

소형 공냉형 흡수식 열펌프에서 고온 재생기용 열사이펀 특성

정시영, 이상균*, 구기갑*
서강대학교 기계공학과, 화학공학과*

Characteristics of A Thermosyphon in The Air-Cooled Absorption Heat Pump System of Small Capacity

Siyoung Jung, Sang-Kyun Lee*, and Kee-Kahb Koo*

Dept. of Mechanical Eng., Dept. of Chemical Eng.*
Sogang University

1. 서론

압력에 따라 증기압 차가 큰 물질은 주위의 압력조건을 조절하여 증발하게 할 수 있고, 이때의 증발잠열을 이용하여 냉각효과를 얻을 수 있다. 압축식 냉동기에서는 증발기에서 냉매가 어느 압력하에서 증발하면, 그 냉매를 압축기가 흡수제거하여 주는 작용에 의하여 연속적인 냉동효과를 얻게되나, 흡수식 냉동기에서는 이 증발냉매를 흡수제를 사용하여 흡수제거함으로써 증발기에서 냉매의 기화를 유지하게 된다. 본 연구에서는 흡수능력이 저하된 흡수제의 농도를 높여 흡수능력을 유지시키고 증발기에서 냉동작용을 일으킬 적당량의 냉매를 용액과 분리시키는 기액분리 부분에 대한 실험으로 열사이펀의 원리를 적용하였다.

열사이펀은 발생하는 증기의 상승력을 용액의 순환에 사용하는 장치로서 주로 소형 흡수식 냉동기의 용액펌프 또는 냉매순환펌프 대용으로 사용되거나 장치를 간단히 구성하기 위하여 사용된다. 본 연구에서는 LiBr-H₂O 소형 흡수식 냉동기에 널리 사용되는 가열부가 별도로 존재하는 열사이펀에 대하여 열사이펀의 크기와 여러 가지의 작동 조건이 양액 특성에 미치는 영향을 실험적으로 연구하였다. 물과 LiBr 수용액에 대한 실험을 수행한 결과 증기발생량은 가열량에, 양액량은 양액높이에 가장 크게 영향을 받는 것으로 나타났다. 또한 관경이 클수록 양액량의 변화가 양액높이에 가장 크게 영향을 받는 것으로 나타났다. 본 발표에서는 이상의 결과를 활용하여 주어진 조건에서 열사이펀의 관경과 양액높이를 선정할 수 있는 기준을 제시하려 한다.

2. 실험

본 연구의 실험장치인 열사이펀은 그림1에 나타낸 바와같이 가열부, 양액관, 기액분리기로 구성되어 있다. 가열부는 금속 용기 내에 전기히터가 내장되어 있는 형태이며 전압을 조절하여 가열량을 0~2 kW 범위에서 조절할 수 있다. 양액관은 기액분리기와 일체형으로 제작하였으며 관내에서의 유동 현상을 관찰할 수 있도록 유리로 제작하였다. 양액관은 내경 15, 20, 25, 30 mm 네 종류를 실험하였으며, 양액높이는 80 cm 이내에서 조절할 수 있다. 양액관의 출구에서 분출되는 액체가 증기의 유로로 유입되는 현상을 막기 위해서 적절한 형태의 기액분리기가 필요하다. 이에따라 차단

판과 곡판으로 구성된 증기 유입부를 가진 기액분리기를 채택하여 증기와 액체를 분리 하였다. 증기는 응축기에서 응축되어 응축액 유량측정용기(RS)를 거쳐 저장용기 S1으로 흘러 들어가며, 액체는 양액량 측정용기(AS)를 거쳐 저장용기 S1으로 흘러 들어간다. 저장용기 S1에서는 응축액과 액체가 혼합되어 다시 가열부로 유입되므로 유입되는 조건이 시간에 따라 변화가 심하지 않도록 용량을 충분하게 제작하였다. 저장용기 S2는 실험을 실시하기 전에 저장용기 S1에 용액을 공급하거나 추출하여 원하는 양액 높이를 조절하는 역할을 한다. 본 실험은 진공 상태에서 수행되므로 우선 전체 시스템을 진공 상태로 유지시킨 후 L1판을 통해서 용액을 유입시킨다. 원하는 양액높이를 저장용기 S1과 S2를 이용해서 맞추어 놓은 후 전열기를 작동하여 일정 열량을 용액에 가한다. 본 실험에서는 액의 유입온도, 발생 증기의 온도, 시스템의 압력 등이 일정해지는 정상상태에서 측정을 수행하였다. 열사이편을 가동시킨 후 5 ~ 10분 정도 후에 정상상태에 도달함을 알 수 있었다. 정상상태에서는 가열부 내에 용액의 내부에너지가 변하지 않으므로 가열량은 가열부로부터 나가는 증기와 액체의 엔탈피의 변화로 나타난다. 응축액의 질량유량(증기발생량)과 양액량은 일정한 시간 동안 밸브 V1 과 V2를 닫아 용기에 저장된 양을 측정하여 알 수 있었다. 측정을 실시하는 동안에도 판 L2와 L3를 통하여 압력 조건이 균일하게 유지된다. 각 부분의 온도는 K형의 Thermocouple을 이용하여 측정하였다. 측정된 온도는 Data Acquisition Board를 통하여 자동으로 컴퓨터에 기록된다. 전체 시스템은 진공 유지가 양호한 상태이나 오랜 시간이 경과하면 공기가 유입되거나 내부에서 발생하는 불응축가스가 응축기 내에 모여 응축과정이 저하되는 경우가 있다. 불응축 가스에 의한 영향을 배제하기 위하여 매 실험 실시 전에 시스템의 추기를 실시하였다.

3. 결과 및 토론

1) 증기 발생량

Fig.2(a)에서 볼 수 있듯이 순수한 물인 경우 가열량에 거의 비례하여 증기발생량이 증가하고 판경과 양액높이에는 크게 영향을 받지 않는다. Fig.2(b)의 LiBr 수용액 경우에는 양액높이가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였다. 물에서는 작은 판경에서 그리고 LiBr 수용액에서는 큰 판경에서 증기발생량이 약간 크게 나타났다.

2) 양액량

Fig.3 은 양액높이(H_d)가 양액량(m)에 미치는 영향을 보여주고 있다. 순수한 물, LiBr 수용액 양쪽 모두 양액높이가 증가하면 양액량이 감소하며 판의 직경이 큰 경우에는 양액높이에 더 크게 영향을 받음을 관찰할 수 있었다. 또한 동일한 양액높이에서는 가열량이 증가할수록 증가함을 알 수 있었다. LiBr 수용액에 대하여 실험 결과를 외삽하면 25 mm 판에서는 양액 한계 높이가 약 80 cm, 15 mm 판에서는 양액 한계 높이가 약 100 cm 정도로 판단된다. 따라서 냉동기 제작시 양액한계 높이의 확장이 요구될 경우 작은 판을 선택하는 것이 유리하다.

3) 증기발생량과 양액량의 비

Fig.4 에 보인 바와 같이, 증기발생량과 양액량의 비는 양액높이에 따라 지수 함수 형태로 증가하며 관경이 클수록 증가하는 폭이 크다. 특히 물의 경우에는 양액높이가 65 cm 까지 증가해도 증기발생량과 양액량의 비가 거의 변화없이 0.5 % 정도의 값을 보이다가 75 cm 에서 급격히 증가하는 경향을 보인다. LiBr 수용액에서도 낮은 양액높이에서는 관경에 영향을 크게 받지 않으나 양액높이가 큰 경우 증기발생량과 양액량의 비가 급증함을 관찰할 수 있었다. Fig.4 에서 알 수 있듯이 증기발생량과 양액량의 비에 대한 관경의 영향은 무시할만하고 전열량에 대해서는 선형적으로 증가하므로 이를 식(1)과 같이 전열량의 함수로 표시할 수 있다. 이때의 각 변수의 변화에 따라 Parameter a, b 의 값은 다음 표와 같다. 이상의 실험결과는 열사이클의 설계에 활용될 수 있을 것이다.

$$R_{vl} = aQ + b \quad (1)$$

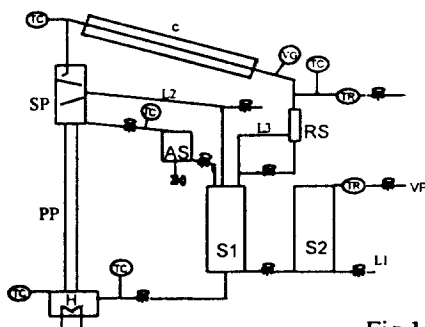
| Height (H _i , cm) | Pipe Dia. (D _i , cm) | a | b |
|------------------------------|---------------------------------|--------|-------|
| 35 | 15,25 | 0.0010 | -0.65 |
| 50 | 15,25 | 0.0013 | -0.65 |
| 65 | 15,25 | 0.0014 | -0.25 |
| 75 | 15 | 0.0021 | -0.2 |
| 75 | 25 | 0.0062 | -1.5 |

4) 응축압력의 영향

증기발생량은 응축압력이 증가함에 따라 감소하고 양액량도 응축압력이 증가함에 따라 약간 감소한다. 그러나 그 변화 정도는 크지 않았다.

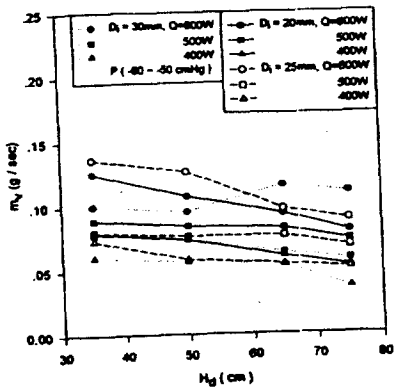
4. 참고 문헌

1. A. Takada, Absorption Refrigerator and Heat Pump, JAR, 1989, pp.97 - 98.
2. A.G. Cattaneo, "Ueber die Foerderung von Fluessigkeiten mittels der eigenen Daempfe (thermosyphon - Prinzip)", Zeitschrift fuer die gesamte Kaelte-Industrie, 1935.
3. H.B. Grabenhenrich, "Periodically Operating Absorption Heat Pump", Final Report, EUR 9788EN, Commission of the European Communities, 1985, pp. 17 -21.
4. Y. Kunugi, et. al, "Performance of Absorption Refrigerating Machine Powered by Hot Water"(in Japanese), Trans. of the JAR, 1(2), 29-37(1984).

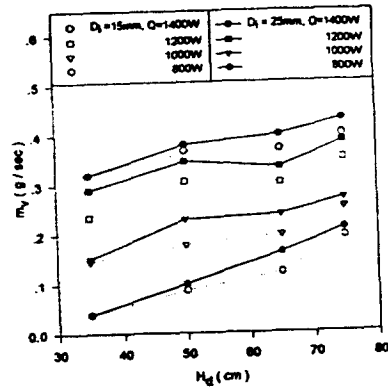


S1 : Storage Tank 1 S2 : Storage Tank 2 C : Condenser
 H : Heating Chamber PP : Pumping Pipe SP : Separator
 VP : Vacuum Pump TC : Thermocouple TR : Trap
 AS : Storage Tank for Strong Solution VG : Vacuum Gauge
 RS : Storage Tank for Condensed Vapor

Fig.1 Experimental Set - Up

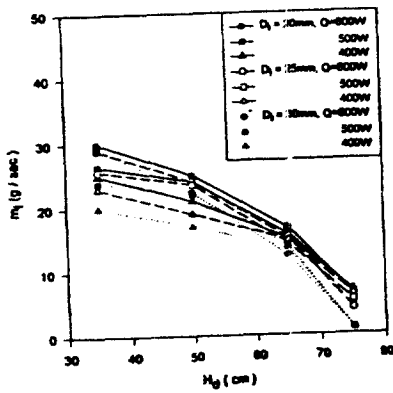


(a) Water System

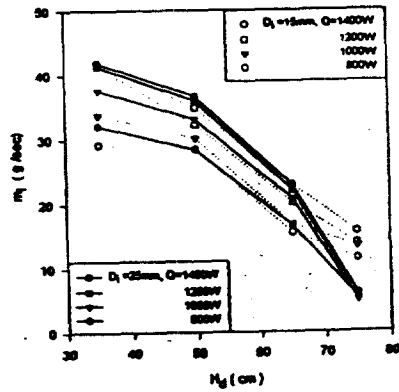


(b) LiBr/H₂O System.

Fig. 2. Effect of Delivery Height (H_d) on Vapor Production Rate (m_v)

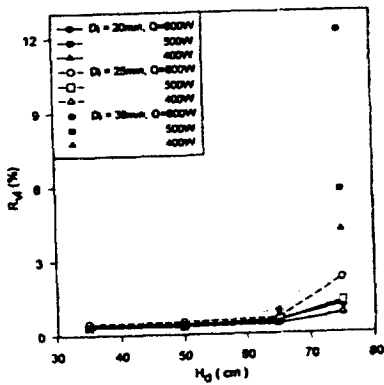


(a) Water System

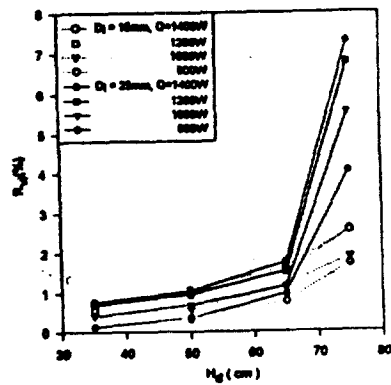


(b) LiBr/H₂O System.

Fig. 3. Effect of Delivery Height (H_d) on Liquid Flow Rate (m_l).



(a) Water System



(b) LiBr/H₂O System.

Fig. 4 Effect of Delivery Height (H_d) on Vapor Production Rate (m_v) to Liquid Pumped.

$$R_{vl} = m_v \cdot 100 / m_l$$