

[논문] 한국태양에너지학회 논문집
Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol. 22, No. 4, 2002

에틸렌글리콜 혼합액을 사용하고, 태양열을 보조열원으로 하는 이중효용 흡수식 시스템의 난방 특성해석

Analysis of Thermodynamic Design Data for Heating of Double - Effect Solar Absorption System using LiBr - water and Ethylene Glycol Mixture

원 승 호*
S. H. Won*

Key words : 흡수식 히트펌프(Absorption heat pump), 수치해석(simulation), 난방부하(heating load), 에틸렌 글리콜(ethylene glycol), 태양열(solar heat)

Abstract

Analysis of thermodynamic design data of double effect solar absorption heat pump system for heating has been done to find the property of LiBr-water + ethylene Glycol mixture for working fluid by computer simulation. Derived thermodynamic design data, enthalpy based coefficient of performance and flow ratio for possible combinations of operating temperature for water - LiBr and Ethylene Glycol mixture (H₂O : CHO ratio 10:1 by mole) by computer simulation. The obtained results, COP and mass flow ratio of the water-lithium bromide-ethylene glycol system, are compared with data for the water-LiBr pair solution.

■ 기호설명 ■

COP 성능계수(·)
FR 유량비(·)
h 엔탈피(kJ/kg)
 \dot{m} 질량유동율(kg/sec)

P 압력(kPa)
Q 열량(kW)
T 온도(K or °C)
X 농도 백분율(%)
 η 열교환 유효율

* 건양대학교 기계공학과

* Dept. of Mechanical Engineering, Konyang University

하첨자

A	흡수기
C	응축기
E	증발기
G	발생기
GC	발생기
W	작동유체(물)

1. 서론

흡수식 시스템은 작동유체의 흡수열을 이용하여 작동되는 냉난방시스템으로, 대형 건물 뿐 만 아니라 중규모 건물에도 많이 채택하고 있다. 특히 대형 건물인 경우에는 냉난방시스템으로 가장 많이 사용되고 있는 방식이다. 흡수식은 압축식 시스템과는 달리 기계적 구동 장치가 적으므로 전력소모가 매우 적고, 소음 및 진동 등이 적어 수명이 길다는 장점이 있다. 흡수식 시스템의 작동 매체로써, LiBr 수용액을 사용하는 시스템에 관한 연구는 1940년대부터 수행되어 실용화되었으

용되고 있다. 그리고 냉난방에 사용되는 에너지의 며, 이 작동유체를 사용한 시스템은 가장 널리 수요가 날로 증가하고 이에 상응하는 비용도 기하급수적으로 증가되고 있다. 흡수식 난방시스템은 지열이나 태양열과 같은 대체에너지를 이용할 수 있으므로 에너지 사용을 경감시킬 수 있으며, 프레온에 의한 환경 오염문제도 거의 없다. 또한 작동상태도 저압 상태에서 가동되어 상당히 안전한 시스템이라는 장점이 있다.

흡수식 히트 펌프 시스템은 세부적으로 여러 가지 연구 분야로 분류될 수 있는데, 이중 중요한 부분중의 하나가 흡수용액에 관한 것이다. 이에 대해 여러 연구자에 의하여 많은 연구가 실행되고 있다.^{1)~7)} 그리고 새로운 흡수용액을 개발하는 분야 중에는 성능계수가 우수한 수용액을 개발하는 것 뿐 만 아니라 기존의 수용액이 가지고 있는 단점들(작동온도영역 제한, 질량유동율 증대 등)을 개선하고자 하는 분야도 많이 행하여지고 있다. 이러한 단점을 개량한 수용액을 개발하기 위하여 성능을 예측하기 위한 연구도 시도되고 있다.^{4),5)}

LiBr 수용액에 에틸렌글리콜을 혼합했을 때,

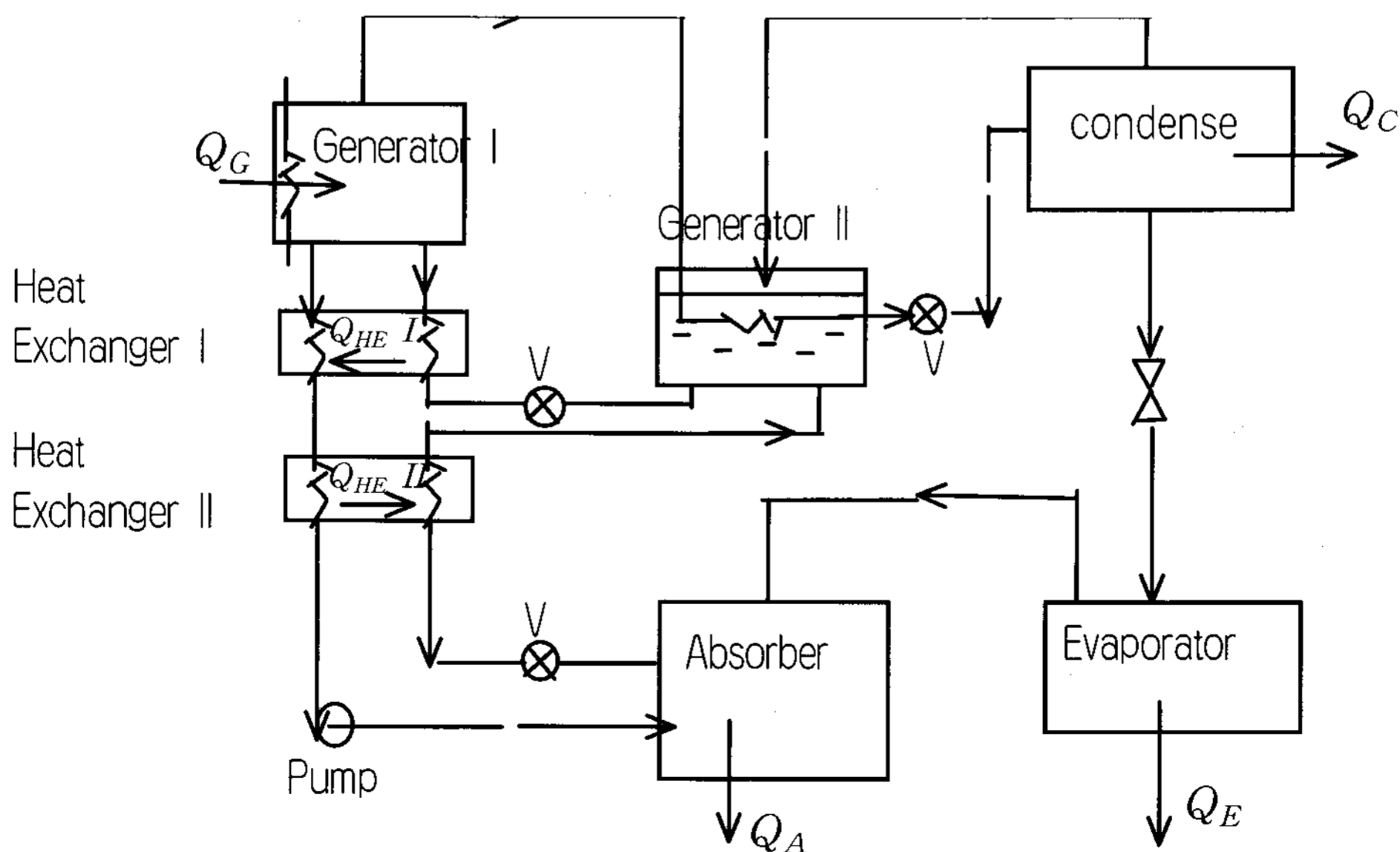


그림 1. 이중효용 흡수식 사이클

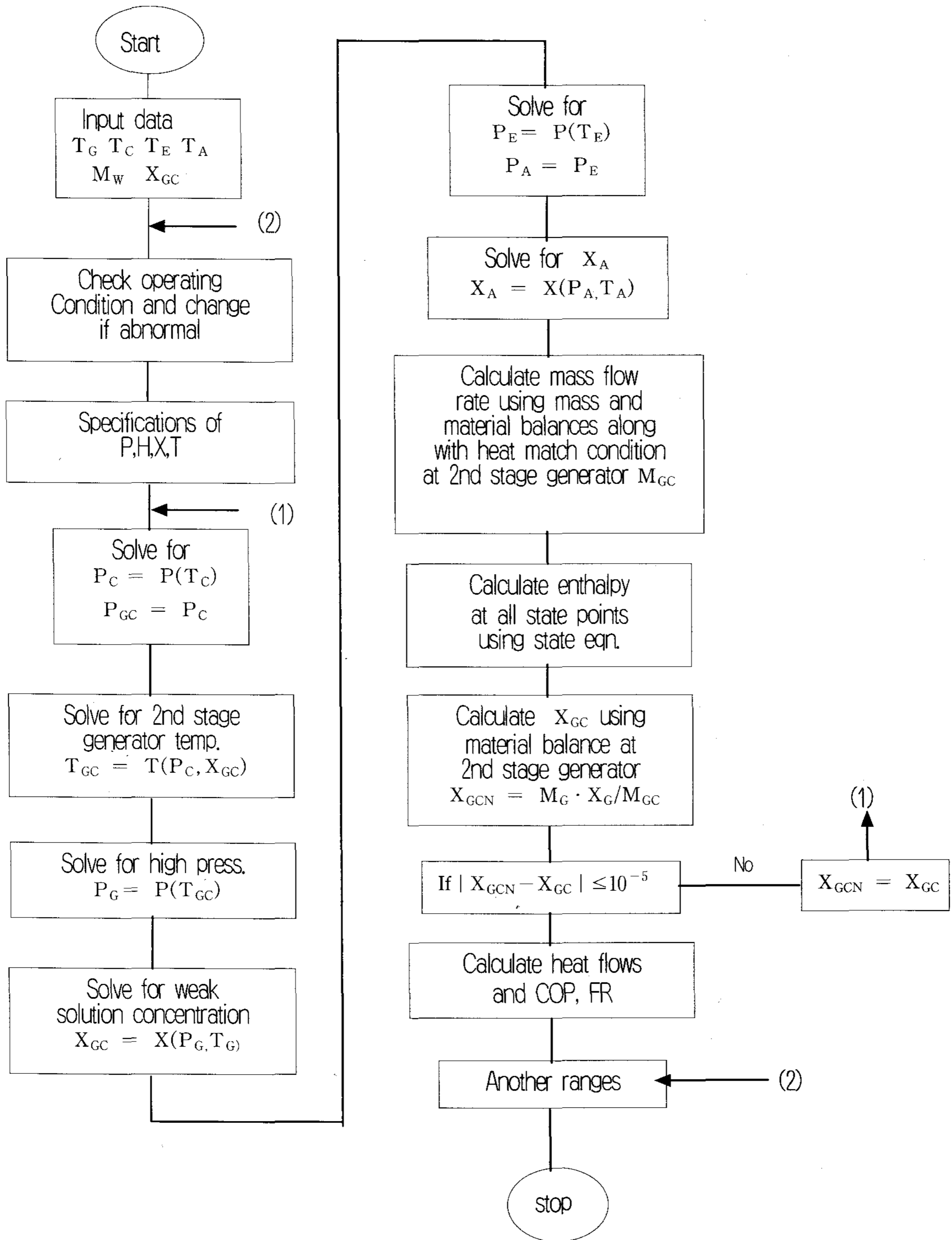


그림 2. 계산 유통도

원⁶⁾은 1중효용 난방시스템에 적용하여 특성을 분석한 결과, 작동 영역 및 효율면에서 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

본 연구에서는 2중효용 난방시스템의 난방특성을 해석하는데 있어 태양열을 보조열원으로 하고 흡수액은 LiBr 수용액에 에틸렌 글리콜을 혼합했을 때(10mole의 물에 대해 1mole의 에틸렌글리콜 혼합)의 성능을 분석하고자 하였다. 그리고 시스템의 적용가능 기간을 최대 늘리기 위하여 얻을 수 있는 증발기의 열원으로 태양열을 사용하고, 발생기의 열원은 가스나 경유 등을 사용하여 난방을 수행하는 것으로 설정하였다. 태양열을 이용하는 경우, 평판형 집열판을 사용하는 경우라도, 집열되는 온도가 최소 30°C에서 최대 70°C까지 얻을 수 있기 때문에 증발기에 공급하는 온도를 최대 20°C로 설정하여 날씨에 흐린 날에도 난방을 할 수 있도록 하였다. 그리고 같은 조건에서 기존의 LiBr 수용액을 이용한 이중효용 난방시스템에 대한 계산 결과와 비교하였다.

작동유체에 대하여는 Iyoki⁷⁾이 측정한, LiBr-물-에틸렌 글리콜 수용액의 밀도, 점도, 용해도 등의 물리적 성질과 비열, 혼합열 등의 열물성치를 사용하였다.

2. 작동원리 및 전산시뮬레이션

흡수식 히트 펌프의 성능 계산 방법은 기존의 연구인 원^{2),3),6)}, Kaushik^{4, 9)}, Best^{10)~12)}에 자세히 설명되어 있으며 이에 대한 자세한 시스템 작동 상태도는 그림 1과 같다. 그리고 LiBr-물-에틸렌 글리콜 수용액과 냉매인 수증기의 방정식 형태는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{포화 수증기 압력} & P_v = P_v(T) \\ \text{수용액 압력} & P = P(X, T) \\ \text{포화 수증기 엔탈피} & H_v = H_v(T, T_s) \\ \text{수용액 엔탈피} & H = H(X, T) \end{aligned}$$

기본적으로 작동온도 변화영역은 사이클을 구성하기 위하여 다음과 같은 온도변화 조건을 만족하여야 한다.

$$\begin{aligned} T_G > T_A \geq T_C > T_E \quad \text{혹은} \\ T_G > T_C \geq T_A > T_E \end{aligned}$$

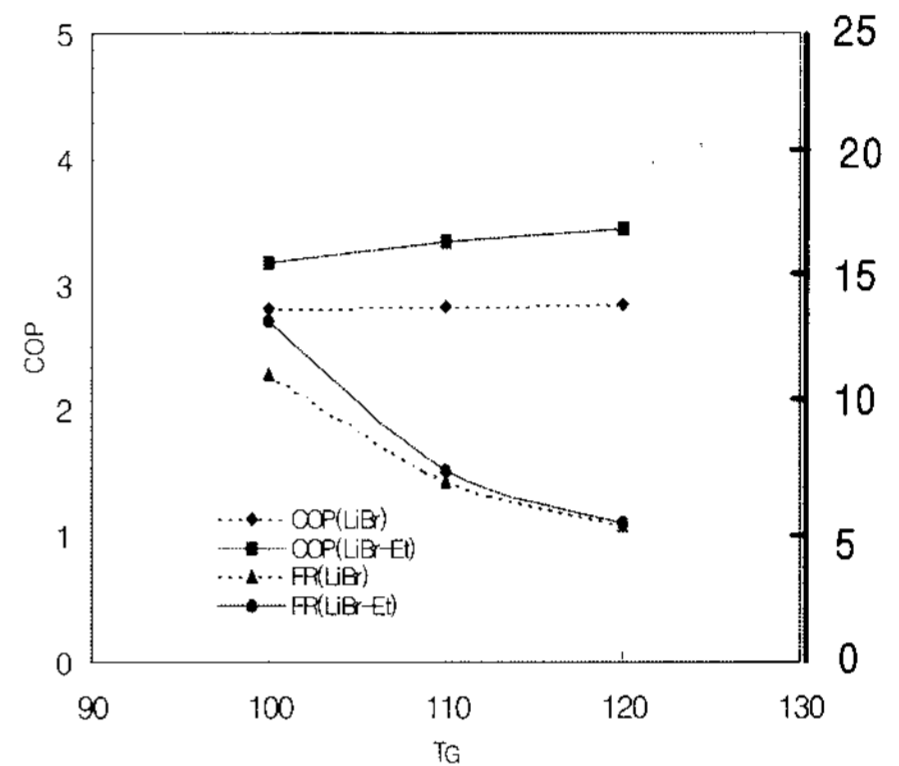


그림 3. 발생기온도 $90 \leq T_G \leq 120^\circ\text{C}$, $T_E = 10^\circ\text{C}$, $T_A = 30^\circ\text{C}$, $T_C = 40^\circ\text{C}$ 일 때 COP 및 FR 변화

각 작동지점에서 시스템은 모두 정상상태로 주어지며 난방성능을 해석하기 위한 시뮬레이션 수용액의 열역학적 작동 온도 상태는 다음과 같다.

- 발생기 온도 $T_G = 70 - 120^\circ\text{C}$
- 응축기 온도 $T_C = 30 - 70^\circ\text{C}$
- 증발기 온도 $T_E = 2 - 20^\circ\text{C}$
- 흡수기 온도 $T_A = 30 - 70^\circ\text{C}$
- 냉매질량유량 0.01kg/sec
- 용액 열교환기의 효율 0.9

질량유량비⁵⁾는

$$FR = \frac{\dot{m}_A}{\dot{m}_W} = X_G / (X_G - X_A)$$

로 정의하였으며 전산시뮬레이션 방법은 Kaushik⁴⁾, 원^{2),3),6)} 등의 연구에 설명되어 있고 계산 순서는 그림 4의 계산 유동도에 나타나 있다. 계

산시의 수렴조건은 상대오차를 10^{-5} 으로 하였다.

$$FR = \frac{\dot{m}_A}{\dot{m}_W} \quad (2)$$

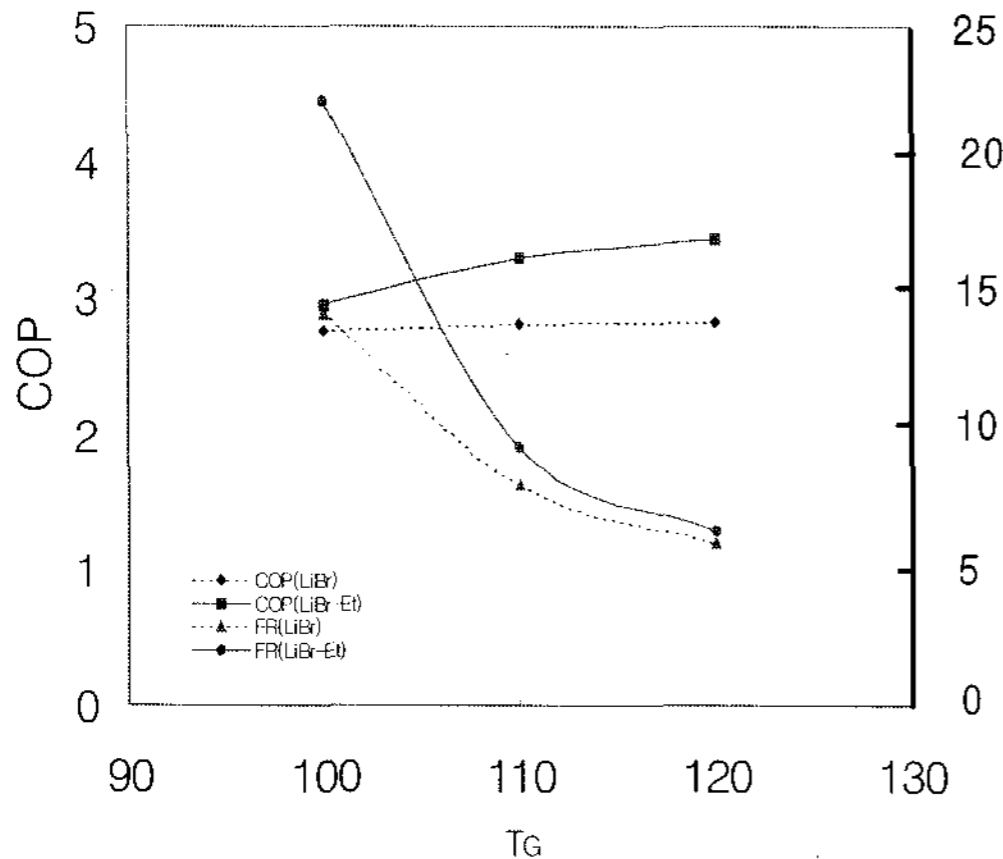


그림 4. 발생기온도 $90 \leq T_G \leq 120^\circ\text{C}$, $T_E = 20^\circ\text{C}$, $T_A = 40^\circ\text{C}$, $T_C = 40^\circ\text{C}$ 일 때 COP 및 FR 변화

그리고 태양열 열원을 사용하는 곳은 저온영역인 증발기 부분이고 발생기의 열원은 가스 등 공급 열원이다. 그리고 난방으로 사용되는 에너지는 흡수열과 응축열이 된다. 따라서 사용되는 성능계수(COP)는 난방이므로

$$COP = \frac{Q_A + Q_C}{Q_G} \quad (1)$$

이다. FR은 Grover 등⁵⁾이 정의한 대로 다음과 같이 표시할 수 있다. 이것은 냉매 질량유동율에 대한 흡수액 유동율의 비로써 이 값이 크면 성능대비 흡수액 유동량이 많아진다는 것을 나타낸다.

3. 계산결과 및 고찰

성능계수, 질량유동율과 2가지의 흡수액 고농도 및 1가지의 희용액 농도를 계산하였다. 기존의 LiBr 수용액과 에틸렌 글리콜이 혼합된 수용액 각각에 대하여 발생기, 흡수기, 응축기의 평형온도는 10°C 씩 증가시키고 증발기는 2°C 씩 증가시키면서 수용액들의 작동 제한조건⁷⁾(결정석출 등)을 만족하는 온도 상태를 계산하였다.

표 2는 동일한 작동상태에서의 LiBr 수용액을 사용하여 작동상태를 계산한 것이고, 표 3은 LiBr 수용액에 에틸렌 글리콜이 혼합된 복합염 수용액에 대한 계산결과를 나타낸 것이며, 작동온도 영역을 해석하는데 사용될 수 있다.

그리고 표 1은 발생기 평형온도가 120°C , 응축기온도가 40°C , 흡수기 온도가 30°C 일 때 증발기 온도를 변화시켰을 때의 값을 비교한 것이다. 이 표에서 보는 바와 같이 난방 성능계수는 LiBr 수용액은 약 2.75정도를 나타내고 있으며 에틸렌 글리콜 혼합액은 3.27로, 에틸렌 글리콜 혼합액이 약 19%정도 우수하다는 것을 알 수 있었다. 그리고 FR은 초기온도 영역에서는 에틸렌 글리콜 혼합액이 많이 나타나지만 전체적으로는 유사하게 나타내고 있다.

그림 3은 태양열을 난방에 공급열원으로 이용할 수 있도록 증발기 온도(T_E)를 10°C , 가스

Table 1. 증발기 온도를 변화시켰을 때의 계산결과 비교

T_G	T_C	T_E	T_A	LiBr					LiBr + Ethylene Glycol				
				COP	X_G	X_{G2}	X_A	FR	COP	X_G	X_{G2}	X_A	FR
120	40	4	30	2.6	55.2	57.4	53.0	13.2	2.7	48.6	49.7	47.9	28.8
120	40	6	30	2.7	54.7	57.8	51.7	9.4	3.1	48.0	50.2	46.5	13.4
120	40	8	30	2.7	54.2	58.3	50.3	7.3	3.3	47.3	50.8	45.0	8.7
120	40	10	30	2.8	53.6	58.8	48.9	5.9	3.4	46.6	51.5	43.5	6.4
120	40	12	30	2.8	52.9	59.3	47.4	5.0	3.5	45.9	52.2	41.9	5.0
120	40	14	30	2.9	52.2	59.9	45.8	5.1	3.6	45.0	52.9	40.2	4.1

을 이용한 발생기 온도는 $70 \leq T_G \leq 120^\circ\text{C}$ 이고 난방으로 사용 열원인 흡수기 온도 T_A 는 30°C , 응축기 온도 T_C 는 40°C 일 때의 수치해석 결과이다. 전체적으로, 성적계수는 적게는 5%에서 약 25%이상 에틸렌 글리콜 혼합액이 우수하다는 것을 알 수 있으며, FR은 기존 LiBr 용액이 낮게 나타난다는 것을 알 수 있었다. 작동온도 영역은 기존의 원⁶⁾의 연구에서 1중효용 난방에 대한 연구에서 나타난 바와 같이 비슷한 경향을 나타낸다는 것을 알 수 있다.

그림 4는 태양열 집열 가능 온도인 증발기 온도 20°C , 흡수기온도 40°C , 응축기 온도 40°C 일 때 발생기 온도를 변화시켰을 때의 수치계산 결과로써, 그림 2에서의 결과와 유사하다는 것을 알 수 있었다. 즉 성적계수는 12%에서 최대 20%까지 에틸렌글리콜 혼합액을 사용하였을 때, 성적계수가 우수한 것으로 나타났으며 FR은 거의 유사하다는 것을 알 수 있다. 작동시작 온도는 에틸렌 글리콜 혼합액의 경우와 LiBr 수용액만을 사용하는 경우와 거의 같고, 최고 작동온도도 새로운 용액이나 기존 용액이 모두 비슷하였다. 그리고 배관 크기 등을 결정하는 질량유동율은 큰 차이가 없으나 성적계수는 전체적으로 에틸렌 글리콜 혼합액이 성적계수 3.3정도이고 기존의 LiBr수용액은 2.8정도를 나타내고 있어, 평균 20%정도 에틸렌 글리콜 혼합액이 높다는 것을 알 수 있었다.

이러한 경향은 표 2에 LiBr수용액만을 사용한 난방시스템의 수치계산 결과와 표 3에 LiBr - 에틸렌글리콜 용액을 사용한 수치계산 결과를 비교하면, LiBr 수용액만을 사용한 경우의 계산영역은 132개 영역이지만 에틸렌글리콜 혼합액을 사용한 경우는 227개 영역으로, 작동온도 영역에서 에틸렌 글리콜이 함유된 수용액이 기존의 LiBr 수용액만을 사용한 경우보다 넓은 범위에서 작동 가능하다는 것을 알 수 있으며, 전체적인 평균 성능계수도 10 - 20%정도 높다는 것을 알 수 있었고, 질량유동율 FR은 두 수용액이 비슷하다는 것을 알 수 있었다.

표 2. LiBr 수용액으로 계산된 설계 Data

T_G	T_C	T_E	T_A	COP	X_G	X_{G2}	X_A	FR	T_{GC}
110.	30.	2.	30.	2.6	56.1	57.9	54.3	16.2	68.9
120.	40.	2.	30.	2.5	55.7	56.9	54.3	21.5	78.5
100.	30.	4.	30.	2.6	54.2	55.3	53.0	24.0	63.8
110.	30.	4.	30.	2.7	55.6	58.3	53.0	11.0	69.8
120.	40.	4.	30.	2.6	55.2	57.4	53.0	13.2	79.4
100.	30.	6.	30.	2.7	53.7	55.7	51.7	13.8	64.6
110.	30.	6.	30.	2.7	55.1	58.7	51.7	8.3	70.8
110.	40.	6.	30.	2.6	53.3	54.8	51.7	17.5	74.2
120.	40.	6.	30.	2.7	54.7	57.8	51.7	9.4	80.3
120.	50.	6.	30.	2.5	52.9	53.9	51.7	24.0	83.8
90.	30.	8.	30.	2.7	51.7	53.0	50.3	19.9	59.3
100.	30.	8.	30.	2.7	53.2	56.2	50.3	9.6	65.5
110.	30.	8.	30.	2.7	54.6	59.2	50.3	6.6	71.8
100.	40.	8.	30.	2.6	51.2	52.1	50.3	29.7	68.9
110.	40.	8.	30.	2.7	52.8	55.3	50.3	11.1	75.1
120.	40.	8.	30.	2.7	54.2	58.3	50.3	7.3	81.4
120.	50.	8.	30.	2.7	52.4	54.4	50.3	13.4	84.7
90.	30.	10.	30.	2.8	51.1	53.5	48.9	11.7	60.2
100.	30.	10.	30.	2.8	52.6	56.7	48.9	7.3	66.5
110.	30.	10.	30.	2.8	54.0	59.7	48.9	5.5	72.9
100.	40.	10.	30.	2.7	50.7	52.6	48.9	14.4	69.8
110.	40.	10.	30.	2.8	52.2	55.8	48.9	8.1	76.1
120.	40.	10.	30.	2.8	53.6	58.8	48.9	5.9	82.4
110.	50.	10.	30.	2.7	50.3	51.7	48.9	18.7	79.4
120.	50.	10.	30.	2.8	51.8	54.9	48.9	9.2	85.7
120.	60.	10.	30.	2.6	49.9	50.8	48.9	26.7	89.1
80.	30.	12.	30.	2.8	48.9	50.5	47.4	16.4	54.9
90.	30.	12.	30.	2.8	50.6	54.0	47.4	8.2	61.2
100.	30.	12.	30.	2.8	52.0	57.2	47.4	5.8	67.6
110.	30.	12.	30.	2.8	53.3	60.3	47.4	4.7	74.1
90.	40.	12.	30.	2.7	48.5	49.6	47.4	22.7	64.5
100.	40.	12.	30.	2.8	50.2	53.1	47.4	9.4	70.8
110.	40.	12.	30.	2.8	51.6	56.3	47.4	6.3	77.2
120.	40.	12.	30.	2.8	52.9	59.3	47.4	5.0	83.6
110.	50.	12.	30.	2.8	49.8	52.2	47.4	10.9	80.4
120.	50.	12.	30.	2.8	51.2	55.4	47.4	6.9	86.7
120.	60.	12.	30.	2.8	49.4	51.3	47.4	13.1	90.0
80.	30.	14.	30.	2.8	48.3	51.0	45.8	9.8	55.8
90.	30.	14.	30.	2.9	49.9	54.5	45.8	6.2	62.2
100.	30.	14.	30.	2.9	51.3	57.8	45.8	4.8	68.8
110.	30.	14.	30.	2.9	52.5	60.8	45.8	4.8	75.6
90.	40.	14.	30.	2.8	47.9	50.1	45.8	11.6	65.4
100.	40.	14.	30.	2.9	49.5	53.6	45.8	6.8	71.8
110.	40.	14.	30.	2.9	50.9	56.9	45.8	5.1	78.4
120.	40.	14.	30.	2.9	52.2	59.9	45.8	5.1	85.0
100.	50.	14.	30.	2.8	47.5	49.3	45.8	14.2	75.1
110.	50.	14.	30.	2.9	49.1	52.7	45.8	7.6	81.5
120.	50.	14.	30.	2.9	50.6	56.0	45.8	5.5	88.0
110.	60.	14.	30.	2.7	47.2	48.5	45.8	18.4	84.8

표 2. 연속

T _G	T _C	T _E	T _A	COP	X _G	X _{G2}	X _A	FR	T _{GC}
120.	60.	14.	30.	2.8	48.8	51.9	45.8	8.5	91.1
120.	70.	14.	30.	2.6	46.8	47.7	45.8	25.8	94.5
70.	30.	16.	30.	2.8	45.9	47.8	44.1	13.0	50.4
80.	30.	16.	30.	2.9	47.7	51.6	44.1	6.8	56.9
90.	30.	16.	30.	2.9	49.2	55.2	44.1	5.0	63.5
100.	30.	16.	30.	2.9	50.5	58.4	44.1	5.0	70.2
110.	30.	16.	30.	2.9	46.9	57.4	44.1	5.0	85.2
80.	40.	16.	30.	2.8	45.5	46.9	44.1	16.7	60.1
90.	40.	16.	30.	2.9	47.3	50.8	44.1	7.6	66.5
100.	40.	16.	30.	2.9	48.8	54.3	44.1	5.3	73.1
110.	40.	16.	30.	2.9	50.2	57.5	44.1	4.3	79.7
120.	40.	16.	30.	2.9	48.2	58.0	44.1	4.3	92.0
90.	50.	16.	30.	2.7	45.2	46.1	44.1	22.9	69.9
100.	50.	16.	30.	2.9	46.9	49.9	44.1	8.6	76.2
110.	50.	16.	30.	2.9	48.4	53.4	44.1	5.7	82.7
120.	50.	16.	30.	2.9	49.8	56.6	44.1	4.5	89.3
110.	60.	16.	30.	2.9	46.5	49.1	44.1	9.9	85.9
120.	60.	16.	30.	2.9	48.1	52.5	44.1	6.2	92.3
120.	70.	16.	30.	2.8	46.2	48.3	44.1	11.6	95.6
70.	30.	18.	30.	2.9	45.2	48.5	42.3	7.8	51.5
80.	30.	18.	30.	2.9	46.9	52.3	42.3	5.2	58.1
90.	30.	18.	30.	2.9	48.3	55.9	42.3	4.1	64.9
100.	30.	18.	30.	2.9	45.8	56.0	42.3	4.1	78.0
80.	40.	18.	30.	2.9	44.8	47.6	42.3	8.9	61.2
90.	40.	18.	30.	2.9	46.5	51.4	42.3	5.6	67.8
100.	40.	18.	30.	2.9	47.9	55.0	42.3	4.3	74.5
110.	40.	18.	30.	2.9	48.6	57.8	42.3	4.3	82.3
120.	40.	18.	30.	2.9	42.8	54.5	42.3	4.3	101.7
90.	50.	18.	30.	2.9	44.5	46.8	42.3	10.3	70.9
100.	50.	18.	30.	2.9	46.1	50.6	42.3	6.1	77.4
110.	50.	18.	30.	3.0	47.6	54.1	42.3	4.5	84.1
120.	50.	18.	30.	3.0	48.9	57.3	42.3	4.5	90.9
100.	60.	18.	30.	2.9	44.1	46.1	42.3	12.1	80.7
110.	60.	18.	30.	2.9	45.8	49.8	42.3	6.6	87.1
120.	60.	18.	30.	3.0	47.2	53.2	42.3	4.8	93.7
110.	70.	18.	30.	2.8	43.8	45.4	42.3	14.6	90.5
120.	70.	18.	30.	2.9	45.5	49.0	42.3	7.3	96.9
70.	30.	20.	30.	2.9	44.3	49.2	40.2	5.4	52.7
80.	30.	20.	30.	3.0	45.9	53.1	40.2	4.1	59.6
70.	40.	20.	30.	2.9	42.1	44.1	40.2	11.4	55.8
80.	40.	20.	30.	2.9	44.0	48.4	40.2	5.9	62.5
90.	40.	20.	30.	3.0	45.5	52.3	40.2	4.3	69.2
80.	50.	20.	30.	2.9	41.8	43.5	40.2	13.5	65.7
90.	50.	20.	30.	2.9	43.6	47.6	40.2	6.4	72.2
100.	50.	20.	30.	3.0	45.2	51.4	40.2	4.6	78.9
110.	50.	20.	30.	3.0	46.6	54.9	40.2	3.7	85.8
100.	60.	20.	30.	3.0	43.3	46.9	40.2	7.0	82.0
110.	60.	20.	30.	3.0	44.9	50.6	40.2	4.8	88.7
120.	60.	20.	30.	3.0	46.3	54.1	40.2	3.9	95.4

표 2. 연속

T _G	T _C	T _E	T _A	COP	X _G	X _{G2}	X _A	FR	T _{GC}
110.	70.	20.	30.	3.0	43.0	46.2	40.2	7.7	91.8
120.	70.	20.	30.	3.0	44.6	49.8	40.2	5.2	98.4
110.	30.	10.	40.	2.6	56.2	57.7	54.8	19.6	68.7
120.	40.	10.	40.	2.5	55.8	56.8	54.8	28.1	78.3
110.	30.	12.	40.	2.6	55.8	58.1	53.5	12.7	69.5
120.	40.	12.	40.	2.6	55.4	57.2	53.5	15.6	79.1
100.	30.	14.	40.	2.6	53.9	55.6	52.3	16.8	64.3
110.	30.	14.	40.	2.7	55.3	58.5	52.3	9.3	70.4
110.	40.	14.	40.	2.6	53.5	54.7	52.3	22.9	73.9
120.	40.	14.	40.	2.7	54.9	57.6	52.3	10.7	80.0
90.	30.	16.	40.	2.6	51.9	52.8	51.0	28.6	59.0
100.	30.	16.	40.	2.7	53.4	56.0	51.0	11.1	65.1
110.	30.	16.	40.	2.7	54.8	59.0	51.0	7.3	71.3
110.	40.	16.	40.	2.7	53.0	55.1	51.0	13.3	74.7
120.	40.	16.	40.	2.7	54.4	58.1	51.0	8.2	80.9
120.	50.	16.	40.	2.6	52.6	54.2	51.0	16.7	84.3
90.	30.	18.	40.	2.7	51.4	53.2	49.6	14.6	59.8
100.	30.	18.	40.	2.7	52.9	56.5	49.6	8.2	66.0
110.	30.	18.	40.	2.8	54.3	59.5	49.6	6.0	72.4
100.	40.	18.	40.	2.7	51.0	52.3	49.6	19.1	69.4
110.	40.	18.	40.	2.7	52.5	55.5	49.6	9.3	75.6
120.	40.	18.	40.	2.8	53.9	58.5	49.6	6.5	81.9
110.	50.	18.	40.	2.6	50.5	51.5	49.6	27.6	79.1
120.	50.	18.	40.	2.7	52.1	54.6	49.6	10.8	85.2
80.	30.	20.	40.	2.7	49.2	50.3	48.2	24.3	54.5
90.	30.	20.	40.	2.8	50.9	53.7	48.2	9.7	60.7
100.	30.	20.	40.	2.8	52.3	56.9	48.2	6.5	67.0
110.	30.	20.	40.	2.8	53.7	60.0	48.2	5.0	73.5
100.	40.	20.	40.	2.8	50.4	52.8	48.2	11.4	70.3
110.	40.	20.	40.	2.8	51.9	56.0	48.2	7.1	76.6
120.	40.	20.	40.	2.8	53.3	59.0	48.2	5.4	83.0
110.	50.	20.	40.	2.7	50.0	51.9	48.2	13.8	79.9
120.	50.	20.	40.	2.8	51.5	55.1	48.2	7.9	86.2
120.	60.	20.	40.	2.7	49.6	51.1	48.2	17.7	89.6
110.	30.	18.	50.	2.5	56.4	57.6	55.3	24.7	68.4
110.	30.	20.	50.	2.6	56.0	58.0	54.1	14.8	69.2
120.	40.	20.	50.	2.6	55.5	57.1	54.1	19.0	78.8

표 3. 에틸렌글리콜이 첨가된 수용액으로 계산된 설계 Data

T _G	T _C	T _E	T _A	COP	X _G	X _{G2}	X _A	FR	T _{GC}
120.	30.	2.	30.	3.1	51.0	53.4	49.4	13.2	71.9
110.	30.	4.	30.	3.0	49.2	51.2	47.9	15.6	67.4
120.	30.	4.	30.	3.2	50.3	54.0	47.9	8.8	73.1
120.	40.	4.	30.	2.7	48.6	49.7	47.9	28.8	76.7
100.	30.	6.	30.	2.9	47.4	48.9	46.5	20.3	62.8
110.	30.	6.	30.	3.2	48.6	51.8	46.5	9.7	68.6
120.	30.	6.	30.	3.3	49.7	54.7	46.5	6.6	74.4
120.	40.	6.	30.	3.1	48.0	50.2	46.5	13.4	77.9
100.	30.	8.	30.	3.2	46.8	49.5	45.0	11.1	63.9
110.	30.	8.	30.	3.3	48.0	52.4	45.0	7.0	69.9
120.	30.	8.	30.	3.4	49.0	55.4	45.0	5.3	75.8
110.	40.	8.	30.	3.0	46.2	48.0	45.0	16.0	73.2
120.	40.	8.	30.	3.3	47.3	50.8	45.0	8.7	79.1
120.	50.	8.	30.	2.7	45.6	46.6	45.0	29.1	82.5
90.	30.	10.	30.	3.1	44.9	46.9	43.5	13.6	59.1
100.	30.	10.	30.	3.3	46.1	50.1	43.5	7.6	65.2
110.	30.	10.	30.	3.4	47.2	53.1	43.5	5.5	71.2
120.	30.	10.	30.	3.5	48.3	56.1	43.5	4.4	77.3
100.	40.	10.	30.	2.9	44.3	45.5	43.5	22.2	68.4
110.	40.	10.	30.	3.2	45.6	48.6	43.5	9.5	74.4
120.	40.	10.	30.	3.4	46.6	51.5	43.5	6.4	80.5
120.	50.	10.	30.	3.1	45.0	47.2	43.5	12.7	83.7
80.	30.	12.	30.	3.0	42.8	44.1	41.9	20.1	54.0
90.	30.	12.	30.	3.3	44.2	47.5	41.9	8.4	60.2
100.	30.	12.	30.	3.4	45.4	50.7	41.9	5.7	66.5
110.	30.	12.	30.	3.5	46.5	53.8	41.9	4.5	72.7
120.	30.	12.	30.	3.6	47.4	57.0	41.9	3.7	78.9
100.	40.	12.	30.	3.2	43.6	46.1	41.9	10.9	69.5
110.	40.	12.	30.	3.4	44.8	49.2	41.9	6.7	75.7
120.	40.	12.	30.	3.5	45.9	52.2	41.9	5.0	82.0
110.	50.	12.	30.	3.1	43.1	44.8	41.9	15.6	78.8
120.	50.	12.	30.	3.3	44.3	47.8	41.9	8.1	85.0
120.	60.	12.	30.	2.8	42.5	43.4	41.9	28.2	88.2
80.	30.	14.	30.	3.3	42.1	44.7	40.2	9.9	55.1
90.	30.	14.	30.	3.4	43.4	48.2	40.2	6.0	61.5
100.	30.	14.	30.	3.5	44.6	51.5	40.2	4.5	67.9
110.	30.	14.	30.	3.6	45.6	54.7	40.2	3.7	74.4
120.	30.	14.	30.	3.6	46.5	57.9	40.2	3.2	80.7
90.	40.	14.	30.	3.2	41.5	43.3	40.2	13.8	64.4
100.	40.	14.	30.	3.4	42.9	46.8	40.2	7.1	70.8
110.	40.	14.	30.	3.5	44.0	49.9	40.2	5.1	77.2
120.	40.	14.	30.	3.6	45.0	52.9	40.2	4.1	83.6
100.	50.	14.	30.	3.0	41.0	42.0	40.2	23.7	73.8
110.	50.	14.	30.	3.3	42.4	45.4	40.2	8.7	80.1
120.	50.	14.	30.	3.5	43.5	48.5	40.2	5.8	86.5
120.	60.	14.	30.	3.2	41.8	44.0	40.2	11.4	89.3

표 3. 연속

T _G	T _C	T _E	T _A	COP	X _G	X _{G2}	X _A	FR	T _{GC}
70.	40.	2.	40.	3.7	60.0	65.8	55.4	6.2	106.7
80.	40.	2.	40.	3.6	60.0	66.0	55.4	6.2	106.8
70.	50.	2.	40.	3.7	60.0	65.6	55.4	6.3	120.5
80.	50.	2.	40.	3.7	60.0	65.8	55.4	6.3	120.7
90.	50.	2.	40.	3.7	60.0	65.9	55.4	6.2	120.8
70.	60.	2.	40.	3.8	60.0	65.4	55.4	6.5	134.4
80.	60.	2.	40.	3.8	60.0	65.6	55.4	6.4	134.6
90.	60.	2.	40.	3.7	60.0	65.7	55.4	6.3	134.8
100.	60.	2.	40.	3.7	60.0	65.9	55.4	6.2	135.0
110.	60.	2.	40.	3.7	60.0	66.0	55.4	6.1	135.1
80.	70.	2.	40.	3.8	60.0	65.3	55.4	6.5	148.6
90.	70.	2.	40.	3.8	60.0	65.5	55.4	6.4	148.9
100.	70.	2.	40.	3.8	60.0	65.6	55.4	6.3	149.0
110.	70.	2.	40.	3.7	60.0	65.8	55.4	6.3	149.2
120.	70.	2.	40.	3.7	60.0	66.0	55.4	6.2	149.4
70.	40.	4.	40.	3.7	60.0	68.4	53.9	4.7	108.8
80.	40.	4.	40.	3.7	60.0	68.6	53.9	4.6	108.9
70.	50.	4.	40.	3.8	60.0	68.2	53.9	4.7	122.7
80.	50.	4.	40.	3.8	60.0	68.4	53.9	4.7	122.8
90.	50.	4.	40.	3.8	60.0	68.6	53.9	4.6	122.9
70.	60.	4.	40.	3.9	60.0	67.9	53.9	4.8	136.7
80.	60.	4.	40.	3.9	60.0	68.1	53.9	4.7	136.8
90.	60.	4.	40.	3.8	60.0	68.3	53.9	4.7	136.9
100.	60.	4.	40.	3.8	60.0	68.5	53.9	4.6	137.0
110.	60.	4.	40.	3.8	60.0	68.7	53.9	4.6	137.1
80.	70.	4.	40.	4.0	60.0	67.8	53.9	4.8	151.0
90.	70.	4.	40.	3.9	60.0	68.0	53.9	4.8	151.1
100.	70.	4.	40.	3.9	60.0	68.2	53.9	4.7	151.2
110.	70.	4.	40.	3.9	60.0	68.5	53.9	4.6	151.3
120.	70.	4.	40.	3.8	60.0	68.7	53.9	4.6	151.4
120.	30.	10.	40.	3.0	51.1	53.3	49.6	14.4	71.7
110.	30.	12.	40.	3.0	49.3	51.1	48.2	17.8	67.2
120.	30.	12.	40.	3.2	50.5	53.9	48.2	9.5	72.8
100.	30.	14.	40.	2.8	47.5	48.8	46.9	25.7	62.6
110.	30.	14.	40.	3.2	48.8	51.7	46.9	10.7	68.3
120.	30.	14.	40.	3.3	49.9	54.5	46.9	7.1	74.1
120.	40.	14.	40.	3.0	48.1	50.1	46.9	15.4	77.6
100.	30.	16.	40.	3.1	47.0	49.3	45.4	12.8	63.6
110.	30.	16.	40.	3.3	48.2	52.2	45.4	7.7	69.5
120.	30.	16.	40.	3.4	49.2	55.2	45.4	5.6	75.4
110.	40.	16.	40.	2.9	46.4	47.8	45.4	20.0	72.9
120.	40.	16.	40.	3.2	47.5	50.7	45.4	9.7	78.8
90.	30.	18.	40.	3.0	45.1	46.7	44.0	17.1	58.7
100.	30.	18.	40.	3.2	46.4	49.9	44.0	8.5	64.7
110.	30.	18.	40.	3.3	47.5	52.9	44.0	5.9	70.8
120.	30.	18.	40.	3.4	48.5	55.9	44.0	4.7	76.7

표 3. 연속

T _G	T _C	T _E	T _A	COP	X _G	X _{G2}	X _A	FR	T _{GC}
110.	40.	18.	40.	3.2	45.8	48.4	44.0	11.0	74.0
120.	40.	18.	40.	3.3	46.9	51.2	44.0	7.0	80.0
120.	50.	18.	40.	3.0	45.2	47.0	44.0	15.7	83.3
90.	30.	20.	40.	3.2	44.5	47.3	42.5	9.8	59.8
100.	30.	20.	40.	3.3	45.7	50.5	42.5	6.3	65.9
110.	30.	20.	40.	3.4	46.8	53.5	42.5	4.8	72.1
120.	30.	20.	40.	3.5	47.8	56.6	42.5	4.0	78.2
100.	40.	20.	40.	3.1	43.9	45.9	42.5	13.5	69.1
110.	40.	20.	40.	3.3	45.1	49.0	42.5	7.5	75.2
120.	40.	20.	40.	3.4	46.2	51.9	42.5	5.5	81.4
110.	50.	20.	40.	2.9	43.3	44.5	42.5	21.8	78.4
120.	50.	20.	40.	3.2	44.6	47.5	42.5	9.4	84.5
70.	40.	6.	50.	3.4	60.0	61.5	58.3	19.4	100.7
80.	40.	6.	50.	3.4	60.0	61.6	58.3	19.0	100.8
70.	50.	6.	50.	3.4	60.0	61.3	58.3	20.3	114.2
80.	50.	6.	50.	3.4	60.0	61.4	58.3	19.8	114.4
90.	50.	6.	50.	3.3	60.0	61.5	58.3	19.2	114.5
70.	60.	6.	50.	3.4	60.0	61.2	58.3	21.3	127.9
80.	60.	6.	50.	3.4	60.0	61.3	58.3	20.7	128.1
90.	60.	6.	50.	3.3	60.0	61.4	58.3	20.1	128.3
100.	60.	6.	50.	3.3	60.0	61.5	58.3	19.5	128.4
110.	60.	6.	50.	3.2	60.0	61.6	58.3	19.0	128.6
80.	70.	6.	50.	3.4	60.0	61.1	58.3	21.8	141.9
90.	70.	6.	50.	3.3	60.0	61.2	58.3	21.1	142.1
100.	70.	6.	50.	3.3	60.0	61.3	58.3	20.4	142.2
110.	70.	6.	50.	3.2	60.0	61.4	58.3	19.9	142.4
120.	70.	6.	50.	3.2	60.0	61.5	58.3	19.3	142.6
70.	40.	8.	50.	3.6	60.0	63.6	56.8	9.2	104.0
80.	40.	8.	50.	3.5	60.0	63.7	56.8	9.1	104.1
70.	50.	8.	50.	3.6	60.0	63.5	56.8	9.4	117.7
80.	50.	8.	50.	3.6	60.0	63.6	56.8	9.3	117.9
90.	50.	8.	50.	3.5	60.0	63.7	56.8	9.2	118.0
70.	60.	8.	50.	3.7	60.0	63.3	56.8	9.7	131.5
80.	60.	8.	50.	3.6	60.0	63.4	56.8	9.5	131.7
90.	60.	8.	50.	3.6	60.0	63.5	56.8	9.4	131.9
100.	60.	8.	50.	3.5	60.0	63.6	56.8	9.2	132.1
110.	60.	8.	50.	3.5	60.0	63.8	56.8	9.1	132.3
80.	70.	8.	50.	3.7	60.0	63.2	56.8	9.8	145.6
90.	70.	8.	50.	3.6	60.0	63.3	56.8	9.6	145.8
100.	70.	8.	50.	3.6	60.0	63.5	56.8	9.5	146.0
110.	70.	8.	50.	3.5	60.0	63.6	56.8	9.3	146.2
120.	70.	8.	50.	3.5	60.0	63.7	56.8	9.1	146.4
70.	40.	10.	50.	3.6	60.0	65.9	55.3	6.2	106.7
80.	40.	10.	50.	3.6	60.0	66.0	55.3	6.1	106.9
70.	50.	10.	50.	3.7	60.0	65.7	55.3	6.3	120.6

표 3. 연속

T _G	T _C	T _E	T _A	COP	X _G	X _{G2}	X _A	FR	T _{GC}
80.	50.	10.	50.	3.7	60.0	65.9	55.3	6.2	120.8
90.	50.	10.	50.	3.6	60.0	66.0	55.3	6.1	120.9
70.	60.	10.	50.	3.8	60.0	65.5	55.3	6.4	134.5
80.	60.	10.	50.	3.7	60.0	65.6	55.3	6.3	134.7
90.	60.	10.	50.	3.7	60.0	65.8	55.3	6.2	134.9
100.	60.	10.	50.	3.7	60.0	66.0	55.3	6.1	135.1
110.	60.	10.	50.	3.6	60.0	66.1	55.3	6.1	135.2
80.	70.	10.	50.	3.8	60.0	65.4	55.3	6.4	148.7
90.	70.	10.	50.	3.8	60.0	65.5	55.3	6.3	148.9
100.	70.	10.	50.	3.7	60.0	65.7	55.3	6.3	149.1
110.	70.	10.	50.	3.7	60.0	65.9	55.3	6.2	149.3
120.	70.	10.	50.	3.7	60.0	66.1	55.3	6.1	149.5
70.	40.	12.	50.	3.7	60.0	68.4	53.9	4.7	108.7
80.	40.	12.	50.	3.7	60.0	68.6	53.9	4.6	108.8
70.	50.	12.	50.	3.8	60.0	68.1	53.9	4.7	122.6
80.	50.	12.	50.	3.7	60.0	68.3	53.9	4.7	122.8
90.	50.	12.	50.	3.7	60.0	68.5	53.9	4.6	122.9
70.	60.	12.	50.	3.9	60.0	67.9	53.9	4.8	136.7
80.	60.	12.	50.	3.8	60.0	68.1	53.9	4.8	136.8
90.	60.	12.	50.	3.8	60.0	68.3	53.9	4.7	136.9
100.	60.	12.	50.	3.8	60.0	68.5	53.9	4.6	137.0
110.	60.	12.	50.	3.7	60.0	68.7	53.9	4.6	137.1
80.	70.	12.	50.	3.9	60.0	67.7	53.9	4.8	150.9
90.	70.	12.	50.	3.9	60.0	68.0	53.9	4.8	151.0
100.	70.	12.	50.	3.8	60.0	68.2	53.9	4.7	151.2
110.	70.	12.	50.	3.8	60.0	68.4	53.9	4.7	151.3
120.	70.	12.	50.	3.8	60.0	68.6	53.9	4.6	151.4
120.	30.	18.	50.	3.0	51.1	53.3	49.8	15.4	71.6
110.	30.	20.	50.	2.9	49.4	51.0	48.5	20.1	67.0
120.	30.	20.	50.	3.1	50.6	53.8	48.5	10.1	72.6
70.	40.	14.	60.	3.5	60.0	61.8	58.1	16.4	101.2
80.	40.	14.	60.	3.4	60.0	61.9	58.1	16.0	101.4
70.	50.	14.	60.	3.5	60.0	61.7	58.1	17.0	114.9
80.	50.	14.	60.	3.4	60.0	61.8	58.1	16.6	115.0
90.	50.	14.	60.	3.4	60.0	61.9	58.1	16.2	115.2
70.	60.	14.	60.	3.5	60.0	61.5	58.1	17.7	128.6
80.	60.	14.	60.	3.4	60.0	61.6	58.1	17.3	128.7
90.	60.	14.	60.	3.4	60.0	61.7	58.1	16.8	128.9
100.	60.	14.	60.	3.3	60.0	61.8	58.1	16.4	129.1
110.	60.	14.	60.	3.3	60.0	61.9	58.1	16.1	129.3
80.	70.	14.	60.	3.5	60.0	61.5	58.1	18.1	142.5
90.	70.	14.	60.	3.4	60.0	61.6	58.1	17.5	142.7
100.	70.	14.	60.	3.3	60.0	61.7	58.1	17.1	142.9
110.	70.	14.	60.	3.3	60.0	61.8	58.1	16.7	143.1
120.	70.	14.	60.	3.3	60.0	61.9	58.1	16.3	143.3

표 3. 연속

T _G	T _C	T _E	T _A	COP	X _G	X _{G2}	X _A	FR	T _{GC}
70.	40.	16.	60.	3.5	60.0	63.9	56.6	8.7	104.3
80.	40.	16.	60.	3.5	60.0	64.0	56.6	8.6	104.5
70.	50.	16.	60.	3.6	60.0	63.7	56.6	8.9	118.1
80.	50.	16.	60.	3.6	60.0	63.8	56.6	8.8	118.2
90.	50.	16.	60.	3.5	60.0	64.0	56.6	8.6	118.4
70.	60.	16.	60.	3.6	60.0	63.5	56.6	9.1	131.9
80.	60.	16.	60.	3.6	60.0	63.7	56.6	9.0	132.1
90.	60.	16.	60.	3.6	60.0	63.8	56.6	8.8	132.3
100.	60.	16.	60.	3.5	60.0	63.9	56.6	8.7	132.5
110.	60.	16.	60.	3.5	60.0	64.0	56.6	8.6	132.7
80.	70.	16.	60.	3.7	60.0	63.5	56.6	9.2	146.0
90.	70.	16.	60.	3.6	60.0	63.6	56.6	9.1	146.2
100.	70.	16.	60.	3.6	60.0	63.7	56.6	8.9	146.4
110.	70.	16.	60.	3.5	60.0	63.8	56.6	8.8	146.6
120.	70.	16.	60.	3.5	60.0	64.0	56.6	8.6	146.9
70.	40.	18.	60.	3.6	60.0	66.1	55.2	6.0	106.9
80.	40.	18.	60.	3.6	60.0	66.2	55.2	6.0	107.0
70.	50.	18.	60.	3.7	60.0	65.9	55.2	6.1	120.8
80.	50.	18.	60.	3.6	60.0	66.0	55.2	6.1	120.9
90.	50.	18.	60.	3.6	60.0	66.2	55.2	6.0	121.1
70.	60.	18.	60.	3.7	60.0	65.6	55.2	6.2	134.7
80.	60.	18.	60.	3.7	60.0	65.8	55.2	6.2	134.9
90.	60.	18.	60.	3.7	60.0	65.9	55.2	6.1	135.0
100.	60.	18.	60.	3.6	60.0	66.1	55.2	6.0	135.2
110.	60.	18.	60.	3.6	60.0	66.3	55.2	5.9	135.4
80.	70.	18.	60.	3.8	60.0	65.5	55.2	6.3	148.9
90.	70.	18.	60.	3.7	60.0	65.7	55.2	6.2	149.1
100.	70.	18.	60.	3.7	60.0	65.9	55.2	6.1	149.3
110.	70.	18.	60.	3.7	60.0	66.0	55.2	6.0	149.5
120.	70.	18.	60.	3.6	60.0	66.2	55.2	6.0	149.7
70.	40.	20.	60.	3.6	60.0	68.4	53.8	4.7	108.7
80.	40.	20.	60.	3.6	60.0	68.6	53.8	4.6	108.8
70.	50.	20.	60.	3.7	60.0	68.1	53.8	4.7	122.7
80.	50.	20.	60.	3.7	60.0	68.3	53.8	4.7	122.8
90.	50.	20.	60.	3.7	60.0	68.5	53.8	4.6	122.9
70.	60.	20.	60.	3.8	60.0	67.9	53.8	4.8	136.7
80.	60.	20.	60.	3.8	60.0	68.1	53.8	4.7	136.8
90.	60.	20.	60.	3.7	60.0	68.3	53.8	4.7	136.9
100.	60.	20.	60.	3.7	60.0	68.5	53.8	4.6	137.0
110.	60.	20.	60.	3.7	60.0	68.7	53.8	4.6	137.1
80.	70.	20.	60.	3.9	60.0	67.7	53.8	4.8	150.9
90.	70.	20.	60.	3.8	60.0	68.0	53.8	4.8	151.1
100.	70.	20.	60.	3.8	60.0	68.2	53.8	4.7	151.2
110.	70.	20.	60.	3.8	60.0	68.4	53.8	4.6	151.3
120.	70.	20.	60.	3.7	60.0	68.6	53.8	4.6	151.4

4. 결론

이중효용 흡수식 난방시스템의 LiBr 수용액에 에틸렌 글리콜이 함유된 새로운 수용액의 열역학적 성능을 해석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) Ethylene Glycol이 혼합된 수용액을 사용하여, 태양열을 보조난방으로 하는 흡수식 난방 가능 온도 영역을 계산하였다.
- 2) 태양열을 보조열원으로 한 난방 시스템의 새로운 수용액에 대한 성능해석 결과, 성적 계수의 경우는 LiBr 수용액보다 우수하고 질량유량비는 거의 유사하다는 것을 알 수 있었다.
- 3) 에틸렌 글리콜을 혼합한 LiBr 수용액의 난방 이중효용 작동 온도 범위는 다음과 같다.

$$70 \leq T_G \leq 120 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$30 \leq T_C \leq 70 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$2 \leq T_E \leq 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$30 \leq T_A \leq 60 \text{ }^\circ\text{C}$$

참고문헌

1. G. C. Vliet, et al., AHRAE Trans., 88, 1 (1982), 811-823
2. S. H. Won, and W. Y. Lee, J. Heat Recovery System & CHP, 11, 1(1991) 41-48
3. 원승호, 대한기계학회 91년도 춘계학술대회 논문집(II), (1991), 279-282
4. S. C. Kaushik, et al., Solar Energy, 40, 5 (1988), 431-441.
5. F. A. Holland, etc, J. Heat Recovery systems & CHP, 8, 1 (1988), 33-41
6. S. H. Won, etc, J. of Chemical & Engineering Data, 40, 2 (1995), 496-498.
7. S. Iyoki, and T. Uemura, refrigerant (in Japan), 56, 642 (1981), 11-20.

8. 원승호, 건양논총, 10 (2001), 313-319,
9. S. H. Won, and Y. H. Kang, J. Heat Recovery System & CHP, 13, 1 (1993), 49-56.
10. R. Best, W. Rivera, and A. Oskam, Heat Recovery Systems & CHP, 15, 5 (1995), 426-434.
11. R. Best, W. Rivera, and A. Oskam, Heat Recovery Systems & CHP 15, 5 (1995), 435-444.
12. R. Best, W. Rivera, and A. Oskam, Heat Recovery Systems & CHP 15, 5 (1995), 445-456.

$$a_3 = 4.579 \times 10^{-5}$$

$$b_0 = 8.529 \times 10^2$$

$$b_1 = 4.067 \times 10^1$$

$$b_2 = -6.651 \times 10^{-1}$$

$$b_3 = 4.306 \times 10^{-3}$$

2. 실험된 증기압, 비열, 혼합열 및 기-액평형관계 실측치 및 수증기의 엔탈피, 에틸렌글리콜의 비열, 무수 리튬 브로마이드의 비열을 사용하여 표시된 엔탈피-농도 선도⁷⁾로 부터 유도된 엔탈피-농도-온도 선도 방정식⁸⁾

Appendix

1. 계산에 사용된 압력-농도-온도 방정식⁷⁾

P : 증기압 mmHg

T : 온도 °C X : 농도 %

$$\log P =$$

$$\sum_{n=0}^{\infty} a_n X^n - \frac{1}{t+230} \sum_{n=0}^{\infty} b_n X^n$$

$$a_0 = 2.127$$

$$a_1 = 3.466 \times 10^{-1}$$

$$a_2 = -7.082 \times 10^{-3}$$

h : Enthalpy kcal/kg

t : 온도 °C X : 농도 %

$$h = A_0 + A_1 X + t (B_0 + B_1 X) + t^2 (C_0 + C_1 X)$$

$$A_0 = 82.1618$$

$$A_1 = -0.671506$$

$$B_0 = 0.521665$$

$$B_1 = -0.527983 \times 10^{-4}$$

$$C_0 = 0.102959 \times 10^{-2}$$

$$C_1 = -0.157373 \times 10^{-4}$$