามสมการข้างต้น ค่าความต้านทานความร้อนรวมจะ เป็น

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

2.3.3 ค่าความร้อนสูงสุดในท่อเทอร์โมไซฟอน

นอกจากการคำนวณหาการส่งถ่ายความร้อนของท่อเทอร์โมไซฟอนแล้ว จำเป็นต้อง ตรวจสอบค่าการส่งถ่ายความร้อนสูงสุดด้วย โดยท่อเทอร์โมไซฟอนจะสามารถทำงานได้ถ้าค่าการ ส่งถ่ายความร้อนที่คำนวณได้ก่อนหน้านี้ต้องมากกว่าค่าการส่งถ่ายความร้อนสูงสุดในทุกกรณี ซึ่ง ค่าการส่งถ่ายความร้อนสูงสุดในท่อเทอร์โมไซฟอน ประกอบด้วย

2.3.3.1 ขีดจำกัดความดันไอ

ขณะที่ท่อความร้อนทำงานต่ำกว่าความดันบรรยากาศ ทำให้เกิดการตกของความ ดันไอซึ่งอาจจะมีผลต่อความดันที่ทำการเยือก ทำให้ท่อเทอร์โมไซฟอนไม่สามารถส่งถ่ายความร้อน ได้

2.3.3.2 ชีตจำกัดความเร็วเสียง

ชีตจำกัดนี้เกิดขึ้นในกรณีที่ไอซึ่งไหลออกจากส่วนทำระเหยมีความเร็วสูงมากจนเกินความเร็วเสียง กรณีที่อาจเกิดชีตจำกัดนี้แบ่งได้เป็น 2 กรณี คือกรณีที่ด้านหนึ่งของท่อเย็นมากและอีกด้านหนึ่งของท่อร้อนมาก ค่าการส่งถ่ายความร้อนสูงสุดได้จาก

$$\frac{Q_{max}}{AL} = 0.5 (\rho_v P_v)^{0.5}$$

2.3.3.3 ชีตจำกัดการแห้ง

ชีตจำกัดการแห้ง คือ ปรากฏการณ์ที่สารทำงานไม่เคลือบผิวท่อด้านในในบริเวณส่วนทำระเหย ส่งผลให้เกิดจุดแห้งขึ้นในส่วนของทำระเหย ซึ่งอาจเกิดจากการเติมสารทำงานน้อยเกินไป

2.3.3.4 ชีตจำกัดการเดือด

ชีตจำกัดนี้เกิดขึ้นในกรณีที่ฟลักซ์การถ่ายเทความร้อนสูงมากจนทำให้เกิดฟิล์มไอเคลือบผิวท่อด้านในของส่วนทำระเหยทำให้การถ่ายเทความร้อนลดลงมากจึงเกิดจุดแห้ง (Dry spot) และแถบการแห้ง (Dry patch)

2.3.4 การประยุกต์ใช้งานของท่อเทอร์โมไซฟอน

วิจิตร วุฒิจำนงค์ (2542) ออกแบบและสร้างเครื่องอุ่นอากาศแบบท่อความร้อนสำหรับหม้อไอน้ำสำเร็จรูป ขนาดกำลังผลิตไอน้ำไม่เกิน 1 ตันต่อชั่วโมง ซึ่งอัตราผลิตไอน้ำเพื่อใช้งาน 0.166 ตันต่อชั่วโมงที่ความดันสูงสุด 150 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ผลการทดลองดังกล่าวได้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่สามารถดึงความร้อนจากไอเสียของหม้อไอน้ำมาให้กับอากาศก่อนสันดาป ค่าความร้อนที่ดึงกลับ 12.5 kW ค่าประสิทธิผลด้านของไหลอุณหภูมิต่ำเท่ากับ 0.447 ที่อุณหภูมิไอเสีย 231 °C อุณหภูมิอากาศ 30 °C อัตราการไหลของไอเสียและอากาศ 692.72 m³/hr สามารถลดอุณหภูมิไอเสียให้เหลือเพียง 141.2 °C และเพิ่มอุณหภูมิของอากาศได้เป็น 85.4 °C และค่าทางเศรษฐศาสตร์นั้นได้ระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 1,012 วัน

พลเดช ทองขุนคำ (2543) ออกแบบสร้างและทดสอบอีโคโนไมเซอร์แบบท่อความร้อนสำหรับหม้อไอน้ำสำเร็จรูป ขนาดกำลังผลิตไอน้ำไม่เกิน 1 ตันต่อชั่วโมงซึ่งอัตราผลิตไอน้ำเพื่อใช้งาน 0.166 ตันต่อชั่วโมงที่ความดันสูงสุด 150 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จากผลการทดลองดังกล่าว ได้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่สามารถดึงความร้อนจากไอเสียของหม้อไอน้ำมาให้กับน้ำก่อนเข้าหม้อไอน้ำ ค่าความร้อนที่ดึงกลับ 8.75 kW ค่าประสิทธิผลด้านของไหลอุณหภูมิต่ำเท่ากับ 0.330 ที่อุณหภูมิไอเสีย 231 °C อุณหภูมิของน้ำ 40 °C อัตราการไหลของไอเสีย 692.72 m³/hr และอัตราการ

ไหลของน้ำ 2.6 l/min ทำให้อุณหภูมิไอเสียเหลือเพียง 170.7 °C และเพิ่มอุณหภูมิของน้ำได้เป็น 88.31 °C และค่าทางเศรษฐศาสตร์นั้นได้ระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 981 วัน

วีระ ฟ้าเพื่องวิทยากุล (2547) ประยุกต์เทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบเป็นระบบประหยัดพลังงานสำหรับเครื่องอบแห้งชนิดปั๊มความร้อน โดยการออกแบบและพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องอบแห้งชนิดปั๊มความร้อนแบบไม่มีและมีเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ เป็นระบบประหยัดพลังงานถูกนำมาพิจารณา ชุดทดลองถูกสร้างขึ้นเพื่อทำการเปรียบเทียบผลและยืนยันความถูกต้องของแบบจำลอง การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบสำหรับใช้สำหรับเครื่องอบแห้งชนิดปั๊มความร้อนถูกทำการวิเคราะห์ด้วย แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ถูกพัฒนา รวมทั้งแบบจำลองของเครื่องอบแห้งชนิดปั๊มความร้อนที่ใช้ทำนายลักษณะเฉพาะการถ่ายเทความร้อนของระบบ ปริมาณลำไย คือ 120 กิโลกรัม เงื่อนไขที่เหมาะสม และข้อกำหนดของเครื่องอบแห้งชนิดปั๊มความร้อนคืออัตราการไหลอากาศคือ 450 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ขนาดของส่วนควบแน่นคือ 8 กิโลวัตต์ ขนาดของส่วนทำระเหยคือ 5.25 กิโลวัตต์ และขนาดของเครื่องอัดไอเท่ากับ 2.75 กิโลวัตต์ พบว่าผลของการทดลองมีค่าใกล้เคียงสอดคล้องกับผลของแบบจำลอง และเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบสามารถลดการใช้พลังงานจำเพาะได้จาก 12 – 20% ระยะเวลาในการคืนทุน 3 ปี

Kim *et al.*, 1999 ศึกษาค่าความเร็วรอบพัดลมระบายความร้อนต่อความต้านทานความร้อนของท่อความร้อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 3 mm และ 4 mm มีความยาวท่อ 150mm และ 300 mm ตามลำดับ ใช้วัสดุพูนเป็นแบบ Woven-wire และใช้น้ำเป็นสารทำงาน เขาพบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วของพัดลมจาก 1-3 m/s ค่าความต้านทานความร้อนจะลดลงจาก 1.8-1.2 °C/W และแนวโน้มนี้จะเหมือนกันทุก ๆ ช่วงของภาระความร้อน (Kim *et al.*, 1999)

Soylemez (2003) นำเสนอหลักการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม สำหรับการตัดสินใจสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ประกอบด้วย ต้นทุนในการก่อสร้าง ค่าบำรุงรักษาและการทำงาน อัตราดอกเบี้ย ผลตอบแทนที่ได้ในรูปของเชื้อเพลิง วิเคราะห์หาความคุ้มค่าที่เกิดจากการลงทุนและค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพกับมูลค่าการประหยัดสุทธิ และพื้นที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสมที่สุดในการลงทุน



2.4 ท่อความร้อนแบบสั่น

2.4.1 หลักการทั่วไปของท่อความร้อนแบบสั่น

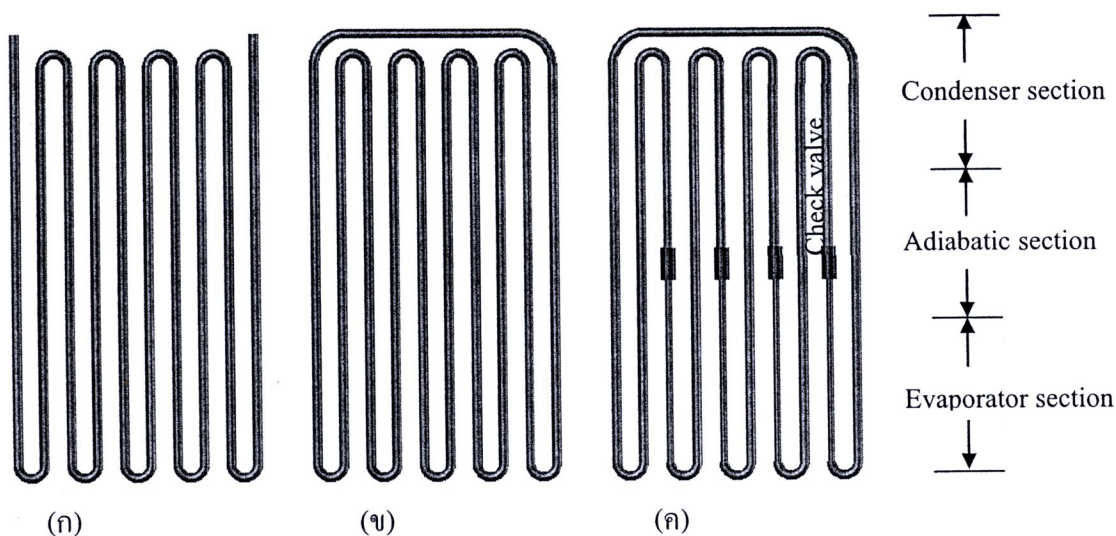
ท่อความร้อนแบบสั่นเริ่มมีการศึกษาครั้งแรกในช่วงปี ค.ศ. 1990 โดย Akachi ได้จัดสิทธิบัตรทะเบียนท่อความร้อนชนิดนี้ขึ้น ท่อความร้อนแบบสั่นสร้างจากท่อคาปิลารีที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางวิกฤติ นำมาขดกลับไปกลับมาดังแสดงในรูปที่ 1 ท่อความร้อนแบบสั่นจัดเป็นอุปกรณ์ที่สามารถแลกเปลี่ยนความร้อนได้โดยไม่ต้องอาศัยพลังงานจากภายนอก สามารถแบ่งโครงสร้างออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนทำระเหย (Evaporator section) ส่วนกันความร้อน (Adiabatic section) และส่วนควบแน่น (Condenser section) เมื่อเติมสารทำงานเข้าไปในท่อความร้อนแบบสั่นที่มีสภาพเป็นสุญญากาศ สารทำงานภายในท่อจะจัดเรียงเป็นฟองไอ (Vapor bubbles) และแท่งของเหลว (Liquid plugs) สลับกันอยู่ภายในท่อตามแนวยาวของท่อ เมื่อปลายโค้งเลี้ยวด้านหนึ่งได้รับความร้อน ก้อนของเหลวและฟองไอยะเกิดการเคลื่อนที่ตามแนวแกนด้วยการกระตุ้นการเคลื่อนที่ด้วยตัวมันเอง โดยมีสาเหตุมาจากการขับเคลื่อนของแรงดันฟองไอรุนแรงและรวดเร็ว เนื่องจากการเดือดแบบฟองและการระเหยของฟิล์มของเหลว แล้วนำความร้อนไปถ่ายเทยังปลายโค้งเลี้ยวอีกด้านหนึ่งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ทำให้ฟองไอยะเกิดการควบแน่นแล้วไหลกลับส่วนทำระเหย และทำงานเป็นวัฏจักรดังกล่าวต่อไป

ท่อความร้อนแบบสั่นสามารถแบ่งออกเป็น 3 แบบได้ตามลักษณะรูปร่างดังนี้

- ท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิด (Closed-end pulsating heat pipe) สร้างจากท่อคาปิลารีที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กๆ นำมาขดไปมาแล้วเชื่อมปิดปลายทั้งสองข้างแยกออกจากกัน ดังรูปที่ 2.4 (ก) ดังนั้นในกรณีนี้การถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นจากการเดือดแบบฟอง (Nucleate boiling) ของสารทำงาน มีทิศทางการเคลื่อนที่ตามแนวท่อ

- ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ (Closed-loop pulsating heat pipe) สร้างจากท่อคาปิลารีที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กๆ นำมาขดไปมาแล้วเชื่อมปลายทั้งสองเข้าด้วยกันให้มีรูปร่างแบบวงรอบปิด เพื่อช่วยลดปัญหาการขัดขวางการเคลื่อนที่ที่บริเวณปลายปิด ดังรูปที่ 2.4 (ข) ดังนั้นในกรณีนี้การถ่ายเทความร้อนจะสูงกว่ากรณีแรกและเกิดจากการเคลื่อนที่ไปมาของของไหลทำงานในแนวแกนของท่อสลับทิศทางไปมา จึงเป็นสาเหตุให้บางครั้งการไหลเวียนหยุดชั่วขณะ

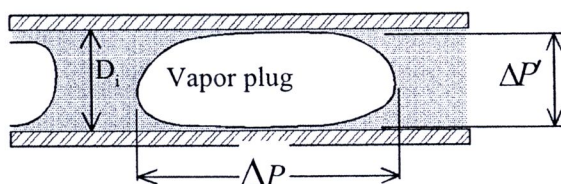
- ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่มีวาล์วกั้นกลับ (Closed-loop pulsating heat pipe with check valves) โดยมีการติดวาล์วกั้นกลับไว้ในท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบตั้งแต่ 1 ตัวขึ้นไป เพื่อให้ของไหลทำงานนำความร้อนไหลเวียนไปในทิศทางที่กำหนดได้อย่างง่ายขึ้น ดังรูปที่ 2.4 (ค) ซึ่งท่อความร้อนชนิดนี้มีค่าการส่งถ่ายความร้อนที่สูงที่สุด แต่เป็นการยากในการสร้างและติดตั้งวาล์วกั้นกลับขนาดเล็ก



รูปที่ 2.4 ประเภทของท่อความร้อน (ก) ท่อความร้อนแบบส้นปลายปิด (ข) ท่อความร้อนแบบส้น
วงรอบ (ค) ท่อความร้อนแบบส้นวงรอบที่มีวาล์วกันกลับ

การที่ท่อความร้อนแบบส้นจะสามารถทำงานได้ดังที่กล่าวมาข้างต้นนั้น สารทำงานที่อยู่ภายในท่อความร้อนที่มีสภาพเป็นสุญญากาศต้องมีลักษณะเป็นแบบฟองไอและก้อนของเหลวสลับกันตลอดช่วงท่อความร้อน อันเป็นผลเนื่องมาจากแรงดึงดูดผิวของสารทำงาน โดยมีเงื่อนไขในการเกิดลักษณะดังกล่าวคือ ความดันไอตามแนวแกนของท่อต้องมากกว่าความดันไอตามแนวขวาง (Maezawa *et al.*, 1995) ดังแสดงในรูปที่ 2.5 สำหรับสารทำงานที่ทราบค่าความหนาแน่นและแรงดึงดูดผิว สามารถหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุดของท่อคาปิลลารีที่สามารถเกิดฟองไอสลับกับก้อนของเหลวตลอดความยาวของท่อ ได้จาก

$$D_{i,\max} = 2 \sqrt{\frac{\sigma}{\rho_l g}}$$



รูปที่ 2.5 การเกิดฟองไอสลับกับก้อนของเหลวในท่อคาปิลลารี (Maezawa *et al.*, 1995)

2.4.2 อัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ

Charoensawan *et al.*, 2007 นำเสนอสมการสหสัมพันธ์ทำนายค่าการส่งถ่ายความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่สภาวะการทำงานปกติไว้ ดังนี้

$$q = \left(\frac{Q}{\pi D_i N 2 L_e} \right) \\ = 0.54 (\exp(\beta))^{0.48} Ka_{liq}^{0.47} Pr_{liq}^{0.27} Ja^{1.43} N^{-0.27}$$

เมื่อ Ka_{liq} คือ Karman number ของของไหลสถานะของเหลว สามารถหาได้จาก

$$Ka_{liq} = \frac{\rho_{liq}(\Delta P)_{liq} D_i^2}{\mu_{liq}^2 L_{eff}}$$

โดยที่ $L_{eff} = 0.5(L_e + L_c) + L_a$

Pr_{liq} คือ Prandtl number ของของไหลสถานะของเหลว สามารถหาได้จากสมการ

$$Pr_{liq} = \frac{C_{p,liq} \cdot \mu_{liq}}{k_{liq}}$$

Ja คือ Jakob number สามารถหาได้จากสมการ

$$Ja = \frac{h_{fg}}{C_{p,liq}(\Delta T)_{sat} e^{-c}}$$

2.4.3 การประยุกต์ใช้งานของท่อความร้อนแบบสั่น

จากการศึกษาและเปรียบเทียบระหว่างท่อความร้อนแบบสั่นทาง 3 ชนิด คือ แบบสั่นปลายปิด แบบสั่นวงรอบ และแบบสั่นวงรอบชนิดมีวาล์วก้นกลับ พบว่าการส่งถ่ายความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบดีกว่าท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิดที่สภาวะต่างๆ ขณะที่ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบชนิดมีวาล์วก้นกลับ มีข้อเสียคือ สร้างยาก และมีค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้น จึงมีการนำท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบไปประยุกต์ใช้งานต่างๆทางวิศวกรรม ดังจะอธิบายได้ดังนี้

Kammuang-lue *et al.* (2005) ศึกษาผลของชนิดสารทำงาน และอัตราการไหลที่มีต่อประสิทธิภาพทางความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ สำหรับระบบปรับอากาศ โดยอาศัยการสะสมพลังงานความร้อนในรูปน้ำแข็ง ชุดทดลองแบ่งออกเป็นสองส่วนหลัก ได้แก่ ถังเก็บน้ำแข็งซึ่งอยู่ด้านบน มีขนาดความจุภายในเท่ากับ $0.39 \times 0.56 \times 0.38 \text{ m}^3$ ซึ่งทำมาจากถังกะสีสองชั้น โดยมีฉนวนโฟมคั่นตรงกลาง และอีกส่วนคือส่วนแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งอยู่ด้านล่าง ใช้วัสดุแบบเดียวกับถังเก็บน้ำแข็งและมีขนาดความจุภายในเท่ากับ $0.35 \times 0.52 \times 0.12 \text{ m}^3$ ทั้งสองส่วนแยกออกจากกันด้วยฐานถังกะสีที่ใช้เป็นตัวยึดท่อความร้อนให้อยู่ในแนวตั้งตลอดเวลา ซึ่งท่อความร้อน

ที่ใช้เป็นแบบสัณวรูปที่ทำจากท่อคาปิลลารีทองแดง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.78 มม. มีความยาวส่วนทำระเหย ส่วนควบแน่นและส่วนกันความร้อน เท่ากับ 100 220 และ 30 มม. ตามลำดับ สารทำงานที่ใช้ได้แก่ R-134a และ MP39 ในการทดลองเริ่มจากบรรจุน้ำแข็งจนเต็มถึงเกือบ จากนั้นทำการปั๊มน้ำที่ควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 30 °C ผ่านส่วนแลกเปลี่ยนความร้อน บนทีกอุณหภูมิและอัตราการไหลเชิงมวล เพื่อนำไปคำนวณหาค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนและค่าประสิทธิผลทางความร้อนต่อไป จากการทดลองพบว่าเมื่อเปลี่ยนสารทำงานจาก R-134a ไปเป็น MP39 หรือเปลี่ยนค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไ้อจาก 181 kJ/kg ไปเป็น 190 kJ/kg พบว่าค่าประสิทธิผลทางความร้อนลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของของไหลที่แลกเปลี่ยนความร้อน หรือเพิ่มค่า Re จะทำให้ให้ค่าประสิทธิผลทางความร้อนลดลง

Meena *et al.* (2006) ศึกษาการนำชุดท่อความร้อนแบบสัณวรูปชนิดมีวาล์วก้นกลับ เพื่อดึงความร้อนสำหรับลดความชื้นสัมพัทธ์ ชุดแลกเปลี่ยนความร้อนประกอบด้วย ท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.002 มม. ยาว 3.58 เมตร ส่วนทำระเหย และส่วนควบแน่นมีขนาดเท่ากัน คือ 0.19 เมตร ส่วนกันความร้อน 0.08 เมตร ความเร็วของอากาศร้อน 0.5 0.75 และ 1 m/s ตามลำดับ อุณหภูมิของอากาศร้อน 50 60 และ 70 °C ตามลำดับ ความชื้นสัมพัทธ์ 100% ใช้สารทำงาน R-134a ที่อัตราส่วนการเติม 50 % พบว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่ออุณหภูมิอากาศเพิ่มจาก 50 เป็น 70 °C และความเร็วอากาศเพิ่มขึ้นจาก 0.5 0.75 และ 1 m/s ทำให้อัตราการส่งถ่ายความร้อนและประสิทธิผลเพิ่มขึ้นเล็กน้อย อุณหภูมิของอากาศร้อนที่เพิ่มขึ้นจาก 50 เป็น 70 °C ทำให้ประสิทธิผลเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และช่วงของความชื้นสัมพัทธ์ลดลงจากช่วง 89-100% เป็น 54-72% จึงสรุปได้ว่า การติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบสัณวรูปชนิดมีวาล์วก้นกลับ จะช่วยลดความชื้นสัมพัทธ์ในระบบ

2.5 เศรษฐศาสตร์ของระบบพลังงานรังสีอาทิตย์

การเลือกระบบพลังงานรังสีอาทิตย์มาใช้นั้น นอกจากจะคำนึงถึงสมรรถนะของระบบแล้ว สิ่งที่สำคัญอีกอย่างคือ การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ ถึงแม้ว่าระบบพลังงานรังสีอาทิตย์จะมีสมรรถนะสูงเพียงใดก็ตาม แต่ถ้าวการลงทุนสูงก็ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้งาน การตัดสินใจว่าจะเลือกระบบพลังงานรังสีอาทิตย์แบบไหน จะขึ้นอยู่กับค่าใช้จ่ายและต้นทุนพลังงานความร้อน – ไฟฟ้าที่ผลิตได้

2.5.1 ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน

$$C_s = \frac{C_o}{Q \times T \times \eta_c}$$

เมื่อ C_s คือ ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน

C_o คือ ค่าใช้จ่ายเริ่มต้น

T คือ อายุการใช้งานของระบบ

Q คือ พลังงานรังสีอาทิตย์โดยเฉลี่ยตลอดปีที่ได้รับ

η_c คือ ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์

2.5.2 วิธีวิเคราะห์หาต้นทุนรายปี (Annual Cost Method)

วิธีการหาเงินค่าใช้จ่าย หรือ เงินลงทุนเทียบเท่ารายปีของระบบ โดยเปลี่ยนค่าใช้จ่ายต่าง ๆ เช่น เงินลงทุนเริ่มต้น ค่าดำเนินงาน ค่าบำรุงรักษา และค่าเสื่อมราคาให้มาอยู่ในรูปค่าใช้จ่ายรายปี ถ้าระบบใดมีค่าใช้จ่ายรายปีต่ำกว่า แสดงว่าระบบนั้นนำลงทุนมากกว่า คำนวณดังนี้

$$AC = (P1 + P2)(CRF) + OM - S(SFF)$$

$$\text{เมื่อ } CRF = [i(1+i)^n] / [(1+i)^n - 1]$$

$$SFF = i / [(1+i)^n - 1]$$

AC คือ ค่าใช้จ่ายสุทธิตลอดปีของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Baht/year)

$P1$ คือ ราคาอุปกรณ์อื่น ๆ (Baht)

$P2$ คือ ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบ (Baht)

OM คือ ค่าดำเนินงานและบำรุงรักษารายปี (Baht/year)

S คือ มูลค่าซากของระบบ (Baht)

i คือ อัตราดอกเบี้ยต่อปี

n คือ อายุการใช้งานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (year)

CRF คือ Capital recovery factor

SFF คือ Sinking fund factor

2.5.3 อัตราผลตอบแทนการคืนทุน (Internal Rate of Return, IRR)

อัตราผลตอบแทนในการลงทุน หรือ อัตราส่วนลด ที่ทำให้มูลค่าเงินปัจจุบันสุทธิในการลงทุน (Net Present Value, NPV) เท่ากับศูนย์หรือเข้าใกล้ศูนย์ วิธีนี้มีการนำเอาอัตราดอกเบี้ยมารวบรวมคำนวณด้วย ทำให้สามารถวิเคราะห์ได้ถูกต้องมากขึ้น วิธีการหาอัตราผลตอบแทนในการลงทุนเป็นการหาโดยใช้วิธีลองผิดลองถูก (Trial and Error)

$$NPV = \sum_{n=1}^N \frac{NCF_n}{(1+i)^n} - TIC = 0$$

เมื่อ NCF_n คือ กระแสเงินสดสุทธิของปีที่ n (Baht)

i คือ อัตราผลตอบแทนในการลงทุน

n คือ อายุการใช้งานของระบบพลังงานรังสีอาทิตย์ (year)

TIC คือ มูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุนทั้งหมด (Baht)



2.5.4 ระยะเวลาคืนทุน (Simple Payback period, SPP)

ระยะเวลาคืนทุน คือระยะเวลาที่ผลตอบแทนสุทธิสะสมจากการดำเนินงานมีค่าเท่ากับค่าเงินลงทุน ผลที่ได้รับจากการประเมินการลงทุนโดยวิธีนี้จะทำให้ทราบว่า จะได้รับเงินคืนทุนช้าหรือเร็วเท่าใด ถ้าคืนทุนได้เร็วเท่าใดก็จะดีมากขึ้นเท่านั้น เพราะ โอกาสเสี่ยงต่อการขาดทุนในอนาคตมีน้อยลง วิธีระยะคืนทุนเบื้องต้นเป็นวิธีคิดแบบง่าย และเป็นที่นิยมใช้แต่มีข้อเสียคือ ไม่ได้พิจารณาถึงผลตอบแทนที่ได้รับหลังระยะคืนทุนแล้ว และไม่พิจารณาการปรับมูลค่าเงินตามเวลาในกรณีผลตอบแทน และค่าใช้จ่ายในแต่ละปีมีค่าเท่ากันทุกปีระยะเวลาคืนทุนหาได้ดังนี้

$$SPP = \frac{\text{First Cost}}{\text{Cost Saving}}$$