

신흡수용액을 이용한 중온수 흡수식 냉동기의 사이클 해석

권오경[†] · 윤재호* · 문춘근** · 윤정인**
 (2002년 1월 7일 접수, 2002년 7월 18일 심사완료)

Cycle Analysis of Hot Water Driven Absorption Refrigerator with New Working Absorption Solution

Oh-Kyung Kwon, Jae-Ho Yun, Choon-Geun Moon and Jung-In Yoon

Key Words : New Working Absorption Solution(신흡수용액), Absorption Cycle(흡수사이클), Single Effect(단효용), COP(성능계수), Cycle Simulation(사이클 시뮬레이션)

Abstract

Performance extension of the absorption refrigerator with LiBr solution is often faced to operate very close to the crystallization limit. Especially in the development of an air-cooled cycle, the crystallization of working solution in the system is a very difficult problem to overcome. This paper describes the cycle of hot water driven absorption system using a new working absorption solution instead of LiBr solution to improve the efficiency. In this study, we found out the characteristics of new working absorption solution through the cycle simulation and compared LiBr solution to evaluate. The effect of cooling water temperature, weak solution flow rate, hot water temperature and hot water flow rate were also examined. The COP is increased 22% higher in the case of LiBr+LiI+LiCl+LiNO₃+H₂O, 2% LiBr+HO(CH₂)₃OH+H₂O than that of LiBr solution for the same operation condition.

기호설명		하첨자	
C_p	: 정압비열 [kJ/kg · K]	A	: 흡수기
H	: 엔탈피 [kJ/kg]	CH	: 냉수
U	: 열통과율 [$W/m^2 \cdot K$]	CO	: 냉각수
A	: 전열면적 [m^2]	C	: 응축기
P	: 압력 [kPa]	E	: 증발기
Q	: 열량 [kW]	EX	: 용액열교환기
T	: 온도 [$^{\circ}C$]	HW	: 온수
X	: 질량농도 [wt%]	G	: 재생기
ρ	: 밀도 [kg/m^3]	L	: 액상
G	: 질량유량 [kg/h]	V	: 기상
		S	: 흡수용액
		R	: 냉매

[†] 책임저자, 회원, 한국생산기술연구원 신에너지환경팀
 E-mail : kwonok@kitech.re.kr
 TEL : (041)589-8528 FAX : (041)589-8330

* 회원, 한국생산기술연구원 신에너지환경팀

** 회원, 부경대학교 기계공학부

1. 서론

산업의 발달과 더불어 생활수준이 날로 향상됨

에 따라 막대한 양의 에너지를 소비하게 되었고, 이러한 에너지들은 그 양이 한정되어 있는 유한 에너지자원이 대부분이다. 따라서, 최근에는 이러한 에너지를 절약할 수 있는 새로운 기술의 일환으로 태양열, 지열, 하천수 등의 미활용 에너지나 가스 등의 열원을 직접 구동열원으로 사용하여 에너지를 효율적으로 이용할 수 있는 흡수식 냉동기가 공조분야를 중심으로 주목받고 있다.

흡수식 냉동기의 성능향상에 관한 연구는 일본 뿐만 아니라 미국, 유럽 등 세계적으로 활발히 이루어지고 있다. 특히 흡수식 냉동기의 소형화, 고효율화, 안정화를 도모하기 위한 연구개발이 두가지 측면에서 이루어지고 있다. 첫 번째로 흡수기를 중심으로 한 열교환부에 대한 연구개발인데 이는 현재로서는 다양한 형상의 전열관의 개발, 계면활성제의 개발 등 활발한 연구가^(1~4) 진행되고 있다. 두 번째로 흡수용액에 대한 연구개발이다. 종래의 흡수사이클에 이용되는 LiBr수용액은 고농도에서 흡수용액이 결정되기 때문에 COP나 작동범위의 측면에서 많은 제약이 있었다. 따라서 이러한 단점들을 보완하기 위해 결정 라인이 확대되고 우수한 열역학적 성질을 가진 새로운 흡수용액에 대한 연구가 필요하게 되었다.

이러한 흡수용액에 관한 연구^(5~10)는 미국 및 일본 등에서 활발히 이루어지고 있으나, 국내의 경우에는 기존의 LiBr에 계면활성제와 부식 억제제를 첨가해서 알려진 물성치를 이용하여 설계, 제작하고 있을 뿐이며, 흡수용액에 대한 기초연구 및 응용연구는 대단히 부진하다. 따라서, 흡수용액과 관련한 기초연구, 물성측정 및 측정법 개발, 신흡수용액 개발, 요소개발 및 시스템 개발이 필요한 실정이다.

본 연구에서는 LiBr과 같은 할로겐화 금속화합물을 포함하는 수용액을 흡수용액으로, 물을 냉매로 하는 흡수식 냉동기의 성능향상 및 소형·공냉화를 위해 일본에서 개발된 LiBr+LiI+LiCl+LiNO₃+H₂O 흡수용액과 국내에서 최근 새로 개발된 LiBr+HO(CH₂)₃OH+H₂O 흡수용액들의 각각에 대한 사이클특성을 파악하기 위하여 중온수 흡수식 냉동기 사이클 해석을 수행하였으며, 냉각수온도, 용액순환량, 온수온도, 온수유량 등 설계조건에 따른 냉동능력, COP, 재생기에서의 온도, 압력변화를 살펴보았다.

2. 사이클 시뮬레이션

2.1 사이클의 작동원리

흡수식냉동기의 기본원리는 증발기내의 냉매를 증발시켜 저열원으로부터 열을 흡수하여 그 냉매를 증발기보다 고온·고압의 응축기에서 응축시켜서 열을 고온부에 방출하는 것이다.

흡수식 사이클을 정량적으로 설명하는데는 포화상태에 관한 용액의 온도-압력-농도의 관계를 나타낸 듀링선도를 이용하면 편리하다. Fig. 1에 보여진 단효용 흡수사이클을 듀링선도상에 표시하면 Fig. 2와 같이 나타난다. 두 그림상의 각 점은 각각 일치하고, 그림상의 흐름에서 점선으로 표시된 것은 증발·응축하는 냉매의 사이클이고, 실선은 흡수용액의 사이클을 나타낸 것이다.

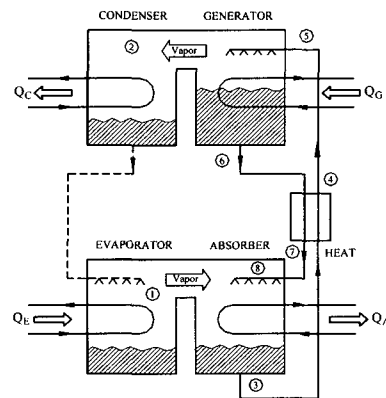


Fig. 1 System diagram of single-effect absorption refrigerator

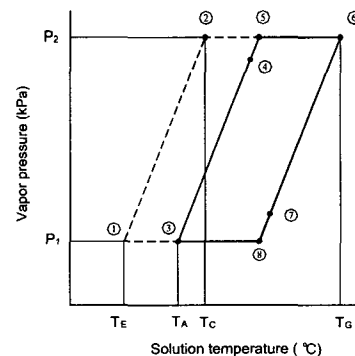


Fig. 2 Dühring diagram of single-effect absorption refrigeration system

2.2 시뮬레이션의 가정

사이클 시뮬레이션의 대상은 냉매로는 물, 흡수용액으로는 $\text{LiBr}+\text{H}_2\text{O}^{(5)}$, $\text{LiBr}+\text{LiI}+\text{LiCl}+\text{LiNO}_3+\text{H}_2\text{O}^{(6)}$ 및 $\text{LiBr}+\text{HO}(\text{CH}_2)_3\text{OH}+\text{H}_2\text{O}^{(7)}$ 을 사용하는 중온수 타입 단효용 사이클로 하였으며, 정상상태에서의 시뮬레이션을 용이하게 하기 위해 다음과 같이 가정하였다.

- ① 사이클상의 각 점에서의 온도, 압력, 용액농도는 평형상태이다.
- ② 각 열교환기는 향류형으로 하며, 온도차는 대수평균온도차를 이용한다.
- ③ 냉매는 증발기내에서 완전히 증발하여 흡수기의 흡수용액에 흡수된다.
- ④ 냉매순환량은 일정하다.
- ⑤ 기기로부터의 열손실과 관내에서의 압력강하는 무시한다.
- ⑥ 보일러의 효율은 고려하지 않는다.

2.3 사이클상에서 각 용액의 특성비교

Fig. 3은 증기압 0.8kPa에서 각 용액의 결정온도와 결정라인을 듀링선도상에 나타내어 비교한 것이며, Table 1은 흡수기 입구에서의 각 용액의 열역학적 물성치를 나타낸 것이다.

$\text{LiBr}+\text{LiI}+\text{LiCl}+\text{LiNO}_3+\text{H}_2\text{O}$ 와 $\text{LiBr}+\text{HO}(\text{CH}_2)_3\text{OH}+\text{H}_2\text{O}$ 흡수용액은 $\text{LiBr}+\text{H}_2\text{O}$ 용액보다도 높은 온도와 농도의 작동영역을 가짐으로써 공냉화가 가능한 용액임을 알 수 있다.

2.4 시뮬레이션을 위한 기본방정식

사이클 해석을 위해 주어진 조건에서의 각 상태점들은 질량 평형방정식, 에너지 평형방정식 및 상태방정식으로부터 구했다. 단효용 사이클의 기본방정식은 아래와 같다.

증발기에서의 열수지는 냉수의 입구, 출구온도를 각각 T_{CH1} , T_{CH2} 라 하면 아래와 같다.

$$Q_E = G_{VR} \cdot (H_{VR1} - H_{LR2}) = G_{CH} \cdot C_{PCH}(T_{CH1} - T_{CH2}) \quad (1)$$

흡수기에서의 열수지는 냉각수의 입구, 출구온도를 각각 T_{CO1} , T_{CO2} 라 하면 다음과 같다.

$$Q_A = G_{VR} \cdot H_{VR1} + G_{LSS} \cdot H_{LS8} - G_{LSW} \cdot H_{LS3}$$

$$= G_{CO} \cdot C_{PCO} \cdot (T_{CO1} - T_{CO2}) \quad (2)$$

여기서, 흡수기로 유입되는 냉매증기는 완전히 흡수되는 것으로 가정하면, 물질수지로서 다음식이 성립한다.

$$G_{LSW} = G_{LSS} + G_{VR} \quad (3)$$

재생기에서의 열수지는 온수의 입구, 출구온도를 각각 T_{HW1} , T_{HW2} 라 하면 아래와 같다.

$$Q_G = G_{VR} \cdot H_{VRG} + G_{LSS} \cdot H_{LS8} - G_{LSW} \cdot H_{LS1} = G_{HW} \cdot C_{PHW} \cdot (T_{HW1} - T_{HW2}) \quad (4)$$

냉매를 포함하고 있는 흡수용액에 관한 물질수지는 다음의 식이 성립한다.

$$G_{LSW} \cdot X_{LSW} = G_{LSS} \cdot X_{LSS} \quad (5)$$

응축기에서의 열수지는 냉각수 입구, 출구온도를 각각 T_{CO2} , T_{CO3} 이라 하면 아래와 같다.

$$Q_C = G_{VR} \cdot (H_{VRG} - H_{LS2}) = G_{CO} \cdot G_{PCO} \cdot (T_{CO3} - T_{CO2}) \quad (6)$$

용액열교환기에서의 열수지는 아래와 같다.

$$Q_{EX} = G_{LSW} \cdot (H_{LS1} - H_{LS3}) = G_{LSS} \cdot (H_{LS8} - H_{LS1}) \quad (7)$$

위와 같은 열 및 물질 평형을 이용하여 사이클 시뮬레이션을 수행하였으며 Fig. 4에 사이클 시뮬레이션 흐름도를 나타내었다.

시뮬레이션은 흡수기, 증발기, 응축기, 재생기, 용액열교환기의 열통과율과 전열면적, 냉각수 온도, 냉각수유량, 회용액유량, 냉수온도, 냉수유량, 온수온도, 온수유량 등을 입력으로 하여 LMTD방법에 의해 해석하였으며 그 결과로써 각 부위에서의 온도, 압력, 농도, 엔탈피값을 출력하고 열교환기에서의 교환열량, 냉동능력, COP 등을 출력하도록 하였다.

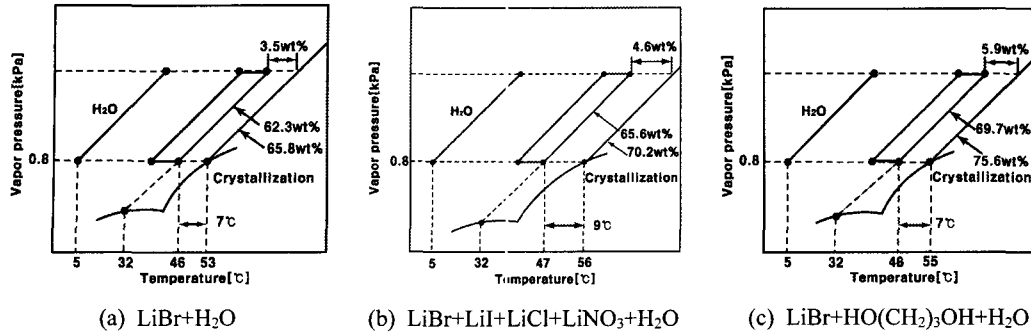


Fig. 3 Comparison of crystallization between new working solution and LiBr solution

Table 1 Comparison of thermodynamic properties for each solution

Thermodynamic properties	LiBr+H ₂ O (62.3wt%, 45.6 °C)	LiBr+LiI+LiCl+LiNO ₃ +H ₂ O (65.6wt%, 46.3 °C)	LiBr+HO(CH ₂) ₃ OH+H ₂ O (69.7wt%, 47.4 °C)
Specific heat [kJ/kg · K]	1.86	1.79	1.82
Density [kg/m ³]	1,751	1,791	1,603
Coefficient of viscosity [Pa · S]	0.0056	0.0034	0.014
Thermal conductivity [W/m · K]	0.42	0.37	0.27

Table 2 Nominal conditions

Chilled water inlet temperature	[°C]	12
Chilled water flow rate	[m ³ /h]	0.605
Cooling water inlet temperature	[°C]	32
Cooling water flow rate	[m ³ /h]	1
Working solution flow rate	LiBr+H ₂ O	0.04
	LiBr+LiI+LiCl+LiNO ₃ +H ₂ O	
	LiBr+HO(CH ₂) ₃ OH+H ₂ O	
Hot water inlet temperature	[°C]	95
Hot water flow rate	[m ³ /h]	0.95
Absorber UA	[kW/K]	0.79
Condenser UA	[kW/K]	1.12
Evaporator UA	[kW/K]	0.88
Generator UA	[kW/K]	0.77
Solution Heat Exchanger UA	[kW/K]	0.05

2.5 시뮬레이션의 기준조건

각 흡수용액의 사이클특성을 파악하기 위한 사이클 시뮬레이션에 있어서 여러 가지의 작동인자가 고려되어야 한다. 이러한 인자들은 각각 그 값

들이 변하므로 이들이 사이클의 성능에 미치는 영향을 파악하기 위한 수단으로 일반적인 설계 기준조건을 사용하였다. 본 연구에서는 시스템에 큰 영향을 미치는 냉각수온도, 용액순환량, 온수 온도 및 온수유량을 변화시켜 사이클 특성의 차이를 살펴보았다. 시뮬레이션에 사용된 작동조건은 Table 2와 같다.

3. 결과 및 고찰

3.1 시뮬레이션의 타당성 검증

Fig. 5는 본 연구에서 사용된 시뮬레이션의 타당성을 검증하기 위해서 Homma⁽¹¹⁾ 등의 실험결과를 본 연구의 시뮬레이션 프로그램에 Homma 등이 제시한 실험조건을 적용한 결과중에서 냉각수 입구온도에 따른 농도, 냉동능력 및 COP의 결과를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 Homma 등의 연구결과와 본 연구에서의 시뮬레이션 결과는 5% 내외에서 대체로 잘 일치하고 있다. 결과에서

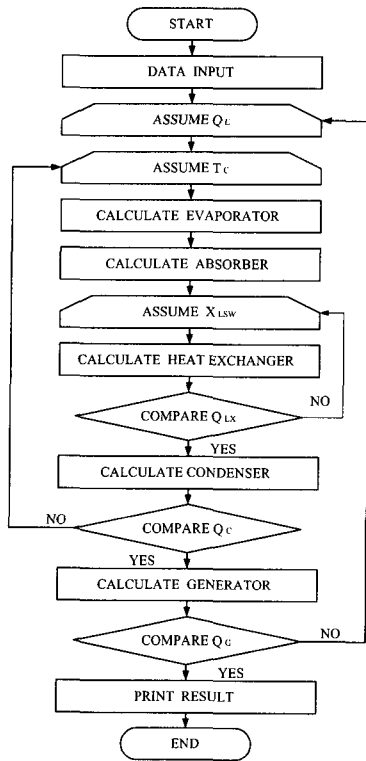


Fig. 4 Flow chart of the simulation on single-effect absorption cycle

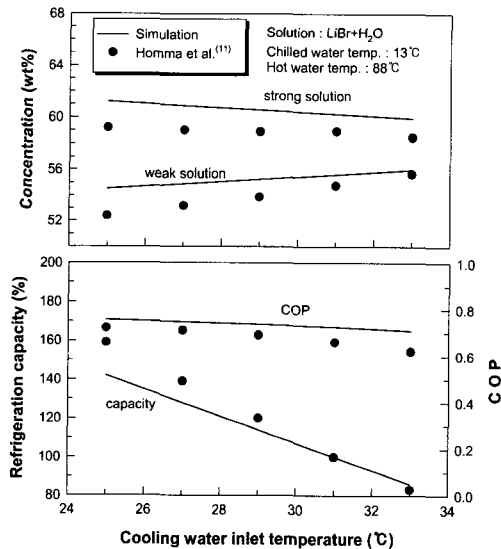


Fig. 5 Comparison of concentration, refrigeration capacity, COP between Homma⁽¹¹⁾ and simulation result

약간의 차이가 나타나는 이유로는 Homma 등의 논문에는 각 열교환기 별 UA값, 냉각수유량, 냉수유량, 온수유량 등이 제시되어 있지 않아서 본 연구결과와 다소 차이가 나는 것으로 판단된다.

3.2 냉각수 입구온도의 영향

Fig. 6은 냉각수 입구온도의 변화에 따른 냉동 능력과 COP의 변화를 나타낸 것이다. 이 결과는 위에 제시한 기준조건에서 냉각수 입구온도만을 변화시킨 경우이다. 냉각수 온도가 증가할수록 세 용액 모두 COP가 낮아지는 경향을 보였다.

또한 COP는 같은 운전조건에서 LiBr+Li+LiCl+LiNO₃+H₂O이 약 22%, LiBr+HO(CH₂)₃OH+H₂O이 약 2% 정도 LiBr+H₂O에 비해 높게 나왔다. 그러나 냉동능력은 LiBr+H₂O 용액이 다른 두 용액에 비해 높게 나오는 것을 알 수 있다. 이것은 사이클 시뮬레이션에 사용된 조건들이 기존 LiBr+H₂O 용액의 설계조건을 변경없이 사용하였기 때문에 LiBr+H₂O 용액에 있어서 최고의 냉동능력이 나온다고 생각된다. LiBr+Li+LiCl+LiNO₃+H₂O 용액이 COP는 높으나 냉동능력이 낮은 것은 가열 온수 온도와 유량을 일정하게 하였지만 재생기에 가해지는 열량은 다른 용액들과 동일하다고 할 수 없으며, Fig. 7의 냉각수 온도에 따른 재생기의 온도, 압력변화 그림에서 보는 것과 같이 고온재생기 온도가 LiBr+H₂O 용액에 비해 높게 되어 재생기에서 열교환량이 적게되므로 냉동능력이 낮아지는 것으로 생각된다. 또한 재생기에서의 온도는 LiBr+Li+LiCl+LiNO₃+H₂O 용액이 가장 높게 나오지만, 농도가 고농도로 이동하므로 인하여 압력-온도-농도 평형에 의해 압력은 높지 않다는 것을 알 수 있다.

3.3 용액순환량의 영향

Fig. 8은 용액순환량의 변화에 따른 증발기에서의 열교환량과 COP의 변화를 나타낸 것이다. 이는 냉각수 입구온도 32°C, 냉수입구온도 12°C, 온수온도 95°C로 한 경우이다. 여기서 사용된 용액순환량은 Table 2에서 제시된 0.04m³/h를 기준조건 하였으며 이를 용액순환량 100%로 정의하였다. 세가지 용액에 대해서 용액순환량을 적게할수록 세 용액 모두 COP의 향상을 가져오고 있으며 냉동능력은 감소하고 있다는 것을 알 수 있다. 냉동능력의 증감비가 LiBr+H₂O 용액에 비해 다른 두

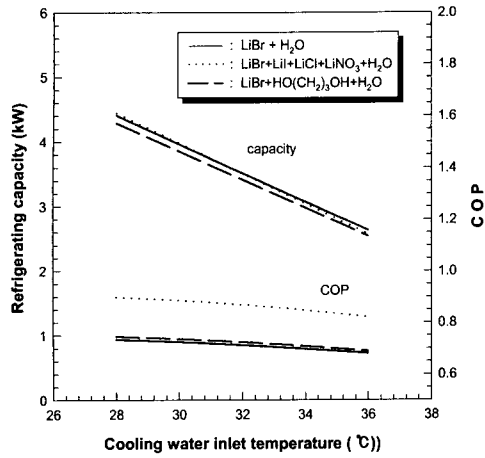


Fig. 6 Influence of the cooling water inlet temperature on refrigeration capacity and COP

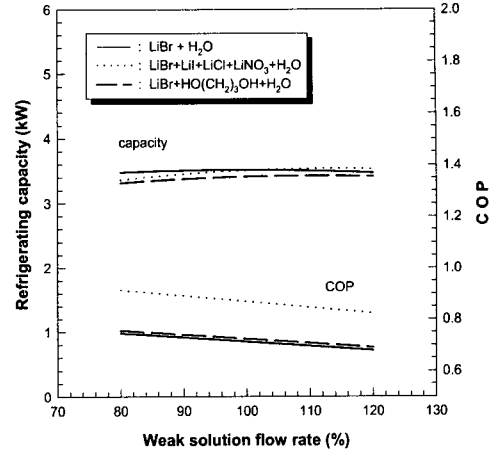


Fig. 8 Influence of the weak solution flow rate on refrigeration capacity and COP

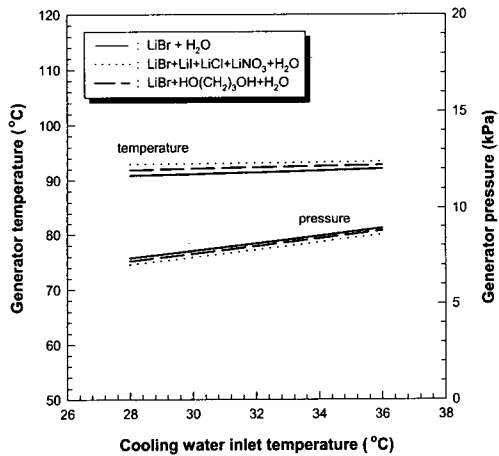


Fig. 7 Influence of the cooling water inlet temperature on generator temperature and pressure

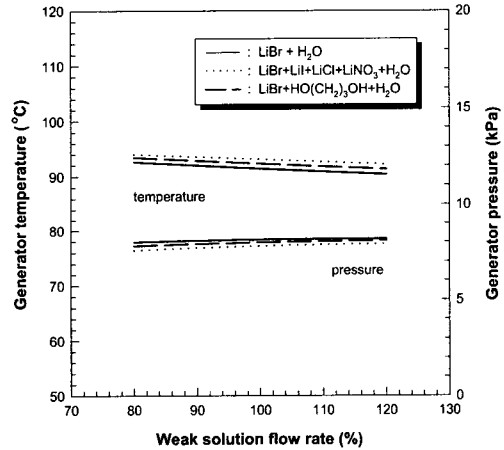


Fig. 9 Influence of the weak solution flow rate on generator temperature and pressure

신용액은 크다는 것을 알 수 있다.

Fig. 9는 용액순환량 변화에 대한 재생기 온도와 압력변화를 나타낸 것이다. 용액순환량이 증가할수록 재생기 온도는 낮아지지만 압력은 높아지는 것을 알 수 있다. 이것은 용액 순환량이 많아지면 재생기 출구의 농도가 낮아지므로 압력강하를 유발한다고 생각된다.

3.4 온수온도의 영향

Fig. 10에서는 재생기에 공급되는 온수의 온도변화에 따른 냉동능력과 COP의 변화를 나타낸 것

이며, Fig. 11은 재생기 온도와 압력변화를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 재생기 입구 온수온도의 상승에 따라 재생기의 온도, 압력은 증가하고 있으며 냉동능력 또한 증가하고 있는 것을 알 수 있다. 그러나 COP는 거의 변화가 없다는 것을 알 수 있다. 이것은 재생기에 공급되는 온수의 온도가 증가함에 따라 재생기에서 온수와 용액과의 온도차가 증가하여 열교환량이 증가하며, COP의 변화가 거의 없으므로 재생기에서의 가열량은 냉동능력에 직접적인 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

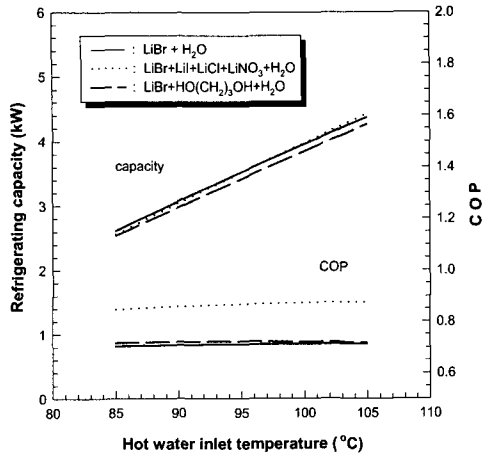


Fig. 10 Influence of the hot water inlet temperature on refrigeration capacity and COP

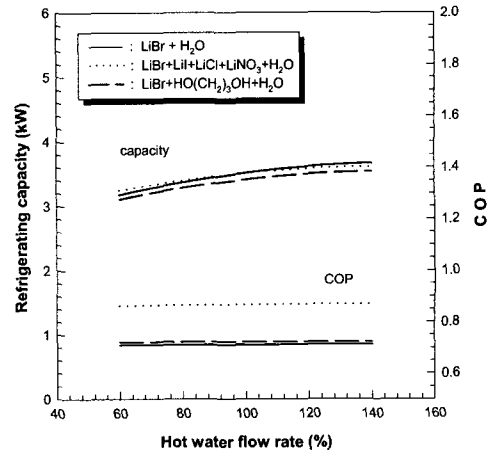


Fig. 12 Influence of the hot water flow ratio on refrigeration capacity and COP

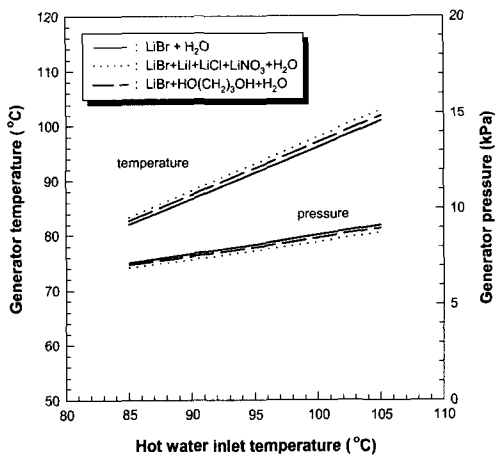


Fig. 11 Influence of the hot water inlet temperature on generator temperature and pressure

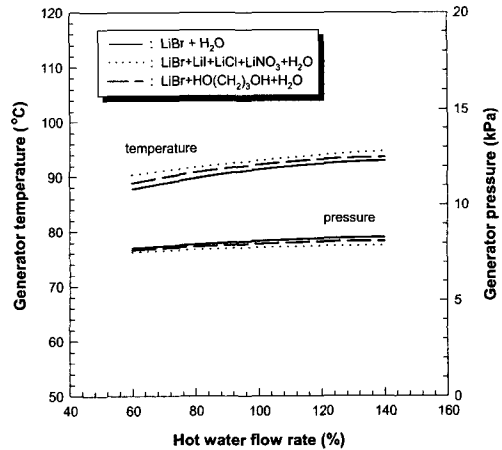


Fig. 13 Influence of the hot water flow rate on generator temperature and pressure

3.5 온수유량의 영향

Fig. 12와 Fig. 13은 재생기에 공급되는 온수의 유량변화에 따른 냉동능력과 COP의 변화 및 재생기의 온도와 압력의 변화를 나타낸 것이다. 여기서 사용된 온수유량은 Table 2에서 제시된 0.95m³/h를 기준조건 하였으며 이를 온수유량 100%로 정의하였다. 그림에서 온수유량이 증가하여도 냉동능력에 미치는 영향은 적다는 것을 알 수 있다. 이것은 온수유량은 증가하지만 재생기 내 용액과 온수와의 온도차가 적기 때문에 열교환이 적게 일어나고 있으며, 따라서 냉동능력의

향상을 가져오지 못한다고 생각된다. 또한 재생기에서 가열량의 증가가 농도의 증가보다 압력 상승에 더 큰 영향을 주어서 압력의 상승을 가져 온다는 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 2종류의 신흡수용액과 LiBr수용액을 이용하여 중온수 흡수식 냉동기에 대한 사이클 시뮬레이션을 수행하였으며, 냉각수온도, 용액순환량, 온수온도, 온수유량 등을 변수로 하여 사이클 작

동특성을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 국내외에서 새로 개발된 신흡수용액 및 LiBr수용액을 이용하여 증온수 단효용 흡수식 사이클 시뮬레이션 프로그램을 완성하였으며, 각 사이클 특성을 비교하였다.

(2) 신흡수용액은 LiBr수용액보다 높은 온도와 농도의 작동영역을 가짐으로써 공냉화가 가능한 용액임을 알 수 있었으며, 기준 작동조건에서 $\text{LiBr}+\text{Li}+\text{LiCl}+\text{LiNO}_3+\text{H}_2\text{O}$ 는 약 22%, $\text{LiBr}+\text{HO}(\text{CH}_2)_3\text{OH}+\text{H}_2\text{O}$ 는 약 2% 정도 COP가 LiBr+H₂O수용액보다 높게 나타났다.

(3) COP는 LiBr용액과 신흡수용액에서 모두 냉각수 입구온도가 낮을수록, 용액순환량이 적을수록 증가하였지만 가열온수의 온도 및 유량의 조건 변화에 따라서는 거의 변화가 없었다.

(4) 본 연구에서는 신흡수용액의 설계값들을 구할 수가 없어 LiBr수용액의 설계값을 이용하여 비교하였다. 따라서 앞으로 신흡수용액을 이용한 사이클 시뮬레이션을 위해서는 실험에 의한 UA 값을 구하여 적용하면 보다 정확한 사이클특성을 예측할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- (1) Seol, W. S., Kwon, O. K., Moon, C. G. and Yoon, J. I., 2000, "Heat Transfer Enhancement with Surfactants in Horizontal Bundle Tubes on Absorber," *Transactions of the KSME B*, Vol. 24, No. 8, pp. 1097~1103.
- (2) Yoon, J. I., Kwon, O. K. and Moon, C. G., 1999, "Influence of Surfactant on Heat Transfer of Air-Cooled Vertical Absorber," *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 11, No. 6, pp. 740~748.
- (3) Seol, W. S., Kwon, O. K. and Yoon, J. I., 1998, "Experimental Investigation of Enhanced Heat and Mass Transfer for LiBr/H₂O Absorber," *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 10, No. 5, pp. 581~588.
- (4) Kwon, O. K. and Yoon, J. I., 1999, "Heat and Mass Transfer of Helical Absorber on Household Absorption Chiller/Heater," *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 11, No. 5, pp. 570~578.
- (5) McNeely, L. A., 1979, "Thermodynamic Properties of Aqueous Solution of Lithium Bromide," *ASHRAE Transactions*, Vol. 85, Pt. 1, pp. 413~434.
- (6) Nishiyama, N., Fujikura, K., Wakimizu, H., Kaneko, T., Yamazaki, S. and Izu, M., 1994, "R&D of Absorption Heat Pump System Using New Working Fluid to Utilize Treated Sewage Water," *Trans. of the JAR*, Vol. 11, No. 2, pp. 219~230.
- (7) Park Y., Kim J.S. and Lee H., 1997, "Physical Properties of the Lithium Bromide+1,3 Propanediol +Water System," *Int J. Refrig.*, Vol. 20, No. 5, pp. 319~325.
- (8) Kwon, O. K. and Yoon, J. I., 1999, "Cycle Analysis of Air-Cooled Double-Effect Absorption Cooling System Using H₂O/LiBr+HO(CH₂)₃OH," *Transactions of the KSME B*, Vol. 23, No. 2, pp. 272~280.
- (9) Kwon, O. K., Lim, J. K. and Yoon, J. I., 2000, "Characteristic of Heat and Mass Transfer on Helical Absorber Using New Working Fluid," *Proceedings of the KSME 2000 Spring Annual Meeting B*, pp. 228~233.
- (10) Seol, W. S., Kwon, O. K., Moon, C. G. and Yoon, J. I., 1998, "An Investigation on the System Characteristics of Hot Water Driven Absorption Chillers with New Absorption Solution," *Proceedings of the KSME 1998 Fall Annual Meeting B*, pp. 160~165.
- (11) Homma R., Nishiyama N. and Wakimizu H., 1993, "Simulation and Experimental Research of Single-effect Absorption Refrigerators Driven by Waste Hot Water," *International Absorption Heat Pump Conference ASME*, pp. 273~278.