SWU Engineering Journal (2010) 5(2), 20-28 วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีที่ 5 ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม - ธันวาคม พ.ศ.2553

ระบบทำความเย็นแบบดูดซึมจากพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้สารทำงานทดแทน
Solar Absorption Refrigeration System Using Alternative Working Fluid

อาจรี ศุภสุธีกุล
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
โทรศัพท์ 02-649-5000 ต่อ 2102 โทรสาร 037-322-601
E-mail : ajaree@swu.ac.th

บทคัดย่อ

ในช่วงหลายสิบปีที่ผ่านมาระบบทำความเย็นแบบดูดซึมจากพลังงานแสงอาทิตย์ได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้นจากนักวิจัย เนื่องจากเป็นระบบที่อาศัยพลังงานความร้อนเป็นพลังงานหลักในการขับเคลื่อน สารทำงานที่ใช้ในระบบเป็นส่วนสำคัญที่สามารถช่วยในการพัฒนาประสิทธิภาพการทำงานของระบบให้ดีขึ้นได้ งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาระบบทำความเย็นแบบดูดซึมโดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์และใช้สารสารละลายโพแตสเซียมฟอร์เมตกับน้ำเป็นคู่สารทำงานโดยการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ เพื่อศึกษาทางทฤษฎีถึงลักษณะการทำงานของระบบ ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบ และประสิทธิภาพของระบบที่สภาวะการทำงานต่างๆ ผลการวิเคราะห์พบว่าการใช้คู่สารโพแตสเซียมฟอร์เมต-น้ำเป็นสารทำงานในระบบทำความเย็นแบบดูดซึมโดยอาศัยพลังงานจากแสงอาทิตย์ ทำให้ระบบมีคุณลักษณะการทำงานที่ใกล้เคียงกับระบบที่ใช้สารทำงานลิเธียมโบรไมด์-น้ำ มีประสิทธิภาพโดยรวมที่ต่ำกว่าเล็กน้อย โดยมีความแตกต่างของ COP~0.05 สารละลายโพแตสเซียมฟอร์เมตมีค่าความดันไอที่สูงกว่าสารละลายลิเธียมโบรไมด์ การนำไปใช้จึงควรคำนึงถึงอุณหภูมิของชุดดูดกลืนเป็นสำคัญ อีกทั้งระบบที่ใช้คู่สารทำงานโพแตสเซียมฟอร์เมต-น้ำทำงานที่อุณหภูมิของคอนเดนเซอร์สูงกว่าระบบที่ใช้คู่สารทำงานลิเธียมโบรไมด์-น้ำ แต่เนื่องจากสารโพแตสเซียมฟอร์เมตมีต้นทุนทางการผลิตที่ต่ำกว่า การกัดกร่อนที่น้อยกว่า ไม่เป็นพิษ ไม่มีส่วนผสมของสาร CFC ที่ทำลายสิ่งแวดล้อม จึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่จะสามารถนำมาใช้ทดแทนสารทำงานในปัจจุบันได้

คำสำคัญ: ระบบทำความเย็นแบบดูดซึม ระบบทำความเย็นแบบดูดซึมจากพลังงานแสงอาทิตย์ สารทำงานทดแทน โพแตสเซียมฟอร์เมต

ABSTRACT

Over the past decades absorption refrigeration system has been given more and more attentions from researchers as thermal energy is used as main energy to drive the system. Working fluids use in the system play an important role in improving the system’s performance. This research studied a solar absorption refrigeration system using potassium formate/water as working fluid pairs by developing the mathematical model to theoretically investigate the characteristic of the system, factors effecting the performance of the system, and performance of the system at different operating conditions. According to the simulation results, using potassium formate/water as working fluid pairs in the solar absorption refrigeration system indicated similar characteristic as using lithium bromide/water as working fluid pairs but slightly less overall performance. The different in COP is about 0.05. As potassium formate

has higher vapour pressure than lithium bromide, the temperature of absorber should be considered when using in the system. Also, the solar absorption refrigeration system using potassium formate/water as working pairs requires operating at higher condenser temperature than using lithium bromide/water. However, due to lower cost, non-toxic and no CFC's contained potassium formate does show potential to be a replacement working pair to the conventional one.

Keyword: Absorption Refrigeration Systems, Solar Absorption Refrigeration Systems, Alternative Working Fluid, Potassium formate

1. บทนำ

ในภาวการณ์ปัจจุบันรูปแบบการใช้พลังงานได้เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา มีผลทำให้อัตราความต้องการใช้พลังงานต่างๆ ภายในประเทศเพิ่มมากขึ้น นับว่าเป็นภาระหนักต่อฐานะการเงินและกองทุนของประเทศในการจัดหาพลังงานมาใช้ให้พอเพียงเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของธุรกิจอุตสาหกรรมและสถานประกอบการต่างๆ ประเทศไทยมีแสงอาทิตย์เกือบตลอดทั้งปี โดยพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าประมาณ 17 MJ/m^{2}day ซึ่งมีศักยภาพเพียงพอที่จะนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้เป็นประโยชน์ได้ [1] พลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตน้ำร้อนได้โดยใช้ ตัวรับรังสีอาทิตย์ (Solar Collector) ปัจจุบันการใช้เครื่องทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ได้นิยมแพร่หลายอย่างกว้างขวางทั่วโลก ทั้งในยุโรป อเมริกา แคนาดา ญี่ปุ่น และประเทศจีน สำหรับในประเทศไทยยังมีการใช้งานในระดับที่ไม่สูงนักด้วยเหตุผลจากเรื่องราคาลงทุนเบื้องต้นสูง การใช้น้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานที่ได้เปล่า สะอาด และไม่ทำลายสภาพแวดล้อม

ระบบทำความเย็นแบบดูดซึมเป็นระบบที่ใช้ความร้อนในการขับเคลื่อน การนำเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาให้ความร้อนกับระบบ ทำให้ระบบนี้สามารถทำงานได้โดยปราศจากการใช้พลังงานไฟฟ้า สารคู่ทำงานที่ใช้ในระบบทำความเย็นแบบดูดซึมกันอย่างแพร่หลาย คือ สารลิเธียมโบรไมด์และน้ำ และสารแอมโมเนียและน้ำ โดยระบบที่ใช้สารทำงานชนิดแอมโมเนียเป็นและน้ำสามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิค่อนข้างต่ำ เช่น การทำงานในช่วงอุณหภูมิระหว่าง -10°C ถึง 0°C แอมโมเนียเป็นสารอันตรายต่อสุขภาพและมีข้อห้ามในการใช้ในอาคารที่อยู่อาศัยในหลายประเทศ งานวิจัยหลายงานทั้งการศึกษาทางทฤษฎีและจากการทำการทดลองพบว่าการใช้สารแอมโมเนียและน้ำส่งผลให้สัมประสิทธิประสิทธิภาพ (Coefficient of Performance, COP) ของระบบอยู่ในเกณฑ์ต่ำ [2-5] สารละลายลิเธียมโบรไมด์แม้จะไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและให้ค่า COP ของระบบที่สูงกว่าการใช้สารแอมโมเนียและน้ำเป็นสารทำงาน (COP ~ 0.6) [6-7] แต่มีราคาที่สูง ไม่สามารถทำงานที่อุณหภูมิต่ำได้ เมื่อทำงานที่อุณหภูมิและความเข้มข้นสูงก็อาจจะเกิดการตกผลึก ซึ่งจะก่อปัญหาให้กับระบบได้ งานวิจัยจำนวนมากได้มุ่งเน้นในการพัฒนาประสิทธิภาพของระบบ สารทำงานชนิดใหม่ได้มีการทดลองทั้งทางทฤษฎีและปฏิบัติ [8-11]

สารโพแตสเซียมฟอร์เมตเป็นสารที่มีคุณลักษณะทางกายภาพหลายประการที่สามารถจะนำไปใช้เป็นสารตัวดูดซึมที่ดีได้ [12-13] โดยมีลักษณะเป็นของเหลวใส ไม่มีสี มีกลิ่นเล็กน้อย และสามารถละลายน้ำได้ โพแตสเซียมฟอร์เมตยังเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ เนื่องจากสามารถใช้น้ำซึ่งหาได้ทั่วไปและมีราคาถูก มาเป็นคู่สารทำความเย็นให้กับระบบได้ มีคุณสมบัติในการกัดกร่อนที่น้อยกว่า มีความถ่วงจำเพาะและความหนืดน้อยกว่า และ

มีความเป็นพิษน้อยกว่า (pH 9-10) เมื่อเทียบกับลิเธียมโบรไมด์ (pH 12-14)

งานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์ระบบทำความเย็นแบบดูดซึมโดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์และใช้สารสารละลายโพแตสเซียมฟอร์เมตกับน้ำเป็นสารทำงานด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาถึงข้อมูลลักษณะการทำงานปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานและประสิทธิภาพของระบบที่สภาวะการทำงานต่างๆ โดยแบบจำลองที่ใช้สร้างขึ้นอ้างอิงจากหลักการสมดุลมวลและสมดุลพลังงานการถ่ายเทความร้อนและมวลสำหรับอุปกรณ์ต่างๆในระบบ

รายการสัญลักษณ์

COP	สัมประสิทธิประสิทธิภาพ
h	เอนทาลปี (kJ/kg)
m	อัตราการไหล (kg/sec)
SCR	อัตราส่วนการไหล
T	อุณหภูมิ (K)
Q	พลังงานความร้อน (kW)
W	งานที่ป้อนให้กับปั๊ม (kW)
X	ความเข้มข้นของสารละลาย($\%_{wt}$)
Abs	ชุดดูดกลืน
Cond	คอนเดนเซอร์
Evap	เครื่องระเหย
Gen	อุปกรณ์แยกสารทำความเย็น
Pump	ปั๊ม
ε	ค่าประสิทธิผล

2. การวิเคราะห์พลังงานจากกฎข้อที่หนึ่งของอุณหพลศาสตร์

ระบบทำความเย็นแบบดูดซึมโดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์แสดงดังรูปที่ 1 ไอของสารทำความเย็น (Refrigerant) ที่ความดันต่ำจากเครื่องระเหย (Evaporator) จะถูกดูดซึมโดยสารละลายเข้มข้น (Strong Solution) สภาวะของเหลวในชุดดูดกลืน (Absorber) ปั๊มได้รับสารละลายเจือจาง(Weak Solution)ในสภาวะของเหลวจากชุดดูดกลืน เพิ่มความดันของสารละลายเจือจางนั้นแล้วส่งไปยังอุปกรณ์แยกสารทำความเย็น (Generator) โดยสารละลายเจือจางนั้น หมายถึงสารละลายที่มีระดับความสามารถในการดูดซึมไอของสารทำความเย็นได้ต่ำ ในอุปกรณ์แยกสารทำความเย็น ความร้อนจากแหล่งพลังงานความร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์จะทำให้สารละลายผสมเดือดและสารทำความเย็นกลายเป็นไอ และสารละลายที่เข้มข้นนั้นจะถูกส่งกลับไปยังชุดดูดกลืนผ่านทางวาล์วลดความดันซึ่งทำหน้าที่ปรับความดันและรักษาสมดุลความดันระหว่างอุปกรณ์แยกสารทำความเย็นและชุดดูดกลืน ไอของสารทำความเย็นที่ความดันสูงกลั่นตัวสู่สภาวะของเหลวในคอนเดนเซอร์และไหลเข้าสู่เครื่องระเหยผ่านทางวาล์วลดความดัน ที่ทำหน้าที่ในการรักษาสมดุลของความดันระหว่างคอนเดนเซอร์และเครื่องระเหย เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะถูกติดตั้งเพิ่มเข้าไปในระบบดังแสดงในรูปที่ 1

ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบแสดงได้โดยค่า COP ซึ่งนิยามได้ว่าอัตราการทำความเย็นที่ได้จากระบบส่วนด้วยอัตราความร้อนที่ให้กับอุปกรณ์แยกสารทำความเย็นบวกด้วยงานที่ป้อนในกับปั๊ม ดังแสดงได้ว่า

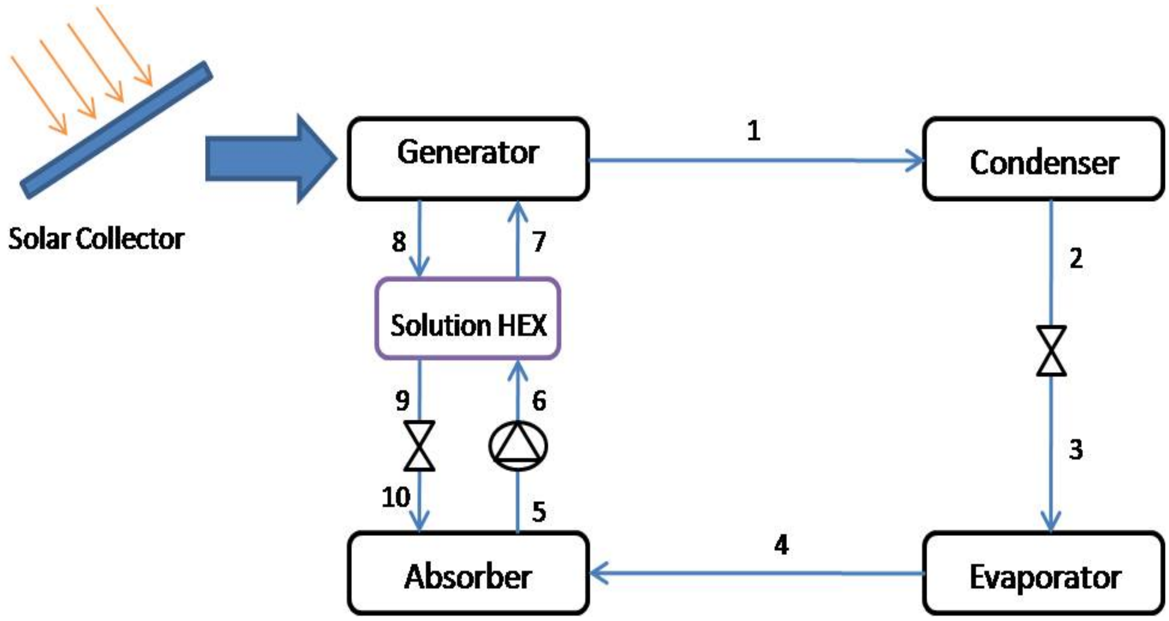
$$COP = \frac{Q_{Evap}}{Q_{Gen} + W_{Pump}} \qquad (1)$$

การวิเคราะห์โดยอาศัยหลักการอนุรักษ์พลังงานและการอนุรักษ์มวลที่อุปกรณ์ต่างๆในระบบ พบว่า

$$m_7 = m_1 + m_8 \qquad (2)$$

$$m_7 X_7 = m_1 X_1 + m_8 X_8 \qquad (3)$$

$$Q_{Gen} = m_1 h_1 + m_8 h_8 - m_7 h_7 \qquad (4)$$



รูปที่ 1 วัฏจักรทำความเย็นแบบดูดซึมโดยอาศัยพลังงานจากแสงอาทิตย์

จากสมการที่ (2) และ (3) อัตราการไหลเชิงมวลของสารละลายผสมเข้มข้นและสารละลายผสมเจือจาง สามารถแสดงได้ ดังนี้

$$m_7 = \frac{1-X_8}{X_7-X_8} m_1 \tag{5}$$

$$m_8 = \frac{1-X_7}{X_7-X_8} m_1 \tag{6}$$

อัตราส่วนการไหลของสารทำงานในระบบ ซึ่งคือ อัตราส่วนระหว่างอัตการไหลเชิงมวลของละลายผสมจากชุดดูดกลืนไปยังอุปกรณ์แยกสารทำความเย็น และอัตการไหลเชิงมวลของสารทำความเย็นสามารถแสดงได้ดังสมการ

$$SCR = \frac{m_7}{m_1} \tag{7}$$

สมดุลพลังงานที่เกิดขึ้นที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน แสดงได้ดังต่อไปนี้

$$T_9 = \varepsilon T_6 + (1-\varepsilon) T_8 \tag{8}$$

$$h_7 = h_6 + \frac{m_8}{m_6}(h_8 - h_9) \tag{9}$$

งานที่ป้อนให้กับปั้ม พิจารณาได้จาก

$$h_6 = h_5 + (P_6 - P_5)v_6 \tag{10}$$

$$W_{Pump} = (P_6 - P_5)v_6 \tag{11}$$

และจากหลักการสมดุลพลังงานที่เครื่องระเหย ชุดดูดกลืน และคอนเดนเซอร์ พบว่า

$$Q_{Abs} = m_4 h_4 + m_{10} h_{10} - m_5 h_5 \tag{12}$$

$$Q_{Cond} = m_1(h_1 - h_2) \tag{13}$$

$$Q_{Evap} = m_1(h_4 - h_3) \tag{14}$$

3. ผลการทดลอง

แบบจำลองการคำนวณทางคณิตศาสตร์สำหรับการทำงานของระบบทำความเย็นแบบดูดซึมโดยอาศัยพลังงานจากแสงอาทิตย์ได้ถูกสร้างขึ้น เพื่อใช้ในการวิเคราะห์สภาวะการทำงานของระบบที่สภาวะต่างๆ ของคู่สารทำงานลิเธียมโบรไมด์-น้ำ (LiBr-H_2O) และโพแตสเซียมฟอร์เมต-น้ำ (HCOOK-H_2O)

การทดลองได้กำหนดค่าการทำงานของระบบที่สภาวะการทำงานในต่างๆออกเป็นช่วงสภาวะที่เหมาะสม ภาระความเย็นสำหรับเครื่องระเหยได้ถูก

กำหนดคงที่ไว้ที่ 5 กิโลวัตต์ สำหรับทุกสภาวะการทำงาน เพื่อลดความยุ่งยากในการคำนวณ กำหนดให้ไอของสารทำความเย็นที่ออกจากเครื่องระเหยอยู่ในสถานะไออิ่มตัว และความร้อนสูญเสียในท่อและข้อต่อต่าง ๆภายในระบบถือว่าไม่มีผลกระทบกับการทำงานของระบบโดยรวม

ตารางที่ 1 และ 2 แสดงคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่ตำแหน่งต่าง ๆบนวัฏจักรการทำความเย็นแบบดูดซึมโดยอาศัยพลังงานแสงอาทิตย์เมื่อใช้สารละลายลิเธียมโบรไมด์-น้ำและสารละลายโพแตสเซียมฟอร์เมต-น้ำเป็นสารทำงาน ตามลำดับ โดยกำหนดให้ค่าประสิทธิผลของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 80% และความแตกต่างของสารละลายเข้มข้นและเจือจางเท่ากับ 4%

ตารางที่1 คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่ตำแหน่งต่าง ๆบนวัฏจักร เมื่อใช้สารละลายลิเธียมโบรไมด์-น้ำเป็นสารทำงาน

State	T(°C)	P (kPa)	X (%)	m (kg/sec)
- Generator ref exit	75	8.7	0	0.002
- Condenser ref exit	43.3	8.7	0	0.002
- Evaporator ref exit	5	0.86	0	0.002
- Generator sol inlet	65	8.7	49.9	0.029
- Generator sol exit	75	8.7	53.9	0.027
- Absorber sol inlet	29.8	0.86	53.9	0.027
- Absorber sol exit	25	0.86	49.9	0.029

ตารางที่2 คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่ตำแหน่งต่าง ๆบนวัฏจักรเมื่อใช้สารละลายโพแตสเซียมฟอร์เมต-น้ำเป็นสารทำงาน

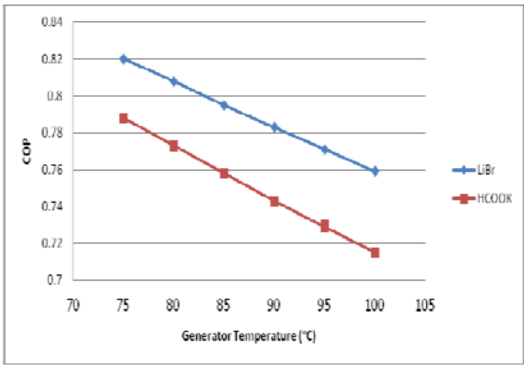
State	T(°C)	P (kPa)	X (%)	m (kg/sec)
- Generator ref exit	75	9.5	0	0.002
- Condenser	45	9.5	0	0.002
- Evaporator	5	0.86	0	0.002
- Generator sol inlet	65	9.5	73.13	0.041
- Generator sol exit	75	9.5	77.13	0.039
- Absorber sol inlet	31.6	0.86	77.13	0.039
- Absorber sol exit	25	0.86	73.13	0.041

จากผลดังแสดงในตารางที่ 1 และ 2 จะเห็นได้ว่าอัตราการไหลของสารทำงานรวมของระบบ คือ 0.029 และ 0.041 kg/sec สำหรับวัฏจักรการทำความเย็นแบบดูดซึมโดยอาศัยพลังงานแสงอาทิตย์เมื่อใช้สารละลายลิเธียมโบรไมด์และสารละลายโพแตสเซียมฟอร์เมตเป็นสารทำงาน ตามลำดับ ส่งผลให้ระบบที่ใช้สารละลายโพแตสเซียมฟอร์เมตเป็นสารทำงานจำเป็นจะต้องใช้ปั้มที่มีขนาดใหญ่กว่า

3.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอุปกรณ์แยกสารทำความเย็น

รูปที่ 2 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพของระบบเมื่ออุณหภูมิของอุปกรณ์แยกสารทำความเย็นเปลี่ยนไป ค่าเริ่มต้นของความเข้มข้นของสารละลายเจือจางถูกกำหนดไว้เพื่อให้ได้อุณหภูมิของเครื่องระเหยเท่ากับ 5 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิของชุดดูดกลืนเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส และความแตกต่างระหว่างความ

เข้มข้นของสารละลายเข้มข้นและสารละลายเจือจางถูกควบคุมให้มีความเข้มข้นต่างกัน 4%$_{wt}$

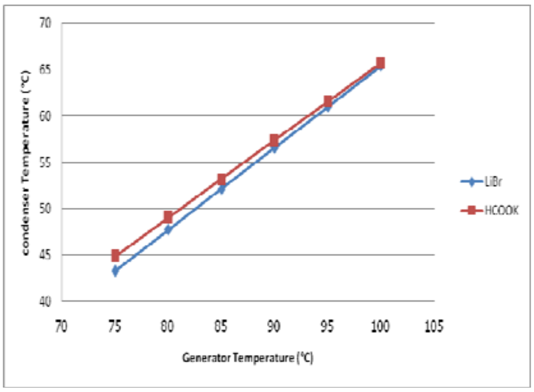


รูปที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นแบบดูดซึมโดยอาศัยพลังงานจากแสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิของอุปกรณ์แยกสารทำความเย็นต่างๆ

จากการทดลองพบว่าเมื่ออุณหภูมิของอุปกรณ์แยกสารทำความเย็นเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิประสิทธิภาพของระบบลดลง เมื่อระบบทำงานโดยใช้คู่สารทำงานโพแตสเซียมฟอร์เมต-น้ำ ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพของระบบที่ได้จะต่ำกว่าเมื่อระบบทำงานโดยใช้คู่สารทำงานลิเธียมโบรไมด์-น้ำ โดยคิดเป็นความแตกต่างเฉลี่ยได้ 4.87% สาเหตุเนื่องมาจากการที่ระบบซึ่งใช้คู่สารทำงานโพแตสเซียมฟอร์เมต-น้ำ ต้องทำงานที่ความเข้มข้นสูงกว่าระบบซึ่งใช้คู่สารทำงานลิเธียมโบรไมด์-น้ำมาก จึงทำให้ต้องมีอัตราการไหลของสารทำงานระหว่างชุดดูดกลืนและอุปกรณ์แยกสารทำความเย็นเพิ่มขึ้น เพื่อที่จะให้ได้ปริมาณอัตราการไหลของสารทำความเย็นเกิดขึ้นเพียงพอต่อภาระความเย็นที่ต้องการ

3.2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของคอนเดนเซอร์

เมื่อเปรียบเทียบการทำงานของระบบโดยพิจารณาจากอุณหภูมิของคอนเดนเซอร์ ดังรูปที่ 3 ซึ่งแสดงอุณหภูมิของคอนเดนเซอร์เมื่ออุณหภูมิของอุปกรณ์แยกสารทำความเย็นเปลี่ยนแปลง พบว่าเมื่ออุณหภูมิของอุปกรณ์แยกสารทำความเย็นที่เท่ากันจะพบว่า ระบบที่ทำงานโดยใช้คู่สารทำงานลิเธียมโบรไมด์-น้ำ จะมีอุณหภูมิของคอนเดนเซอร์ต่ำกว่าระบบที่ทำงานโดยใช้คู่สารทำงานโพแตสเซียมฟอร์เมต-น้ำ

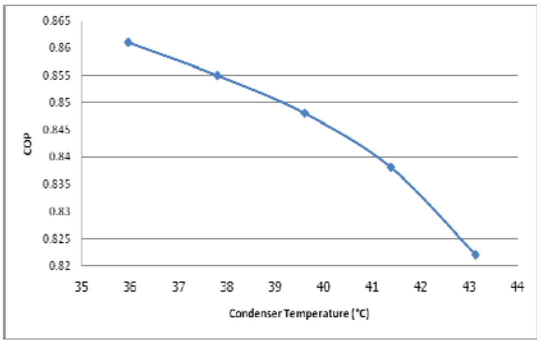


รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของคอนเดนเซอร์ของระบบทำความเย็นแบบดูดซึมโดยอาศัยพลังงานจากแสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิของอุปกรณ์แยกสารทำความเย็นต่างๆ

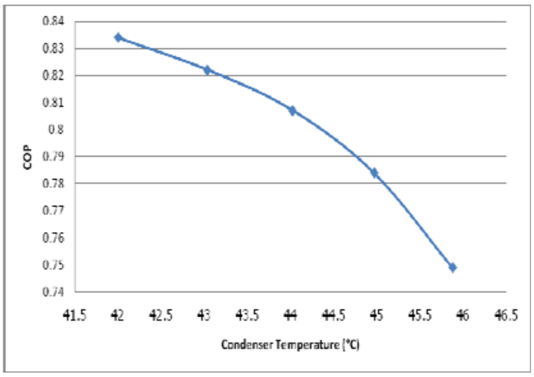
เมื่ออุณหภูมิของอุปกรณ์แยกสารทำความเย็นเพิ่มขึ้น อุณหภูมิของคอนเดนเซอร์จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากความเข้มข้นของสารละลายเข้มข้นได้ถูกควบคุมไว้ จึงส่งผลให้สารทำความเย็นที่ถูกส่งจากอุปกรณ์แยกสารทำความเย็นไปยังคอนเดนเซอร์มีความดันและอุณหภูมิสูงขึ้น โดยหากต้องการรักษาอุณหภูมิของคอนเดนเซอร์ให้คงที่เมื่ออุณหภูมิของอุปกรณ์แยกสารทำความเย็นเพิ่มขึ้น จำเป็นจะต้องเพิ่มระดับความเข้มข้นของสารละลายเข้มข้นให้สูงขึ้นซึ่งสำหรับคู่สารทำงานลิเธียมโบรไมด์-น้ำ จะทำให้มีความเสี่ยงในการตกผลึกของสารมากขึ้น และสำหรับคู่สารทำงานโพแตสเซียมฟอร์เมต-น้ำ จะส่งผลให้ค่าความเข้มข้นของสารละลายเข้มข้นสูงเกินกว่าขอบเขตการทำงาน

รูปที่ 4 และ 5 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นแบบดูดซึมโดยอาศัยพลังงานจากแสงอาทิตย์ เมื่อระบบทำงานที่อุณหภูมิของคอนเดนเซอร์ต่างๆ เมื่ออุณหภูมิของเครื่องระเหยเท่ากับ 5 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของอุปกรณ์แยกสารทำความเย็นเท่ากับ 75

องศาเซลเซียส และอุณหภูมิของชุดดูดกลืนเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นสูงสุดของสารละลายเข้มข้นสำหรับคู่สารทำงานโพแตสเซียมฟอร์เมต-น้ำ ถูกควบคุมให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด โดยมีค่าไม่เกิน 80%$_{wt}$ ทำให้อุณหภูมิต่ำสุดที่เป็นไปได้ของคอนเดนเซอร์คือ 42 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4 ค่าสัมประสิทธิประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นแบบดูดซึมโดยอาศัยพลังงานจากแสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิของคอนเดนเซอร์ต่างๆเมื่อใช้สารละลายลิเธียมโบรไมด์-น้ำเป็นสารทำงาน

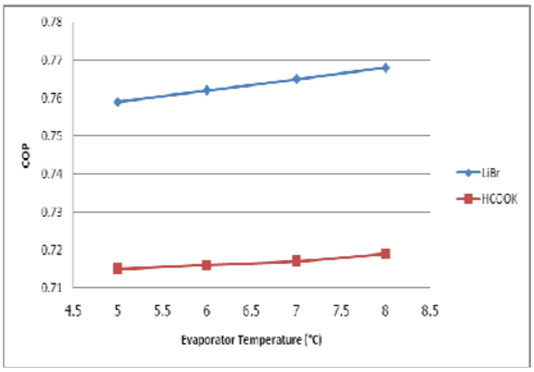


รูปที่ 5 ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นแบบดูดซึมโดยอาศัยพลังงานจากแสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิของคอนเดนเซอร์ต่างๆเมื่อใช้สารละลายโพแตสเซียมฟอร์เมต-น้ำเป็นสารทำงาน

การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของคอนเดนเซอร์ส่งผลให้ประสิทธิภาพของระบบลดต่ำลงสำหรับทั้งระบบที่ใช้สารทำงานทั้งลิเธียมโบรไมด์-น้ำ และโพแตสเซียมฟอร์เมต-น้ำ โดยระบบที่ใช้คู่สารทำงานลิเธียมโบรไมด์-น้ำจะสามารถทำงานที่อุณหภูมิของคอนเดนเซอร์ต่ำกว่าระบบที่ใช้คู่สารทำงานโพแตสเซียมฟอร์เมต-น้ำได้ เนื่องจากความเข้มข้นของสารต่ำกว่า

3.3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเครื่องระเหย

การเปลี่ยนแปลงของค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นแบบดูดซึมโดยอาศัยพลังงานจากแสงอาทิตย์เมื่อระบบทำงานที่อุณหภูมิของเครื่องระเหยต่างๆ แสดงได้ดังรูปที่ 6

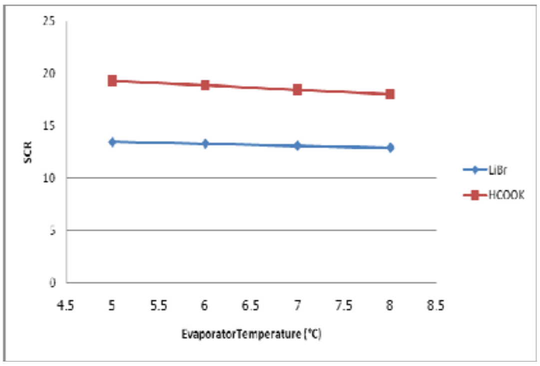


รูปที่ 6 ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นแบบดูดซึมโดยอาศัยพลังงานจากแสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิของเครื่องระเหยต่างๆ

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าระบบที่ทำงานโดยใช้คู่สารทำงานลิเธียมโบรไมด์-น้ำ จะมีค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพของระบบสูงกว่าระบบที่ทำงานโดยใช้คู่สารทำงานโพแตสเซียมฟอร์เมต-น้ำ และเมื่ออุณหภูมิของเครื่องระเหยเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

อัตราส่วนการไหลของสารทำงานในระบบเป็นปัจจัยที่สำคัญในการพิจารณาการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในระบบ รูปที่ 7 แสดงอัตราส่วนการไหลของสารทำงานที่อุณหภูมิของเครื่องระเหยต่างๆ สังเกตได้ว่าอุณหภูมิของเครื่องระเหยไม่ส่งผลกระทบที่โดดเด่นต่ออัตราส่วนการไหลของสารทำงาน โดยทำให้อัตราส่วนการไหลของสารทำงานลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้นเมื่อเครื่องระเหยมีอุณหภูมิสูงขึ้น จากรูปเห็นได้ว่าระบบที่ใช้คู่สารทำงานโพแตสเซียมฟอร์เมต-น้ำเป็นสารทำงานนั้นมี

ค่าอัตราส่วนการไหลของสารทำงานสูงกว่าระบบที่ใช้คู่สารทำงานลิเธียมโบรไมด์-น้ำ นั่นหมายถึงระบบที่ใช้คู่สารโพแตสเซียมฟอร์เมต-น้ำเป็นสารทำงานจะต้องการปั้มสารละลายที่ทำงานได้เร็วขึ้นหรือมีกำลังมากขึ้นนั่นเอง



รูปที่ 7 อัตราส่วนการไหลของสารทำงานในระบบทำความเย็นแบบดูดซึมโดยอาศัยพลังงานจากแสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิของเครื่องระเหยต่างๆ

4. สรุป

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบทำความเย็นแบบดูดซึมโดยอาศัยพลังงานจากแสงอาทิตย์ได้ถูกสร้างขึ้น เพื่อใช้ในการวิเคราะห์การทำงานของระบบที่สภาวะการทำงานต่างๆ ผลการวิเคราะห์จากแบบจำลองแสดงให้เห็นว่าการใช้คู่สารโพแตสเซียมฟอร์เมต-น้ำเป็นสารทำงานในระบบทำความเย็นแบบดูดซึมโดยอาศัยพลังงานจากแสงอาทิตย์ ทำให้ระบบมีคุณลักษณะการทำงานที่ใกล้เคียงกับระบบที่ใช้คู่สารทำงานเดิมที่ใช้กันอย่างแพร่หลายซึ่งคือคู่สารทำงานลิเธียมโบรไมด์-น้ำ แต่มีประสิทธิภาพโดยรวมที่ต่ำกว่าการใช้คู่สารทำงานลิเธียมโบรไมด์-น้ำเล็กน้อย โดยมีค่าความแตกต่างของ COP อยู่ประมาณ 0.05 สาเหตุเนื่องจากคุณลักษณะทางกายภาพของสารละลายโพแตสเซียมฟอร์เมตซึ่งมีค่าความดันไอที่สูงกว่า ดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องทำงานที่อุณหภูมิชุดดูดกลืนต่ำกว่า ซึ่งจะส่งผลให้การนำไปใช้ถูกจำกัดสำหรับสถานที่ที่ไม่สามารถมีน้ำหล่อเย็นที่อุณหภูมิต่ำได้ แม้ว่าการใช้สารละลายโพแตสเซียมฟอร์เมตเป็นสารทำงานในระบบทำความเย็นแบบดูดซึมโดยอาศัยพลังงานจากแสงอาทิตย์ จะส่งผลให้ได้ประสิทธิภาพโดยรวมที่ต่ำกว่าการใช้สารทำงานดั้งเดิม หากแต่คุณสมบัติอีกหลายประการของสารละลายโพแตสเซียมฟอร์เมต เช่น ต้นทุนทางการผลิตที่ต่ำกว่า การกัดกร่อนที่น้อยกว่า ก็ยังทำให้สารละลายโพแตสเซียมฟอร์เมตเป็นที่น่าสนใจในมุมมองทางด้านสิ่งแวดล้อม และเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่จะสามารถนำมาใช้ทดแทนสารทำงานในปัจจุบันได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้ จากเงินงบประมาณรายได้คณะประจำปี 2552

6. เอกสารอ้างอิง

[1] พฤทธิ มาเนตร และคณะ “การเพิ่มประสิทธิภาพของตัวรับรังสีอาทิตย์ด้วยแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์” การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 1, 11-13 พฤษภาคม 2548 โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ซิตี้ จอมเทียน จังหวัดชลบุรี

[2] S.G. Alvares and Ch. Trepp, “Simulation of a solar driven aqua-ammonia absorption refrigeration system Part 1: mathematical description and system optimization,” International Journal of Refrigeration, Volume 10, Issue 1, pp. 40-48, 1987.

[3] Sun, Da-Wen, “Thermodynamic design data and optimum design maps for absorption refrigeration systems,” Applied Thermal Engineering, Vol.17, No.3, pp.211-221, 1996.

[4] P. Srikhirin, S. Aphornratana, S. Chungpaibulpatana, “A review of absorption refrigeration technologies,” Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 5, pp.343–372,2001.

[5] N.A. Darwish, S.H. Al-Hashimia and A.S. Al-Mansoori, "Performance analysis and evaluation of a commercial absorption–refrigeration water–ammonia (ARWA) system," International Journal of Refrigeration, Volume 31, Issue 7, pp.1214-1223, 2008.

[6] Satha Aphornratana and Thanarath Sriveerakul, "Experimental studies of a single-effect absorption refrigerator using aqueous lithium–bromide: Effect of operating condition to system performance," Experimental Thermal and Fluid Science, Vol. 32, pp.658–669, 2007.

[7] O. kaynakli, M. Kilic, "Theoretical study on the effect of operating conditions on performance of absorption refrigeration system," Energy Conversion and Management, Vol.48, pp.599–607, 2007.

[8] Infante Ferreira, C. A., Thermodynamic and physical property data equations for ammonia-lithium nitrate and ammonia-sodium thiocyanate solutions" Solar Energy, Vol.32, No.2, pp. 231-236, 1984.

[9] Da-Wen Sun, "Comparison of the performances of NH_3-H_2O, NH_3-$LiNO_3$ and NH_3-NaSCN absorption refrigeration systems," Energy Conversion and Management, Volume 39, Issues 5-6, pp.357-368, 1998.

[10] Jasim M. Abdulateef, Kamaruzzaman Sopian, M. A. Alghoul, Mohd Yusof Sulaiman, Azami Zaharim and Ibrahim Ahmad, "Solar Absorption Refrigeration System Using New Working Fluid Pairs," International Journal of Energy, Vol.3, No.1, pp.82-87, 2007.

[11] M.I. Karamangil, S. Coskunb O. Kaynakli, , and N. Yamankaradeniz, "A simulation study of performance evaluation of single-stage absorption refrigeration system using conventional working fluids and alternatives," Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 14, Issue 7, pp.1969-1978, 2010.

[12] Riffat S.B., James S.E., and Wong D.C., "Experimental analysis of the absorption and desorption rates of HCOOK/H2O and LiBr/H2O," International Journal of Energy Research, Vol.22, pp.1099-1103, 1998.

[13] Nguyen M., Riffat S.B., and Whitman D., "Solar/gas-driven absorption heat-pump systems," Applied Thermal Engineering, Vol.16, No.4, pp.347-356, 1996.