

垂直管내를 흘러내리는 液膜式吸收器의 吸收 및 熱傳達 特性  
(第3報, 蒸發器의 冷凍能力과 吸收器의 暖房能力)

Characteristics of Absorption and Heat Transfer for Film Falling along a Vertical Inner Tube (3rd. Report, Refrigerating Capacity in Evaporator and Heating Capacity in Absorber)

엄기찬\*, 柏木孝夫\*\*, 서정윤\*\*  
K. C. Ohm, Takao Kashiwagi, J. Y. Seo

**Key words** : Absorption Rate(흡수속도), Evaporation Rate(증발속도), Chilled Water(냉수), Cooling Water(냉각수)

Abstract

This paper deals with the correlation of absorption rate in absorber and evaporation rate in evaporator. The evaporator consists of a copper tube of 10mm dia, and 600mm long and chilled water flowing through the tube is fed by the chilled water circulator.

The flowrate of LiBr-water solution in the absorber plays a significant role in determining the magnitude of the heat transfer rate from chilled water to refrigerant. There exists a flowrate of solution which has a maximum value of heat transfer. It is interesting to note that the absorption rate of absorber increases with increasing the heat transfer rate of the evaporator. Also, absorption rate increases with evaporation rate, and the ratio(the former/the other) depends on the inlet temperature of LiBr-water solution in the absorber. The heating capacity in the absorber is higher than the refrigerating capacity in the evaporator.

기호설명

$C$  : 흡수용액의 농도[LiBr wt%]  
 $d$  : 관 직 경[m]  
 $G_w$  : 냉수 공급유량[kg/s]  
 $L_h$  : 증발 잠열[kJ/kg]  
 $M_A$  : 흡수속도(흡수질량유속)[kg/m<sup>2</sup>s]  
 $A$  : 전 열 량[kJ/s]  
 $V_s$  : 흡수용액의 체적유량[m<sup>3</sup>/s]

$C_{pw}$  : 냉수의 정압비열[kJ/kg·°C]  
 $G_c$  : 냉각수 공급유량[kg/s]  
 $\ell$  : 관 길 이[m]  
 $m_A$  : 전 흡 수 량[kg/s]  
 $M_E$  : 증 발 속 도[kg/m<sup>2</sup>s]  
 $T$  : 온 도[°C]

첨 자

1 : 입구  
2 : 출구  
A : 흡수기

\* 인하공업전문대학 기계설계과  
\*\* 日本 東京農工大學 機械시스템工學科  
\*\*\* 인하대학교 기계공학과

- E : 증발기
- C : 냉각수
- S : 흡수용액

### 1. 서 론

第1報<sup>1)</sup> 및 第2報<sup>2)</sup>에서는 LiBr수용액을 작동유체로 하는 흡수식 열펌프에서 흡수기는 열 및 물질이동 특성이 우수한 流下液膜式으로 하여 흡수기에서의 흡수특성과 열전달특성에 관하여 보고하였다. 그런데 증발기에서의 증발량과 흡수기에서의 흡수량의 관계를 究明한 연구는 거의 없는 실정이고, 만일 증발능력이 흡수능력에 못미친다고 가정하면 증발기의 개선이 필요할 것이다. 따라서 본보에서는 증발기로서 pool비등식을 채용할때 냉수가 흐르는 평활전열관으로부터 냉매로의 열전달에 의한 냉매의 증발량과 계면활성제를 사용하지 않는 기본적인 흡수기에서의 냉매흡수량을 비교하고, 증발기를 흐르는 냉수에 의한 냉동능력과 흡수기의측을 흐르는 냉각수에 의한 난방능력을 실험적으로 검토하였다. 이러한 능력을 향상시키기 위해서는 증발기의 냉수관내 냉수로부터 냉매로의 전열증진을

위한 열교환기의 개발과, 흡수기에서는 흡수촉진을 위한 방법이 지속적으로 개발되어야 할 것으로 생각되며, 본연구에서는 증발기내의 전열관으로서 가장 기본적인 평활동관을 사용하여 냉매의 증발속도와 수직관식 흡수기의 흡수속도를 비교하므로써 흡수기의 성능을 평가하였다.

### 2. 실험장치 및 실험방법

실험장치의 전체 개략도는 第1報 및 第2報에 나타내었으며 실험방법도 설명하였다. 따라서, 본보에서는 Fig.1과 같이 증발기와 흡수기만을 표시하여 그 상호작용을 설명 하고자 한다.

증발기와 흡수기는 관(직경이 약 200mm, 길이가 약 200mm인 관)에 의해 연결되어 있으므로, 증발기 상부에 설치한 진공펌프(P)를 작동시켜 이 계의 압력을 소정의 진공압력(9mmHg)으로 강하시킨다. 증발기에는 액냉매인 純水(증류수)를 일정량 채우고, 器内압력이 9mmHg가 될때까지 脫氣시키면 그압력에 상당하는 포화온도에 이르고 그동안 증발한 량은 탈습제에 의하여 제거되며, 그안에 설치된 冷水管(銅管, 직경 10mm, 길이 600mm)에는

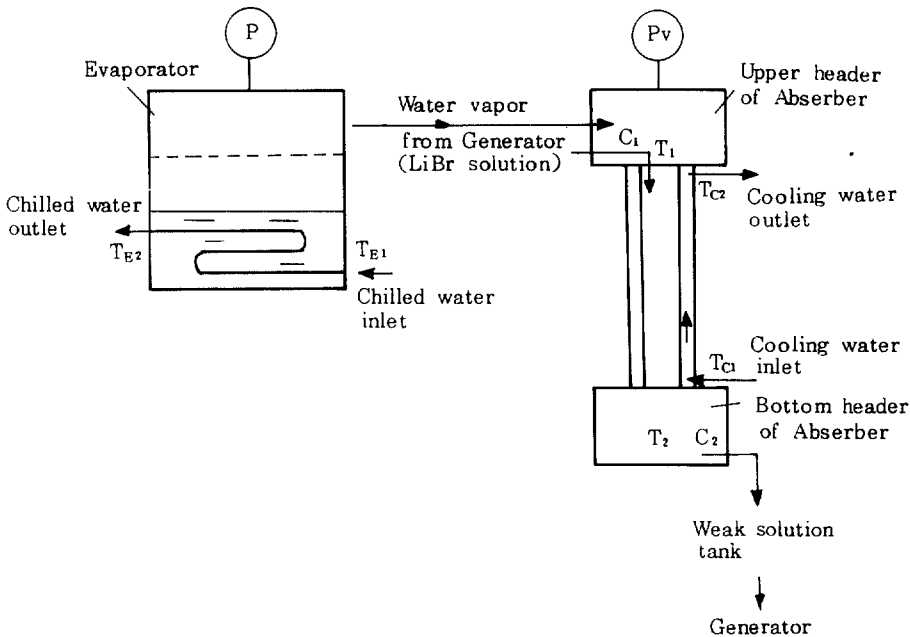


Fig.1 Evaporator and absorber

냉수를 130kg/h로 통과시키면 증발기내의 純水는 그 냉수로부터 증발잠열을 흡수하여 증발하고, 그 증기는 냉매로서 흡수기에 유입하게 된다. 이 계의 압력은 진공압력계(Pv)로 측정하였다. 한편, 재생기에서 흡수용액(LiBr 水溶液)을 60wt%로 재생시킨 濃溶液이 흡수기상부에 공급되어 수직관식 흡수기내를 흘러내리면서 냉매증기를 흡수하게 되는데, 흡수기의 하부에는 냉각수流路를 통해 냉각수를 공급하여 對向流로서 열교환을 한다.

냉수의 입·출구온도는( $T_{E1}$ ,  $T_{E2}$ )및 냉각수의 입·출구온도( $T_{C1}$ ,  $T_{C2}$ ), 흡수용액의 입·출구온도( $T_1$ ,  $T_2$ )는 C-C열전대에 의해서, 그리고 흡수기 입·출구의 흡수용액의 농도  $C_1$  및  $C_2$ 는 각각 재생기 및 흡수기 하부헤더에 설치한 트랩에서 추출하여 비중 측정법에 의하여 측정하였다. 실험개시시의 系内の 압력은 9mmHg, LiBr수용액의 농도는  $C_1=60wt\%$ , 냉수공급유량은  $G_W=130kg/h$ , 흡수용액유량  $V_S=0.01\sim 0.03m^3/h$ , 흡수기 입구용액온도  $T_1=40\sim 50^\circ C$ , 냉각수유량은  $G_C=150kg/h$ , 냉각수 입구온도  $T_{C1}=20\sim 35^\circ C$ , 냉수공급온도는  $T_{E1}=15\sim 16^\circ C$ 이다. 본 실험의 측정오차는 제1보<sup>1)</sup>에서 제시하였으며, 불확실성분석(uncertainty analysis)을 하면  $Q_E=2.99\%$ ,  $Q_A=1.9\%$ ,  $m_A=2.27\%$ ,  $M_E=8.99\%$ ,  $M_A=6.74\%$ 의 오차로 나타났다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 증발기 전열량과 흡수용액유량

증발기내의 液冷媒(純水)는 기내의 압력이 포화 압력으로 되면 증발하여 냉매증기로 되며, 냉매는 흡수기로 유입된다. 이때 증발잠열은 증발기내의 냉수관을 흐르는 냉수로부터 얻게 되는데 그 傳熱量( $Q_E$ )은 식(1)에서 구할수 있다.

$$Q_E = G_W c_{pw} (T_{E1} - T_{E2}) \quad (1)$$

Fig.2는 흡수기의 냉각수 입구온도가  $20^\circ C$ 일때 흡수용액(LiBr수용액)온도를 파라미터로 하여, 그 흡수용액유량과 증발기 전열량의 관계를 표시한 선도이다. 이 선도로부터 흡수용액유량을 증가시키면 냉수로부터 液冷媒로 전달되는 전열량은 서

서히 증가하다가 최대치를 나타낸후 급격한 감소 현상을 나타내고 있다. 이 전열량은 증발기의 증발속도와 관계가 있으며, 또 그 증발속도는 흡수기에서의 냉매흡수속도(흡수량)와 관계가 있음을, 제1보에서의 Fig.5~Fig.7의 吸收質量流束-膜Re數 선도의 경향과 일치하고 있어, 확인할수 있다. 또 그 최대치에서의 용액유량을 막Re수로 환산하면 제1보에서의 경우와 일치한다. 이러한 현상은 흡수기에서의 흡수량은 마랑고니 대류효과에 의해 냉매가 흡수될때 액막두께에 따라 액내에서의 대류작용이 다르게 나타나는데, 그 두께가 대략 0.3~0.4mm인 것으로 알려지고 있으며 여기서 그 최대치가 그에 상당하는 값이다.<sup>1)</sup> Figs.3, 4, 5는 각각 냉각수온도  $25^\circ C$ ,  $30^\circ C$ ,  $35^\circ C$ 의 경우에 대한 선도이며, 경향은 Fig.2와 같다. 이들 선도에서  $Q_E$ 의 최대치후 감소는  $T_1=40^\circ C$ 의 경우가 제일 급격하고  $T_1=50^\circ C$ 의 경우가 가장 완만한 감소율을 보이고 있는데, 이러한 경향도 제1보의 Fig.5~Fig.7의 경향과 일치하고 있다. 또 Fig.2~Fig.5를 비교해 볼때 흡수기의 냉각수 입구온도에 따라 증발기전열량이 달라지고 있음을 알수 있으며, 그 온도가 낮은 경우에 흡수작용이 촉진되므로 증발기에서의 냉동능력과 흡수기의 냉각수 입구온도와도 관계가 있음을 알았다. 그러나 본실험범위의 흡수용액온도가 증발기전열량에 규칙적인 大小관계의 영향을 주지는 않는다. 이것은 흡수용액온도가 일정하여도 흡수용액유량이나 냉각수온도에 따라 계내의 압력이 변하기 때문으로 생각된다.<sup>1)</sup>

#### 3.2 증발기 전열량과 흡수기내 흡수량의 관계

증발기에서 액냉매가 냉수로부터 얻는 단위시간당의 열량은 증발속도와 관계가 있을 것으로 생각되며, 따라서 그 전열량과 흡수기에서의 시간당 흡수량과의 관계를 구명하기 위하여 Fig.6의 횡축에는 증발기 전열량, 종축에는 흡수기의 냉매흡수량을 취하여 실험결과를 표시하였다. Fig.6은 흡수용액온도  $T=40^\circ C$ 의 경우로서, 예상한대로 흡수기에서의 흡수량이 증가하면 증발기 전열량도 증대하여  $m_A \propto Q_E$ 의 관계가 있으며,  $m_A = C \cdot Q_E$ 로 표시하면  $\pm 20\%$ 내에서 식(2)와 같다. Fig.7 및 Fig.8은 각각  $T_1=45^\circ C$  및  $50^\circ C$ 의 경우에 대한 결과로서 각각

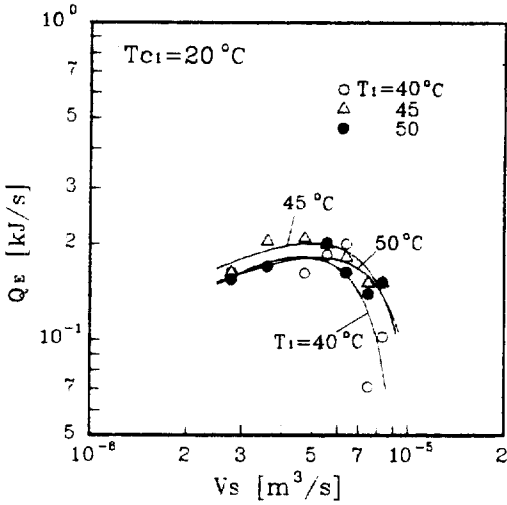


Fig.2 Effect of LiBr solution flowrate of absorber on heat transfer in evaporator

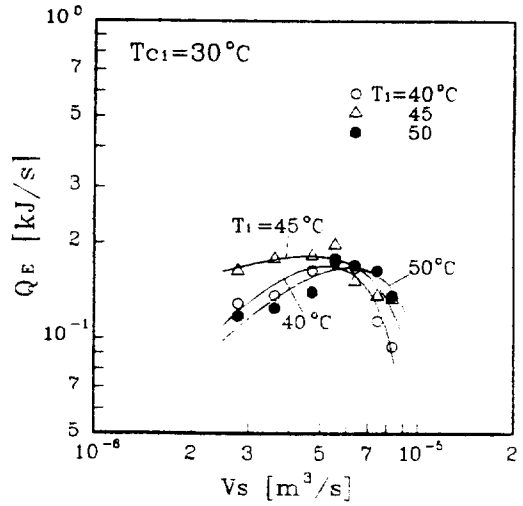


Fig.4 Effect of LiBr solution flowrate of absorber on heat transfer in evaporator

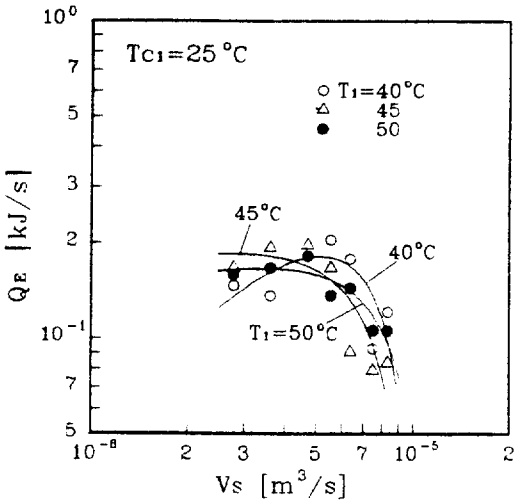


Fig.3 Effect of LiBr solution flowrate of absorber on heat transfer in evaporator

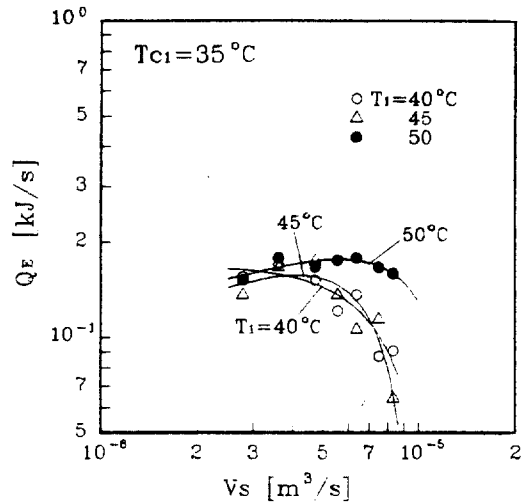


Fig.5 Effect of LiBr solution flowrate of absorber on heat transfer in evaporator

식(3) 및 (4)로 나타낼 수 있다.

$$T_i = 40^\circ\text{C} : m_A = 5.976 \times 10^{-4} \cdot Q_E^{0.576} \quad (2)$$

$$T_i = 45^\circ\text{C} : m_A = 4.558 \times 10^{-4} \cdot Q_E^{0.478} \quad (3)$$

$$T_i = 50^\circ\text{C} : m_A = 3.767 \times 10^{-4} \cdot Q_E^{0.511} \quad (4)$$

그런데 제1보에서 언급한 바와같이  $T_i = 40^\circ\text{C}$  및  $45$

$^\circ\text{C}$ 의 경우는 흡수기 입구용액의 상태가 과냉액이고  $T_i = 50^\circ\text{C}$ 의 경우는 과열액의 상태인데, 어느 경우에든 그 경향은 유사하지만 동일한 증발기 전열량의 조건에서 흡수량의 크기를 비교해보면 흡수기 입구 용액온도가 높을수록 흡수량은 감소하며, 과열액 상태인  $T_i = 50^\circ\text{C}$ 의 경우는 현저히 작음을 알 수 있다. 즉 증발기에서 시간당 같은 양의 냉매 증기가 발생해도 흡수기 입구용액온도 및 흡수용액이 과냉액인가 과열액인가에 따라 흡수기에서의 흡수량은 영

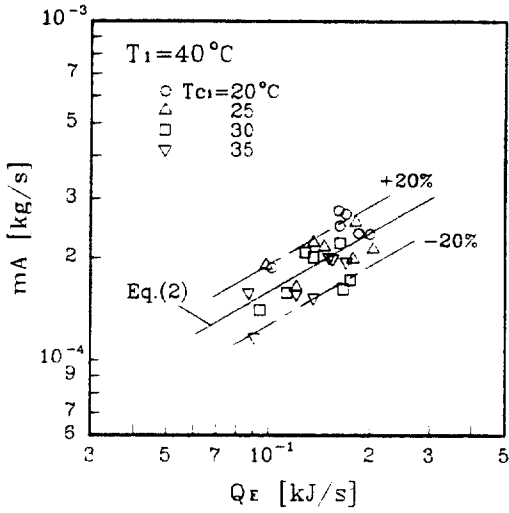


Fig.6 Correlation of total absorption rate in absorber and heat transfer in evaporator

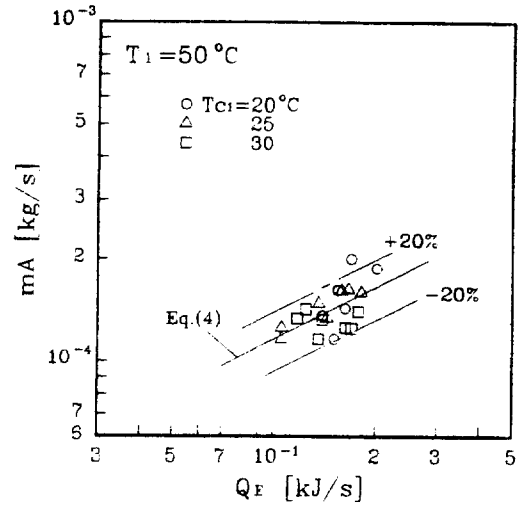


Fig.8 Correlation of total absorption rate in absorber and heat transfer in evaporator

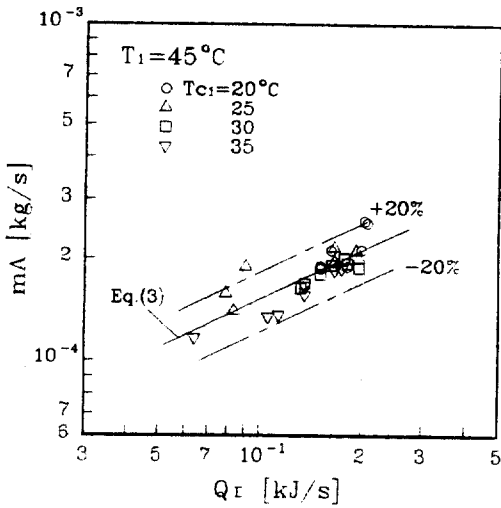


Fig.7 Correlation of total absorption rate in absorber and heat transfer in evaporator

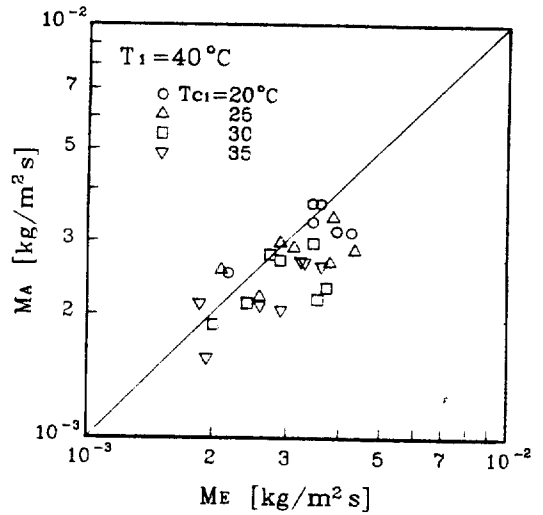


Fig.9 Absorption velocity in absorber vs. evaporation velocity in evaporator

향을 많이 받는다는 것을 알 수 있다.

### 3.3 증발속도와 흡수속도의 관계

본 연구에서 증발속도는 증발기내 전열관의 단위 표면적당 단위시간당 증발량으로 정의하여 다음식으로 구하였다.

$$M_E = \frac{Q_E}{L_h \cdot \pi d_E \cdot \ell_E} \quad (5)$$

또한 흡수속도(흡수질량유속)는 제1보의 (2)식인  $m_A = G_S(C_1/C_2 - 1)$ 과 식(6)에서 구하였다.

$$M_A = \frac{m_A}{\pi d_A \cdot \ell_A} \quad (6)$$

Fig.9는 흡수용액입구온도  $T_1=40^\circ\text{C}$ 의 경우, 증축에는 흡수기에서의 흡수속도, 횡축에는 증발기에서의 증발속도를 취하여 냉각수 입구온도를 따라

미터로 표시한 선도이다. 선도의 대각선은 증발속도와 흡수속도가 같은것을 의미하는데, 대부분의 데이터는 흡수속도가 증발속도에 못미치고 있음을 알수 있다. 그러나 몇개의 데이터는 흡수속도가 더 크게 나타나고 있으며, 이것은 증발기에서의 증발은 흡수개시전부터 시작되어 흡수기내에 이미 냉매증기가 유입되어 있는 상태에서 흡수용액을 공급한 영향의 결과라고 생각된다. Fig.10은  $T_1=45^\circ\text{C}$ 의 경우로서 증발속도에 대한 흡수속도의 비율이  $T_1=40$

$^\circ\text{C}$ 의 경우보다 낮게 나타나고, 과열액인 Fig.11의  $T_1=50^\circ\text{C}$ 의 경우는 그 비율이 더 낮아, 그 비율도 흡수기 입구용액온도와 그 용액의 상태가 과냉액인가 과열액인가에 따라 영향을 받는 것으로 나타났다. 흡수속도/증발속도의 비율은 각 흡수기 입구용액온도에 따라 쏠 데이터에 대한 평균비율은  $T_1=40^\circ\text{C}$ 에서는 85.5%,  $T_1=45^\circ\text{C}$ 에서는 76%,  $T_1=50^\circ\text{C}$ 에서는 60%이었다. 증발속도에 대한 흡수속도의 비율이 100%인 흡수기가 이상적이며, 그러한 흡

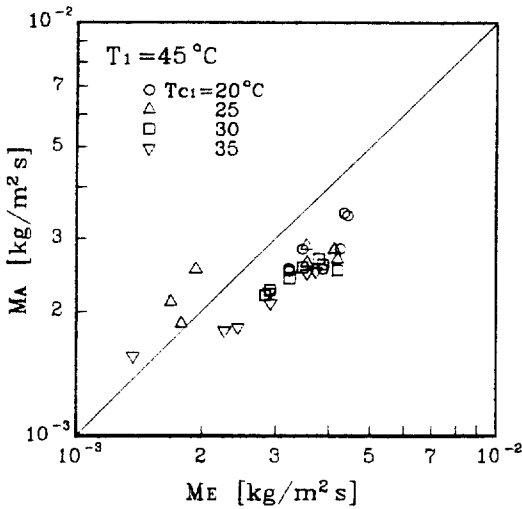


Fig.10 Absorption velocity in absorber vs. evaporation velocity in evaporator

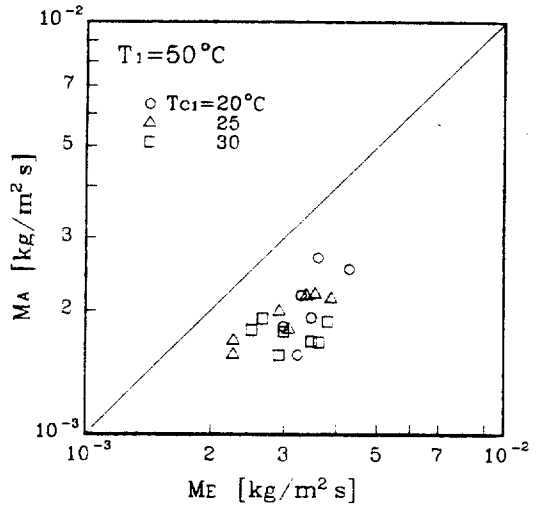


Fig.11 Absorption velocity in absorber vs. evaporation velocity in evaporator

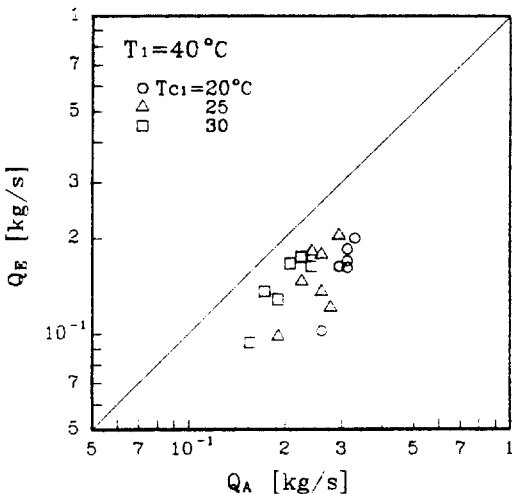


Fig.12 Refrigerating capacity vs. heating capacity

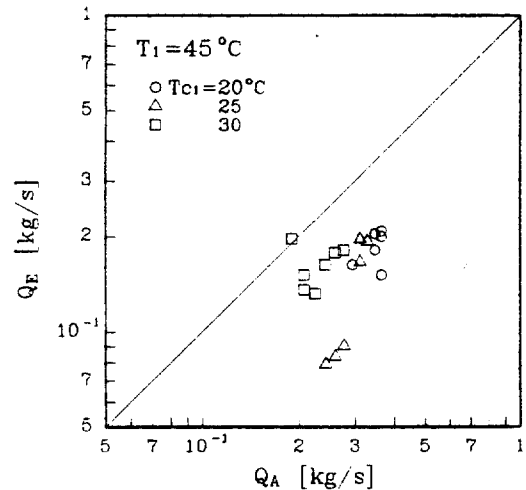


Fig.13 Refrigerating capacity vs. heating capacity

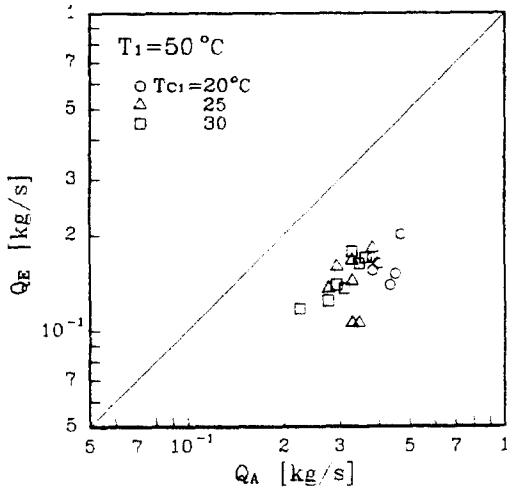


Fig.14 Refrigerating capacity vs. heating capacity

수기의 개발 및 흡수축진 기발개술이 요망된다고 할수 있다.

3.4 증발기의 냉동능력과 흡수기의 난방능력

본 장치기준의 흡수식 열펌프를 냉방 또는 난방에 이용할 경우, 그 능력을 비교하여 어느쪽이 더 유리한가를 검토하기 위해서 Fig.12에는 횡축에 흡수기 난방능력  $Q_A [= G_c c_{pc}(T_{c2} - T_{c1})]$ 를, 종축에 증발기 냉동능력  $Q_E$ 를 취하여 실험결과를 표시하였다. 이 선도는  $T_1 = 40^\circ\text{C}$ 인 경우로서 흡수기 난방능력에 비하여 증발기 냉동능력은 작다. 같은 방법으로 Fig. 13은  $T_1 = 45^\circ\text{C}$ 의 경우이며, Fig.14는  $T_1 = 50^\circ\text{C}$ 의 경우로서 흡수기 입구용액의 상태가 과열액인데 증발기 냉동능력이 흡수기 난방능력에 비해 현저히 감소하고 있다. 이러한 결과로부터 본 실험장치에서 냉동효과보다 난방효과가 크다고 할수 있다.

4. 결 론

냉매는 수증기, 흡수용액은 60wt%의 LiBr수용액으로 하고 내경 25mm, 길이 1m의 수직관내 流下液膜式 흡수기와, 내경 10mm, 길이 600mm의 냉수관을 갖는 증발기에서, 증발·흡수실험과 냉매의 응축실험을 따로따로 하는 배치타입(batch type)의 실험으로부터 증발과 흡수량의 관계는 다음과 같다.

- 1) 냉수로부터 液冷媒로 전달되는 전열량이 최대가 되는 흡수용액유량이 존재하며, 냉각수입온도가 낮을수록 증발기의 냉동능력은 향상된다.
- 2) 흡수기의 냉매흡수량은 증발기 전열량에 비례하여 증가하며, 동일한 증발기 전열량의 조건에서 흡수량은 흡수용액온도가 높을수록 감소하며, 흡수기 입구용액이 과열액인 경우는 현저히 감소한다.
- 3) 흡수기에서의 흡수속도는 증발기에서의 증발속도에 비례하여 증가하며 증발속도에 대한 흡수속도의 비율은 흡수기 입구용액온도가 낮을수록 크다.
- 4) 증발기 냉동능력에 비하여 흡수기 난방능력이 더 크다.

참 고 문 헌

1. 엄기찬, 柏木孝夫, 서정운, 1993, 垂直管内를 흘러내리는 液膜式 吸收器의 吸收 및 熱傳達特性 (第1報, 吸收特性), 空氣調和·冷凍工學 論文集, Vol.5, No.1, pp.1-9.
2. 엄기찬, 이동호, 최국광, 柏木孝夫, 서정운, 1993, 垂直管内를 흘러내리는 液膜式 吸收器의 熱傳達特性(第2報, 熱傳達特性), 空氣調和·冷凍工學 論文集, Vol.5, No.4, pp.257-264.