

흡수식냉난방기용 다성분 리튬염 작동매체의 증기압 및 용해도 측정

주 우 성 · 김 희 택 · 오 영 삼* · 백 영 순*

한양대학교 공학대학 화학공학과, *한국가스공사 연구개발원
(1997년 9월 1일 접수, 1997년 12월 1일 채택)

Measurement and Analysis on the Physical Properties of Multi Lithium Salts Solution in Absorption Heat-Pumps

Woo-Sung Ju, Hee-Taik Kim, Young-Sam Oh*, and Young-Soon Baek*

Dept. of Chem. Eng., College of Eng. Sci., Hanyang Univ., Ansan 425-791, Korea

*Korea Gas Corporation R&D Center 638, Ansan 425-150, Korea

(Received September 1, 1997, Accepted December 1, 1997)

요 약 : 고효율 공냉형 흡수식 냉방기를 위한 신작동매체로 기존의 LiBr-H₂O계에 높은 흡수성과 용해성을 지닌 LiNO₃과 LiCl 무기물을 각각 첨가하여 제조하였다. 본 연구를 통하여 제조된 다성분계의 작동매체에 대한 용해도와 증기압을 측정하여 기존의 LiBr-H₂O계와 비교 분석하였으며, 이들에 대한 최적혼합비를 각각 구하였다. 용해도 측면에서 LiBr-LiNO₃-H₂O계의 경우, LiBr과 LiNO₃의 최적혼합 몰비는 5:1이었으며, 반면 LiBr-LiNO₃-LiCl-H₂O계의 경우 LiBr, LiNO₃, LiCl의 최적혼합몰비는 5:1:2로 나타났다. 한편 증기압은 LiBr-H₂O계에 LiNO₃의 첨가량이 증가함에 따라 증가하였으나, LiCl의 경우 에는 첨가량이 증가함에 따라 감소하는 경향을 각각 나타내었다.

Abstract : In an effort to obtain high efficiency in air cooled absorption heat pump, a new working fluid has been developed with the addition of LiNO₃ and LiCl to the conventional solution of LiBr-H₂O. The solubility and vapor pressure of the multicomponent salts solution developed in this work were measured and compared with the results of LiBr-H₂O solution. It was observed that there exists an optimal molar ratio of the inorganic salts in terms of solubility. The molar ratio of LiBr and LiNO₃ was found to be about 5:1 in the LiBr-LiNO₃ mixture, and in the case of LiBr-LiNO₃-LiCl mixture, the molar ratio of LiBr, LiNO₃ and LiCl was found to be around 5:1:2. The vapor pressure of the multicomponent salts solution of the optimal molar ratio was increased with adding LiNO₃, while decreased with adding LiCl.

1. 서 론

최근 쾌적한 생활추구에 의한 전기냉방기 수요가 급격히 증가하여 국가 차원에서 제한 송전을 검토해야 할 단계에 이르렀고, 또한 냉매로 사용되는 프레온 가스는 지구환경의 오염원으로 비프레온 가스 냉방기 개발이 매우 절실히 요구된다. 한편 도시가스 수요는 전력수요와 상충되는 동고하저 현상이 나타나는 상황이다. 이에 따라 정부는 여름철 냉방기의 동력원을 전기로부터 가스로 전환시켜 국가에너지 수급 및 에너지 이용 합리화 차원에서 효율적이고 상호보완적인 방안일 뿐 아니라, 국제적인 프레온 규제에도 능동적으로 대체 가능한 가스 흡수식 냉방기 개발 및 보급에 주력하고 있는 실정이다.

H₂O-LiBr계 가스흡수식냉방기는 국내외적으로 중대형 건물 냉방을 위해 개발되어 이미 상당히 보급되어 있을 뿐만 아니

라 동력원을 청정연료인 천연가스를 사용하는 직화식 냉난방기에 대한 연구가 더욱 활성화되고 있다. 최근엔 가스 흡수식 냉방기의 편리성 향상, 고효율화 및 소형화를 위해 고효율 열교환기 개발, 초진공 유지 및 시스템, 운전 자동화 기술, 용액 펌프 개발, 고온 내부식성 재료개발, 그리고 고성능 신 작동매체 개발에 박차를 가하고 있다. 특히 가정용 흡수식냉난방기를 보급 확대하기 위해 시스템의 흡수기와 응축기 냉각을 기존 중대형 흡수식 냉난방기의 수냉방식과는 달리 공기 냉각방식을 도입하는 노력과 수냉방식의 냉각탑을 본체와의 일체형으로 개발함으로써 공간 문제로 인해 발생된 문제점을 해결하는 연구가 수행되고 있다. 이 가운데 가정용이나 중대형용 흡수식 냉난방기의 고효율과 소형화를 꾀하는데 있어서 가장 절실히 요구되는 분야로 흡수식 냉난방기의 작동매체 개발을 꼽을 수 있다.

흡수식 냉난방기 시스템은 고진공하에서 수용성 작동매체를 지닌 폐쇄회로로 구성되어 있는데, 시스템의 증발부 코일 외부에 흐르는 냉매는 코일 내부의 냉수로부터 증발잠열을 빼앗아 증발하므로써 냉각되어진다. 생성된 냉매 증기는 흡수부로 유입되어 코일 외부의 작동매체 흐름에 흡수되어진다. 즉 흡수부의 작동매체에 의한 생성된 낮은 압력은 증발기에 전달되어 활발한 냉매 증발이 이루어진다. 이와 같이 흡수기의 운전온도에서 흡수용액은 낮은 증기압을 지녀야 하고, 낮은 흡수부 압력을 얻기 위해서 고농도의 작동매체가 사용되나 결정화되려는 경향이 적어야 한다.

세계적으로 흡수식 냉난방기용 작동매체 개발에 대한 최근 연구동향은 크게 두 분류로 나누어지는데, CH_3NH_2 , $\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$ 와 같은 아민계나 CH_3OH , $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$, $\text{CF}_3\text{CH}_2\text{OH}$ 등의 알코올계를 냉매로 하는 새로운 냉매-흡수제 쌍을 개발하려는 연구로 일본과 미국을 중심으로 활발히 이루어지고 있다. 그러나 이 용액들은 일반적으로 점도가 높고 고농도에서 결정 생성 가능성이 크며, 고온에서의 화학적 불안정성 등, 해결해야 할 문제가 많기 때문에 아직까지는 연구 단계에 머물러 있다. 한편 경제적인 측면에서 H_2O 를 냉매로 하는 흡수식 냉난방기용 H_2O -LiBr계가 현재 실용화되어 있으나, 흡수성능 향상, 용해도 및 COP 성능개선을 위해서 무기물이나 유기물을 첨가한 다성분 혼합계에 대한 연구가 전세계적으로 활발히 진행되고 있다. Uemura등[1]은 H_2O -LiBr계를 주성분으로 하여 다양한 무기물을 첨가한 후 물리적, 열적인 물성들을 측정하였으며, 이러한 작동매체들에 대한 성능특성을 고찰하였다. Lee등[2]은 고온, 고농도의 H_2O -LiBr 용액에 관한 열전도도, 밀도 및 점도 등과 같은 물성을 측정보고 하였으며, Elkassabfi등[3]은 H_2O -LiBr 용액에 첨가한 알코올의 효과 영향을 조사하였다. Holland등[4]은 H_2O -LiBr 용액에 Ethylene glycol을 첨가하여 만든 작동매체로 사용시 흡수식 냉난방기의 운전 특성에 관한 연구, Eisa등[5]은 공냉형 흡수식냉난방용 H_2O -LiBr 용액에 Ethylene glycol을 첨가하여 열역학적 성질, 이동특성, 부식성 등 폭넓은 물성 연구를 수행하였다.

앞서 언급했듯이, 흡수식 냉난방기 작동매체의 중요한 물성 중 하나인 수증기 흡수성 향상은 매우 필요하다. 즉 작동매체가 고농도일수록 수증기 흡수성은 증가하나 이에 수반되는 안전성 문제가 발생되므로 수증기 흡수성 저하가 없는 고효율성 작동매체의 개발이 필요하다.

본 연구에서는 H_2O -LiBr계에 증기 흡수성, 내식성, 안전성 특성을 지닌 LiNO_3 과 LiCl 을 첨가하여 기존의 H_2O -LiBr계의 용액, H_2O -LiBr- LiNO_3 계의 용액과 H_2O -LiBr- LiNO_3 - LiCl 계의 용액에 대하여 농도 58~68 wt% 범위에서 용해도가 가장 좋게 나타나는 최적의 몰비를 구하였고, 이들에 대한 증기압 측정하였으며, 이들의 물성치로부터 Duhring 선도를 작성하여 고성능 작동매체로서 가능성을 확인하였다.

2. 실험 장치 및 방법

본 실험에 사용된 시료로는 99+% LiBr와 무기물 첨가제로 97+% LiNO_3 과 99+% LiCl 를 사용하여 용액을 제조하였으며, 용액의 농도범위는 58~68 wt%에서 각각의 몰비를 변화시키면

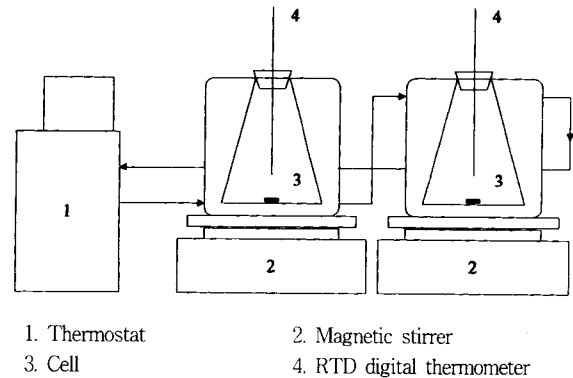


Fig. 1. Experimental apparatus for measurement of solubility.

서 H_2O -LiBr- LiNO_3 계와 H_2O -LiBr- LiNO_3 - LiCl 계의 용해도와 증기압을 실험하였다.

2.1. 용해도 측정장치 및 방법

시료의 용해도는 visual polythermal method[6]을 이용하여 측정하였다. 본 연구에 사용된 측정 기기는 Fig. 1에 나타낸 것처럼 온도조절이 가능한 항온조(Polyscience 제품)와 결정 생성온도를 관측할 수 있는 삼중관으로 이루어졌다. 삼중관의 체적은 약 30 cm^3 으로 Pyrex glass로 만들어졌으며, 삼중관으로 최내측은 측정 용액을 넣고 가운데 관에는 항온조에 의해 열전달 매체를 순환시켜 용액의 온도를 제어하였다. 최외측은 외부와의 열전달을 막기 위해 진공 상태를 유지시켜 제작하였다. 삼중관 내부온도는 RTD 디지털 온도계를 이용하여 측정하였다.

결정화 온도 측정은 가시적으로 용질이 완전히 용해된 것처럼 보이는 용액 속에 용질의 클러스터가 잔존하게 되면 결정 석출이 용이하여 실제 결정화 온도보다 높은 온도에서 결정이 생성된다. 그러므로 LiBr 및 첨가 무기물을 완전히 용해시키기 위하여 적절히 혼합하면서 결정화 온도보다 약 $10\sim 15^\circ\text{C}$ 정도 높은 상태로 1시간 동안 유지시킨다. 이렇게 완전 혼합이 이루어진 용액의 온도를 냉각 속도 $0.1^\circ\text{C}/\text{min}$ 으로 제어하면서 최초 결정의 생성을 관찰한다. 최초의 결정이 생성되는 순간의 온도가 주어진 용액의 결정화 온도이다.

본 연구에서 제작 사용한 용해도 측정장치의 신뢰도 확인을 위하여 LiBr 수용액을 비교 측정한 결과를 Fig. 2에 나타내었으며, 결과에서 보듯이 ASHRAE Handbook[7]의 데이터 결과와 매우 잘 일치하고 있음을 확인하였다.

2.2. 증기압 측정장치 및 방법

본 연구에서 사용된 증기압 측정 장치를 Fig. 3에 나타내었다. 본 장치를 이용한 증기압 측정 방법은 boiling point method[8]에 근거하여 다음과 같은 절차에 의해 증기압을 측정하였다.

1) 원하는 농도의 용액 200 ml를 플라스크(5)에 채우고, 급격한 끓음을 방지하기 위해 소량의 비등석(glass소재)을 첨가한 후 용액을 충분히 교반시킨다. 항온조(4)의 온도를 약 5°C 로 고정하고 응축기에 공급되는 냉각수의 온도는 0°C 로 고정한다. 용액의 온도와 항온조의 온도가 평형에 도달하면 진공 펌프를

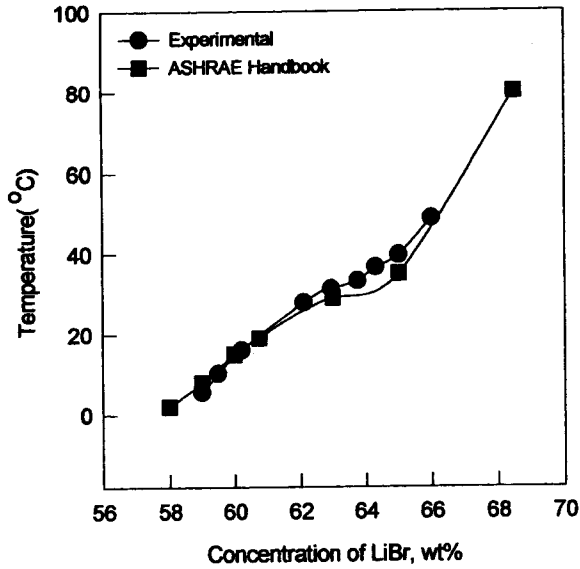
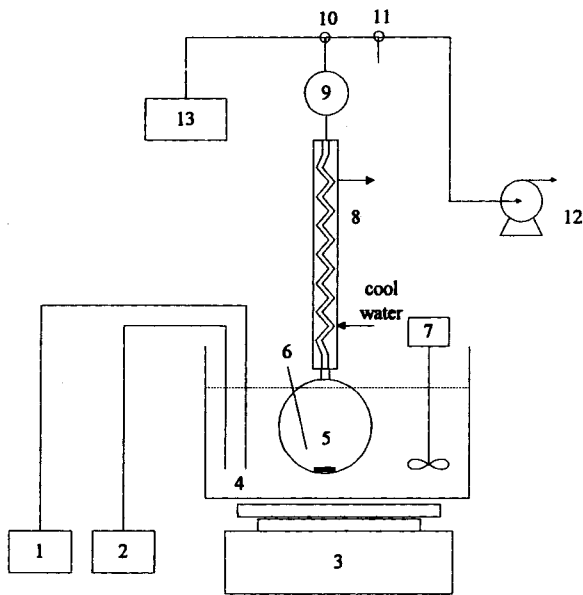


Fig. 2. Comparison of ASHRAE Handbook and Experimental Crystallization Temp. of LiBr Solution.



- 1. Cooler
- 2. Heater
- 3. Magnetic Stirrer
- 4. Thermostat
- 5. Solution
- 6. Thermometer
- 7. Mechanical Stirrer
- 8. Condenser
- 9. Bulb
- 10, 11. Three way valves
- 12. Vacuum Pump
- 13. Pressure Gauge

Fig. 3. Experimental apparatus for measurement of vapor pressure.

이용하여 계 내의 공기를 배기시킨다.

2) 계의 압력이 1 Torr이하로 감소하면 밸브를 조절하여 증기압 측정 영역을 외부와 차단한다. 항온조의 온도를 10°C 높인 후 항온조의 온도와 용액의 온도가 평형에 도달함을 확인 후 그때의 압력을 피라니 게이지로 측정한다. 동일한 방법으로 용액의 온도를 5°C 간격으로 높이면서 용액의 온도와 증기압을 측정한다.

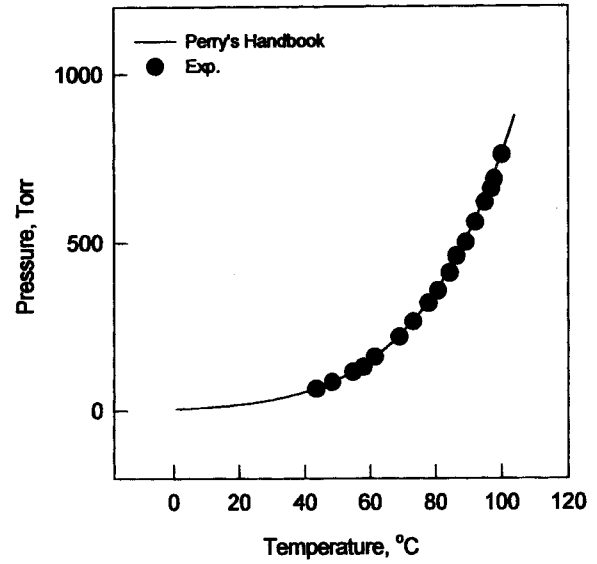


Fig. 4. Comparison of Perry's Handbook and experimental vapor pressure of water.

3) 용액의 온도가 항온조의 온도에 도달하지 못하고 낮은 값에서 유지되기 시작하면 이 때의 용액의 온도와 증기압을 5분 간격으로 측정하여 그 값이 시간에 따라 변하지 않음을 확인 후 기록하고 두 삼방변(10)과 (11)사이의 공기를 계 내로 주입시킨다. 이때 밸브(9)는 계의 부피를 크게 하여 결과적으로 유입되는 공기에 의한 압력 상승을 작게 만든다. 공기를 주입 후 계를 외부와 닫힌 상태로 유지하고, 다시 밸브사이 미량의 공기를 채운다. 미량의 공기를 주입시킨 후 용액의 온도가 항온조의 온도에 도달함을 확인한다. 다시 용액의 온도가 항온조의 온도보다 낮은 값에서 유지될 때까지 항온조의 온도를 10°C 간격으로 높인다. 용액의 온도가 항온조의 온도보다 낮은 값에서 유지될 때 용액의 온도와 증기압을 5분 간격으로 측정하여, 정상상태의 값을 기록한다.

본 연구에서 제작 사용한 증기압 측정장치의 신뢰도 확인을 위하여 측정된 순수한 물의 증기압 데이터와 Perry's handbook에 제시한 데이터를 비교하여 Fig. 4에 나타냈다. 결과에서 보듯이 매우 잘 일치하고 있음을 확인하였다[9].

2.3. 시료의 물성

본 연구에서 사용된 LiBr, LiCl, LiNO₃에 대한 물리적인 특성을 Table 1에 나타냈으며, Fig. 5에서는 각각의 증기압을 나타냈다[10, 11].

3. 결과 및 고찰

흡수식냉난방기의 흡수용액중 가장 중요한 용해도와 증기압의 물성 향상을 위해 3, 4성분 모델용액을 제조하였다. LiBr 성분에 비해 용해도와 부식성 억제성에 우수한 특성을 지닌 LiNO₃과 저렴한 가격 그리고 증기압 특성이 우수한 LiCl 성분을 기존의 LiBr계에 첨가하여 3, 4성분 모델용액의 최적혼합비를 찾고, 이들의 물성을 기존 시스템과 비교 분석하였다.

Table. 1. Physical Properties and Solubilities of Various Lithium Salts[12]

	Company	Purity	M.W	Solubility, in moles per 100cc water	
				Cold water (°C)	Hot water (°C)
Lithium Bromide	Aldrich	99+%	86.841	1.670(4)	2.925(90)
Lithium Nitrate	Aldrich	97+%	68.951	1.302(27.55)	3.394(100)
Lithium Chloride	Aldrich	99+%	42.391	1.503(0)	3.067(96)
Water	—	deionized water	18.016	—	—

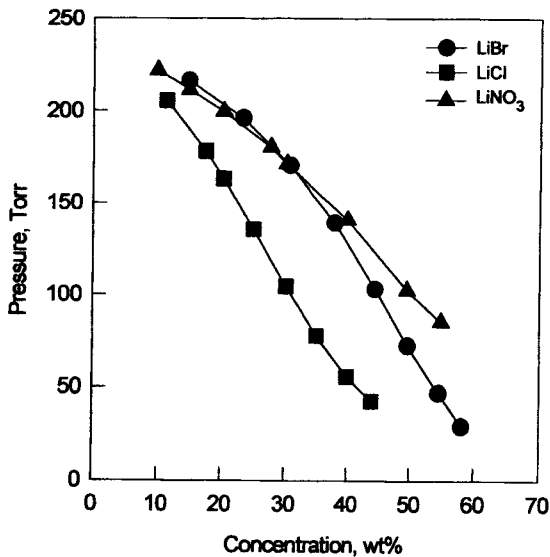


Fig. 5. Vapor pressure of lithium salts solutions at 343.15 K [10, 11].

3.1. 다성분 용액의 용해도

흡수용액의 가장 중요한 물성중의 하나인 용해도를 증가시키기 위하여 LiBr계에 LiNO₃을 첨가하여 측정된 용해도를 Fig. 6에 나타내었다. 그림에서 보듯이 농도가 증가함에 따라 결정화 온도가 증가하는 일반적인 경향을 보이고 있으며, LiNO₃을 첨가한 3성분계의 경우 58~68%의 용액농도 영역에서 2성분계인 H₂O-LiBr계에 비해 결정화 온도가 크게 낮아지는 현상을 보이고 있다. 용액의 작동영역인 62~67.5 wt% 범위에서 결정화온도가 약 10~25°C 정도 낮아짐을 알 수 있다. LiBr-LiNO₃ 몰비에 따른 결정화 온도를 농도 60~67.5 wt% 영역에서 실험한 결과를 Fig. 7에 나타내었으며, 농도범위 60~67.5 wt%에서의 LiBr-LiNO₃ 최적몰비는 5:1의 결과를 얻었다.

한편 LiCl는 흡수용액의 가장 중요한 물성중의 하나인 증기압을 감소시키는 염으로 알려져 있다. 따라서 3성분염의 최적

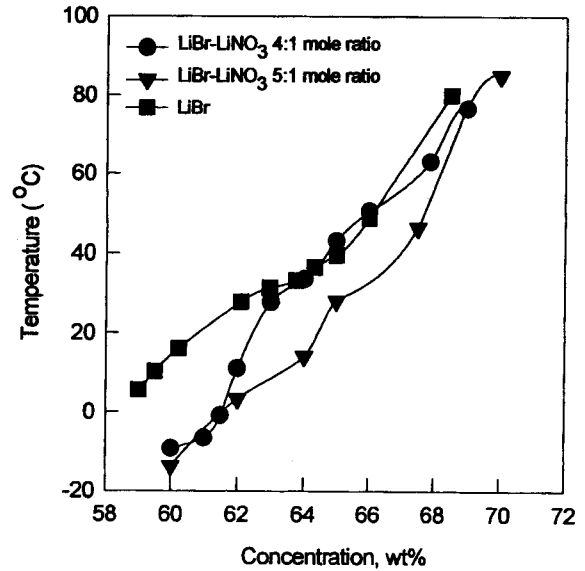


Fig. 6. Crystallization temperature of LiBr-LiNO₃-H₂O solutions.

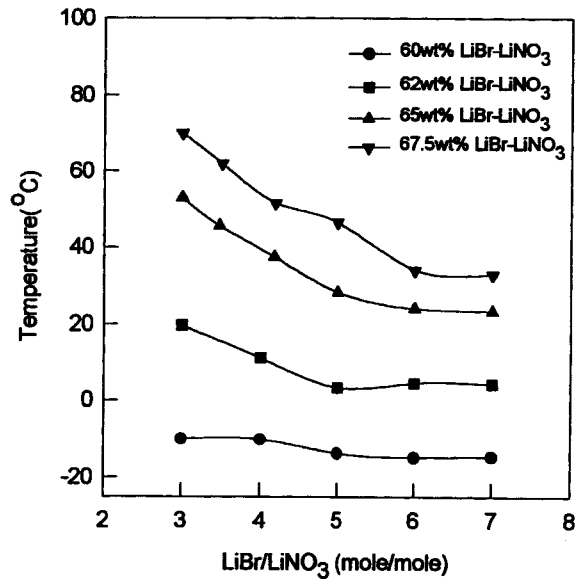


Fig. 7. Crystallization temperature of LiBr-LiNO₃-H₂O solution with molar ratio.

몰비인 5:1 혼합물에 LiCl를 첨가하여 4성분계의 혼합물을 제조하여 최적몰비와 다양한 농도에서의 결정식출 온도를 알아 보았다. Fig. 8은 LiCl의 첨가 양에 따른 결정화 온도변화를 나타냈는데, 용액농도 60~66 wt% 영역에서 LiCl의 첨가 양이 증가함에 따라 결정화 온도는 증가하는 경향을 보이고 있다. 이는 낮은 용해도를 지닌 LiCl의 양을 증가시킴으로써 나타나는 현상으로 보여지며, 특히 낮은 농도에 비해 높은 농도에서 뚜렷한 경향을 보이고 있다. 흡수식 냉난방기 용액의 작동범위인 66 wt% 이하를 감안할 때, 첨가된 LiCl의 최적 혼합비는 2 몰로 보여진다. 한편 Fig. 9에서는 3, 4성분 혼합용액의 결정식출온도를 용액농도 60~66 wt% 영역에서 3성분과 4성분과의

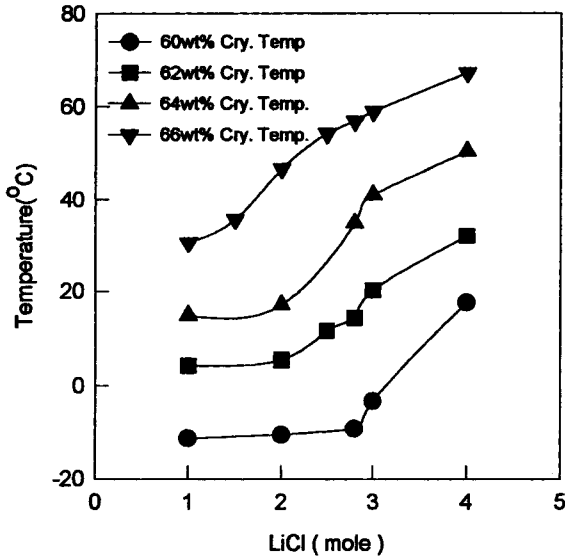


Fig. 8. Crystallization temperature of various lithium salts solution with concentration.

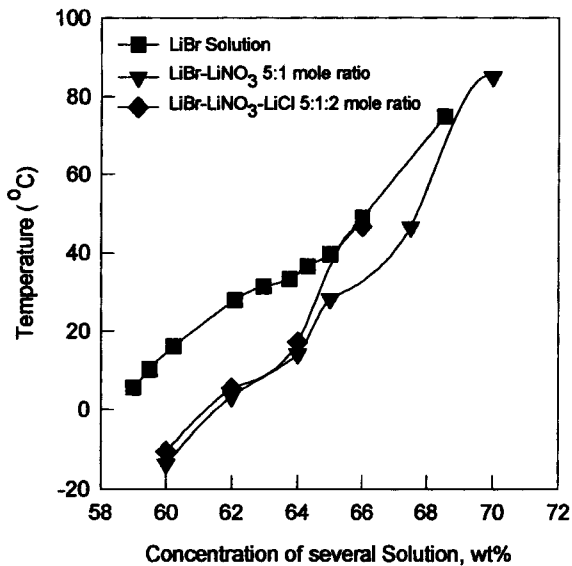


Fig. 9. Crystallization temperature of LiBr-LiNO₃-LiCl-H₂O solution with molar ratio.

결정 석출온도를 비교하여 나타냈다. 그림에서 보듯이 농도 64 wt%이하에서는 비슷한 경향을 보이나 농도 64 wt% 이상에서는 3성분계의 결정 석출온도가 낮은 것으로 나타났다.

3.2. 다성분 용액의 증기압

용해도 물성 측정에서 구한 최적 몰비 하에서 2, 3, 4성분 용액의 증기압을 측정하여 Fig. 10에 나타냈다. 그림에서 보듯이 농도가 증가함에 따라 증기압이 낮아지는 일반적인 경향을 보이고 있다. 이들 증기압의 차이는 낮은 농도에 비해 높은 농도에서 명확한 차이를 보이고 있으며, 3, 4성분 용액의 54 wt% 경우 온도 373.15 K에서 증기압 차가 13.8 Torr을 나타내는 반

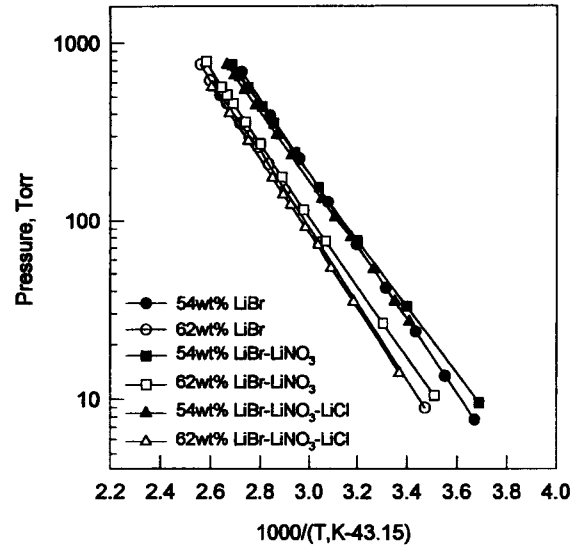


Fig. 10. Vapor pressure of lithium salts solutions at 54, 62wt%.

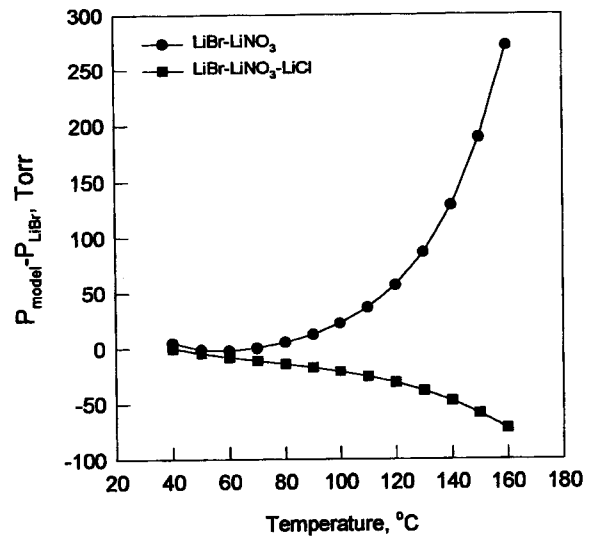


Fig. 11. Vapor pressure difference between model solution and LiBr solution at 60 wt%.

면 62 wt%에서는 65.15 Torr 차이가 나타났다. 또한 이들 용액의 증기압은 3성분 보다 2성분 용액이 낮게 나타났으며, 4성분 용액이 가장 낮은 증기압을 보이고 있다. 이와 같은 현상은 Fig. 5에서 보듯이 동일한 온도에서 증기압은 물분물에 비례한다는 Raoult 법칙에서 음의 편차(negative deviation)를 지닌 LiNO₃, LiBr, LiCl 용액들이 물과 단일 성분 분자간의 인력으로 증기압이 LiNO₃ > LiBr > LiCl 순으로 감소하기 때문에 LiBr 수용액에 LiNO₃의 첨가는 증기압 상승을, LiCl의 첨가는 증기압 감소를 가져온다. 따라서 LiBr용액 증기압에 비해 LiNO₃이 첨가된 경우는 증기압이 높았으며, LiCl이 첨가된 4성분용액의 경우는 낮게 나타난 것으로 보여진다. 즉 LiBr 용액 증기압에 비해 첨가된 LiNO₃용액의 증기압이 높았으며, LiCl이 첨가된 4성분용액의 경우는 낮게 나타난 것으로 보여진다. 한

Table 2. Coefficients for the Equation of Vapor Pressure Correlation(LiBr-LiNO₃-H₂O)

	Constant		Constant
A0	4.293×10 ²	B0	-2.071×10 ²
A1	-1.177×10	B1	0.917×10
A2	8.193×10 ⁻²	B2	-8.796×10 ⁻²
A3	3.004×10 ⁻³	B3	-7.009×10 ⁻³
A4	1.408×10 ⁻³	B4	-4.347×10 ⁻³
A5	-1.145×10 ⁻³	B5	4.051×10 ⁻³
A6	7.927×10 ⁻³	B6	-2.907×10 ⁻³

Table 3. Coefficients for the Equation of Vapor Pressure Correlation(LiBr-LiNO₃-LiCl-H₂O)

	Constant		Constant
A0	50.883×10 ²	B0	-9.247×10 ²
A1	-3.631×10 ²	B1	5.933×10
A2	9.567	B2	1.240
A3	-1.006×10 ⁻¹	B3	3.505×10 ⁻³
A4	7.288×10 ⁻³	B4	2.140×10 ⁻⁴
A5	7.261×10 ⁻³	B5	-2.858×10 ⁻³
A6	-3.763×10 ⁻⁸	B6	1.112×10 ⁻⁸

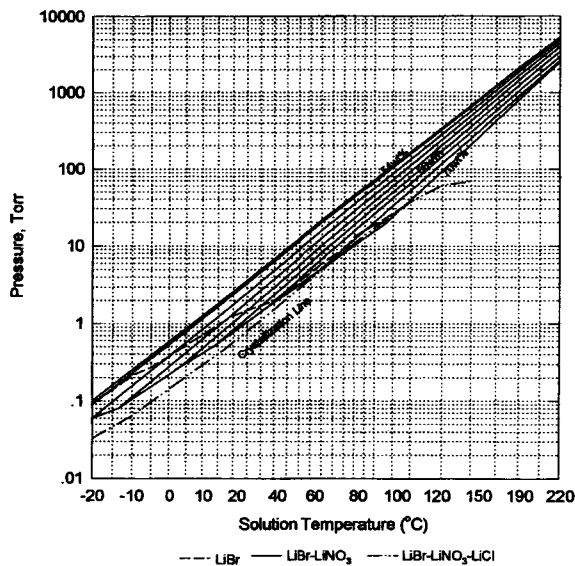


Fig. 12. Dühring chart of various lithium salts solutions.

편 각각의 모델용액들을 온도에 따른 증기압차(모델용액의 증기압에서 H₂O-LiBr용액의 증기압을 뺀 값)를 Fig. 11에 나타냈다. 온도가 높을수록 증기압 차는 더 크게 나타나는 경향을 보이고 있으며, 특히 LiBr 용액에 비해 LiNO₃ 성분의 첨가는 증기압 상승을 초래하는 용액의 물성에 역효과를 내는 반면, LiCl 성분의 첨가는 증기압을 낮춤으로서 용액의 물성에 좋은 영향을 주는 것으로 나타났다.

3.3. Dühring 선도 해석

앞서 구한 용액의 용해도 곡선과 증기압 곡선으로부터 작성한 Dühring 선도는 흡수식냉난방기의 사이클 및 시스템 설계 시 매우 중요한 데이터를 도출하는 선도이며, 흡수용액의 작동 범위를 정하는데 사용된다. 다양한 온도에서 측정된 증기압 데이터는 최소자승법에 의한 Antoine-Type 방정식(1)로부터 상수(A_i, B_i)를 구하였고, 실험 결과치는 선형으로 나타나는 log P에 1000/(T(K)-43.15)으로 작성하였다. 실험 데이터는 Antoine-Type 방정식으로 상관 관계지어 작동매체의 운전 가능한 온도 및 압력 범위의 P-T-X Dühring 선도를 작성하였다[13].

$$\log(P) = \sum_{i=0}^6 \left(A_i + \frac{1000B_i}{T(K) - 43.15} \right) X' \quad (1)$$

A_i와 B_i는 최소자승법에 의해 구하여진 상관 관계 수들로서 본 실험에서의 결과는 Table 2, 3에 나타내었다. 이와 같은 결과와 용해도 곡선으로부터 Dühring 선도를 Fig. 12와 같이 나타냈다. 전 영역에서 H₂O-LiBr용액에 비해 H₂O-LiBr-LiNO₃과 H₂O-LiBr-LiNO₃-LiCl 모델 용액의 결정 석출라인이 아래로 내려감으로서 용액의 작동범위가 넓어졌고, 특히 저온 영역에서 넓게 나타나 결정 생성 방지에 우수한 흡수식냉난방기의 설계 및 운전이 가능한 것으로 보여진다.

4. 결 론

1) H₂O-LiBr-LiNO₃ 모델 용액의 용해도 측정 결과로부터 3 성분 모델용액의 최적 몰비(LiBr-LiNO₃)는 5:1임을 알았다. 따라서 이런 조건하에서 합성한 H₂O-LiBr-LiNO₃ 모델 용액의 용해도는 H₂O-LiBr 용액에 비해 높은 것으로 나타났으나, 반면 증기압에 대해서는 H₂O-LiBr용액에 비해 높은 것으로 나타났다.

2) H₂O-LiBr-LiNO₃ 모델 용액의 최적조건하에서 LiCl 성분을 첨가하여 합성한 H₂O-LiBr-LiNO₃-LiCl 모델 용액의 용해도 측정 결과로부터 LiNO₃ 1몰에 대해 LiCl 성분을 1~4몰로 첨가량을 변화시키에 따라 혼합물의 결정 생성온도에 2몰까지는 큰 영향을 주지 못하나 2몰 이상에서는 급격히 증가됨을 알 수 있었다. 4성분 모델용액의 최적 몰비(LiBr-LiNO₃-LiCl)는 5:1:2임을 알았다. 이런 최적의 조건하에서 합성한 LiBr-LiNO₃-LiCl-H₂O 모델용액의 증기압은 H₂O-LiBr와 H₂O-LiBr-LiNO₃ 모델 용액에 비해 낮은 것으로 나타났다.

3) 이런 물성에서 작성한 Dühring 선도로부터 H₂O-LiBr 용액에 비해 모델용액의 결정 석출라인이 아래로 내려감으로서 용액의 작동범위가 넓어졌고, 특히 H₂O-LiBr-LiNO₃-LiCl 모델 용액이 저온 영역에서 넓게 나타나 결정 생성 방지에 우수한 흡수식냉난방기의 설계 및 운전이 가능한 용액을 얻었다.

참 고 문 헌

1. Iyoki, S., Yamanaka, R. and Uemura, T., *J. Chem. Eng. Data*, **38**, 3, 396(1993).
2. R. J. Lee, R. M. Digulio, S. M. Jeter and A. S. Teja, *ASHRAE Research Project*, **3381(527-RP)**, 709(PR-527).
3. Y. M. Eikassabgi and H. Perez-Blanco, *ASHRAE Research Project*, **3534**, 403(RP-527).
4. Chaudhari, S. K., Paranjape, D. V., Eisa, M. A. R. and Holland, F. A., *J. Heat Recov. Syst.*, **5**, 285(1985).
5. M. A. R. EISA, P. J. DIGGORY AND F. A. HOLLAND, *INTERNATIONAL JOURNAL OF ENERGY RESEARCH*, **12**, 459(1988).
6. Shigeki Iyoki, Shozo Iwasaki and Tadashi Uemura, *J. Chem. Eng. Data*, **38**, 3, 396(1993).
7. ASHRAE Handbook of Fundamentals, American Society of Heating Refrigerating, and Air-condition Engineers. Atlanta(1989).
8. Shigeki Iyoki, Ryousuke Yamanaka and Tadashi Uemura, *Int. J. Refrig*, **16**, 3, 191(1993).
9. Robert H. Perry and Don Green, "*Perry's Handbook 6th edition*", 3-45, McGraw-Hill International Edition(1984).
10. Kashinath R. Patil, Atri D. Tripathi, Gopal Pathak, and Sushilendra S. Katti, *J. Chem. Eng. Data*, **35**, 2, 1668 (1993).
11. Kashinath R. Patil, Shrirang K. Chaudhari, and Sushilendra S. Katti, *J. Chem. Eng. Data*, **37**, 1, 136(1992).
12. David R. Lide, "*CRC Handbook of Chemistry & Physics*", **74th edition**, 4-69(1993-1994).
13. 박영, 김진수, 이훈., *Theories and Applications of Chem Eng.*, **2**, 1, 753(1996).