

## 확산형 흡수식 냉동시스템의 기포펌프 성능실험

이 재 효, 정 의 갑<sup>†</sup>, 윤 재 호<sup>\*\*</sup>

건국대학교 기계공학과, <sup>†</sup>건국대학교 대학원, <sup>\*\*</sup>한국생산기술연구원

### Experimental Performance Study of the Bubble Pump for the Diffusion Absorption Refrigerating System

Jai-Hyo Lee, Eui Kap Jung<sup>†</sup>, Jae Ho Yun<sup>\*\*</sup>

Department of Mechanical Engineering, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea

<sup>†</sup>The Graduate School of Konkuk University, Seoul 143-701, Korea

<sup>\*\*</sup>Korea Institute of Industrial Technology, Choongnam 330-820, Korea

(Received November 28, 2003; revision received January 26, 2004)

**ABSTRACT:** An experimental investigation was carried out to study the performance of a bubble pump for the diffusion absorption refrigerating system. Ammonia was used as the refrigerant and the helium was charged in order to balance the pressure between the low and high pressure side. As experimental variables, the concentration of ammonia charged into system, heat input, and the pressure of helium were selected.

Experimental results show that the generation rate of ammonia vapor and the circulation rate of diluted ammonia solution were increased as the heat input increases, but the ratio of the solution to vapor flow rate was decreased. The generation rate of refrigerant vapor and the circulation rate of diluted ammonia solution increased as the system pressure decreased. Finally under the condition of 25 bars, the concentration of rich ammonia solution was not affected by the generation rate of ammonia vapor and the circulation of diluted ammonia solution.

**Key words:** Bubble pump(기포펌프), Diffusion absorption refrigerating system(확산형 흡수식 냉동시스템), Helium(헬륨), Liquid pump tube(양액관)

#### 기 호 설 명

$b$  : 양액률(회용액의 순환량/발생냉매 증기량)  
 $\dot{m}_v$  : 냉매증기 발생량 [g/s]  
 $\dot{m}_w$  : 회용액 순환량 [g/s]  
 $P_H$  : 보조가스 봉입압력 [bar]  
 $\dot{Q}_G$  : 기포펌프로의 입열량 [W]

$X_R$  : 암모니아 수용액의 충전농도 [%]

#### 1. 서 론

##### 1.1 개 요

소형 흡수냉동장치에서는 흡수기에서 재생기로 용액을 순환시키기 위하여 압력을 올려주는 기계 펌프가 작동된다. 이 기계펌프를 열구동원의 기포펌프로 대체하면 기계적 구동부로 인한 소음 및 진동이 발생하지 않는 완전 무소음, 무진동 냉동기를 만들 수가 있다. 특히 전기를 사용하지

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-32-327-2451; fax: +82-32-327-2460

E-mail address: jungke@yooilsystem.co.kr

않아도 구동이 가능하게 되어 야외용으로 사용하는 데 큰 이점이 있다. 이런 흡수식 냉동장치를 확산형 흡수냉동기(diffusion-absorption refrigerating system, DA)라 한다. 이 시스템에서 기포펌프는 흡수식 냉동시스템의 기계펌프와 흡수식 사이클의 발생기(desorber) 역할을 담당하고 있는 매우 중요한 요소기이다. 이 기포펌프는 소형 확산형 흡수식 냉장고뿐만 아니라 중대형 흡수식 냉온수기에도 일부 사용되고 있다.<sup>(1)</sup>

그동안 흡수식 시스템에 대하여 수행된 연구들은 그 대부분이 흡수기에 대한 연구들이며, 재생기 및 기포펌프에 대한 연구는 소수에 불과하다. 또한 기포펌프에 대하여 수행된 연구들의 대부분은 작동매체로서 물<sup>(2,3)</sup>을 사용했거나 흡수식 냉온수기를 대상으로 한 LiBr 수용액<sup>(4-6)</sup>에 관한 것이 대부분이며 본 연구의 대상이 되는 암모니아 수용액을 작동매체로 한 기포펌프에 대한 연구는 극소수이다.

Lee et al.<sup>(7)</sup>은 확산형 흡수식 냉장고에서의 기포펌프에 대한 이론해석과 실험적 연구결과를 발표하였다. 이 연구에서는 암모니아 수용액을 사용한 기포펌프의 기본적인 운전특성을 파악하기 위하여 실제 확산형 흡수식 냉장고의 운전조건과는 달리 시스템의 작동매체 중의 하나인 보조가스인 헬륨(helium)을 봉입하지 않고 암모니아 수용액만을 작동매체로 사용하여 실험하였기 때문에 실제 기포펌프를 설계하는 데는 미흡한 면이 있다.

본 연구에서는 이동식 확산형 흡수식 냉장고용 기포펌프의 운전특성을 규명하기 위하여 실제 시스템과 같은 암모니아 수용액과 보조가스인 헬륨을 작동매체로 사용하였으며 기포펌프에서의 입열량, 암모니아 수용액의 농도 및 보조가스 봉입량 등을 실험변수로 하여 이들의 변화에 따른 기포펌프의 운전특성 파악을 위한 실험을 수행하였다.

## 1.2 기포펌프의 작동원리

확산형 흡수식 냉동기에서는 기포펌프가 흡수용액으로부터 냉매를 발생시키는 발생기와 용액을 순환시키는 용액펌프의 역할을 동시에 수행하므로 기포펌프를 사용하는 흡수식 냉동기에서는 기포펌프가 시스템의 구동부의 역할을 담당하고 있다.

Fig. 1은 확산형 흡수식 냉동기에 적용되고 있

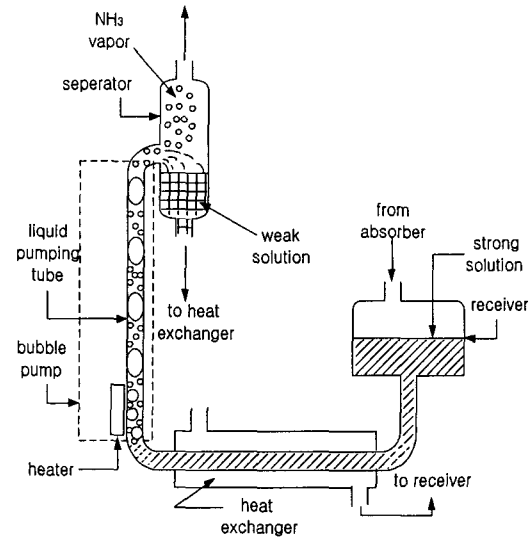


Fig. 1 Schematic diagram of bubble pump experiment.

는 기본적인 기포펌프의 개략도이다. 기포펌프는 일반적으로 열을 가하기 위한 히터, 용액이 기포와 함께 상승하도록 하는 양액관(liquid pumping tube) 등으로 구성되어 있다. 양액관 안에 들어 있는 암모니아 농용액은 히터로부터 열을 흡수하여 비등을 시작하고, 이때 발생한 냉매인 암모니아 증기는 기포를 형성한다. 가열 초기에는 양액관 내의 농용액 유동이 기포류(bubble flow)를 형성하므로 펌핑 효과를 얻을 수 없으나, 가열량이 충분히 커진 경우에는 양액관 내의 농용액 유동이 슬러그류(slug flow)를 형성하여 슬러그가 양액관을 부분적으로 채운 상태로 상승하게 된다. 이때 기포 슬러그는 피스톤과 같은 역할을 하여 기포와 기포 사이의 희용액(weak solution)을 상부로 운반하는 역할을 하게 된다.

양액관의 최상부에 도달한 냉매증기와 희용액은 서로 분리되어 희용액은 열교환기를 지나 용액저장탱크로 유입되고, 냉매증기는 응축기로 유입하게 된다.

## 2. 실험장치 및 실험방법

### 2.1 실험장치

Fig. 2는 본 연구에 사용된 기포펌프 운전특성

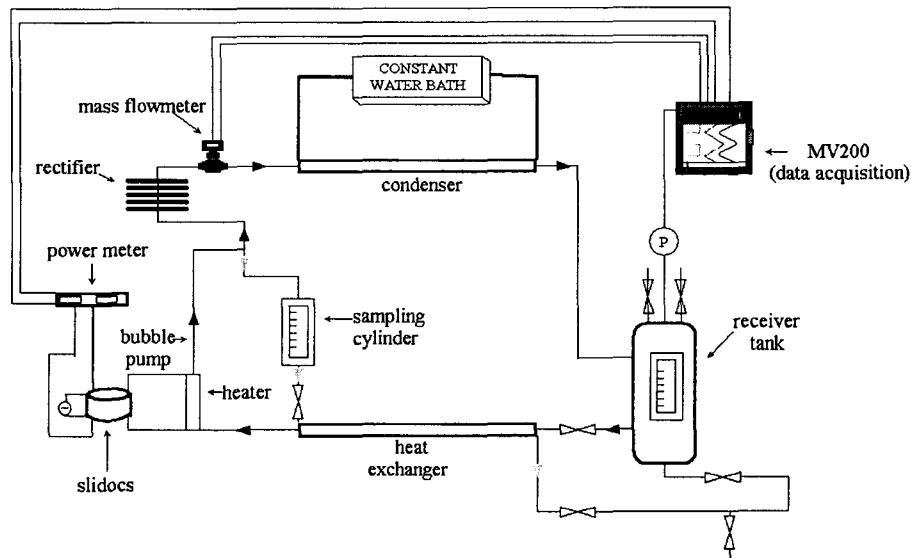


Fig. 2 Schematic diagram of the experiment device.

실험장치의 개략도이다. 본 실험장치는 용액저장 탱크(receiver tank), 용액열교환기(solution heat exchanger), 기포펌프(bubble pump), 정류기(rectifier) 및 응축기(condenser) 등으로 구성되어 있다. 용액저장탱크는 지름이 120 mm, 높이가 150 mm인 원통형이며, 용액 열교환기는 기포펌프로 공급되는 암모니아 농용액과 기포펌프에 의해 양액된 암모니아 희용액 간의 열교환을 위한 것으로 이중관 열교환기로 되어 있다. 기포펌프는 단일관으로 길이는 290 mm, 내경 4.57 mm이며, 하단에 전기히터가 설치되어 있고 상단에는 정류기가 설치되어 있다. 정류기와 응축기 사이에 냉매증기 발생량( $\dot{m}_v$ )을 측정하기 위해 질량유량계(mass flow meter)를 설치하였으며, 희용액 순환량( $\dot{m}_w$ )을 측정하기 위해 샘플링 실린더(sampling cylinder)를 설치하였다. 전기히터는 슬라이더로 입열량을 조절하였다. 응축기는 이중관으로 되어 있으며 항온조(constant water bath)로부터 공급되는 냉각수에 의하여 냉각된다.

2.2 실험방법

본 연구에서 실험변수로는 기포펌프 암모니아 수용액의 충전농도( $X_R$ ), 보조가스 봉입압력( $P_H$ ) 및 기포펌프로의 입열량( $Q_G$ )을 사용하였다. Table 1은 본 연구에서 사용한 실험변수와 그 범위를 나타낸다.

실험장치 내를 진공상태로 유지시킨 후 암모니아 수용액(약 25%)을 용액저장탱크에 주입한 후 원하는 농도가 될 때까지 암모니아 가스를 주입한다. 암모니아 수용액 및 암모니아 가스의 주입이 완료되면 보조가스인 헬륨을 원하는 압력까지 주입한다. 작동매체의 주입이 끝나면 기포펌프에 부착된 히터의 입열량을 80 W에서 120 W까지 20 W씩 증가시켜서 냉매증기 발생량( $\dot{m}_v$ )과 희용액 순환량( $\dot{m}_w$ )을 각각 측정한다. 기포펌프에서 발생된 냉매증기는 측정범위가 0~0.1 g/s인 질량유량계로 측정한다. 양액된 희용액 순환량 샘플링 실린더 하부의 밸브를 잠근 후, 샘플링 실린

Table 1 Experimental variables and ranges

Variables	Range
Charging concentration of ammonia solution, $X_R$ [%]	28~32
Charging pressure of helium, $P_H$ [bar]	15~30
Heat input into the bubble pump, $Q_G$ [W]	80~120

더 내의 회용액 수위가 10 cm 상승하는 데 소요되는 시간을 측정하여 회용액 순환량을 계산한다. 샘플링 실린더에 부착된 눈금자의 최소눈금은 1 mm이므로 목측오차는  $\pm 0.5$  mm이며, 샘플링 실린더의 단면적은  $1\text{ cm}^2$ 이므로, 샘플링된 암모니아 회용액의 순환량에 대한 측정오차는  $\pm 0.05$  g이다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 시스템 압력에 의한 영향

Fig. 3에 농용액 농도가 30%이고 시스템 압력이 15, 20, 25 및 30 bar일 때 기포펌프 입열량의 증가에 따른 냉매증기 발생량의 변화를 나타내었다. 모든 압력조건에서 입열량이 증가함에 따라 냉매증기 발생량이 증가함을 알 수 있다. 이는 입열량이 증가할수록 냉매의 비등이 활발해지기 때문이다.

Fig. 4는 입열량의 증가에 따른 회용액 순환량을 나타낸다. 이 경우 역시 입열량이 증가함에 따라 회용액 순환량이 증가함을 알 수 있다. 이러한 이유는 입열량이 증가함에 따라 기포의 상승이 활발해지고 기포펌프 내의 유동이 기포유동(bubble flow)에서 슬러그유동(slug flow)으로 천이되면서 이 슬러그에 의한 용액상승이 활발해지기 때문인 것으로 판단된다.

Fig. 3 및 Fig. 4에서와 같이 시스템 압력이 높

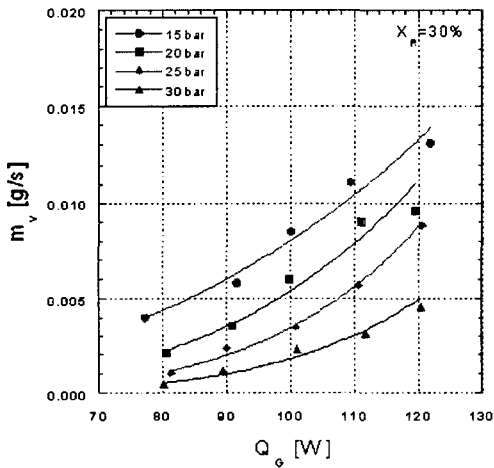


Fig. 3 The influence of heat input on the refrigerant vapor flow rates.

은 경우일수록 냉매증기 발생량 및 회용액 순환량이 적음을 알 수 있다. 이는 농용액의 농도가 일정한 경우 시스템 압력이 증가하면 암모니아 수용액의 평형온도가 상승하게 되어 기포펌프에 일정한 입열량이 가해질 경우 시스템 압력이 낮은 경우에 비하여 상대적으로 비등이 원활하게 이루어지지 못하기 때문인 것으로 판단된다.

Fig. 5는 입열량 증가에 따른 양액률의 변화를 보여주고 있다. 본 실험에서 양액률은 회용액 순환량과 냉매증기 발생량의 비로 정의한다. 모든

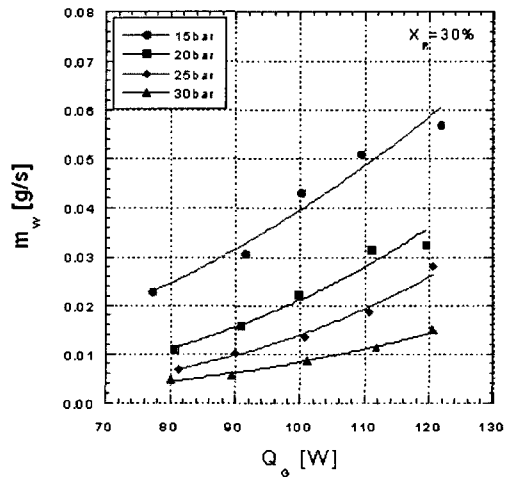


Fig. 4 The influence of heat input on the flow rates of diluted ammonia solution.

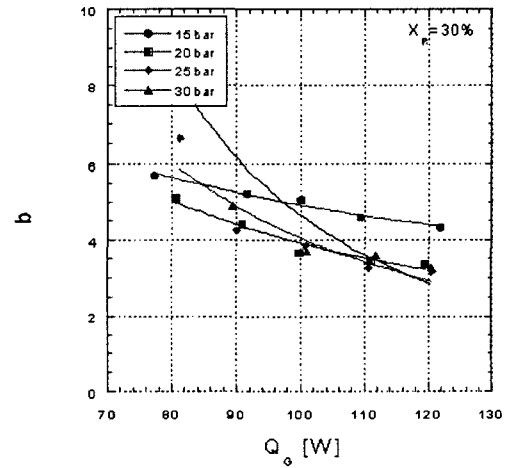


Fig. 5 The influence of the ammonia pressure on the flow rate of pumping liquid solution.

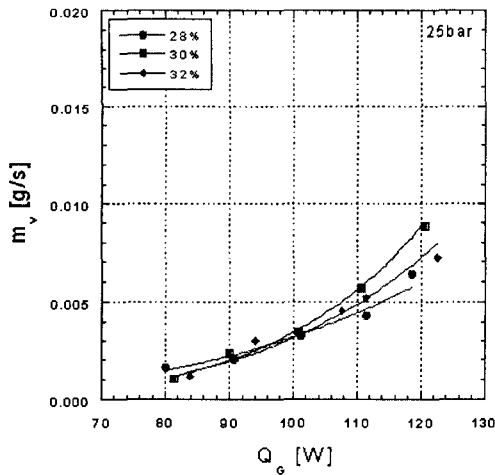


Fig. 6 The influence of the concentration of rich solution on the flow rate of ammonia vapor.

압력조건에서 입열량이 증가하면 양액률은 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이는 냉매증기 발생량의 증가율에 비하여 회용액 순환율의 증가율이 낮음을 의미한다. 일반적으로 수직관 내 이상유동의 경우 입열량의 증가에 따라 양액률은 증가하다가 다시 감소하는 임계점을 갖는다. 즉, 입력열량의 증가에 따라 유동의 형태가 기포유동에서 슬러그 유동으로 천이되어 용액의 양액작용이 활발해짐에 따라 회용액 순환량이 증가하여 양액률이 증가하게 된다. 그러나 입열량이 임의의 값 이상이 되면 유동형태가 슬러그류에서 천류(churn flow)로 다시 천이하기 때문에 슬러그를 형성하는 기포가 파괴되어 유동형태가 슬러그류보다는 매우 불규칙한 양상을 갖게 되어 양액효과와 증가율이 감소되는 반면, 냉매증기의 발생은 더욱 활발하게 되므로 임의의 입열량 이상에서는 양액률이 감소한다. 본 실험에서 모든 입열량 조건에서 양액률이 감소하는 것은 본 실험에서의 입열량 조건이 임계점을 넘었기 때문인 것으로 판단된다.

시스템 압력에 따른 양액률을 살펴보면 시스템 압력이 15 bar인 경우를 제외하고 시스템 압력이 높을수록 양액률이 큰 값을 보이고 있음을 알 수 있다.

3.2 농용액 농도에 의한 영향

Fig. 6 및 Fig. 7은 시스템 압력이 35 bar이며,

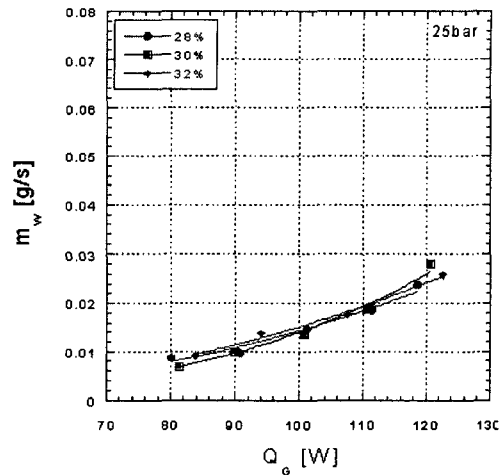


Fig. 7 The influence of the concentration of rich solution on the flow rate of diluted solution.

농용액의 농도가 28%, 30% 및 32%인 경우에 대하여 각각 입열량과 냉매증기 발생량 및 입열량과 회용액 순환량과의 관계를 보여주고 있다. 본 실험조건에서는 농도의 변화에 따른 냉매증기 발생량과 회용액 순환량의 변화는 매우 적은 것으로 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 확산형 흡수식 냉장고용 기포펌프에 대한 운전특성을 규명하기 위하여 기포펌프에 대한 실험적 연구를 수행하였다. 본 연구의 수행결과 얻어진 결론은 다음과 같다.

- (1) 입열량의 증가에 따라 냉매증기의 발생량과 회용액 순환량은 모두 증가하였으나 양액률은 감소하였다.
- (2) 시스템 압력이 낮은 경우일수록 냉매증기 발생량과 회용액 순환량이 크게 나타났다.
- (3) 시스템 압력이 25 bar인 경우, 농용액의 농도가 냉매증기 발생량과 회용액 순환량에 미치는 영향은 적음을 알 수 있다.
- (4) 기포펌프에 보조가스인 헬륨을 넣지 않고 시험한 논문<sup>(7)</sup>과 비교하면 헬륨을 넣지 않고 시험한 경우 발생냉매 증기량이 여기서 얻은 결과보다 2배 정도의 크기를 가지고 있다. 모든 조건이 동일하지 않아 정확한 비교는 어렵지만 헬륨의 영향이 상당히 큰 것을 알 수 있다.

## 참고문헌

1. Herold, K. E., Radermacher, R. and Klein, S. A., 1996, Absorption Chillers and Heat Pumps, CRC Press, Inc.
2. Saravanan, R. and Maiya, M. P., 1999, Influence of thermodynamic and thermophysical properties of water-based working fluids for bubble pump operated vapour absorption refrigerator, Energy Conversion & Management, Vol. 40, pp. 845-860.
3. Park, C. W., 1996, A Study on the Performance Characteristics of a Regenerator with Thermosyphon for Absorption Heat Pumps, Thesis, Hanyang University, Seoul, Korea.
4. Saravanan, R. and Maiya, M. P., 2003, Experimental analysis of a bubble pump operated H<sub>2</sub>O-LiBr vapour absorption cooler, Applied Thermal Engineering, Vol. 23, pp. 2383-2397.
5. Chen, J., Kim, K. J. and Herold, K. E., 1996, Performance enhancement of a diffusion-absorption refrigerator, Int. J. Refrig., Vol. 19, No. 3, pp. 208-218.
6. Marcus, P., Saravanan, R., Prakash, M. M. and Murthy, S. S., 1998, Studies on bubble pump for a water-lithium bromide vapour absorption refrigerator, Int. J. Refrig., Vol. 21, No. 6, pp. 452-562.
7. 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.