

## 확산형 흡수식 냉장고에서 작동매체 충전조건이 증발온도에 미치는 영향

김 선 창<sup>†</sup>, 김 영 룰, 백 종 현, 박 승 상  
한국생산기술연구원 열에너지시스템팀

### Effects of Charging Conditions on Evaporating Temperature for Diffusion Absorption Refrigerator

Seon-Chang Kim<sup>†</sup>, Young-Lyul Kim, Jong-Hyun Peck, Seung-Sang Park  
Thermal Energy System Team, KITECH, Chonan 330-825, Korea

(Received April 14, 2003 revision received August 21, 2003)

**ABSTRACT:** A diffusion absorption refrigerator is a heat-generated refrigeration system. It uses a three-component working fluid consisting of the refrigerant (ammonia), the absorbent (water) and the auxiliary gas (hydrogen or helium). In this study, experimental investigations have been carried out to examine the effects of charging conditions of working fluids on the evaporating temperature for diffusion absorption refrigerator. Experimental parameters considered in the present experiments are charging concentration, solution charge and system pressure determined by auxiliary gas charged. As a result, in the charging condition of 35% of concentration and  $20 \text{ kg/cm}^2$  of system pressure, the system has the lowest evaporating temperature. It was found that there exists a minimum value of solution charge for the operation of diffusion absorption refrigerator.

**Key words:** Diffusion absorption refrigerator(확산형 흡수식 냉장고), Auxiliary gas(보조가스), Ammonia aqueous solution(암모니아 수용액), Charging concentration(충진농도), Solution charge(용액충진량)

#### 1. 서 론

최근 소형 냉장고는 그 사용범위가 주방 이외에 레저용 차량, 거실 및 침실에까지 늘어나고 있는 추세이다. 일반적인 전기 구동식 냉장고는 구동원으로 압축기를 사용하기 때문에 운전시 기계적인 소음이나 진동을 수반한다. 따라서 정숙을 요구하는 호텔 등의 객실이나 침실용으로는 적합치 못하다. 이러한 문제점으로 인하여 유럽이나

미국 등 선진국의 호텔에서는 압축기를 사용하지 않는 확산형 흡수식 냉동기를 객실용 냉장고로 사용하고 있다. 확산형 흡수식 냉동기는 냉매를 순환시키는 구동원으로 압축기가 아닌 기포펌프를 이용하기 때문에, 압축기와 같은 기계적 구동부로 인한 소음 및 진동이 발생하지 않으므로 완전 무소음, 무진동 냉동기의 실현이 가능하다.

확산형 흡수식 냉장고는 일반적인 흡수식 냉동기와는 달리 냉매(암모니아), 흡수제(물) 및 보조가스(수소 혹은 헬륨 등)로 구성된 3-성분의 작동매체를 사용하고 있다. 보조가스는 시스템 내의 압력(암모니아의 분압+보조가스의 분압)을 전체적으로 일정하게 유지시켜 주는 역할을 하며, 이

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-41-589-8353; fax: +82-41-589-8353

E-mail address: kimsc@kitech.re.kr

로 인하여 저양정의 기포펌프로도 암모니아의 분압이 낮은 흡수기에서 암모니아의 분압이 높은 발생기로의 암모니아 수용액 순환이 가능하게 된다.<sup>(1)</sup>

Hideaki Okuda<sup>(2)</sup>는 30 L급 확산형 흡수식 냉장고에 대한 실험을 수행하여 보조가스인 수소의 충전압력은 1.7 MPa, 암모니아 용액의 충전농도는 34%, 그리고 발생기 입력열량은 85 W가 최적운전 조건임을 발표하였다. Kim et al.<sup>(3)</sup>은 확산형 흡수식 사이클을 이용한 호텔용 룸에어컨 개발을 위하여 확산형 흡수식 사이클에 대한 사이클 시뮬레이션을 수행한 바 있으며, 그 결과 냉동능력 37 W일 때, 0.183의 COP를 얻을 수 있음을 보고하였다. Srihirin and Aphornratana<sup>(4)</sup>는 보조가스인 헬륨의 충전압력이 6.1 bar일 때 발생기에서의 입력열량이 1,000 W와 2,500 W에 대한 실험결과 각각의 냉장능력은 100 W와 180 W, COP는 0.09와 0.15를 얻을 수 있었으며, 이론해석 결과 증발기와 흡수기에서의 물질전달이 시스템의 성능에 가장 큰 영향을 미친다고 발표하였다.

국내에서는 확산형 흡수식 사이클에 대한 연구가 미비한 실정이다. Lee et al.<sup>(5)</sup>은 확산형 흡수식 냉동기용 기포펌프의 운전특성에 관한 연구결과를 발표하였으며, Kim et al.<sup>(6)</sup>은 상용 프로그램인 EES(Engineering Equation Solver)를 이용한 확산형 흡수식 냉장고의 사이클 해석을 통하여 보조가스의 충전으로 인한 시스템 압력과 암모니아 수용액의 충전농도 등 설계조건에 따른 시스템의 성능을 예측하였다.

본 연구에서는 확산형 흡수식 냉장고의 작동매체 충전조건이 냉장고의 운전특성에 미치는 영향을 규명하기 위하여 Electrolux사의 확산형 흡수식 냉장고를 이용하여 작동매체인 암모니아 수용액의 충전농도, 충전량 및 보조가스인 헬륨의 충전압력이 증발기 온도에 미치는 영향에 대한 실험을 수행하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

본 실험에서 사용한 확산형 흡수식 냉장고는 Electrolux사 제품(모델명: RH360LD)으로 내용적은 56 L, 발생기 히터는 80 W를 사용한다. 작동매체는 암모니아 수용액과 보조가스이며, 암모니아 수용액 중 암모니아의 양은 130 g, 보조가스

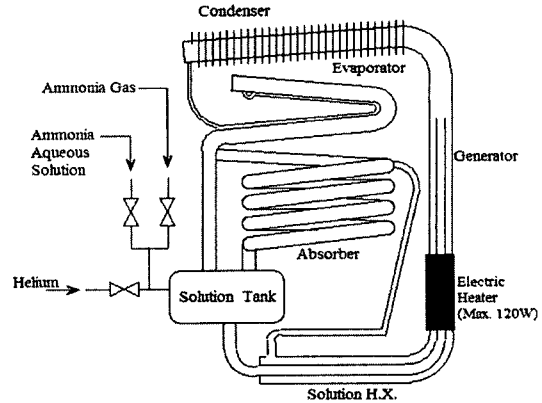


Fig. 1 Schematic diagram of diffusion absorption refrigerator.

충전으로 인한 시스템 최고 압력은 30 bar이다. 보조가스의 성분은 명시되어 있지 않다.

본 연구에서는 작동매체 충전조건에 따른 실험을 수행하기 위하여 Electrolux 제품의 작동매체를 모두 추출한 후, 용액탱크에 별도의 충전배관을 부착하여 암모니아 수용액의 농도, 충전량 및 보조가스인 헬륨의 충전압력 등을 원하는 조건대로 충전할 수 있도록 개조하였다.

실험에 사용된 암모니아 수용액은 25%의 암모니아 수용액과 100% 암모니아 가스를 혼합하여 제조하였으며 충전농도는 수용액과 가스의 주입량을 조절하여 맞추었다. 수용액과 가스의 주입량 측정에 사용된 저울의 최소 눈금은 5g이다.

발생기에 부착된 히터 역시 입력량 조절이 가능한 히터로 교체하였으며, 히터의 입력량은 슬라이더로 조절하였고 입력량은 디지털 전력계(Digital Power Meter, Yokogawa, WT1030)로 측정하였다. 또한 냉장고 각 부위의 온도측정을 위하여 배관 표면에 열전대(T-type)를 부착하였으며, 증발기에서는 9개, 냉장고 내 방열원에서는 3개의 위치에서 측정된 온도의 평균값을 사용하였다. 측정에 사용된 열전대의 측정오차는  $\pm 0.5$  °C이다. 시스템의 압력측정에는 Pressure Transducer(Valcom, VPRQ)를 사용하였으며 정도는 측정치의  $\pm 0.8\%$ 이다. Fig. 1은 본 연구에서 사용한 확산형 흡수식 냉장고의 개략도이다.

### 2.2 실험변수 및 실험방법

본 연구에서는 확산형 흡수식 냉장고의 작동매

Table 1 Nominal conditions and ranges of experimental parameters

Parameter	Nominal condition	Range
Charging concentration (Concentration of rich solution), $X_H$	30%	25~35%
Solution charge, $M$	300 g	285~315 g
Charging pressure of auxiliary gas, $P_H$	20 kgf/cm <sup>2</sup>	10~25 kgf/cm <sup>2</sup>

체인 암모니아 수용액의 농도와 충전량, 그리고 보조가스인 헬륨의 충전압력을 실험변수로 설정하여 실험을 수행하였다. 본 실험에서의 변수와 범위를 Table 1에 나타내었다.

각 실험조건에서의 실험에 앞서 원하는 농도를 맞추기 위하여 이에 따른 암모니아 수용액의 충전량과 암모니아 가스의 충전량을 각각 계산한다. 일반적으로 유통되는 암모니아 수용액의 농도는 25~28%이므로 그 이상의 농도를 원할 경우에는 암모니아 수용액을 충전한 후 일정량의 암모니아 가스를 주입해야 한다. 정해진 암모니아 수용액의 농도와 충전량에 맞추어 암모니아 수용액과 암모니아 가스를 주입한 후, 시스템 내의 압력을 원하는 보조가스 충전압력에 도달할 때까지 보조가스인 헬륨을 주입한다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 예비실험

확산형 흡수식 냉장고의 초기 운전특성 및 각

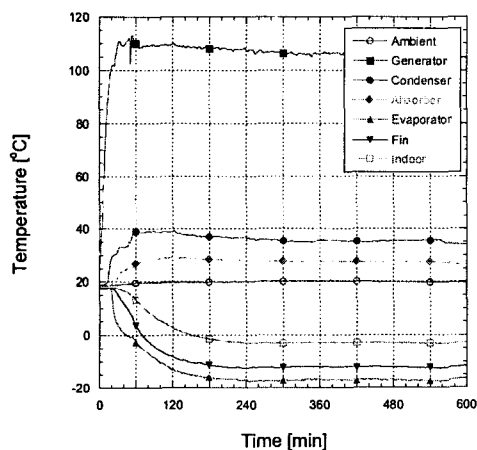


Fig. 2 Operating temperatures of Electrolux DAR (diffusion absorption refrigerator).

부분의 작동온도에 대한 참고값을 얻기 위하여 실험대상인 Electrolux 냉장고를 구입 당시 상태로 예비실험을 수행하였다. Fig. 2는 구입 당시 Electrolux 냉장고에 대한 실험결과를 보여주고 있다. 예비실험시 외기온도는 20°C이며, 발생기 히터 입열량은 80 W이다. 그림에 나타낸 Generator는 기포펌프 상단부, 즉 발생기 출구의 온도이며, Condenser, Absorber 및 Evaporator의 온도는 각각 입출구 온도의 평균값을 나타낸다. 또한 Fin은 증발기에 부착된 방열핀, Indoor는 냉장고 냉장실 내의 온도를 의미한다. 본 실험결과에 의하면 확산형 흡수식 냉장고는 전원공급 후 약 4시간 정도 경과하여야 증발기 및 냉장실의 온도가 안정화됨을 알 수 있으며, 안정화 이후 4시간 동안의 증발기와 냉장실 내의 평균 온도는 각각 약 -16.0°C와 -2.9°C로 나타났다.

#### 3.2 암모니아 수용액 충전농도에 의한 영향

Fig. 3은 암모니아 수용액의 충전농도가 각각 25%, 30% 및 35%인 경우, 발생기 히터의 입열

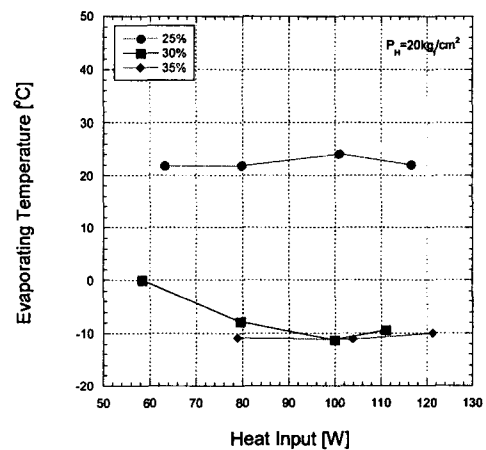


Fig. 3 Evaporating temperature versus heat input with variation of charging concentration.

량의 변화에 따른 증발온도를 나타내고 있다. 이때 보조가스인 헬륨의 충전으로 인한 시스템의 압력은  $20 \text{ kg/cm}^2$ 이다. 암모니아 수용액의 충전농도가 25%인 경우에는 모든 경우에 있어서 증발온도는 약  $22\sim 24^\circ\text{C}$ 로 시스템이 작동하지 않음을 알 수 있다. 충전농도가 30%인 경우, 입열량이  $58.4 \text{ W}$ 일 때 증발온도는 약  $0.1^\circ\text{C}$ 로 나타났다. 냉장실의 온도가 증발온도보다 약  $13^\circ\text{C}$  정도 높음을 고려하면 이 경우에는 냉장효과를 얻을 수 없음을 알 수 있으며, 입열량이  $100 \text{ W}$ 에서는 증발온도가  $-10^\circ\text{C}$  이하로 냉장효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다. 충전농도가 35%인 경우에는 입열량이  $80 \text{ W}$  이상에서 모든 경우에 증발온도가  $-10^\circ\text{C}$  이하로 냉장효과를 얻을 수 있으며, 입열량의 증가에 따른 증발온도의 변화는 거의 없는 것으로 나타났다.

앞서 기술한 바와 같이 충전농도가 25%인 경우에 확산형 흡수식 냉장고가 작동하지 않는 원인은 작동매체의 순환이 원활하지 못하기 때문인 것으로 판단된다. Kim et al.<sup>(7)</sup>은 사이클 해석을 통하여 충전농도가 낮을수록 기포펌프로 유입되는 농용액의 유량 및 냉매증기 발생량이 감소한다고 보고하였다. 이 해석결과에 의하면 충전농도가 27%일 때의 농용액 순환량과 냉매증기 발생량은 충전농도가 35%인 경우에 비하여 각각 약 37%와 31% 정도 낮다고 보고되고 있다. 이와 같은 이유는 암모니아 수용액의 농도가 낮을수록

일정 압력에서 수용액의 평형온도가 높아지며, 일정한 열원을 발생기에 가하였을 경우 수용액의 비등점이 높기 때문에 기포펌프에서 암모니아 증기의 비등이 일어나지 않으며 양액작용이 이루어지지 못하기 때문에 암모니아 수용액 및 냉매증기의 순환이 원활히 안되기 때문인 것으로 판단된다.

이와 같은 원인은 Fig. 4 및 Fig. 5로도 설명될 수 있다. Fig. 4와 Fig. 5는 보조가스 충전압력이  $20 \text{ kg/cm}^2$ 에서 충전농도가 각각 25% 및 30%인 경우, 발생기 입열량에 따른 용축기 입출구 및 흡수기 입출구 온도를 나타내고 있다.

Fig. 4 및 Fig. 5에 의하면 발생기 입열량이 증가함에 따라 충전농도가 25%와 30%일 경우 모두 용축기 입구온도는 증가하고 있음을 알 수 있다. 그러나 동일한 입열량에 대해서 충전농도가 25%일 경우의 용축기 온도가 30%일 경우에 비해서 상대적으로 높음을 알 수 있다. 이는 충전농도가 낮을수록 동일 입열량에 대하여 냉매증기의 발생량이 적음을 의미한다.<sup>(8)</sup> 또한 흡수기 입출구의 온도를 비교하여 보면 충전농도가 30%(Fig. 5)의 경우에는 흡수기에서 냉매증기가 암모니아 수용액에 흡수될 때 발생하는 흡수열로 인하여 흡수기 출구의 온도가 입구보다 높음을 알 수 있다. 그러나 충전농도가 25%(Fig. 4)인 경우에는 흡수기 입출구 온도가 거의 동일함을 알 수 있으며, 이는 암모니아 수용액의 순환이 이루어

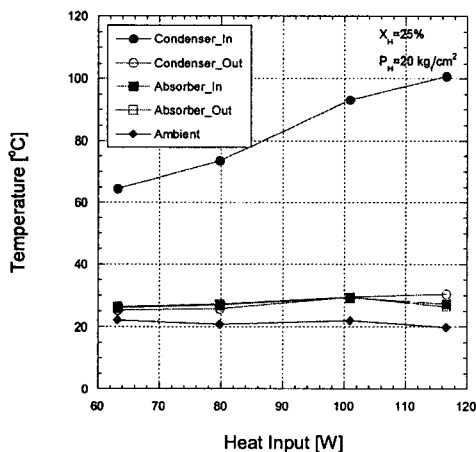


Fig. 4 Temperatures at condenser and absorber versus heat input for 25% of charging concentration.

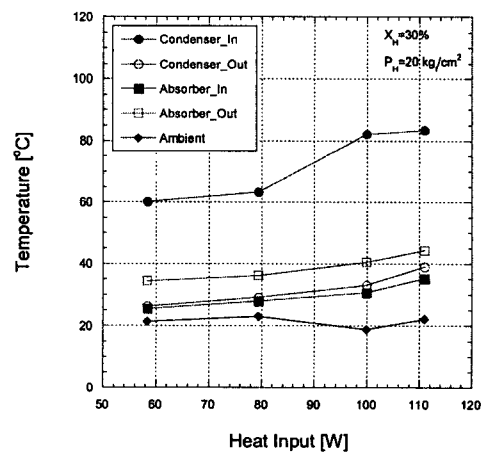


Fig. 5 Temperatures at condenser and absorber versus heat input for 30% of charging concentration.

지지 않거나 냉매증기가 수용액에 흡수되지 않기 때문인 것으로 판단된다.

### 3.3 보조가스 충전압력에 의한 영향

보조가스인 헬륨의 충전압력의 증가에 따른 증발온도의 변화를 Fig. 6에 나타내었다. 그림에서의 시스템 압력은 헬륨 충전 당시의 압력이 아니라 시스템이 정상상태에 도달한 후의 압력으로 실제 충전압력보다 약  $1 \text{ kg/cm}^2$  정도 높은 값을 나타낸다.

보조가스의 충전압력에 대한 실험결과 암모니아 수용액의 충전농도가 25%인 경우에는 3.2절의 실험조건에서와 마찬가지로 시스템이 작동하지 않음을 알 수 있었다. 충전농도가 30%인 경우에는 보조가스의 충전으로 형성된 시스템 압력이 약  $11 \text{ kg/cm}^2$ 에서는 증발온도가 약  $10^\circ\text{C}$  정도로 실제 냉장효과를 얻을 수 없었으며, 시스템 압력이 약  $15 \text{ kg/cm}^2$  이상이 되어야 증발온도  $-9 \sim -10^\circ\text{C}$  정도로 냉장효과를 얻을 수 있음을 알 수 있다. 충전농도가 35%인 경우에는 30%인 경우보다 시스템 압력이 더 높은  $20 \text{ kg/cm}^2$  이상이 되어야 냉장효과를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

충전농도, 즉 시스템 내 농용액의 농도가 일정할 경우 시스템의 압력이 낮아지면 발생기에서 발생하는 냉매증기의 평형온도가 낮아질 뿐 아니라 응축압력 저하로 인하여 응축기에서의 응축은

도도 낮아진다. 외기온도가 일정한 조건에서 응축온도가 낮아지면 외기와의 온도차가 감소하여 응축기에서의 응축능력이 떨어지며, 이로 인하여 냉매의 순환이 원활하지 못하게 되기 때문에 시스템이 정상적으로 작동하지 못하는 것으로 판단된다.

또한 동일한 시스템 압력 하에서는 농용액의 농도가 증가하면 앞서 기술한 바와 같이 발생기에서 발생하는 냉매증기의 평형온도가 낮아지므로 응축기 입구에서의 냉매증기와 외기와의 온도차가 감소하여 이 경우 역시 응축능력이 부족해지는 현상이 발생하므로 충전농도가 진한 35% 경우에는 시스템이 정상적으로 작동하기 위해서는 충전농도가 30%인 경우에 비하여 상대적으로 높은 시스템 압력을 요구하는 것으로 판단된다.

### 3.4 암모니아 수용액 충전량에 의한 영향

암모니아 수용액의 충전량이 확산형 흡수식 냉장고의 작동에 미치는 영향을 알아보기 위하여 수용액의 충전량을 기준조건인 300 g과  $\pm 5\%$ 를 증감한 285 g 및 315 g에 대한 실험을 수행하였다. Fig. 7에 충전농도 35%, 보조가스 충전압력  $20 \text{ kg/cm}^2$  및 발생기 입열량이 80 W인 조건에서 충전량의 변화에 대한 증발온도 및 냉장고 내 방열편과 냉장실의 온도를 나타내었다. 실험결과 수용액 충전량이 285 g인 경우에는 증발온도가

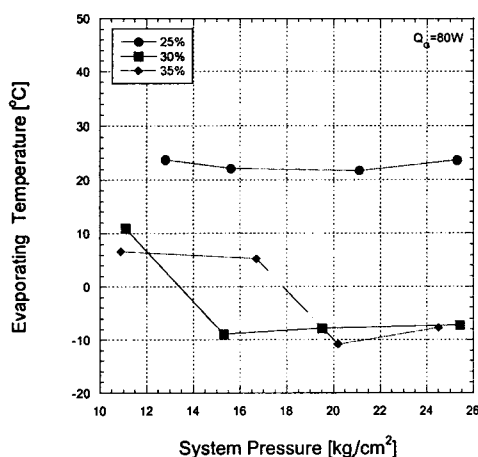


Fig. 6 Evaporating temperature versus system pressure with variation of charging concentration.

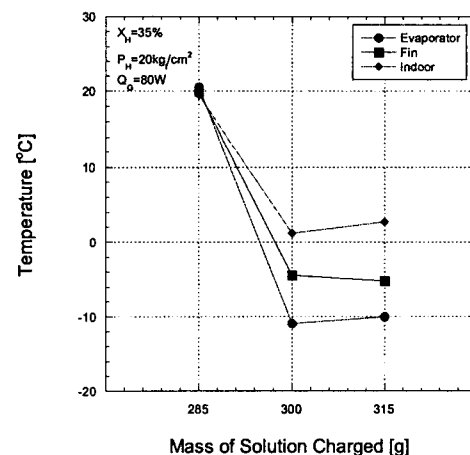


Fig. 7 Evaporating temperature versus solution charge.

약 20℃ 정도로 시스템이 작동하지 않음을 알 수 있으며, 충전량이 300 g 및 315 g인 경우에는 증발온도는 각각 약 -10.9와 -10.0℃, 냉장실의 온도는 약 1.2℃와 2.7℃로 냉장효과를 얻을 수 있었다. 발생기 작동온도인 약 180℃와 암모니아 수용액의 농도가 35%인 경우, 암모니아 수용액의 밀도는 약 680 kg/m<sup>3</sup>으로 15 g의 질량차를 부피 차로 환산하여 보면 약 22 mL의 차가 발생한다. 본 연구의 실험대상인 확산형 흡수식 냉장고의 경우 발생기의 기포펌프 내경은 3 mm로 22 mL의 부피차이는 약 3.1 cm의 높이 차이로 나타난다. 즉, 충전량이 285 g인 경우에는 충전량이 300 g인 경우보다 기포펌프 내에 유입되는 암모니아 농용액의 수위가 약 3.1 cm 낮게 된다. 기포펌프 내 용액의 수위가 낮아지면 기포펌프에서 양액에 필요한 양정이 증가하게 되므로 회용액의 양액량, 즉 순환량이 감소하게 되며 입의 양정 이상이 되면 회용액의 순환이 이루어지지 않을 수도 있다. 또한 용액의 수위가 기포펌프에 부착된 발열체(히터)의 위치보다 낮게 되면 양액효과를 얻을 수 없다. 따라서 본 실험조건에서 수용액 충전량이 285 g인 경우에는 기포펌프 내 수용액의 수위 감소로 인하여 기포펌프에서의 양액작용이 이루어지지 않은 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 Electrolux 사의 56 L급 확산형 흡수식 냉장고(모델명 : RH360LD)를 대상으로 작동매체의 충전조건에 따른 증발온도 특성에 대한 실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 암모니아 수용액의 충전농도가 25%, 30% 및 35%에 대한 실험결과 암모니아 수용액의 농도가 낮은 25%인 경우에는 작동매체의 순환이 이루어지지 못함으로 인하여 시스템이 작동하지 않는다.
- (2) 암모니아 수용액의 농도가 30% 및 35%인 경우에도 발생기 입력열량이 80 W보다 작거나 시스템 압력이 낮은 경우에는 작동매체가 순환되기는 하나 원활하지 못하여 증발온도가 높고 따라서 냉장고로서의 역할을 수행하지 못함을 알 수 있다.
- (3) 암모니아 수용액의 충전량이 적정량 이하일 경우에는 기포펌프 수위의 저하로 인하여 기

포펌프가 수용액을 양액시키지 못하기 때문에 시스템의 작동이 불가능하다. 따라서 암모니아 수용액의 충전량은 시스템 내 체적, 특히 용액저장탱크와 기포펌프의 체적을 계산하여 암모니아 수용액의 수위가 최소한 기포펌프에 부착된 발열체(히터)의 위치와 동일하도록 하여야 한다.

(4) 본 실험범위 내에서 최적의 충전조건은 입력열량이 80 W일 때, 암모니아 수용액의 충전농도 35%, 보조가스 충전압력은 20 kg/cm<sup>2</sup>, 그리고 충전량은 300 g으로 나타났다.

본 연구에서 얻어진 실험결과들은 Electrolux 사의 56 L급 확산형 흡수식 냉장고(모델명 : RH360LD)에 대한 수치들로 시스템의 용량 및 형상에 따라 차이가 있을 수 있지만 확산형 흡수식 냉장고에 대한 정성적인 특성을 이해하는 데에는 도움이 되리라 판단된다. 또한 본 실험범위 내에서 얻어진 최적의 충전조건은 서론에서 기 서술한 바 있는 Hideaki Okuda<sup>(2)</sup>의 실험결과(보조가스 충전압력 1.7 MPa, 암모니아 수용액 충전농도 34%, 발생기 입력열량 85 W)와도 유사한 값을 나타내고 있다.

#### 참고문헌

1. Herold, K. E., Radermacher, R. and Klein, S. A., 1996, Absorption Chiller and Heat Pump, CRC Press, Inc.
2. Hideaki Okuda, 1993, Development of a portable absorption refrigerator, Refrigeration, Vol. 68, No. 783, pp. 81-84.
3. Kim, K. J., Shi, Z., Chen, J. and Herold, K. E., 1995, Hotel room air conditioner design based on the diffusion-absorption cycle, ASHRAE Transactions : Symposia, pp. 1290-1301.
4. Srihirin, P. and Aphornratana, S., 2002, Investigation of a diffusion absorption refrigerator, Applied Thermal Engineering 22 (2002), pp. 1181-1193.
5. Lee, H. K., Kim, S. C. and Lee, J. H., 2001, Operating characteristics of a bubble pump for diffusion-absorption refrigerator, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 9, pp. 878-887.
6. Kim, S. C., Kim, Y. L., Peck, J. H. and Park,

- S. S., 2002, Cycle analysis of diffusion absorption refrigerator, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 14, No. 10, pp. 817-824.
7. Kim, S. C. and Kim, Y. L., 1999, Manufacturing technology of diffusion absorption refrigerator, KITECH98-G-T-0006, KITECH.
8. Yoon, J. H. and Kim, S. C., 2003, Design technology of diffusion absorption refrigerator, KITECH02-IR-1-0005, KITECH.