

[논문] 한국태양에너지학회 논문집  
Journal of the Korean Solar Energy Society  
Vol. 23, No. 4, 2003

# 흡수액으로 에틸렌글리콜이 혼합되고 태양열을 이용한 이중효용 흡수식 시스템의 냉방 특성해석

원승호\*, 박상일\*\*

\*건양대학교기계공학과

\*\*한국에너지기술연구원 신연소시스템연구센터

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

Won, Seung-Ho\*/ Park, Sang-il\*\*

\*Dept. of Mechanical Engineering, Konyang University,

\*\*Advanced Combustion Research Center, Korea Institute of Energy Research

### Abstract

For cooling of double effect absorption heat pump system of solar heating source, analysis of thermodynamic design data 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 (H<sub>2</sub>O : CHO ratio 10:1 by mole) by computer simulation are done. 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.

**Keywords :** 흡수식 히트펌프(Absorption heat pump), 수치해석(simulation), 에틸렌 글리콜(ethylene glycol), 이중효용 냉방(double cooling)

	기 호 설 명		
		$h$	엔탈피(kJ/kg)
		$\dot{m}$	질량유동율(kg/sec)
COP	성능계수(·)	$P$	압력(kPa)
FR	유량비(·)	$Q$	열량(kW)

T	온도(K or °C)
X	농도 백분율(%)
$\eta$	열교환 유효율

**하 첨 자**

A	흡수기
C	응축기
E	증발기
G	발생기
GC	제2발생기
W	작동유체(물)

**1. 서 론**

수식 냉난방시스템은 작동유체의 흡수열을 이용하여 작동되는 시스템으로, 대형 건물 뿐 만 아니라 중규모 건물에도 많이 채택하고 있는 대표적인 냉방장치이다. 압축식 시스템과는 달리 기계적 구동 장치가 적으므로 전력소모가 매우 적고, 소음 및 진동 등이 적어 수명이 길며, 냉난방을 하나의 시스

템으로 해결할 수 있다는 장점이 있다. 또한 전력소 모가 많은 여름철 냉방을 전기가 아닌 값싼 가스를 이용할 수 있다.

흡수식 난방시스템은 국가적으로 문제가 되는 여름철 전력사용량을 줄일 수 있어 에너지의 효율적인 사용을 가능하게 하며, 프레온에 의한 환경 오염 문제도 거의 없다. 그리고 사용상으로는 내부 작동 압력이 대부분 진공 또는 저압상태이기 때문에 상당히 안전한 시스템이라는 장점이 있다.

흡수식 냉난방 시스템의 작동매체에 관하여 LiBr 수용액을 사용하는 시스템에 관한 연구는 1940년대부터 수행되었고, 현재 LiBr 수용액, 암모니아 수용액이 실용화되었으며, 이 작동유체들을 사용한 시스템이 가장 널리 사용되고 있다. 흡수식 히트 펌프 시스템에 관한 연구중, 중요한 부분중의 하나가 흡수용액에 관한 것이다. 이에 대해 여러 연구자에 의하여 많은 연구가 실행되고 있다<sup>1)~6)</sup>.

LiBr 수용액에 에틸렌글리콜을 혼합하여 개발된 새로운 수용액을 적용하는 연구로는 1중효용 난방 시스템<sup>9)</sup>, 2중효용시스템의 태양열 이용난방 시스

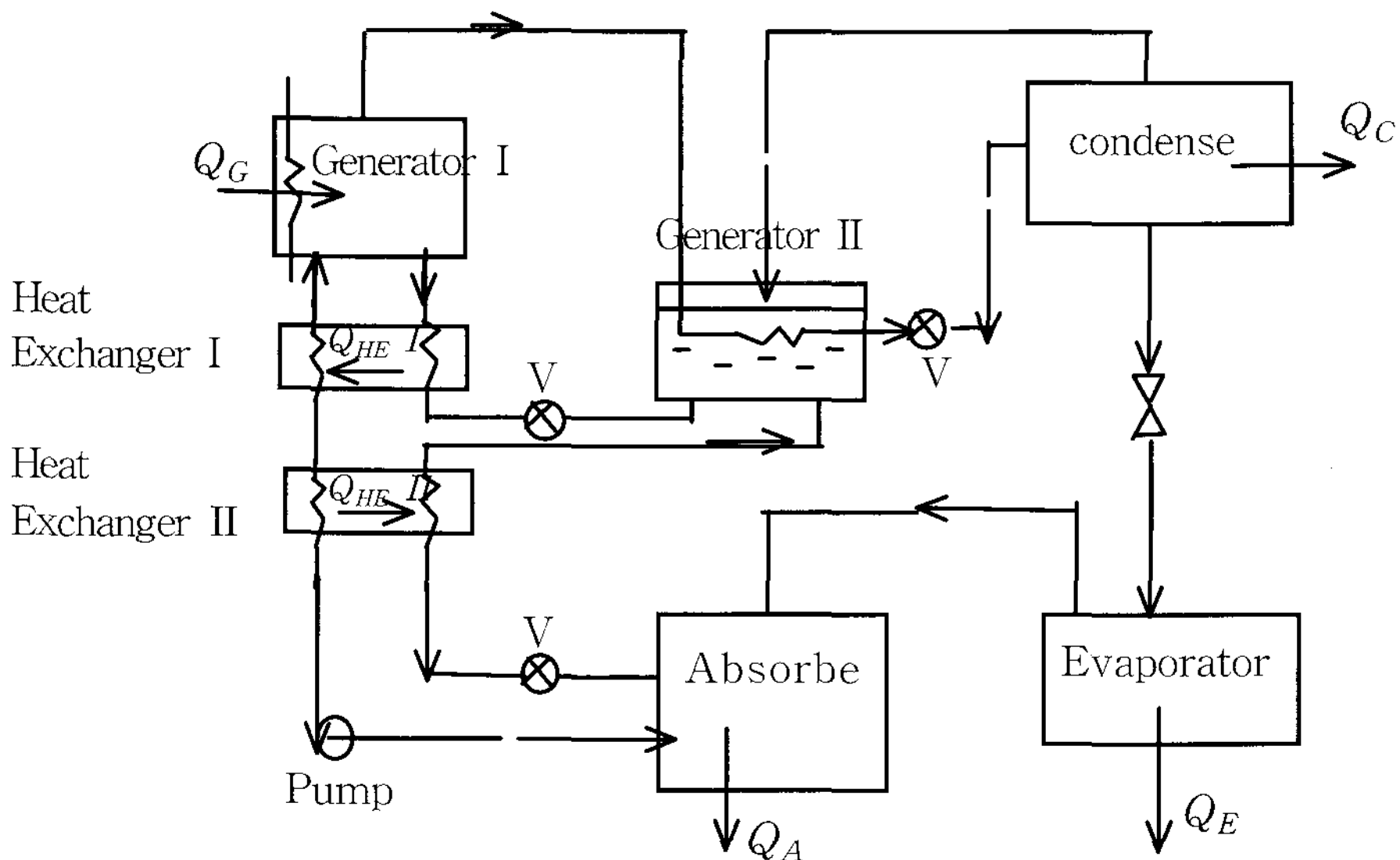


그림 1 이중효용 흡수식 사이클

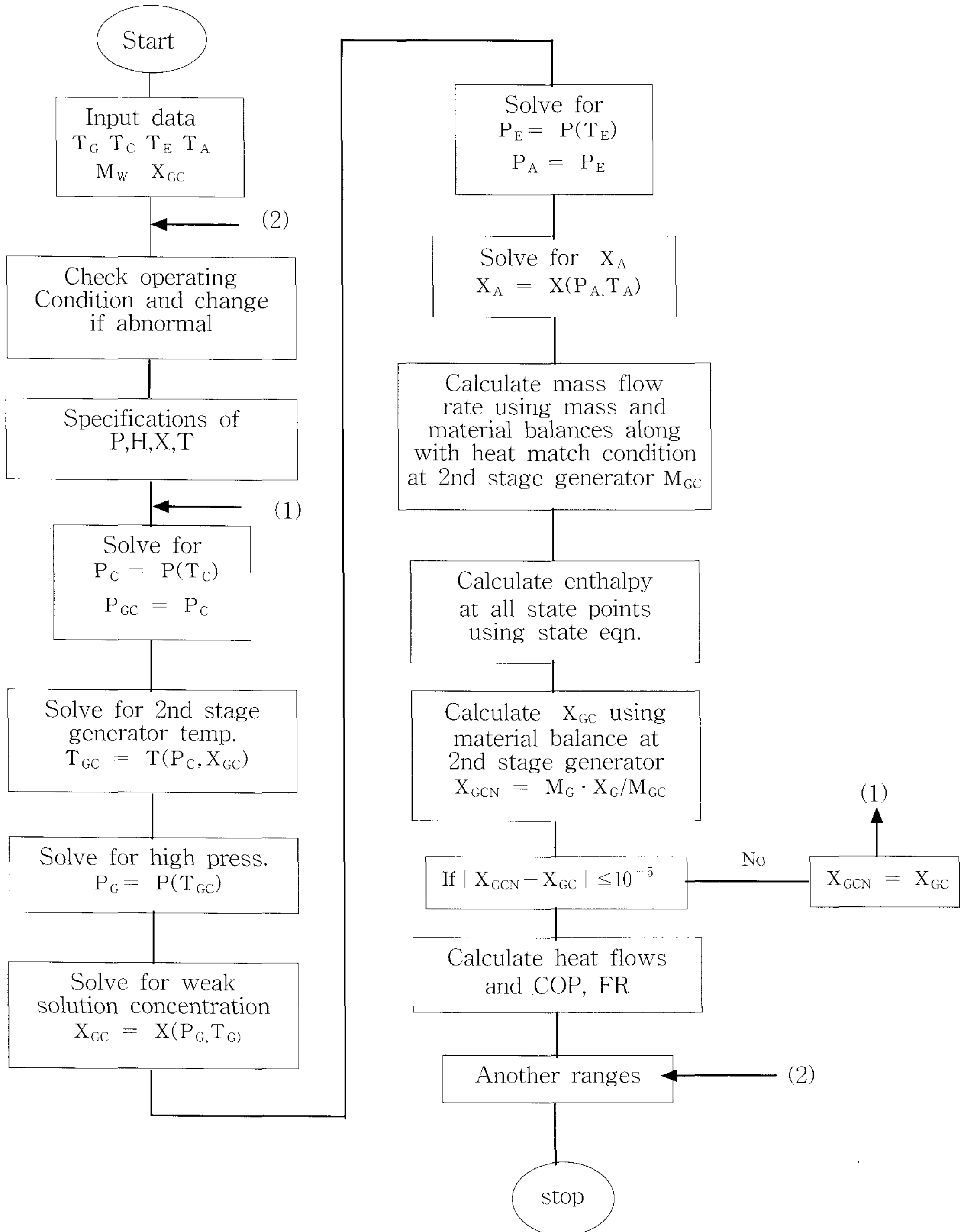


그림 2 계산 유동도

템<sup>1)</sup>의 특성을 분석한 연구가 있었고, 기존의 LiBr 수용액과 비교하여 작동온도영역 및 성능계수 등에서 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

본 연구에서는 2중효용 냉방시스템의 냉방특성을 해석하는데 있어서 발생기 열원인 주 열원으로 가스나 증유, 경유 등을 사용하고, 흡수액은 LiBr 수용액에 에틸렌 글리콜을 혼합한(10mole의 물에 대해 1mole의 에틸렌글리콜 혼합) 새로운 흡수액을 사용한, 2중효용 냉방시스템의 성능을 분석하고자 하였다. 그리고 기존용액을 사용한 냉방시스템과의 성능비교를 위해서 같은 조건에서의 LiBr 수용액을 사용한 이중 효용 냉방시스템에 대한 냉방 성능 계산 결과와 비교하였다.

새로운 작동유체의 열물성치에 대하여는 Iyoki 등<sup>8)</sup>이 측정하고 원<sup>1),9)</sup>이 사용한 LiBr - ethylene glycol 수용액의 밀도, 점도, 용해도 등의 물리적 성질과 비열, 혼합열 등을 사용하였다.

## 2. 작동원리 및 전산시뮬레이션

2중효용 흡수식 냉방 성능 계산 방법은 원<sup>1),3),4),9)</sup>, Kaushik<sup>5)</sup>, Best 등<sup>11),12)</sup>에 자세히 설명되어 있으며 이에 대한 자세한 시스템 작동 상태도는 그림 1에 나타나 있다. LiBr - ethylene glycol 수용액과 냉매인 수증기의 방정식 형태는 다음과 같으며 상세한 방정식은 2중 효용 난방 사이클 해석을 수행한 원<sup>1)</sup>의 연구에 나타나 있다. 그리고 LiBr 수용액에 대한 방정식은 Vliet 등<sup>2)</sup>의 측정값을 사용하였다.

이중효용 흡수식 냉방시스템의 열적평형 상태를 만족하고, 결정석출이 되지 않는 온도인, 작동온도 변화영역은 사이클을 구성하기 위하여 온도변화 조건을 만족하도록 하였고, 각 작동지점에서 시스템은 모두 정상상태로 주어지며, 냉방성능을 해석하기 위한 시뮬레이션 수용액의 열역학적 작동 온도 상태는 다음과 같다.

$$\text{발생기 온도 } TG = 70 - 180 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{응축기 온도 } TC = 20 - 70 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{증발기 온도 } TE = 2 - 10 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{흡수기 온도 } TA = 20 - 70 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{냉매질량유량 } 0.01\text{kg/sec}$$

$$\text{용액 열교환기의 효율 } 0.9$$

질량유량비<sup>6)</sup>는

$$FR = \frac{\dot{m}_A}{\dot{m}_W} = XG/(XG - XA)$$

로 정의하였으며, FR은 냉매 질량유동율에 대한 흡수액 유동율의 비로써 이 값이 크면 성능대비 흡수액 유동량이 많아 진다는 것을 나타낸다. 흡수액 유동량이 커지면 배관의 크기가 커지고 시스템 자체가 커진다는 것을 의미한다. 전산시뮬레이션 방법은 Kaushik<sup>5)</sup>, 원<sup>1),3),4),6),10)</sup> 등의 연구에 설명되어 있고 계산순서는 그림 2의 계산 유동도에 나타나 있다. 수렴조건은 상대오차를  $10^{-5}$ 으로 하였다.

그리고 발생기의 열원은 유류, 가스 등 공급 열원이다. 그리고 냉방으로 사용되는 에너지는 증발열이 된다. 따라서 사용되는 성능계수(COP)는

$$COP = \frac{Q_E}{Q_G} \quad (1)$$

이다.

## 3. 계산결과 및 고찰

기존의 LiBr 수용액과 에틸렌 글리콜이 혼합된 새로운 수용액 각각에 대하여 발생기, 흡수기, 응축기 및 증발기의 평형온도를 변화시키고 수용액들의 작동제한 조건<sup>8)</sup> (결정석출 등)을 만족하는 온도 상태에 대하여 성적계수, 농용액 농도, 희용액 농도, 질량유동율 등을 계산하였다.

표 1은 발생기 평형온도가 120°C, 응축기온도를 30, 40°C, 흡수기 온도를 30°C로 하였을 때, 증발기 온도 변화에 따른 계산 값을 비교한 것이다. 냉방 성능계수는 LiBr 수용액을 사용한 경우는 약 1.6정도를 나타내고 있으며 에틸렌 글리콜 혼합액

그림 3은 증발기 온도  $T_E$  를 8°C, 흡수기 온도  $T_A$ 는 30°C, 응축기 온도  $T_C$ 는 40°C이고, 발생기 온도는  $70 \leq T_G \leq 180^\circ\text{C}$ 로 변화시켰을 때의 수치해석 결과이다.

표 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	30	2	30	1.5	55.7	57.0	54.3	21.5	2.0	51.0	53.5	49.3	13.26
120	40	4	30	1.6	55.2	57.4	53.1	13.2	1.6	48.6	49.7	48.0	14.7
120	40	6	30	1.6	54.8	57.8	51.8	9.5	2.0	48.0	50.3	46.5	13.4
120	40	8	30	1.7	54.2	58.3	50.4	7.4	2.1	47.4	50.9	45.1	8.7
120	40	10	30	1.7	53.6	58.8	49.0	6.0	2.2	46.7	51.5	43.5	6.4

을 사용한 경우는 2.0정도로, 새로운 에틸렌 글리콜 혼합액을 사용한 경우가 약 25 %정도 우수하다는 것을 알 수 있었다. 그리고 FR은 에틸렌 글리콜 혼합액을 사용한 경우가 다소 많게 나타나지만 전체적으로는 유사한 값을 나타내고 있다는 것을 알 수 있다.

전체적으로, 성적계수는 30%이상 에틸렌 글리콜을 혼합한 새로운 수용액을 사용한 경우가 우수하다는 것을 알 수 있으며, 이러한 영역에서의 FR은 기존 LiBr 용액을 사용한 경우와 비슷하게 나타난다는 것을 알 수 있었다. 작동온도 영역은 기존의 LiBr 수용액을 사용한 것은 낮게 나타나고 있으나 중온에서는 새로운 수용액이 더 넓은 작동온도영역을 나타내고 있다. 이러한 경향은 전체 작동온도 영역계산에서 거의 공통적으로 나타나고 있다.

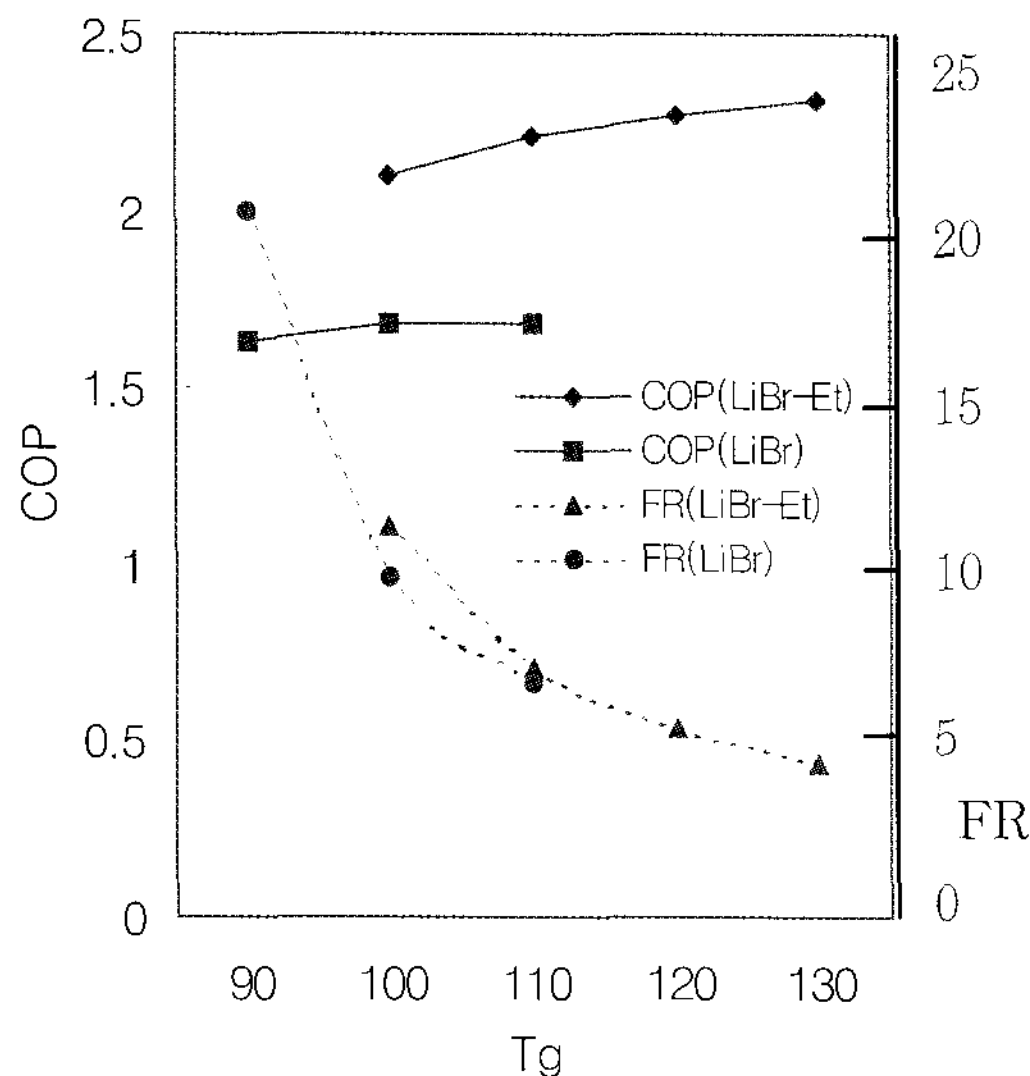


그림 3 발생기온도  $70 \leq T_G \leq 180^\circ\text{C}$ ,  $T_E = 8^\circ\text{C}$ ,  $T_A = 30^\circ\text{C}$ ,  $T_C = 30^\circ\text{C}$  일 때 COP 및 FR 변화

그림 4는 증발기 온도 8°C, 흡수기온도 30°C, 응축기 온도 40°C이고, 발생기 온도를 70°C에서 180°C까지 변화시켰을 때의 수치계산 결과이다. 성적계수는 25%이상 최대 45%까지 에틸렌글리콜 혼합액을 사용한, 새로운 용액을 사용하였을 때가 성적계수가 우수한 것으로 나타났으며, 이 온도 범위에서의 FR도 새로운 용액의 경우가 우수하다는 것을 알 수 있었다.

표 2에서의 계산결과를 보면, 작동 온도 영역은 에틸렌 글리콜을 혼합한 새로운 용액의 경우와 LiBr 수용액만을 사용하는 경우와 거의 같고, 최고

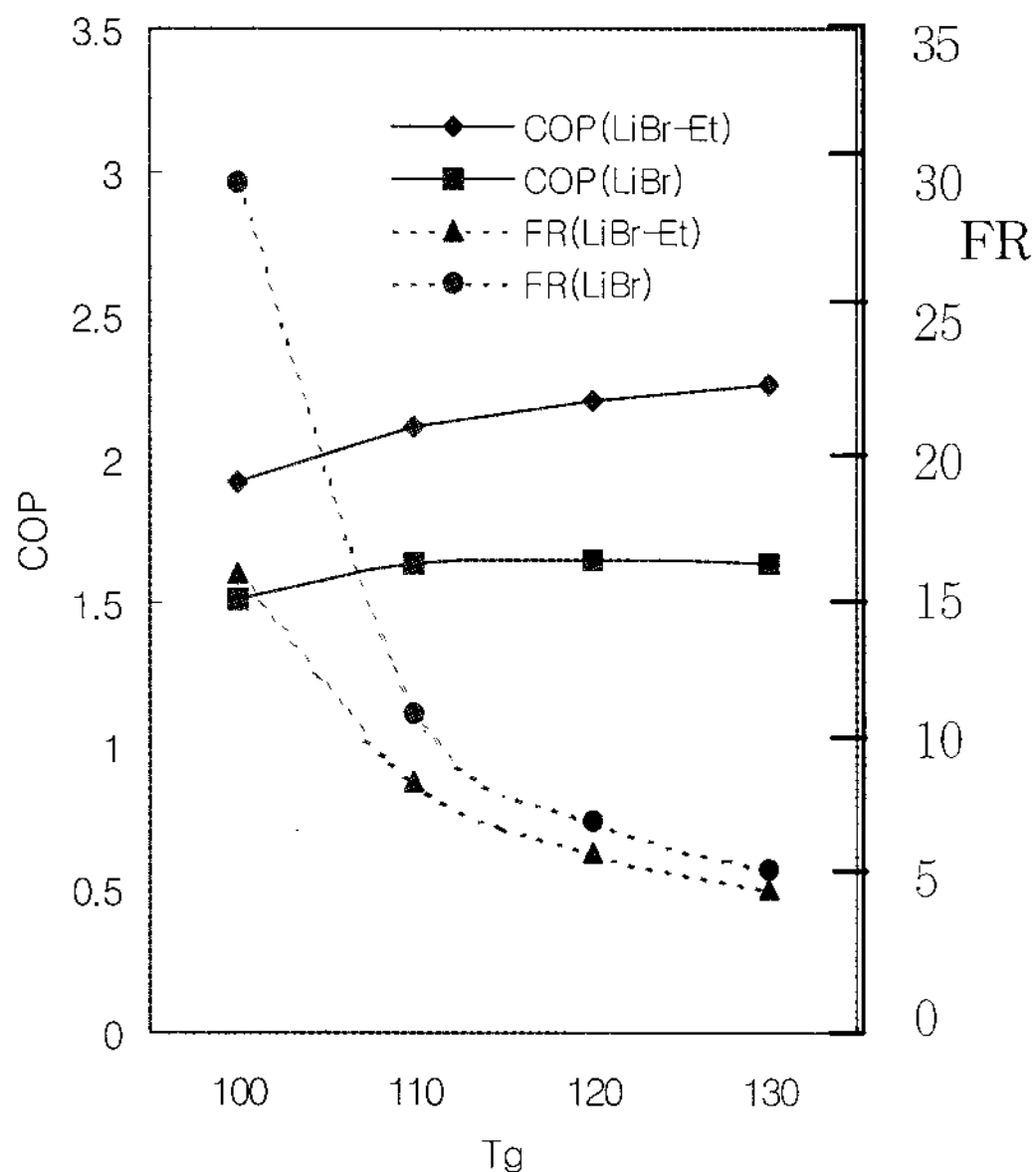


그림 4 발생기온도  $70 \leq T_G \leq 180^\circ\text{C}$ ,  $T_E = 8^\circ\text{C}$ ,  $T_A = 30^\circ\text{C}$ ,  $T_C = 40^\circ\text{C}$  일 때 COP 및 FR 변화

작동온도도 새로운 용액이나 기존 LiBr 수용액이 모두 비슷하였다. 그리고 배관 크기 등을 결정하는 질량유동율은 큰 차이가 없으나 성적계수는 전체적으로 에틸렌 글리콜을 혼합한 새로운 용액을 사용한 경우의 성적계수가 2.2정도이고 기존의 LiBr 수용액의 경우는 1.6정도를 나타내고 있어, 평균 30%이상 에틸렌 글리콜 혼합 새로운 용액이 높다는 것을 알 수 있었다.

#### 4. 결 론

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

- 1) Ethylene Glycol이 혼합된 수용액을 사용하여, 이중효용 흡수식 냉방 작동 온도 영역을 계산하였다.
- 2) 새로운 수용액을 사용하는 경우에 대한 성능해석결과, FR은 기존의 LiBr 수용액을 사용하

는 경우와 거의 유사하나 성적계수의 경우는 매우 우수하다는 것을 알 수 있었다.

- 3) 에틸렌글리콜을 혼합한 새로운 수용액을 사용하는 경우의 냉방 이중효용 작동 온도 범위는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 70 &\leq T_G \leq 180^\circ\text{C} \\
 20 &\leq T_C \leq 70^\circ\text{C} \\
 2 &\leq T_E \leq 10^\circ\text{C} \\
 20 &\leq T_A \leq 40^\circ\text{C}
 \end{aligned} \quad (3)$$

#### 참 고 문 헌

1. 원승호, 태양에너지학회 논문집, 22, 4,(2002), 51-61
2. G. C. Vliet, et al., AHRAE Trans., 88, 1 (1982), 811-823
3. S. H. Won, and W. Y. Lee, Heat Recovery System & CHP, 11, 1 (1991) 41-48
4. 원승호, 대한기계학회 91년도 춘계학술대회 논문집 (II), (1991), 279-282
5. S. C. Kaushik, et al., Solar Energy, 40, 5 (1988), 431-441.
6. F. A. Holland, etc, J. Heat Recovery systems & CHP, 8, 1 (1988), 33-41
7. S. H. Won, J. of Chemical & Engineering Data, 40, 2 (1995), 496-498.
8. S. Iyoki, and T. Uemura, refrigerant (in Japan), 56, 642 (1981), 11-20.
9. 원승호, 건양논총, 10 (2001), 313-319,
10. S. H. Won, and Y. H. Kang, J. Heat Recovery System & CHP, 13, 1 (1993), 49-56.
11. R. Best, W. Rivera, and A. Oskam, Heat Recovery Systems & CHP, 15, 5 (1995), 426-434.
12. R. Best, W. Rivera, and A. Oskam, Heat Recovery Systems & CHP 15, 5 (1995), 435-444.

## Appendix

### 1. 계산에 사용된 압력-농도-온도 방정식<sup>8)</sup>

P : 증기압 mmHg

T : 온도 °C      X : 농도 %

$$\log P =$$

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

$$a_0 = 2.127$$

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

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

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

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

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

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

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

### 2. 실험된 증기압, 비열, 혼합열 및 기-액 평형관계 실측치 및 수증기의 엔탈피, 에틸렌글리콜의 비열, 무수 리튬염 브로마이드의 비열을 사용하여 표시된 엔탈피-농도 선도<sup>8)</sup>로 부터 유도된 엔탈피-농도-온도 선도 방정식<sup>9)</sup>

h : Enthalpy kcal/kg

t : 온도 °C      X : 농도 %

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

$$A_0 = 82.1618$$

$$A_1 = -0.671506$$

$$B_0 = 0.521665$$

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

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

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

표 2 에틸렌글리콜이 함유된 수용액으로 계산된 설계 Data

T <sub>G</sub>	T <sub>C</sub>	T <sub>E</sub>	T <sub>A</sub>	COP	X <sub>G</sub>	X <sub>G2</sub>	X <sub>A</sub>	FR	T <sub>GC</sub>
70.	20.	2.	20.	2.0	43.8	45.1	42.9	20.1	44.1
80.	20.	2.	20.	2.2	45.2	48.7	42.9	8.4	50.2
90.	20.	2.	20.	2.3	46.5	52.0	42.9	5.7	56.4
100.	20.	2.	20.	2.4	47.6	55.2	42.9	4.5	62.6
110.	20.	2.	20.	2.4	48.6	58.6	42.9	3.7	68.6
90.	30.	2.	20.	2.1	44.7	47.2	42.9	11.0	59.5
100.	30.	2.	20.	2.2	45.9	50.4	42.9	6.7	65.7
110.	30.	2.	20.	2.3	47.0	53.5	42.9	5.1	71.9
120.	30.	2.	20.	2.4	48.0	56.5	42.9	4.2	78.0
130.	30.	2.	20.	2.4	48.9	59.8	42.9	3.6	84.0
100.	40.	2.	20.	2.0	44.1	45.8	42.9	15.8	68.8
110.	40.	2.	20.	2.2	45.3	48.9	42.9	8.2	74.9
120.	40.	2.	20.	2.2	46.4	51.8	42.9	5.8	81.1
130.	40.	2.	20.	2.3	47.3	54.7	42.9	4.6	87.2
140.	40.	2.	20.	2.4	48.3	57.6	42.9	3.9	93.3
110.	50.	2.	20.	1.6	43.5	44.5	42.9	28.7	78.2
120.	50.	2.	20.	2.0	44.8	47.5	42.9	10.4	84.2
130.	50.	2.	20.	2.2	45.8	50.3	42.9	6.8	90.3
140.	50.	2.	20.	2.2	46.8	53.0	42.9	5.3	96.5
150.	50.	2.	20.	2.3	47.6	55.7	42.9	4.4	102.6
160.	50.	2.	20.	2.3	48.4	58.5	42.9	3.8	108.6
130.	60.	2.	20.	1.9	44.2	46.1	42.9	14.4	93.5
140.	60.	2.	20.	2.1	45.3	48.8	42.9	8.2	99.6
150.	60.	2.	20.	2.2	46.2	51.4	42.9	6.0	105.7
160.	60.	2.	20.	2.2	47.1	54.0	42.9	4.9	111.8
170.	60.	2.	20.	2.3	47.8	56.5	42.9	4.1	117.9
180.	60.	2.	20.	2.3	48.5	59.2	42.9	3.6	123.9
140.	70.	2.	20.	1.6	43.6	44.7	42.9	23.8	102.7
150.	70.	2.	20.	1.9	44.7	47.4	42.9	10.4	108.8
160.	70.	2.	20.	2.1	45.6	49.9	42.9	7.0	114.9
170.	70.	2.	20.	2.2	46.5	52.4	42.9	5.5	121.0
180.	70.	2.	20.	2.2	47.2	54.8	42.9	4.6	127.1
70.	20.	4.	20.	2.2	43.0	45.7	41.2	10.0	45.1
80.	20.	4.	20.	2.3	44.4	49.3	41.2	6.0	51.4
90.	20.	4.	20.	2.4	45.6	52.7	41.2	4.5	57.8
100.	20.	4.	20.	2.4	46.7	56.1	41.2	3.7	64.2
110.	20.	4.	20.	2.5	47.7	59.6	41.2	3.2	70.4
80.	30.	4.	20.	2.1	42.5	44.3	41.2	13.9	54.5
90.	30.	4.	20.	2.3	43.9	47.8	41.2	7.1	60.8
100.	30.	4.	20.	2.3	45.0	51.1	41.2	5.1	67.1
110.	30.	4.	20.	2.4	46.1	54.2	41.2	4.1	73.5
120.	30.	4.	20.	2.4	47.0	57.4	41.2	3.5	79.8
130.	30.	4.	20.	2.5	47.9	60.8	41.2	3.0	85.9
90.	40.	4.	20.	1.8	41.9	43.0	41.2	23.6	63.8
100.	40.	4.	20.	2.2	43.3	46.4	41.2	8.8	70.1
110.	40.	4.	20.	2.3	44.5	49.5	41.2	5.9	76.4
120.	40.	4.	20.	2.3	45.5	52.5	41.2	4.6	82.7

표 2 (계속) 에틸렌글리콜이 함유된 수용액으로 계산된 설계 Data

T <sub>G</sub>	T <sub>C</sub>	T <sub>E</sub>	T <sub>A</sub>	COP	X <sub>G</sub>	X <sub>G2</sub>	X <sub>A</sub>	FR	T <sub>GC</sub>
130.	40.	4.	20.	2.4	46.4	55.5	41.2	3.8	89.0
140.	40.	4.	20.	2.4	47.3	58.5	41.2	3.3	95.3
110.	50.	4.	20.	2.1	42.8	45.0	41.2	11.6	79.4
120.	50.	4.	20.	2.2	44.0	48.1	41.2	6.9	85.6
130.	50.	4.	20.	2.3	45.0	50.9	41.2	5.2	92.0
140.	50.	4.	20.	2.3	45.8	53.7	41.2	4.2	98.3
150.	50.	4.	20.	2.4	46.7	56.5	41.2	3.6	104.6
160.	50.	4.	20.	2.4	47.5	59.5	41.2	3.2	110.8
120.	60.	4.	20.	1.8	42.2	43.7	41.2	17.3	88.7
130.	60.	4.	20.	2.1	43.4	46.7	41.2	8.4	94.9
140.	60.	4.	20.	2.2	44.4	49.5	41.2	5.9	101.2
150.	60.	4.	20.	2.3	45.3	52.1	41.2	4.7	107.5
160.	60.	4.	20.	2.3	46.1	54.8	41.2	4.0	113.8
170.	60.	4.	20.	2.4	46.9	57.4	41.2	3.5	120.1
180.	60.	4.	20.	2.4	47.6	60.3	41.2	3.1	126.2
140.	70.	4.	20.	2.0	42.9	45.4	41.2	10.8	104.1
150.	70.	4.	20.	2.1	43.9	48.1	41.2	6.9	110.4
160.	70.	4.	20.	2.2	44.8	50.7	41.2	5.3	116.7
170.	70.	4.	20.	2.3	45.6	53.1	41.2	4.4	123.0
180.	70.	4.	20.	2.3	46.3	55.6	41.2	3.8	129.3
70.	20.	6.	20.	2.3	42.2	46.4	39.3	6.5	46.3
80.	20.	6.	20.	2.4	43.5	50.1	39.3	4.6	52.9
90.	20.	6.	20.	2.4	44.6	53.6	39.3	3.7	59.5
100.	20.	6.	20.	2.5	45.7	57.1	39.3	3.2	66.0
110.	20.	6.	20.	2.5	46.6	60.8	39.3	2.8	72.4
70.	30.	6.	20.	2.0	40.0	41.0	39.3	24.2	49.2
80.	30.	6.	20.	2.3	41.7	45.0	39.3	7.9	55.6
90.	30.	6.	20.	2.3	43.0	48.5	39.3	5.2	62.2
100.	30.	6.	20.	2.4	44.1	51.9	39.3	4.1	68.7
110.	30.	6.	20.	2.4	45.1	55.1	39.3	3.4	75.3
120.	30.	6.	20.	2.5	46.0	58.5	39.3	3.0	81.8
90.	40.	6.	20.	2.2	41.1	43.6	39.3	10.1	65.0
100.	40.	6.	20.	2.3	42.5	47.1	39.3	6.0	71.5
110.	40.	6.	20.	2.4	43.6	50.3	39.3	4.5	78.0
120.	40.	6.	20.	2.4	44.5	53.4	39.3	3.8	84.6
130.	40.	6.	20.	2.4	45.4	56.5	39.3	3.3	91.1
140.	40.	6.	20.	2.5	46.2	59.7	39.3	2.9	97.5
100.	50.	6.	20.	2.0	40.6	42.3	39.3	14.4	74.3
110.	50.	6.	20.	2.2	42.0	45.7	39.3	7.1	80.7
120.	50.	6.	20.	2.3	43.1	48.8	39.3	5.1	87.2
130.	50.	6.	20.	2.4	44.0	51.8	39.3	4.1	93.8
140.	50.	6.	20.	2.4	44.9	54.6	39.3	3.5	100.4
150.	50.	6.	20.	2.5	45.6	57.6	39.3	3.1	106.8
160.	50.	6.	20.	2.5	46.4	60.8	39.3	2.8	113.2
120.	60.	6.	20.	2.1	41.5	44.4	39.3	8.8	90.0
130.	60.	6.	20.	2.2	42.6	47.4	39.3	5.8	96.4



표 2 (계속) 에틸렌글리콜이 함유된 수용액으로 계산된 설계 Data

T <sub>G</sub>	T <sub>C</sub>	T <sub>E</sub>	T <sub>A</sub>	COP	X <sub>G</sub>	X <sub>G2</sub>	X <sub>A</sub>	FR	T <sub>GC</sub>
140.	60.	6.	20.	2.3	43.5	50.3	39.3	4.6	103.0
150.	60.	6.	20.	2.4	44.3	53.0	39.3	3.9	109.6
160.	60.	6.	20.	2.4	45.1	55.7	39.3	3.4	116.1
170.	60.	6.	20.	2.5	45.8	58.6	39.3	3.1	122.6
180.	60.	6.	20.	2.5	46.5	61.7	39.3	2.8	128.8
130.	70.	6.	20.	2.0	40.9	43.0	39.3	11.7	99.2
140.	70.	6.	20.	2.2	42.1	46.1	39.3	6.9	105.7
150.	70.	6.	20.	2.2	43.0	48.8	39.3	5.2	112.2
160.	70.	6.	20.	2.3	43.8	51.5	39.3	4.3	118.7
170.	70.	6.	20.	2.4	44.6	54.0	39.3	3.7	125.3
180.	70.	6.	20.	2.4	45.3	56.6	39.3	3.3	131.8
70.	20.	8.	20.	2.4	41.2	47.2	37.3	4.8	47.7
80.	20.	8.	20.	2.4	42.4	50.9	37.3	3.7	54.5
90.	20.	8.	20.	2.5	43.5	54.6	37.3	3.2	61.4
100.	20.	8.	20.	2.5	44.5	58.3	37.3	2.8	68.1
70.	30.	8.	20.	2.3	39.2	41.7	37.3	9.4	50.3
80.	30.	8.	20.	2.4	40.7	45.8	37.3	5.4	57.0
90.	30.	8.	20.	2.4	41.9	49.4	37.3	4.1	63.8
100.	30.	8.	20.	2.5	43.0	52.8	37.3	3.4	70.7
110.	30.	8.	20.	2.5	43.9	56.2	37.3	3.0	77.4
120.	30.	8.	20.	2.6	44.8	59.8	37.3	2.7	84.1
90.	40.	8.	20.	2.3	40.2	44.4	37.3	6.3	66.3
100.	40.	8.	20.	2.4	41.4	47.9	37.3	4.5	73.1
110.	40.	8.	20.	2.4	42.5	51.2	37.3	3.7	79.9
120.	40.	8.	20.	2.5	43.4	54.4	37.3	3.2	86.7
130.	40.	8.	20.	2.5	44.2	57.6	37.3	2.8	93.5
140.	40.	8.	20.	2.6	45.0	61.2	37.3	2.6	100.1
100.	50.	8.	20.	2.3	39.7	43.0	37.3	7.6	75.6
110.	50.	8.	20.	2.3	41.0	46.5	37.3	5.1	82.3
120.	50.	8.	20.	2.4	42.0	49.7	37.3	4.0	89.1
130.	50.	8.	20.	2.4	42.9	52.7	37.3	3.4	95.9
140.	50.	8.	20.	2.5	43.6	55.7	37.3	3.0	102.7
150.	50.	8.	20.	2.5	44.4	58.9	37.3	2.7	109.5
120.	60.	8.	20.	2.3	40.5	45.1	37.3	5.8	91.5
130.	60.	8.	20.	2.3	41.5	48.2	37.3	4.4	98.3
140.	60.	8.	20.	2.4	42.4	51.1	37.3	3.7	105.1
150.	60.	8.	20.	2.5	43.1	54.0	37.3	3.2	111.9
160.	60.	8.	20.	2.5	43.8	56.9	37.3	2.9	118.7
170.	60.	8.	20.	2.6	44.5	59.9	37.3	2.7	125.4
130.	70.	8.	20.	2.2	40.0	43.8	37.3	6.8	100.7
140.	70.	8.	20.	2.3	41.0	46.8	37.3	4.9	107.5
150.	70.	8.	20.	2.4	41.9	49.7	37.3	4.0	114.3
180.	70.	8.	20.	2.5	44.0	57.9	37.3	2.8	134.7
100.	20.	10.	20.	2.6	42.9	59.8	34.8	2.4	70.8
70.	30.	10.	20.	2.6	42.5	44.8	34.8	2.4	45.9
120.	30.	10.	20.	2.6	43.1	61.6	34.8	2.3	87.1
170.	60.	10.	20.	2.7	42.8	61.8	34.8	2.3	129.0

표 2 (계속) 에틸렌글리콜이 함유된 수용액으로 계산된 설계 Data

T <sub>G</sub>	T <sub>C</sub>	T <sub>E</sub>	T <sub>A</sub>	COP	X <sub>G</sub>	X <sub>G2</sub>	X <sub>A</sub>	FR	T <sub>GC</sub>
100.	20.	2.	30.	1.9	50.5	52.3	49.4	17.9	57.1
110.	20.	2.	30.	2.1	51.7	55.3	49.4	9.4	62.7
120.	30.	2.	30.	2.0	51.0	53.4	49.4	13.3	71.9
130.	30.	2.	30.	2.1	52.1	56.2	49.4	8.3	77.4
130.	40.	2.	30.	1.7	50.3	51.7	49.4	22.0	81.1
140.	40.	2.	30.	2.0	51.3	54.3	49.4	11.0	86.6
150.	50.	2.	30.	1.8	50.6	52.6	49.4	16.3	95.8
160.	50.	2.	30.	2.0	51.6	55.1	49.4	9.7	101.3
170.	60.	2.	30.	1.8	50.9	53.3	49.4	13.5	110.4
180.	60.	2.	30.	1.9	51.8	55.6	49.4	8.9	115.9
180.	70.	2.	30.	1.5	50.3	51.8	49.4	21.6	119.6
90.	20.	4.	30.	1.8	48.6	49.9	47.9	26.0	52.5
100.	20.	4.	30.	2.1	49.9	52.9	47.9	10.7	58.2
110.	20.	4.	30.	2.2	51.1	55.9	47.9	7.0	63.9
110.	30.	4.	30.	1.9	49.2	51.2	47.9	15.7	67.4
120.	30.	4.	30.	2.1	50.3	54.0	47.9	8.9	73.1
130.	30.	4.	30.	2.2	51.4	56.9	47.9	6.4	78.7
120.	40.	4.	30.	1.6	48.6	49.7	47.9	28.8	76.7
130.	40.	4.	30.	2.0	49.7	52.3	47.9	11.9	82.3
140.	40.	4.	30.	2.1	50.7	55.0	47.9	7.8	88.0
140.	50.	4.	30.	1.7	49.0	50.8	47.9	18.1	91.5
150.	50.	4.	30.	2.0	50.0	53.2	47.9	10.0	97.2
160.	50.	4.	30.	2.1	50.9	55.7	47.9	7.1	102.8
160.	60.	4.	30.	1.8	49.4	51.6	47.9	13.9	106.3
170.	60.	4.	30.	2.0	50.3	54.0	47.9	8.9	111.9
180.	60.	4.	30.	2.1	51.1	56.3	47.9	6.7	117.5
170.	70.	4.	30.	1.5	48.8	50.2	47.9	22.3	115.5
180.	70.	4.	30.	1.8	49.7	52.4	47.9	11.7	121.1
90.	20.	6.	30.	2.1	48.0	50.4	46.5	12.8	53.5
100.	20.	6.	30.	2.2	49.3	53.5	46.5	7.6	59.4
110.	20.	6.	30.	2.3	50.4	56.6	46.5	5.6	65.1
100.	30.	6.	30.	1.9	47.4	48.9	46.5	20.3	62.8
110.	30.	6.	30.	2.1	48.6	51.8	46.5	9.7	68.6
120.	30.	6.	30.	2.2	49.7	54.7	46.5	6.6	74.4
130.	30.	6.	30.	2.3	50.7	57.6	46.5	5.1	80.1
120.	40.	6.	30.	2.0	48.0	50.2	46.5	13.4	77.9
130.	40.	6.	30.	2.1	49.0	52.9	46.5	8.2	83.7
140.	40.	6.	30.	2.2	50.0	55.6	46.5	6.0	89.4
130.	50.	6.	30.	1.7	47.4	48.8	46.5	21.4	87.1
140.	50.	6.	30.	2.0	48.4	51.3	46.5	10.5	92.9
150.	50.	6.	30.	2.1	49.4	53.9	46.5	7.3	98.6
160.	50.	6.	30.	2.2	50.3	56.4	46.5	5.6	104.3
150.	60.	6.	30.	1.8	47.8	49.9	46.5	14.7	102.1
160.	60.	6.	30.	2.0	48.8	52.3	46.5	9.0	107.8
170.	60.	6.	30.	2.1	49.6	54.6	46.5	6.7	113.5
180.	60.	6.	30.	2.1	50.4	57.1	46.5	5.4	119.2

표 2 (계속) 에틸렌글리콜이 함유된 수용액으로 계산된 설계 Data

T <sub>G</sub>	T <sub>C</sub>	T <sub>E</sub>	T <sub>A</sub>	COP	X <sub>G</sub>	X <sub>G2</sub>	X <sub>A</sub>	FR	T <sub>GC</sub>
160.	70.	6.	30.	1.5	47.2	48.5	46.5	24.4	111.3
170.	70.	6.	30.	1.8	48.2	50.8	46.5	11.8	117.0
180.	70.	6.	30.	2.0	49.0	53.0	46.5	8.1	122.7
80.	20.	8.	30.	2.0	46.1	47.8	45.0	17.1	48.7
90.	20.	8.	30.	2.2	47.4	51.0	45.0	8.4	54.7
100.	20.	8.	30.	2.3	48.6	54.2	45.0	5.9	60.6
110.	20.	8.	30.	2.3	49.7	57.3	45.0	4.6	66.5
100.	30.	8.	30.	2.1	46.8	49.5	45.0	11.1	63.9
110.	30.	8.	30.	2.2	48.0	52.4	45.0	7.0	69.9
120.	30.	8.	30.	2.3	49.0	55.4	45.0	5.3	75.8
130.	30.	8.	30.	2.3	50.0	58.4	45.0	4.3	81.6
110.	40.	8.	30.	1.9	46.2	48.0	45.0	16.0	73.2
120.	40.	8.	30.	2.1	47.3	50.8	45.0	8.7	79.1
130.	40.	8.	30.	2.2	48.4	53.6	45.0	6.2	85.1
140.	40.	8.	30.	2.3	49.3	56.4	45.0	4.9	90.9
120.	50.	8.	30.	1.6	45.6	46.6	45.0	29.1	82.5
130.	50.	8.	30.	2.0	46.7	49.3	45.0	11.3	88.4
140.	50.	8.	30.	2.1	47.8	52.0	45.0	7.4	94.3
150.	50.	8.	30.	2.2	48.7	54.6	45.0	5.7	100.2
160.	50.	8.	30.	2.2	49.5	57.2	45.0	4.6	106.0
140.	60.	8.	30.	1.8	46.2	47.9	45.0	16.3	97.6
150.	60.	8.	30.	2.0	47.2	50.5	45.0	9.2	103.5
160.	60.	8.	30.	2.1	48.1	52.9	45.0	6.6	109.4
170.	60.	8.	30.	2.2	48.9	55.3	45.0	5.3	115.2
180.	60.	8.	30.	2.2	49.7	57.9	45.0	4.5	121.0
150.	70.	8.	30.	1.4	45.6	46.6	45.0	29.2	106.9
160.	70.	8.	30.	1.8	46.6	49.0	45.0	12.1	112.7
170.	70.	8.	30.	2.0	47.5	51.4	45.0	8.0	118.6
180.	70.	8.	30.	2.1	48.3	53.7	45.0	6.1	124.4
80.	20.	10.	30.	2.2	45.5	48.4	43.5	9.9	49.7
90.	20.	10.	30.	2.3	46.7	51.7	43.5	6.3	55.9
100.	20.	10.	30.	2.3	47.9	54.9	43.5	4.8	61.9
110.	20.	10.	30.	2.4	48.9	58.2	43.5	3.9	68.0
90.	30.	10.	30.	2.1	44.9	46.9	43.5	13.6	59.1
100.	30.	10.	30.	2.2	46.1	50.1	43.5	7.6	65.2
110.	30.	10.	30.	2.3	47.2	53.1	43.5	5.5	71.2
120.	30.	10.	30.	2.3	48.3	56.1	43.5	4.4	77.3
130.	30.	10.	30.	2.4	49.2	59.3	43.5	3.7	83.2
100.	40.	10.	30.	1.8	44.3	45.5	43.5	22.2	68.4
110.	40.	10.	30.	2.1	45.6	48.6	43.5	9.5	74.4
120.	40.	10.	30.	2.2	46.6	51.5	43.5	6.4	80.5
130.	40.	10.	30.	2.3	47.6	54.3	43.5	5.0	86.5
140.	40.	10.	30.	2.3	48.6	57.2	43.5	4.1	92.5
120.	50.	10.	30.	2.0	45.0	47.2	43.5	12.7	83.7
130.	50.	10.	30.	2.1	46.1	50.0	43.5	7.7	89.7
140.	50.	10.	30.	2.2	47.0	52.6	43.5	5.7	95.8
150.	50.	10.	30.	2.3	47.9	55.3	43.5	4.6	101.8

표 2 (계속) 에틸렌글리콜이 함유된 수용액으로 계산된 설계 Data

T <sub>G</sub>	T <sub>C</sub>	T <sub>E</sub>	T <sub>A</sub>	COP	X <sub>G</sub>	X <sub>G2</sub>	X <sub>A</sub>	FR	T <sub>GC</sub>
160.	50.	10.	30.	2.3	48.8	58.0	43.5	3.9	107.8
130.	60.	10.	30.	1.7	44.4	45.8	43.5	19.5	93.0
140.	60.	10.	30.	2.0	45.5	48.5	43.5	9.6	99.0
150.	60.	10.	30.	2.1	46.5	51.1	43.5	6.7	105.0
160.	60.	10.	30.	2.2	47.3	53.6	43.5	5.3	111.0
170.	60.	10.	30.	2.2	48.1	56.1	43.5	4.4	117.0
180.	60.	10.	30.	2.3	48.9	58.7	43.5	3.8	122.9
150.	70.	10.	30.	1.9	45.0	47.2	43.5	12.7	108.2
160.	70.	10.	30.	2.0	45.9	49.7	43.5	8.0	114.2
170.	70.	10.	30.	2.1	46.8	52.1	43.5	6.0	120.3
180.	70.	10.	30.	2.2	47.6	54.4	43.5	4.9	126.3
130.	30.	6.	40.	1.8	53.3	54.9	52.4	22.2	74.8
180.	60.	6.	40.	1.4	53.1	54.3	52.4	28.6	112.8
110.	20.	8.	40.	2.0	52.4	54.6	51.0	15.3	61.4
130.	30.	8.	40.	2.0	52.8	55.5	51.0	12.4	76.0
140.	40.	8.	40.	1.7	52.0	53.7	51.0	20.3	85.2
160.	50.	8.	40.	1.8	52.3	54.4	51.0	16.3	99.7
180.	60.	8.	40.	1.7	52.5	54.9	51.0	14.1	114.2
100.	20.	10.	40.	1.9	50.6	52.2	49.6	20.2	56.9
110.	20.	10.	40.	2.1	51.8	55.2	49.6	9.9	62.5
120.	30.	10.	40.	2.0	51.1	53.3	49.6	14.4	71.7
130.	30.	10.	40.	2.1	52.2	56.1	49.6	8.7	77.2
130.	40.	10.	40.	1.7	50.4	51.7	49.6	25.4	80.9
140.	40.	10.	40.	2.0	51.4	54.2	49.6	11.8	86.4
150.	50.	10.	40.	1.7	50.7	52.5	49.6	18.0	95.6
160.	50.	10.	40.	2.0	51.7	54.9	49.6	10.3	101.0
170.	60.	10.	40.	1.7	51.0	53.3	49.6	14.7	110.2
180.	60.	10.	40.	1.9	51.9	55.5	49.6	9.4	115.6
180.	70.	10.	40.	1.4	50.4	51.7	49.6	24.8	119.4