

공 학 석 사 학 위 논 문

새관을 이용한 흡수기의 열 및 물질
전달 성능 특성에 관한 실험적 연구

지도교수 윤 정 인

이 논문을 부경대학교 석사학위논문으로 제출함



2005년 8월

부경대학교 대학원

냉동공조공학과

이 근 태

이근태의 공학석사 학위논문을 인준함

2005년 6월

주 심 공학박사 금 종 수



위 원 공학박사 김 영 수



위 원 공학박사 김 은 필



목 차

Abstract	iii
Nomenclature	v
제 1 장 서 론	1
1.1 연구의 배경 및 목적	1
1.2 흡수기에 관한 종래의 연구들	5
1.2.1 열 및 물질전달 현상에 관한 연구	5
1.2.2 고성능전열관에 관한 연구	6
제 2 장 실험 이론	8
흡수식 냉난방기의 작동원리 및 기본구성	8
제 3 장 실험장치 및 방법	12
3.1 실험장치의 구성	12
3.2 실험방법	29
3.3 흡수 열교환기의 성능 평가 방법	31
3.4 실험조건 및 시스템 열평형	37
제 4 장 실험결과 및 고찰	39

4.1 용액 유량에 따른 흡수기의 열 및 물질전달 특성	39
4.2 냉각수 유량에 따른 흡수기의 열 및 물질전달 특성	45
 제 5 장 결 론	 49
 참고문헌	 50
 감사의 글	 57

Experimental Study on Heat and Mass Transfer Characteristics in Small Tube Absorber

Keun-Tae Lee

*Department of Refrigeration and Air Conditioning Engineering,
Graduate School, Pukyong National University*

Abstract

The use of the absorption chiller/heater is being greatly promoted from the viewpoint of utilization of the unused energy, preservation of congenial world environment followed by the settlement of unbalanced demand between electric power and city gas. Absorption chiller/heater which uses heat source energy as a driving power can not only reduce the electric power demand but also obtain the promotional effect of city gas demand. Absorption chiller/heater can utilize the unused energy of the life waste heat, the industry waste heat, the solar energy and the earth energy. These contribute to energy saving. But absorption chiller/heater has the demerit that the size of absorption chiller/heater is larger than that of vapor compression type based on same capacity.

In this study, the experimental apparatus of an absorber is manufactured as a bare and corrugated tube which diameter is 15.88mm, 12.7mm and 9.52mm. The characteristic of heat/mass

transfer is investigated by the experimental method in the absorber of small tube. The absorber using small tube is examined closely through the experiment of heat and mass transfer characteristic to the quantitative and qualitative analysis.

The result of this study is supposed to provide relevant data which could be referred for the optimum design of small-sized, the light-weight absorption chiller and heater.

NOMENCLATURE

A	: Total heat transfer area [m^2]
C	: Concentration [wt%]
C _p	: Specific heat at constant pressure [$\text{kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$]
D	: Diffusion coefficient [m^2/s]
G	: Mass flow rate [kg/s]
g	: Acceleration of gravity [m/s^2]
h	: Enthalpy [kJ/kg]
K	: Overall heat transfer coefficient [$\text{kW/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$]
m	: Mass flux [$\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}$]
Nu	: Nusselt number
P	: Pressure [kPa]
Q	: Interchange heat value [kW]
q	: Heat flux [kW/m^2]
R	: Absorbed Refrigerant mass flow rate [kg/s]
Re	: Reynolds number
Sh	: Sherwood number
T	: Temperature [$^\circ\text{C}$]
u	: Velocity in χ -direction
v	: Velocity in solution thickness direction

Greek symbols

α	: Thermal diffusivity[m ² /s]
β	: Mass transfer coefficient [m/h]
Γ	: Solution flow rate per unit length [kg/m · s]
δ	: Film thickness[m]
λ	: Heat conductivity[kW/m · °C]
μ	: Viscosity[kg/m · s]
ν	: Kinematic viscosity[m ² /sec]
ρ	: Density[kg/m ³]

Subscript

1	: LiBr
2	: H ₂ O
<i>abs</i>	: Absorption
<i>c</i>	: Cooling water
<i>E</i>	: Evaporator
<i>i</i>	: Inlet, iteration
<i>m</i>	: mean
<i>r</i>	: Refrigerant
<i>s</i>	: Solution
<i>surf</i>	: Vapor/liquid interface
<i>w</i>	: Water

제 1 장 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

흡수식 냉난방기는 1777년에 Gerald Nairne가 H_2SO_4 가 수증기를 흡수하는 현상을 발견하고, 그 원리를 이용해서 1810년에 스코틀랜드의 John Leslie가 제작한 간흡식(間欠式)냉동기가 세계에서 최초의 것으로 불려지고 있다.

1850년에는 프랑스의 Edmond Carre에 의해 물- H_2SO_4 계 흡수냉동기가 개발되었다. 또한 프랑스의 Ferdinand Carre는 냉매로 암모니아(NH_3), 흡수제로 물을 이용한 흡수냉동기를 제작하여 1859년에 특허를 취득하였다.

20세기 초반까지 주목되고 있던 흡수냉동기는 1925년 이후 압축식 암모니아냉동기의 급속한 발전에 의해 주목을 덜 받게 되었지만, 1930년대가 되어 냉매로 물, 흡수제로 LiBr(취화리튬)수용액을 조합한 현재의 흡수식 냉동사이클이 개발된 것으로 다시금 주목되게 되었다.

또한 최근에는 프레온계 냉매에 의한 오존층파괴문제에 대한 1992년 몬트리올의정서 제3회 채택국제회의에서의 결정에 의해, 특정 프레온(CFC)이 1996년에 전폐되고, 더욱이 오존층파괴가 비교적 경미한 HCFC도 2020년까지 원칙적으로 전폐되도록 된 것도 흡수냉동기의 보급에 일조하고 있다.

국내의 경우는 생활수준의 향상에 따른 욕구로써 보다 쾌적한 생활공간의 추구를 위해 냉난방기기의 설치율이 날로 증가하고 있는 가운데 특히 냉방기의 설치율이 매년 급격히 증가하고 있는 실정이다. 따라서 하절기의 냉방수요가 증가하게 되어 전력 수급 불균형 문제가 국가에너지 정책에서 심각한 문제로 작용하고 있다.

이러한 전력 공급의 불균형문제를 해결하기 위해서는 전력을 사용하는 냉방기를 다른 에너지를 사용하여 냉방수요를 충족시킬 필요가 있는데 여기에 부합하는 에너지가 청정연료인 가스이다.

청정연료인 가스를 수입하는 것은 수요가 가장 많은 겨울에만 집중적으로 할 수 있는 것이 아니다. 따라서 연중 일정한 양만큼 수입을 할 수밖에 없는데, 여름철에는 수입한 가스가 남아돌아 수입한 가스를 저장하는데도 엄청난 비용을 들이고 있는 실정이다. 따라서 여름철에 남아도는 청정연료인 가스를 사용하여 냉방을 하고, 그로 인해 여름철의 전력피크 문제를 해결하여 남아도는 가스문제를 해결하는 등의 큰 장점을 가진 흡수식 냉난방기가 각광을 받고 있는 것이다[1-5].

흡수식 냉난방기는 흡수기, 재생기, 증발기, 응축기, 용액열교환기의 주요장치로 구성되는데 여기서 흡수기가 차지하는 비중은 전열면적으로는 약 33%, 체적으로는 약 27%를 차지한다. 그러므로 흡수식 냉난방기

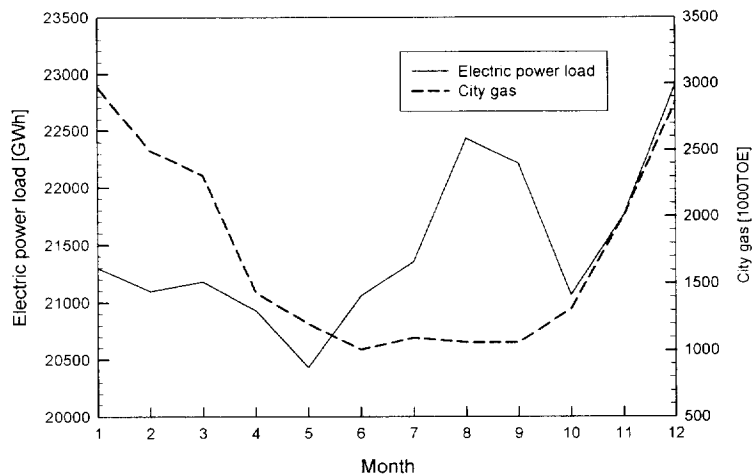


Fig. 1.1 Load patterns of electric power and city gas(2002)

의 소형·경량화 및 고효율화를 위해서는 흡수기 부분에 대한 연구가 필수적이다[6-9]. 흡수식 냉온수기의 소형경량화를 위한 연구 중의 하나로 고성능 전열관의 개발과 함께 세관형 열교환 방식을 이용하여 고밀도화하는 것이 제안되고 있다[10].

흡수기의 성능개선 방법으로는 고성능전열관의 개발과 적절한 계면활성제를 첨가하는 방법이 있다[11]. 양자 모두 흡수기에서 일어나는 열 및 물질이동을 촉진시켜 흡수기의 성능을 향상시키는 것으로 보고되고 있다[6-2]. 관련업계에서는 이들 두 가지 방법을 동시에 적용하는 경우도 있지만, 고성능전열관의 개발은 신규투자를 수반하고 또 생산단가의 상승을 초래하는 경우가 많으므로 주로 계면활성제 첨가에 의해 성능향상을 꾀하는 경우가 많다. 고성능전열관은 관의 기하학적 형상을 적절히 가공한 것으로 전열면적의 확대효과와 전열관 외부를 흘러내리는 액막의 교란이라 점에서 열 및 물질 이동을 촉진하는 효과가 있는 것으로 보고되고 있으나 최적의 관 구조는 아직 밝혀져 있지 않다.

기기 전체를 크게 하지 않고 전열면적을 증대시키기 위해서는 단위용적당의 전열면적을 증대시킬 필요가 있으며, 흡수기와 증발기에 효율이 낮으며, 부피가 크기 때문에 시스템의 설치, 유니트화에 어려움이 있는 기존의 수평관군형 열교환기 방식 대신에 세관형 열교환방식을 채용하는 것으로 고밀도화를 도모할 수 있다.

본 연구에서는 흡수기에 종래의 수평관군방식 대신 단위용적당의 전열면적을 증대시킬 수 있는 세관형 흡수기의 보다 상세한 특성을 조사하기 위하여 1단 수직형 흡수기를 제작하여 흡수실험을 수행하였다. 그리고 다른 전열 촉진관을 사용하여 성능의 향상에 관한 특성에 대한 실험을 수행하였다.

이러한 연구결과들은 현재 대부분의 국내 흡수식 냉난방기 제조회사들이 제품설계에 필요한 핵심기술을 선진 외국에 의존하고 있음을 감안할

때 자체 설계능력을 배양하여 국내 독자모델을 개발하는 데 중요한 자료가 되리라 생각한다.

1.2 흡수기에 관한 종래의 연구들

지금까지 세관형 흡수기에 대한 연구는 일본을 중심으로 연구되고 있으며, 아직 발표된 연구 결과는 극히 미미하다. 그리고 흡수기에 대해서는 열 및 물질이동이 공존한다는 복잡한 현상 때문에 세부적인 연구결과가 나온 것이 미미하며, 아직까지 많은 부분에 대해서 명확하게 이론적인 정립이 되어 있지 않은 상태이다.

1.2.1 열 및 물질전달 현상에 관한 연구

흡수식 냉난방기의 흡수기에서의 열 및 물질전달에 관한 종래 연구로, 이론해석으로는 Grossman 등[24]은 경사면을 흘러내리는 액막으로의 냉매증기 흡수과정을 이론 및 수치적으로 해석하였다.

Vilet와 Andberg[25]은 수평 단관에서 액막으로의 증기흡수에 대한 이론해석을 하였다.

Kashiwagi 등[26]은 정지용액 중으로 냉매증기가 흡수되는 과정을 1차원적으로 해석하고 용액내의 온도 및 농도분포를 정량적으로 측정하였다.

실험적 연구로서는 증기 흡수 과정에서의 실험적인 연구는 가공된 열전달 표면을 사용하고 계면활성제를 더함으로써 시스템 압력의 효과, 용액의 온도와 농도, 그리고 흡수 열과 물질 전달률을 촉진시키는 분야에서 수행되어져 왔다.

설 등[27]은 수평 단관에 대해 흡수기로 공급되는 흡수용액과 냉매의 공급 조건에 따른 흡수특성의 변화를 수치해석과 실험을 통해 검토하였다.

엄 등[28]은 평활관(bare tube)을 사용한 수직관에서 흡수기 입구용액이 과냉각과 과열의 조건에서 흡수과정에서 흡수용액과 냉각수 유량의 변화가 열 및 물질전달에 미치는 영향에 대하여 실험을 통해 검토하여

무차원 실험식을 제안하였다.

Morioka 등[29]은 길이 1.2m, 내경 28mm의 수평 단관에 대해 수평 관상을 흘러내리는 LiBr 수용액으로의 수증기 흡수과정에 대한 해석모델을 제시하고 실험을 통하여 수증기 흡수량을 구하였다.

Kiyota 등[30]은 길이 1.2m, 내경 20mm 수평관을 1열 3단으로 설치하여 관 위치에 따른 흡수량의 변화와 용액유량에 따른 관외열전달계수를 검토하였다.

Remec 등[31]은 1열 4단의 수평관으로 구성되는 흡수기에서 흡수용액의 액막유량 변화가 관외열전달에 미치는 영향을 실험을 통하여 측정하였다.

Deng 등[32]은 1열 24단의 수평관군으로 구성되는 흡수기에서 용액유량 및 농도의 변화가 열 및 물질전달에 미치는 영향을 검토하였다.

Hoffmann 등[33]은 1열 24단의 수평관군 흡수기에서 평활관과 외형가공관에 대해 관외열전달에 미치는 용액의 점도와 표면장력의 영향을 검토하였다.

1.2.2 고성능전열관에 관한 연구

永岡 등[34]은 내경 15.8mm의 핀 튜브(finned tube) 및 글로브 튜브(grooved tube)에 대하여 관 표면 형상과 계면활성제의 첨가가 열 및 물질전달에 미치는 영향에 대하여 실험하였는데 전열관의 실표면적이 클수록 열전달은 향상되나 물질전달은 오히려 감소한다고 보고하였다.

Kawamata 등[35]은 외경 19mm의 써모-엑셀(thermo-excel) 및 플루트(fluted tube)에 대하여 열 및 물질전달 특성을 측정하여 이를 평활관과 비교하였는데, 이들 신형관은 평활관에 비해 냉동능력이 약 40%정도 향상되었다고 보고하였다.

Kunugi 등[36]은 관 표면에 미세한 홈이 만들어져 있는 흡수기 전열

관에 대하여 열전달 성능을 실험하여 이를 평활관과 비교하였는데 표면 가공관은 평활관에 비해 열통과율이 약 1.6배 향상되었다고 보고하였다.

Yoon 등[37]은 수직흡수전열관 내부에 스프링을 삽입하여 이것이 열 및 물질전달에 미치는 영향에 대하여 실험하였는데 스프링 삽입관은 평활관에 비해 열 및 물질전달 특성이 모두 우수하게 나타났으며 그 정도는 스프링의 직경에 크게 영향을 받음을 밝혔다. 어느 경우나 고성능전열관의 적용에 따른 코스트 상승을 고려하지 않으면 상당히 소형화·고성능화가 가능하다고 볼 수 있다.

제 2 장 실험 이론

2.1 흡수식 냉난방기의 작동원리 및 기본구성

흡수란 흡수용액과 냉매와의 증기압 차를 이용하여 냉매를 수용액 내에 밀어 넣는 것을 말한다[38].

냉동기의 능력을 향상시키기 위해서는 증발기에서 발생하는 냉매증기를 보다 많이 용액에 흡수되게 하여야 한다.

냉각된 물 표면에 수증기를 직접 접촉하게 하여 응축시키는 응축의 경우와 비교하여 생각하면, 응축에서는 물의 온도를 내리는 것에 의해 증기압을 저하시키는 반면, 흡수에서는 물에 리튬브로마이드(LiBr) 등과 같은 염류를 용해시켜 증기압을 낮춘다. 그러므로 본질적으로는 응축과 흡수는 같은 원리라 할 수 있다.

그러나 흡수과정에서는 흡수용액 중에 냉매증기가 흡수될 때 방출되는 잠열이나 회석열에 의한 열이동 외, 물질이동에 의한 농도분포도 공존하기 때문에 보다 복잡한 현상이 일어난다[33].

Fig. 2.1은 흡수과정을 개념적으로 나타낸 것이다. 냉매 흡수가 없는 평형상태에서는 증발기, 흡수기내의 압력은 P_1 으로 유지되고 있으며, 이때 물 및 흡수용액의 온도는 각각 압력 P_1 에 평형하는 온도(포화온도) T_1 , $T_1 + \Delta T_1$ 이 된다. 여기서 ΔT_1 은 리튬브로마이드와 같은 염을 물에 용해함으로써 생기는 비점(boiling point) 상승이며 평형상태가 되기 위해서는 흡수기내의 온도를 증발기내의 온도 T_1 보다 비점상승분 ΔT_1 만큼 높은 온도로 유지할 필요가 있다. 여기서 흡수기를 냉각하기 시작하면 용액온도는 저하하여 흡수기내 압력도 용액온도에 상당하는 포화압력이 되기 때문에 평형상태인 압력 P_1 보다 조금 낮아진다. 따라서 압력차 ΔP 에 의해 증발기에서 흡수기내로 냉매증기가 유입되고 이와 동시에 증발

기에서는 냉매가 증발하기 시작한다. 냉매가 증발하면 증발잠열에 의해 증발기내의 온도가 저하하게 되고 또 포화압력도 낮아지게 된다. 그러므로 증발기 내를 초기의 상태인 온도 T_1 , 압력 P_1 을 유지하기 위해서는 증발잠열에 상당하는 열량을 보충할 필요가 있다. 즉 외부의 저온열원에서 열을 빼앗아 와야 한다. 한편, 흡수기에서는 냉매증기가 흡수용액에 흡수되어 용액 내에서 증기의 상태를 유지하는 것은 불가능하므로 잠열을 방출하고 액화한다. 이 잠열과 용액의 회석열에 상당하는 열을 냉각수에 의해 계 밖으로 방출하고, 용액온도를 $T_1 + \Delta T_1$ 보다 조금 낮은 온도로 유지한다면 흡수기내 압력도 용액온도 및 농도에 상당하는 포화압력 P_1 보다 ΔP_1 만큼 낮은 압력을 유지할 수 있어 흡수가 지속적으로 일어난다.

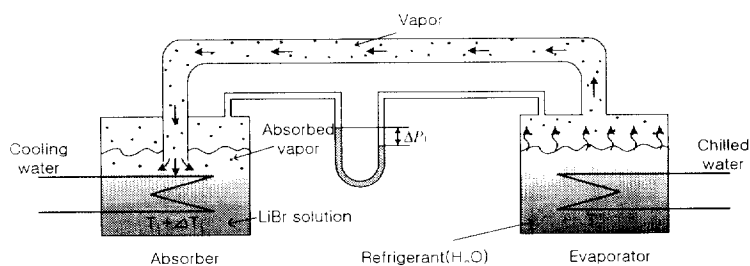


Fig. 2.1 Mechanism of vapor absorption in absorber

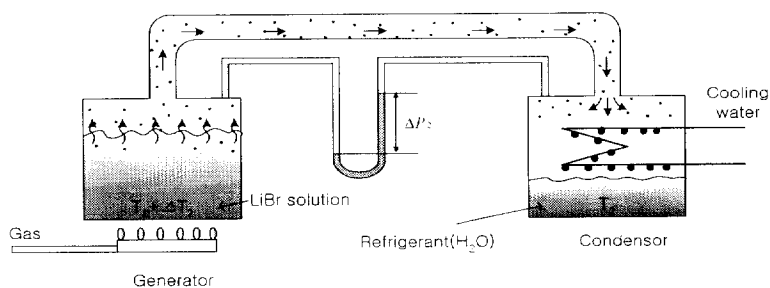


Fig. 2.2 Mechanism of vapor generation in generator

흡수기내의 흡수용액의 양은 한정되어 있으므로 흡수가 진행되어감에 따라 흡수용액은 점점 희석되고 이에 따라 흡수 능력이 저하하여 간다. 그러므로 흡수가 계속 진행되게 하기 위해서는 흡수용액의 농도를 다시 고농도가 되게 재생하여 줄 필요가 있다.

흡수용액 내의 냉매를 증발시켜 흡수용액을 농축하는 과정을 재생이라 하는데 재생과정의 개념도를 Fig. 2.2에 나타내었다. 초기의 평형상태에서는 계 내의 압력이 P_2 , 응축기의 온도가 T_2 , 재생기의 온도가 $T_2 + \Delta T_2$ 로 유지되고 있다. 이 상태에서 도시가스 등에 의해 재생기를 가열하기 시작하면 용액의 온도가 상승하게 되고 이에 따라 증기압도 높아진다. 이렇게 되면 응축기와 재생기 사이에 ΔP_2 만큼 압력차가 생기게 되어 재생기에서 발생한 냉매증기는 응축기로 이동하게 된다.

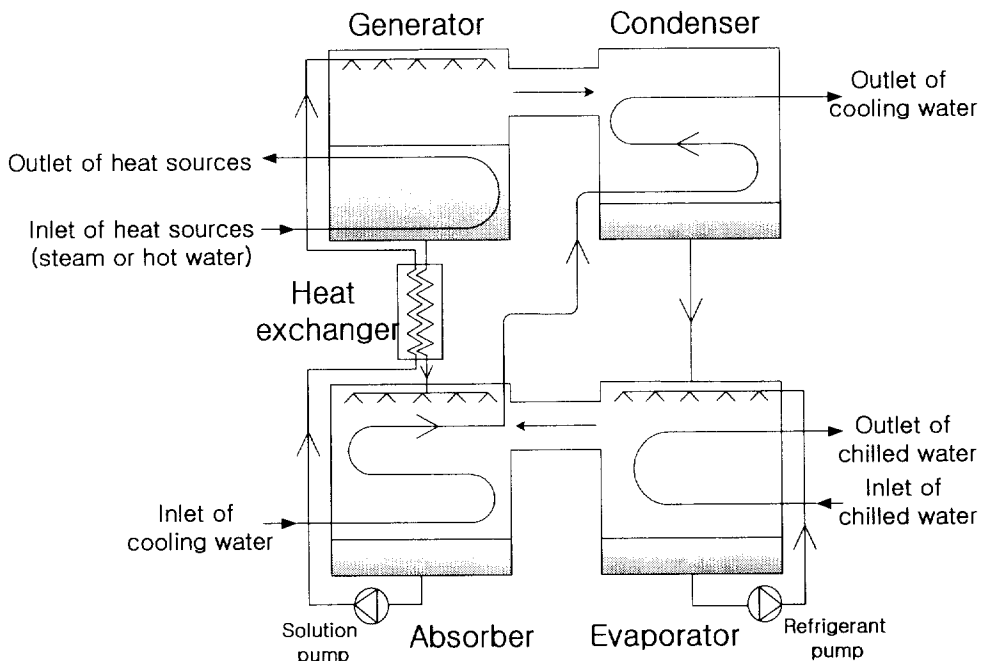


Fig. 2.3 Basic composition of absorption chiller & heater

이 때 응축기내를 냉각하여 온도와 압력을 초기의 상태인 압력 P_2 , 온도 T_2 로 유지한다면 발생한 증기는 응축기내에서 액화하게 된다. 에너지적으로는 재생기에서의 가열량이 발생증기의 증발잠열과 흡수액의 농축에 사용되고, 응축기에서는 발생증기의 액화에 따른 열량 분만큼 냉각수에 의해 제거된다. 위의 흡수과정, 재생과정에서는 이해를 쉽게 하기 위해 증발과 흡수, 재생과 응축이 각각 독립적으로 작동하는 것 같이 나타내었지만, 실제로는 이들 과정이 연속적으로 연결되어 흡수사이클을 형성한다. 냉매를 흡수하여 희석된 흡수용액을 재생기내에 용액펌프로 보내고, 가열에 의해 농축하여 짙어진 흡수용액은 다시 흡수기에 돌아오며, 이때 발생한 고온·고압의 냉매증기는 응축기내에서 잠열을 방출하고 액화되어 증발기에 공급되는 사이클을 형성한다. 이러한 일련의 과정을 Fig. 2.3에 나타내었다.

제 3 장 실험장치 및 방법

3.1 실험장치의 구성

본 연구에 사용된 세관형 흡수기 실험 장치는 0.6RT의 냉동능력을 갖는 흡수기로 연속 운전이 가능하게 구성되어 있다. 실험 장치인 흡수기 모습을 Fig. 3.1에, 그 시스템 구성을 Fig. 3.2에 나타내었다.

실험 장치의 주요부는 크게 냉매 증기를 흡수하는 흡수기, 흡수기에서 흡수를 마친 용액을 저장하는 용액받침대, 흡수하여 묶어진 용액을 설정 온도와 농도를 공급하기 위한 재생부, 흡수기의 흡수열을 제거하기 위해 공급되는 냉각수를 일정한 온도로 공급하기 위한 항온조와 및 흡수기로 유입 되는 용액의 온도를 일정하게 유지하기 위한 냉각 및 가열시스템으로 구성되어 있다.

먼저, 용액은 흡수기 내에서 설정의 온도와 농도로 셋팅한 후 용액 순환 펌프에 의해 흡수기내를 순환하게 된다. 이 때 항온조에서 일정온도로 설정된 냉각수를 흡수기로 공급하여 흡수열을 제거하도록 하였다. 흡수를 마친 묶어진 용액은 중앙에 있는 용액받침대에 고이게 하여 샘플링 밸브에 의해 취출되게 하였다. 용액받침대에 고인 용액은 받침대를 흘러넘치게 되고 하단의 증기 발생용 히터로 이송되어 증기를 발생하고 농용액이 되게 하였고, 이때 생성된 증기는 흡수기로 보내어져 냉매의 역할을 대신하게 하였다. 히터를 통과한 농용액은 용액순환 펌프에 의해 흡수기 상단으로 이송되고 냉각 및 가열 시스템에 의해 설정 온도로 세팅되어 흡수기로 유입하여 본 연구를 위해 특별 제작한 Tray에 의해 각 냉각수 관에 고르게 살포되게 하였다. 용액의 유량은 전자유량계를 사용하여 측정하였으며 유량 설정은 수동에 의한 니들 밸브의 개폐로 조정하였다.

Fig. 3.3에 실험에 사용된 부속기와 계측장비 세팅 사진을 나타내었으며, Table 3.1은 이들의 사양을 나타내고 있다.

본 실험 장치는 시스템내의 진공을 유지하기 위하여 진공펌프가 설치되어 있으며, 기기내의 압력을 알 수 있도록 저압용 디지털 압력계를 흡수기 상부에 설치하였다. 또한, 흡수기에는 2HP/5kW급 항온조에서 냉각수를 공급하도록 수순환용 배관이 설치되어 있으며, 하부에 3kW급 증기발생용 히터를 장착하여 증기를 생성시켰다. 흡수기 각 수·용액배관의 입·출구 온도측정 및 용액 상태 분석을 위하여 씨스형 0.5, 1.6mm K타입 열전대를, 냉각수 및 용액유량을 측정하기 위하여 수유량계 및 용액유량계를 설치하였다. 또한 용액농도 측정을 위한 샘플채취기(sampler)를 농용액이 유입되는 흡수기 입구 및 출구 측에 부착하였으며, 용액의 일정한 유입을 위한 기어펌프(gear pump, Iwaki)도 설치되어 있다.

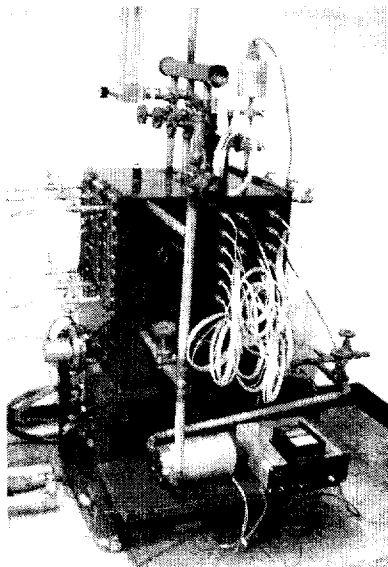
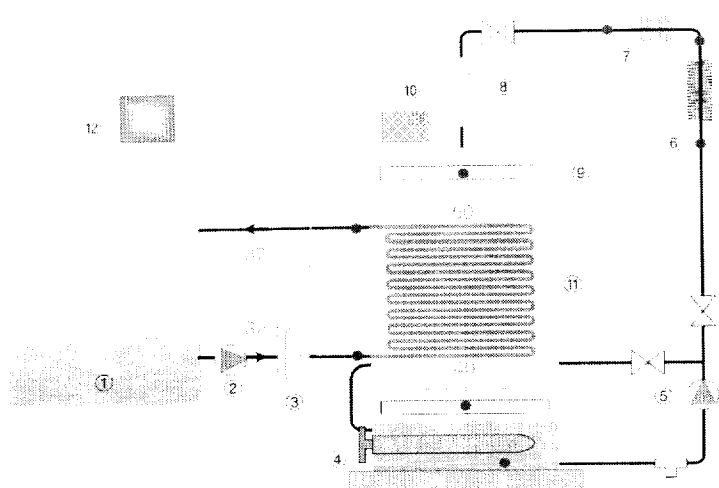


Fig. 3.1 Absorber of this study



① Constant Temperature Bath ② Water Pump ③ Flow Meter ④ Vapor Generation Heater ⑤ Solution Pump ⑥ Cooling Coil ⑦ Heating Coil ⑧ Mass Flow Meter ⑨ Tray ⑩ Manometer ⑪ Heat Exchanger ⑫ Controller ● Thermometer P Pressure gauge T Thermometer

Fig. 3.2 Schematic diagram of experimental apparatus

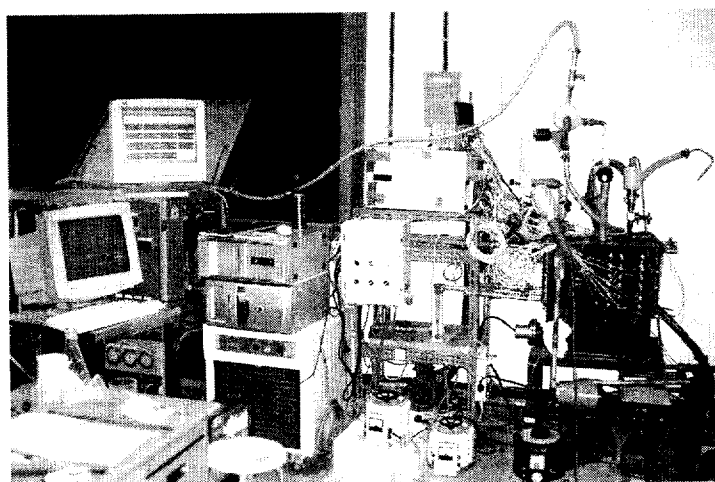


Fig. 3.3 Photograph of experimental apparatus

Table 3.1 Specification of experimental apparatus

Measuring Instrument	Specification	Maker	Model No.	Accuracy
Vacuum pump	0.5 PS 5×10^{-4} Torr	Shinmyung	D10A	-
Pressure transducer	0~100 Torr	MKS	128AA-0010 0D	$\pm 0.25\%$
Constant temperature bath for cooling water	4~40 l/min -10°C ~60°C	AR	AR 3RT	$\pm 0.2\%$
Heater	3KW			
Magnet gear pump	3.9~4.5 l/min	Iwaki	MDG -M4T6A100	-
LiBr solution flow meter	0~2 l/min	Flowcell	NO.002959	$\pm 0.8\%$

가. 흡수기

Fig. 3.4은 본 세관형 흡수기의 개략도를 나타낸 것이다. 튜브 상부에서 농용액의 흡수용액이 흘러 내려 튜브 타고 유하하도록 하였으며, 냉각수는 아래의 냉각수관 내부를 흐르므로 흡수용액과 대향류로 열교환하도록 하였다.

Fig. 3.5는 각각 9.52 mm, 12.7 mm, 15.88 mm의 Bare Tube와 Corrugated Tube를 나타내었다. 길이 400 mm의 전열관을 사용하여 약 0.6 RT의 능력을 가지게 설계하였다.

전열관군은 1단으로 하였으며, 전열관 사이의 Pitch는 문헌조사를 통해 15.88 mm을 10 mm로 하였고, 다른 전열관은 동일체적비율로 각각 8 mm, 6 mm 하여 설정하였다.

Fig 3.7은 흡수기 셸 양측의 내부 관찰창을 나타내고 있으며 이는 흡수가 일어나고 있는 것을 시각적으로 관찰하기 위해 부착하였다.

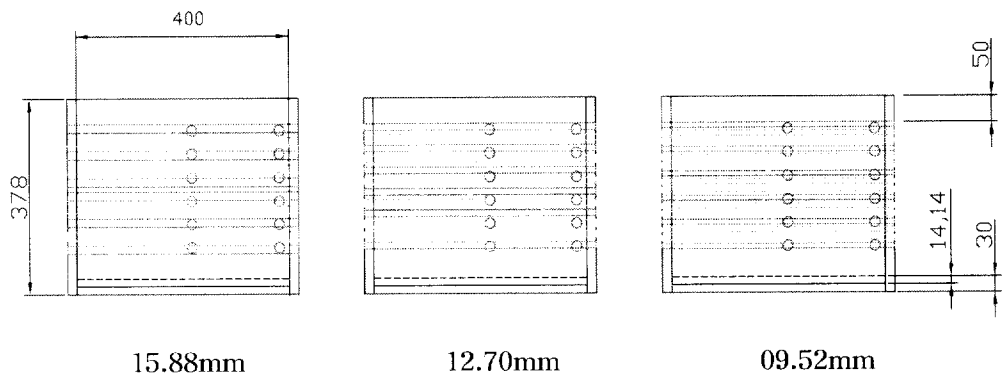


Fig. 3.4 Diagram of Absorber

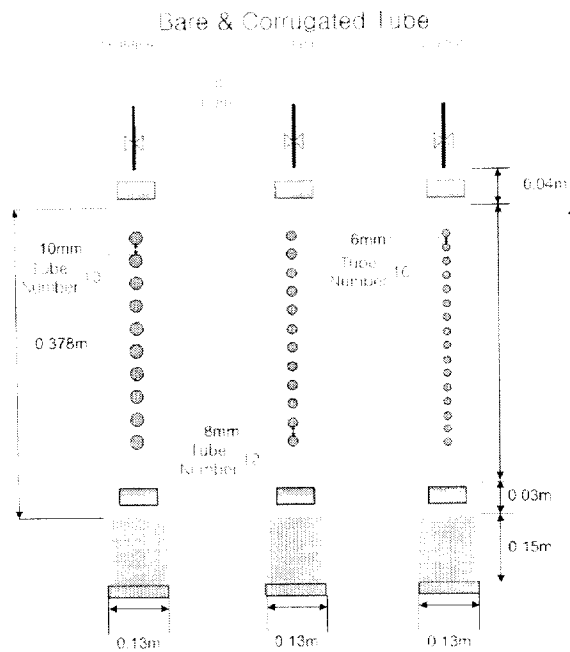


Fig. 3.5 Absorber layout as tube change

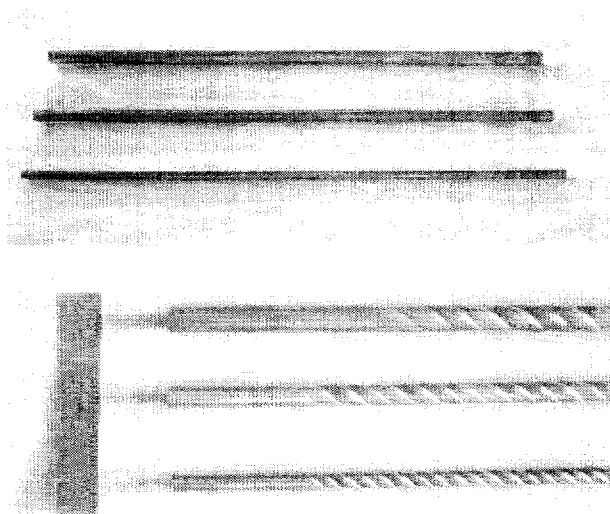
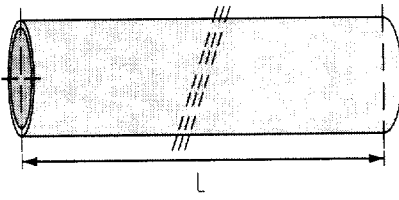
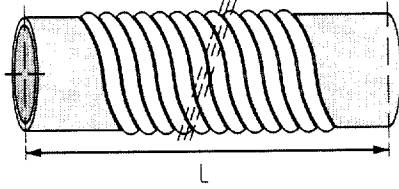


Fig. 3.6 Tube feature of the absorber

Table. 3.2 Specification of test tubes

Type	Appearance	Dimensions
Bare tube		$d_o = 15.88 \text{ mm}$ 12.70 mm 09.52 mm
		$d_i = 13.84 \text{ mm}$ 10.92 mm 8 mm
		$L = 400 \text{ mm}$
Corrugate tube		$d_o = 15.88 \text{ mm}$ 12.70 mm 09.52 mm
		$d_i = 13.84 \text{ mm}$ 10.92 mm 8 mm
		$L = 400 \text{ mm}$

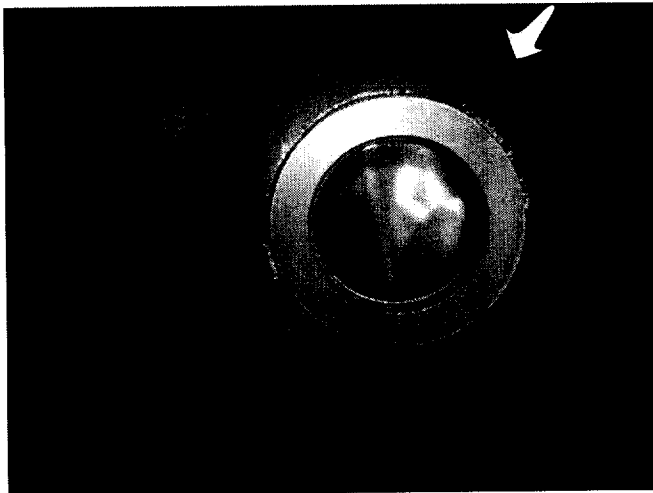


Fig. 3.7 Sight glass of absorber

나. 세관형 흡수기용 최적 용액 Tray 설계 및 제작

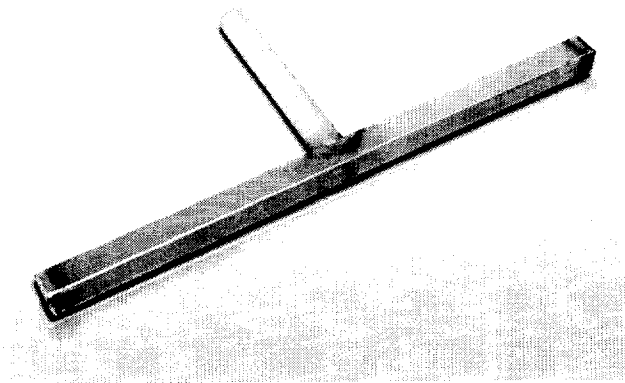
세관형 흡수기용 트레이는 수평관에 용액을 고르게 뿌려주고 어느 한 쪽으로 용액이 쏠리는 현상을 방지하여 주어야 하므로 기존 방식을 응용하여 고안하였다.

본 연구에서 고안한 트레이의 형상을 Fig. 3.9에 나타내었다. 그림에서와 같이 용액은 트레이로 유입하여 하부에 뚫려 있는 구멍을 통하여 관에 고르게 분사할 수 있게 하였다. 변화하는 유량에 대응할 수 있게 유압에 의해 분사되게 하였으며, 수치해석과 실험을 통하여 최적의 하부 구멍 크기를 1.5 mm, 간격을 30 mm으로 설계하였다. 냉각수는 하부의 냉각수관에서 유입하고 전열관 내부를 흘러 흡수용액과 대향류 열교환하여 상부의 냉각수관의 양측에서 유출된다.

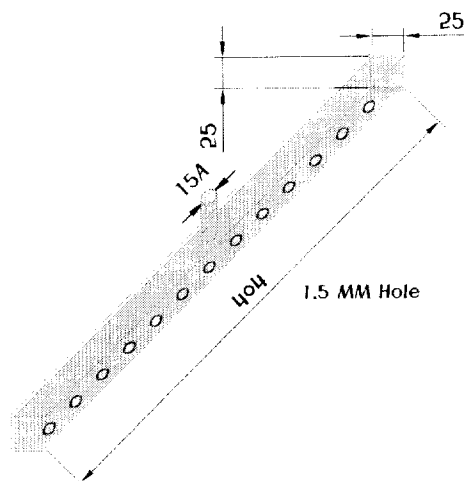
Fig. 3.8와 Fig. 3.9는 제작에 앞서 Fluent를 이용하여 용액의 흐름을 수치해석적으로 나타낸 것이다. 본 실험장치의 Tray에서의 용액은 트레이에 유입되어 각각의 작은 구멍을 통해 일정한 유량으로 배출됨을 알 수 있었고 또한 배출된 용액이 첫 번째 전열관에 고르게 적셔지고 있음을 그림에서와 같이 확인 할 수 있었다.

Fig. 3.10은 수치해석과 실험을 바탕으로 제작한 Tray를 실제 장치에 적용 시켜 구동하는 모습을 나타내고 있다. 그림과 같이 전열관을 고르게 적셔지고 있음을 알 수 있었다.

또한, 바깥 공기온도의 변화에 의한 유체의 온도 및 냉동 능력, 흡수 능력에 미치는 영향을 제거하기 위하여 배관 및 열교환기, 단열재에 의하고 단열 하여 외기의 영향을 가능한 한 받지 않도록 했다.

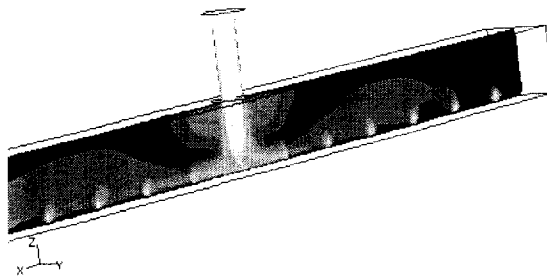


(a) Tray

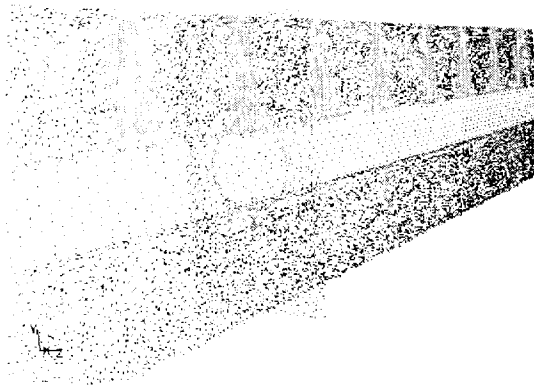


(b) Diagram

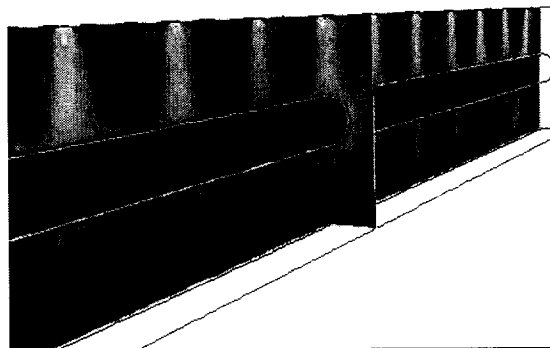
Fig. 3.8 Tray in absorber



(a) Diagram of tray

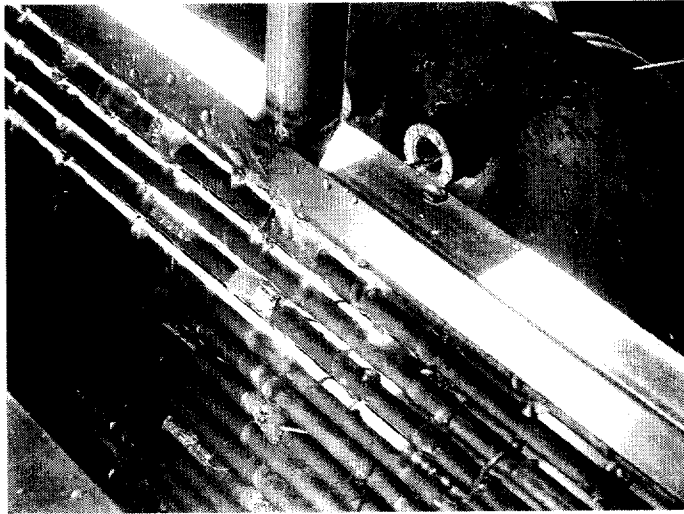


(b) The direction of solution flow

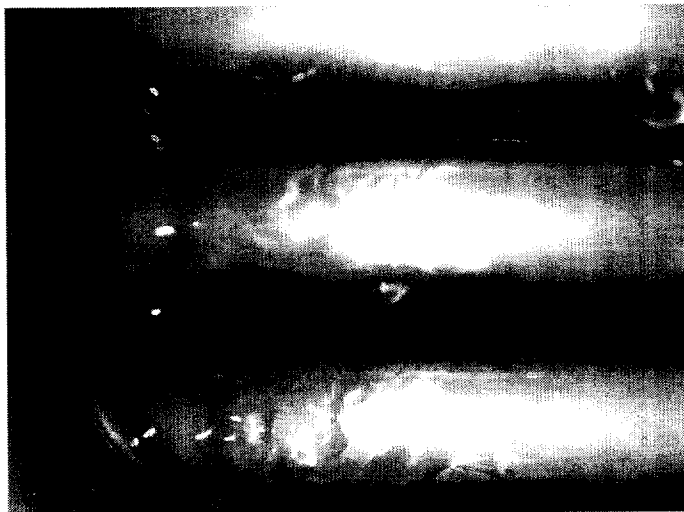


(c) The velocity of solution flow

Fig. 3.9 Solution flow using fluent at standard condition



(a) Experimental figure of working absorber

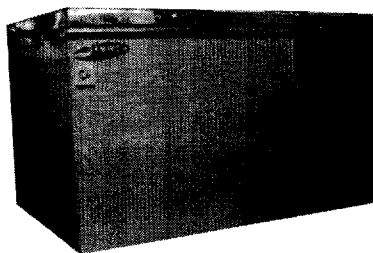


(b) Real figure of working absorber

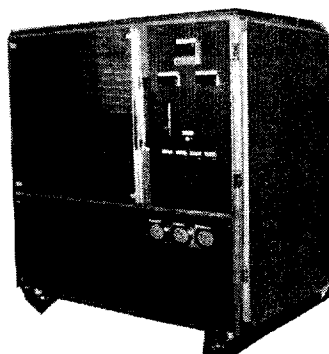
Fig. 3.10 The figure of working tray

다. 항온 시스템

실험에 사용한 냉각수는 항온조로 항상 일정한 온도의 물을 공급하도록 하였다. 흡수기의 냉각수 공급용 항온조 두어 각각의 설정 온도, 유량으로 공급할 수 있도록 하였다. Fig. 3.13은 냉각·냉각수 항온시스템을 나타낸 것이다.



(a) Constant temperature bath for cooling water



(b) Constant temperature bath for chilled water

Fig. 3.11 Constant temperature bath

라. 측정 시스템의 구성

(1) 온도 측정

본 연구로의 온도 측정 대상은 비교적 저온이고 고속의 응답성을 특별히 필요로 하지 않기 때문에 온도 측정용 센서로는 지름 0.5mm와 1.6mm의 K형 열전대를 사용하였다.

세관형 흡수기의 용액 유하 액막의 온도 분포를 알기 위해 흡수기 튜브 1.6mm K타입 열전대를, 전열관 온도 분포를 측정하기 위해 0.5mm K타입 온도 센스를 설치하였다. 온도 센서는 세관형 흡수기의 첫 전열관에서 아래로 6부위씩 총 12부위를 측정하였다. 측정된 온도 데이터는 데이터로거(MX 100)를 통하여 컴퓨터로 전송, 기록되도록 하였다. 또한 각 열교환기의 입·출구에도 온도센스를 설치하여 유체의 입출구 온도를 측정함으로써 열교환기 내에서의 열교환량을 계산 가능하도록 하였다.

Fig. 3.14는 K타입 열전대를, Fig. 3.15는 열전대 부착모습을, Fig. 3.16은 관벽온도 및 용액온도에 따른 열전대 부착 계략도를, Fig. 3.17은 데이터로거를 나타낸 것이다.

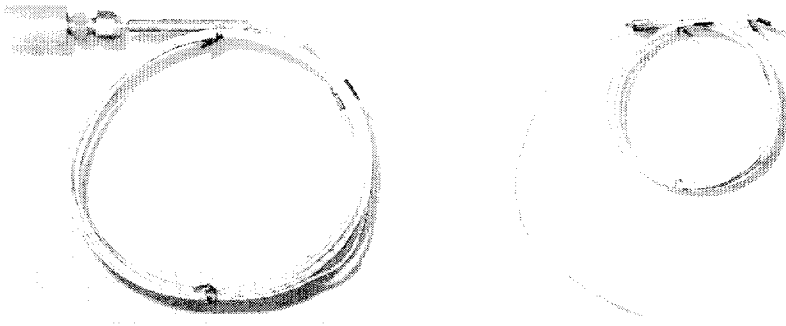


Fig. 3.12 K-type thermocouple

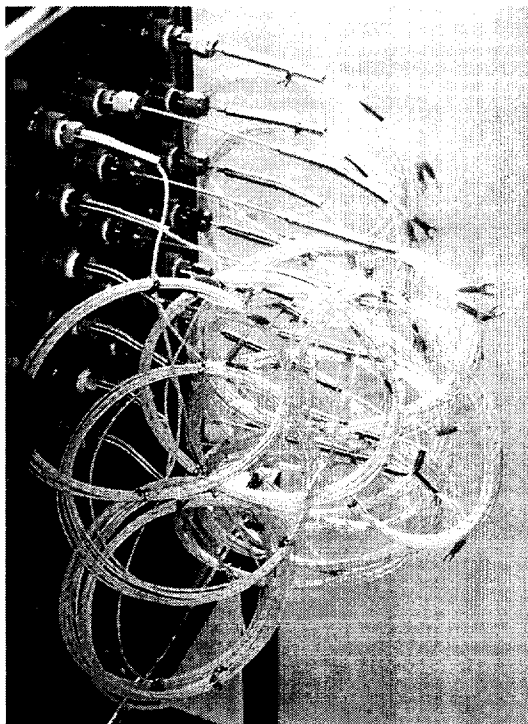
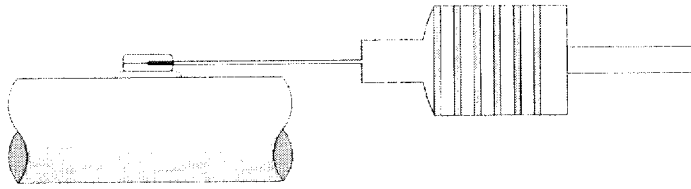
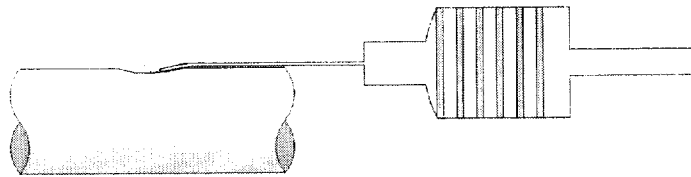


Fig. 3.13 Adhesion of temperature sensor



(a) Installation solution temperature



(b) Installation tube temperature

Fig. 3.14 Installation of temperature sensor

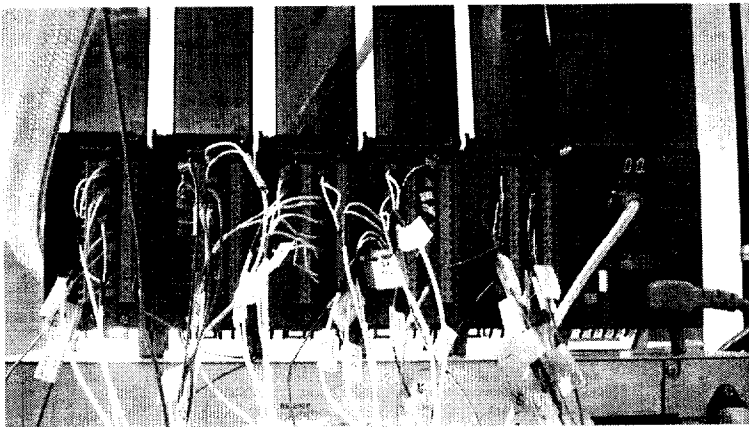


Fig. 3.15 Data Logger

(2) 농도 측정

농도 측정은 샘플링 밸브를 이용하여 샘플링 된 용액을 굴절율계 및 비중계를 이용하여 측정하였다. 샘플링 밸브는 흡수기 입구 및 출구에 두어 실험 중 수시로 농도 측정이 가능하게 하였다. Fig. 3.16은 농도측정용 굴절율계를, Fig. 3.17은 비중계를 나타낸 것이다.

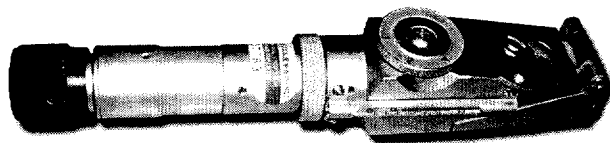


Fig. 3.16 Refractor

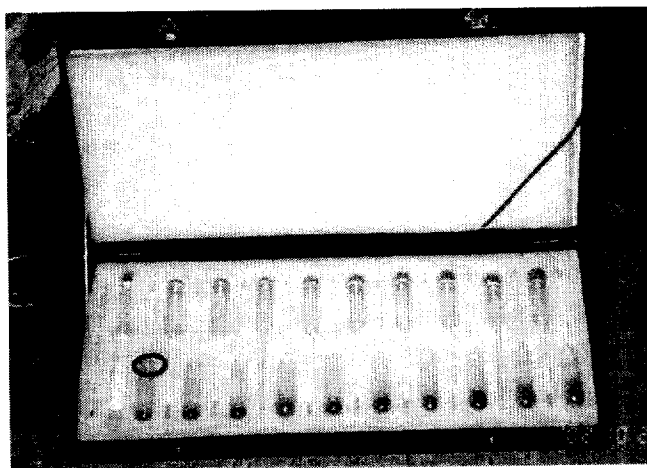


Fig. 3.17 Specific gravity meter

(3) 유량 측정

특별히 정밀도를 필요로 하는 용액유량에는 Fig. 3.18과 같은 전자 유량계를, 냉각수 유량은 플로우트식 유량계를 이용하여 측정하였다.

이 전자 유량계는, 유체의 도전율이 $3\mu\text{S}/\text{cm}$ 이상이라면, 그 성질과 상태에 관계없이 체적 유량을 측정할 수 있는 것이다. 유체의 흐름 방향과 수직에 자장을 가하고 있는 측정관에 도전성 유체가 흐르면, 전자 유도의 법칙에 의하여 평균 유속에 비례한 신호 기전력이 액체 중에 유도되기 때문에, 이 기전력을 검출하고, 증폭, 연산하여 체적 유량을 측정한다. 이 전자 유량계를 용액 및 냉매 유입부에 설치하고, 유량을 측정하면서, 밸브의 개폐로 각각의 유량 설정을 하였다.

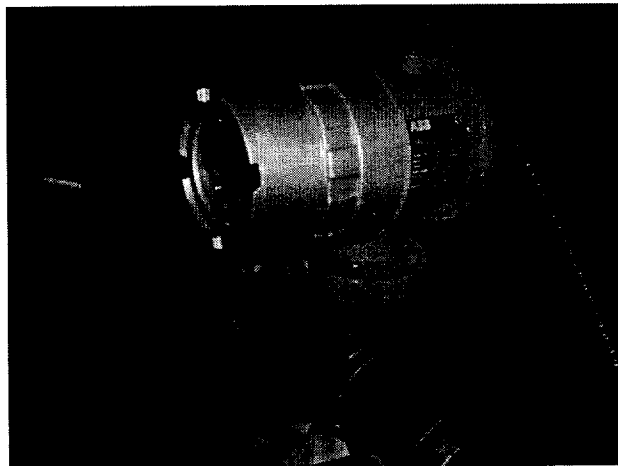


Fig. 3.18 Magnetic flow meter

3.2 실험방법

실험조건이 안정된 상태에서 실험을 수행할 수 있게 하기 위하여 실험 조건 설정과정과 성능 측정과정으로 진행하였다.

가. 조건 설정 과정

먼저 실험의 준비 단계로서 재생과정이 필요하다. 농도의 변화 또한 흡수기의 성능에 영향을 미치기 때문에 LiBr 수용액의 농도를 실험 조건으로 설정함은 매우 중요하다. 이에 본 실험에서는 적정한 농도를 맞추기 위하여 가열기를 이용하여 열을 주어 증발, 비등시켜 LiBr과 물을 분리시키고 진공 펌프를 통하여 흡수기 상부 추기 밸브를 통해서 흡수기 내에서 배출시킴과 동시에 흡수기 하단의 용액 취출구를 이용하여 용액을 취출하여 농도를 측정, 적정한 농도가 될 때까지 가열한다. 본 실험의 기준 실험 조건에 충족되면 그 후 진공 펌프를 통해 계내를 저진공상태로 만든다. 흡수기의 내부 압력은 하부 히터의 전류 세기에 의해 제어되어 7torr(0.94kPa)로 유지되며 이는 흡수기 내부에 연결된 전자식 절대압력계로서 측정된다.

나. 성능 측정 과정

실험 조건 농도 및 압력이 맞추어진 상태에서 장치를 작동시킨다. 용액의 입구 온도 제어를 위해서 실험장치 상부에 히팅·냉각 코일을 설치하였다. 이 냉각 시스템은 Tray로 들어가기 직전의 용액과 열교환을 하여 용액의 온도를 실험조건의 온도로 설정한다. 설정온도로 맞추어진 용액은 Tray로 유입되어 일정한 유량으로 각각의 전열관에 고르게 액적상태로 떨어지며 적셔진다. 이 용액은 전열관과 냉매증기와 열교환을 하면서 마지막 전열관 밑에 있는 용액 받침대에 고이게 된다. 본 실험의 성능 특성을 알기 위해 본 실험에서는 Tray와 용액 받침대에 열전대를 이

용하여 용액의 입 · 출구 온도를 측정하였고 또한 용액의 농도를 측정하기 위하여 밸브를 설치하여 진공펌프를 이용, 추출하였으며 굴절률계를 이용하여 측정하였다. 굴절률계의 농도측정오차는 $\pm 0.02\%$ 이다.

용액받침대에 고인 용액은 받침대를 넘쳐 흡수기 하부에 고이게 되고 하부에 설치된 히터에 의해서 가열되고 수증기로 증발된다. 이 수증기는 증발기에서 유입되는 냉매 증기의 역할을 하며 맨 아래의 전열관에서부터 위로 올라가며 흡수된다. 하부에 고인 용액은 마그네틱 기어 진공 펌프에 의해 상부로 다시 이송된다. 이때 용액의 유량은 니들밸브와 바이패스에 의해 조절되어 이송하게 되며 이때의 유량은 전자식 질량 유량계에 의해서 질량유량이 측정되어지고 다시 냉각 시스템을 거쳐 Tray로 이송하게 된다.

흡수기내로 유입되는 냉각수는 항온조와 냉각기에 의하여 설정온도로 맞추어져 수 펌프에 의해 하부의 전열관에서 상부 전열관으로 이송하며 용액과 대향류로 열교환을 한다. 실험 장치는 저 진공이기 때문에 각 관과 셀은 확관 방법에 의해 기밀을 유지하였으며 각 부의 냉각수 온도를 백금저항온도계를 이용하여 측정하였다.

흡수된 열량과 증발하는 증기의 잠열량과의 밸런스가 평형을 이루면, 용액 온도, 흡수기 내의 압력, 냉각수 온도가 일정하게 유지된다.

실험 장치 내부가 평형 상태가 이루어지면, 각 부분의 온도, 농도, 유량 데이터를 기록한다. 열전대에 의한 온도 데이터는 데이터로그(Yokogawa사, MX100)를 통하여 개인용 컴퓨터로 전송하여 기록하였다. 또한, 이러한 데이터 획득은 각 부분 온도에 시간적인 변동이 없었던 것을 충분히 확인한 다음 하였다.

3.3 흡수 열교환기의 성능 평가 방법

흡수 열교환기는 일반적인 열교환기와는 다르고, 흡수 냉동기의 흡수기 내로는 증기의 흡수라는 물질 이동이 수반하고, 열 이동이 생기기 때문에 전열 현상이 복잡하게 되고, 그 해석 방법도 확립되어 있지 않다. 따라서 흡수 냉동기 실험 장치의 흡수기를 모델화하여 그 내부에서의 열·물질 수지로부터 냉동능력을 정의하고 열교환기로서의 흡수기의 성능가능성을 살펴보고자 한다.

3.3.1 열평형 계산

흡수기에 있어서 입·출구에서의 LiBr 질량이 변화하지 않으므로 아래와 같은 식이 성립된다.

$$(G_s - R)C_{s,i} = G_s C_{s,o} \quad (3.1)$$

여기서, $\omega = G_s / R$ 로 두고 이 식을 정리하면

$$\omega = \frac{G_s}{R} = \frac{C_{s,i}}{C_{s,i} - C_{s,o}} \quad (3.2)$$

로 되고, 이것은 냉매 증기 단위 유량당의 용액 순환비를 나타내고 있다.

3.3.1 열평형 계산흡수기 열평형

먼저, 냉각수와의 교환 열량 Q_w 는

$$Q_{w1} = G_w c_{pw} (T_{wo} - T_{wi}) \quad (3.3)$$

로 된다. 한편, 흡수기의 입·출구에 있어서 엔탈피 차이에 의한 흡수 용액의 방열량 Q_s 는

$$Q_s = (G_{s,o} - R) h_{s,i} - G_{s,o} h_{s,o} \quad (3.4)$$

$$= R [(\omega - 1) h_{s,i} - \omega h_{s,o}] \quad (3.5)$$

로 된다. 여기에서, 용액 엔탈피는

$$h_{s,i} = h(T_{s,i} + C_{s,i}) \quad (3.6)$$

$$h_{s,o} = h(T_{s,o} + C_{s,o}) \quad (3.7)$$

로 된다.

따라서 흡수한 수증기가 방출한 잠열량을 Q_r' 이라고 한다면 흡수기내의 열평형은

$$Q_{w2} = Q_r' + Q_s \quad (3.8)$$

로 된다. 여기에서 냉매 증기의 엔탈피를 h_r' 라고 한다면 Q_r' 는 다음과 같다.

$$Q_r = R h_r \quad (3.9)$$

3.3.3 열통과율 계산

흡수기의 열통과율 K 는 냉각 수수열량 Q_w 와 전열면적 A 를 이용하고 식 (3.10)로 정의된다.

$$K = \frac{Q_w}{A\Delta T} \quad (3.10)$$

여기에서 ΔT 는 흡수 용액의 입구 온도와 출구 온도, 냉각수의 입구 온도와 출구 온도를 이용하여 정의한 대수 평균 온도차로서 다음과 같이 나타낸다.

$$\Delta T = \frac{T_1 - T_2}{\ln(T_1 - T_2)} \quad (3.11)$$

$$T_1 = T_{sei} - T_{wo} \quad (3.12)$$

$$T_2 = T_{seo} - T_{wi} \quad (3.13)$$

여기서, T_{sei} 와 T_{seo} 는 각각 흡수기 입구, 출구에 있어서 용액 농도에 대한 평형 온도이다. 이와 같은 정의로 대수 평균 온도차를 이용하면, 흡수기내의 온도는 기액 평형의 이상 상태를 취하지 않으면 안 된다. 그러나 흡수기내에 있어 ΔT 는 반드시 대수 평균 온도차와 일치하는 것은 아니다.

3.3.4 물질전달률 계산

물질전달률 β 는 다음과 같이 정의한다.

$$\beta = G_R / \{ \rho_m \cdot \Delta C_{lm} (\pi \cdot d_o \cdot L_T) \} \quad (3.14)$$

여기서, ρ_m 은 평균 용액밀도로, 식(3.15)으로부터 구하였다.

$$\rho_m = (\rho_{Asi} + \rho_{Aso}) / 2 \quad (3.15)$$

ΔC 는 용액의 농도 C 에 의한 대수 평균 농도차이고, 흡수기 입구 및 출구에 있어서 용액 온도와 흡수기 내 압력에 대한 용액중의 평형 농도 C_{sei} , C_{seo} 와 용액의 농도 C_{si} , C_{so} 라는 차이를 이용하여 아래와 같이 정의된다.

$$\Delta C = \frac{C_1 - C_2}{\ln(C_1 - C_2)} \quad (3.16)$$

$$C_1 = C_{sei} - C_{si} \quad (3.21)$$

$$C_2 = C_{seo} - C_{so} \quad (3.22)$$

3.3.5 무차원수

수평관의 흡수용액층의 열전달률은 식 (3.19) 같이 주어진다. 여기서 전열벽의 열전달저항은 미소하여 무시하였다.

$$h_o = \frac{1}{\frac{1}{K} - \frac{1}{h_i}} \quad (3.19)$$

실험데이터는 식 (3.20)로 나타내진 막레이놀즈수에 따라 비교하였다.

$$Re_f = 4 \cdot \Gamma_s / \mu_s \quad (3.20)$$

여기서 Γ_s 는 단위 길이 당 액막유량으로 식 (3.21)와 같이 정의된다.

$$\Gamma_s = G_s / (2 \cdot L) \quad (3.21)$$

흡수과정에 있어서 열전달에 대한 넛셀수(Nu)는 식 (3.22)와 같이 나타낸다.

$$Nu = h_o \cdot L_s / \lambda_s \quad (3.22)$$

여기서 용액막의 특성길이 L_s 는 식 (3.23)과 같이 나타낸다.

$$L_s = \left(\frac{(\mu_s / \rho_s)^2}{g} \right)^{1/3} \quad (3.23)$$

물질전달률의 무차원수인 셔우드수는 식 (3.24)과 같이 정의된다.

$$S_h = \beta \cdot L_s / D_s \quad (3.24)$$

여기서 D_s 는 물질확산계수이다.

3.2.3 실험조건 및 시스템 열평형

Table 3.3에 표준 실험 조건을 나타내었다. 또 실험은 표준 실험 조건 하에서 용액 유량 및 냉각수 유량을 변화시키고 여기에 용액 유량 및 냉각수 유량을 변화시키면서 반복 실험 하였다.

실험 데이터는 정상상태에서 해석하여야 한다. 따라서 식 (3.3) 및 (3.8)에 나타난 열평형을 이용하여 실험장치의 및 열 물질평형을 검정하여 실험장치의 신뢰성을 검정하였으며, 이때 실험장치로부터 획득한 온도 값들은 Fig. 3.19와 같이 정상상태의 값을 이용하였다.

Fig. 3.20에서 보면 실험 장치의 신뢰성 검정 결과 $\pm 15\%$ 내에서 열평형이 이루어지는 것을 알 수 있었다. 이것은 실험장치가 단열 되어 있다고는 하나 배관 내에서의 방열과 실험장치 본체의 열용량 및 방열, 냉매의 오염 등에 의한 것이라고 생각된다.

Table 3.3 Standard experimental conditions

Absorber	Tube type	Bare, Corrugate
	Tube diameter(OD), [mm]	15.88, 12.7, 9.52
	Pressure, P , [kPa]	0.93
LiBr solution	Inlet temperature, T_{si} , [K]	320
	Inlet concentration, ξ_{si} , [wt%]	61
	Film Reynolds No., Re_f , [-]	15 ~ 29
Cooling water	Inlet temperature, T_{wi} , [K]	296
	Flow rate, G_w , [kg/s]	0.1~0.23

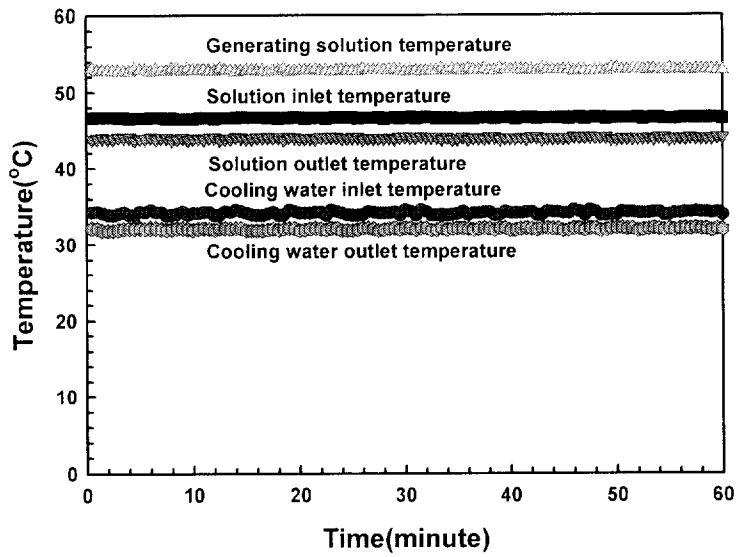


Fig. 3.19 Experimental temperature distribution of steady state

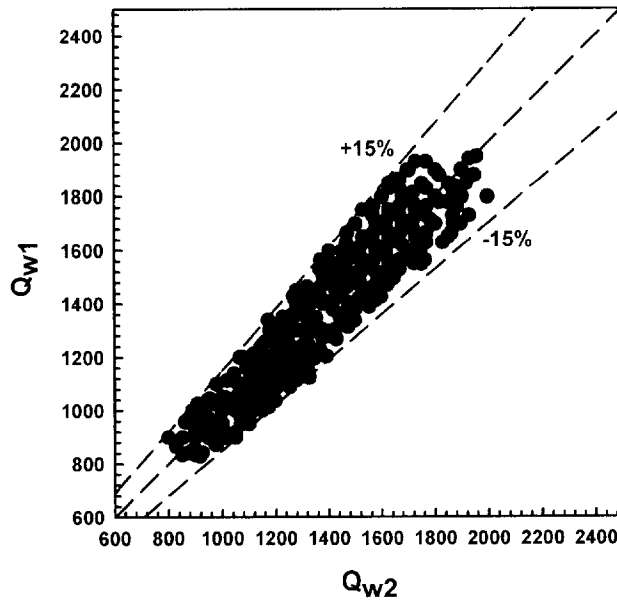


Fig. 3.20 Heat balance of experimental apparatus

제 4 장 실험결과 및 고찰

흡수기에서의 열 및 물질전달 특성에 관한 평가는 실험장치 각 부분의 온도, 농도 및 유량이 정상상태가 되었을 때의 데이터 값만을 유효 실험치로 선정하여 계산하도록 하였다.

4.1 용액유량에 따른 열 및 물질전달 특성

표준 실험 조건에서 전열관 구경별 및 종류별 용액 유량을 변화시켰던 때의 흡수기에서의 열유속을 Fig. 3.21에 나타내었다. 그림에서와 같이 각 전열관 모두 실험 범위 내에서 용액 유량이 증가함에 따라 열유속이 증가함을 알 수 있다. 이것은 용액 유량이 증가할수록 접수면적이 증가하고 또 액막의 교란효과가 증가하기 때문이라고 생각 된다. 실험 범위 내 용액 유량에 대해서 전열관 표면에 용액의 접수율이 미미하여 흡수열량이 작은 것을 알 수 있다. 시험 최대 유량에서 용액 접수율이 60%를 넘지 못하고 있음을 가시창을 통하여 확인 할 수 있었다.

Fig. 3.22는 용액 유량 변화에 따른 총괄 열전달 계수의 변화를 나타내었다. 각 전열관은 용액 유량이 증가할수록 증가하였으며 기준조건 $Re_f = 20$ 에서 15.88 mm Bare Tube는 약 $576 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ 정도를 나타내었고 소구경으로 갈수록 12.7 mm는 3%, 9.52 mm는 5%정도 높은 값을 보여주었으며, Corrugated Tube는 소구경일수록 각각 28%, 32%, 35%의 상승을 보여 주었다. 각 전열관은 용액 유량이 증가할수록 증가하였으나 소구경관으로 갈수록 관내 유속의 상승으로 인하여 미미하게 열전달률이 상승하였다. 또한 Bare Tube의 경우 Corrugated Tube에 비해서 열교환면적이 증가하고 내부로 흐르는 냉각수의 열전달율의 향상뿐만 아니라 외부로 흐르는 수용액도 전열촉진관의 골과 피치에 의해 교

란되어 열전달률이 향상되는 것으로 생각된다. 또한 용액 액막 유량이 증가 할수록 증가율이 감소함을 알 수 있었다. 이는 용액의 액막 유량이 일정이상 넘어가면 액막 유량의 증가는 열전달계수 향상에 그다지 큰 영향을 미치지 못한다는 것을 알 수 있었다.

본 실험에서의 결과와 수평 평활관에 대한 기존 연구 결과를 비교하여 보면, Bare Tube시 열전달계수는 용액농도 57wt%, 용액온도 42℃, 질량유량 0.008~0.025 kg/m · s에서 실험한 Hoffmann 등[40]의 실험결과나 용액농도 60wt%, 용액온도 45℃, 질량유량 0.02~0.04 kg/m · s의 질량유량에서 실험한 Tsujimori 등[41]의 실험결과와 비슷한 경향을 보이고 있으며, 용액농도 58wt%, 용액온도 40℃, 질량유량 0.013~0.042 kg/m · s에서 실험한 Furukawad 등[42]는 Corrugated Tube의 실험결과와 유사한 값을 보여 주고 있다.

용액유량변화에 따른 무차원 열전달계수(Nu)를 Fig. 3.23에 나타내었다. 무차원 열전달계수는 실험 조건에서 15.88 mm Bare Tube의 경우 최소 0.09에서 최대 0.13의 값을 보여주었으며 기준조건에서 0.12정도의 값을 나타내었으며, 소구경일수록 3%, 7%의 성능향상이 있었다. 또한, Corrugated Tube의 경우는 기준 전열관에 비하여 28%, 32%, 38%의 성능 향상을 보였다.

관경 15.88 mm, 용액농도 61wt%, 용액온도 46%에서 실험한 Kang 등[43]의 실험결과와 비교하였을 때 거의 일치하는 경향을 보이고 있으며, 관경 14.35 mm의 수직전열관, 용액입구농도 60wt%, 막레이놀즈수 20~200에서의 Kashiwagi 등[44]의 실험결과와는 다소 작은 결과를 보이고 있다.

Fig. 3.24와 3.25는 용액액막유량을 변화 시켰을 때 전열관 종류별 질량유속과 물질전달률을 나타낸 것이다. 용액액막유량이 증가함에 따라서 냉매 증기 흡수량이 증가하게 되므로 질량유속은 증가하는 경향을 보이

고 있으며, 물질전달률 또한 선형적으로 증가하고 있다. Bare Tube시 Corrugated Tube에 비해 약 28%정도 증가하는 추세를 보이고 있으며, 이는 골과 피치에 의해 용액 유동이 교란을 일으켜 물질전달을 촉진되어 일어나는 현상이라 생각된다.

물질전달률에 대한 수평관군 흡수기에 대한 다른 연구자들의 결과와 비교하면, Fujita 등[45]의 결과는 Bare Tube 결과와 Kawamata 등[46]의 결과는 Corrugated Tube 결과와 거의 일치하며, Furukawa 등[42]의 실험 결과에 비해 조금 높은 물질전달률을 나타내었다.

Fig. 3.26은 수용액 물질전달률을 무차원 물질전달률(Sherwood Number)로 나타내었다. 그림에서와 같이 기준조건에서는 Sh 가 약 7.2 이고 용액유량이 증가 할수록 각각의 전열촉진관이 평활관에 비해 25% 정도 상승함을 보였으며, 15.88 mm관에 비해 소구경 일수록 각각 평균 약 6%, 15%정도의 물질전달향상을 보여 주었다.

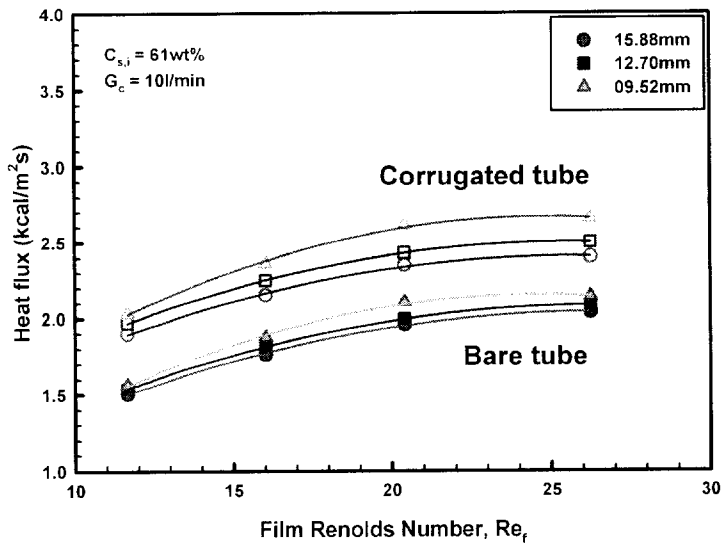


Fig. 3.21 Effect of solution flow rate on heat flux

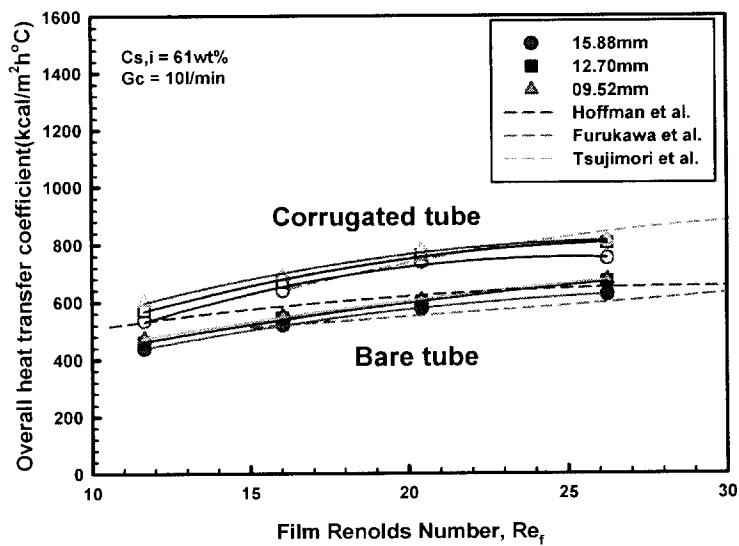


Fig. 3.22 Effect of solution flow rate on overall heat transfer coefficient

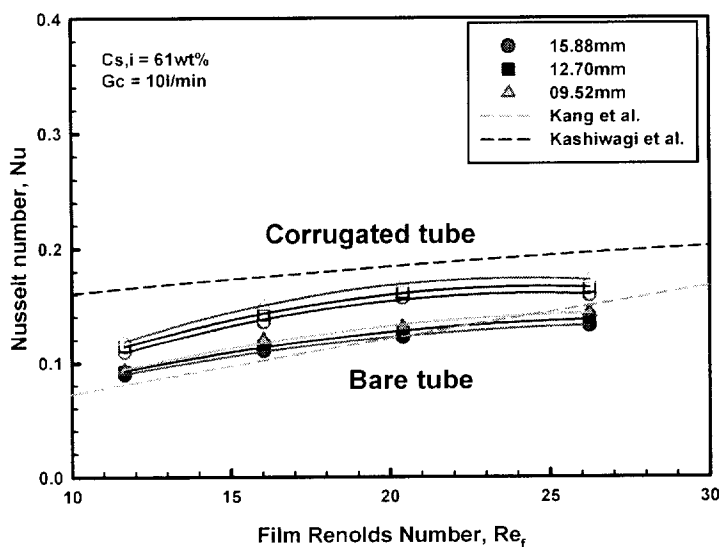


Fig. 3.23 Effect of solution flow rate on Nusselt Number

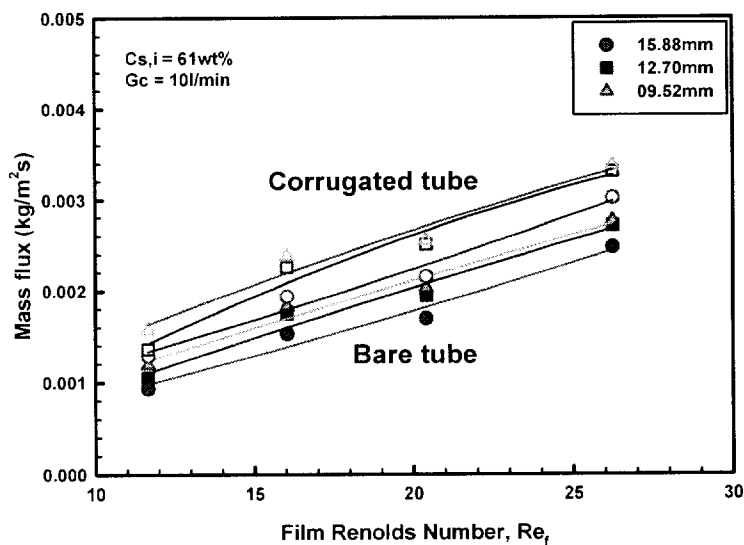


Fig. 3.24 Effect of solution flow rate on mass flux

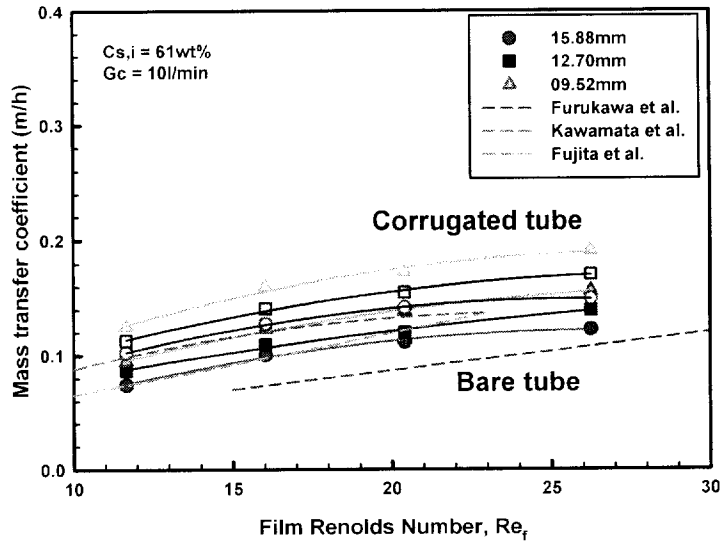


Fig. 3.25 Effect of solution flow rate on mass transfer coefficient

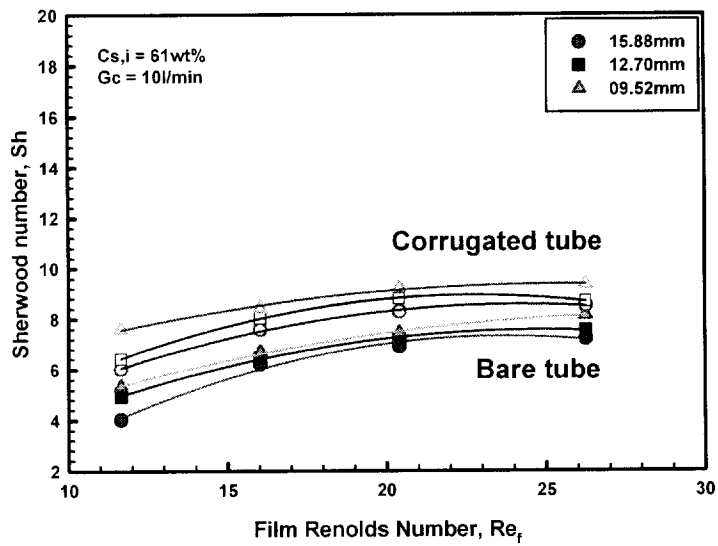


Fig. 3.26 Effect of solution flow rate on Sherwood Number

4.2 냉각수 유량에 따른 열 및 물질전달 특성

표준 실험 조건에서 전열관 구경별 및 종류별 냉각수 유량을 변화시켰을 때의 흡수기에서의 열유속을 Fig. 3.27에 나타내었다. 그림에서와 같이 각 전열관 모두 실험 범위 내에서 냉각수 유량이 증가함에 따라 열유속이 증가함을 알 수 있다. 냉각수 유량이 증가함에 따라 냉각수 유속이 증가하고 이로 인해 관내 열전달률이 증가하기 때문에 흡수용액의 온도를 보다 낮추게 되고 수용액의 수증기 분압은 감소하게 되어 흡수 구동력이 증가하므로 냉매 증기 흡수가 촉진되기 때문이라 생각한다.

Fig. 3.28은 냉각수 유량 변화에 따른 총괄열전달 계수의 변화를 나타내었다. 각 전열관은 냉각수 유량이 증가 할수록 증가하는 추세를 보였다. 기준관에 비해 관경이 작아질수록 대략 2~3%, 6~7%정도, 전열촉진관이 평활관에 비해 평균 약 28%정도 높은 열전달률을 보이고 있다. 이는 관경 변화에 의한 냉각수 유동의 난류 촉진과, 전열촉진관의 골과 피치에 의한 전열 면적의 증가에 의한 것이라 생각 된다.

냉각수 유량 변화에 따른 무차원 열전달계수는 Fig. 3.29에 나타내었으며, 냉각수의 유량이 증가함에 따라 미미한 감소 경향을 보이는 것을 보인다. 이러한 증가 현상은 수용액 온도 강하에 따라 수용액의 점성이 감소하고 이로 인하여 열전달률은 감소하게 되는 것이다.

Fig. 3.30에서 질량 유속을, Fig. 3.31에서는 물질전달률을 나타내었다. 냉각수 유량이 증가함에 따라 수용액의 수증기 분압을 감소시켜 냉매 증기의 흡수 구동력을 증가시킴으로 질량 유속은 증가하는 경향을 나타낸다. 허나 냉각수 유량 증가에 의해 수용액의 점성력 증가 등으로 인하여 물질전달률은 미소하게 감소하는 경향을 보인다. Fig. 3.32는 물질전달률을 무차원수로 나타낸 것이다.

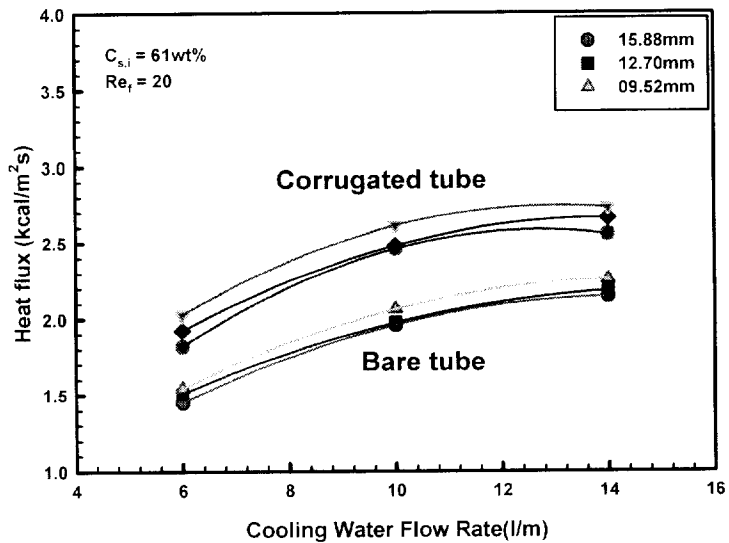


Fig. 3.27 Effect of cooling water flow rate on Heat Flux

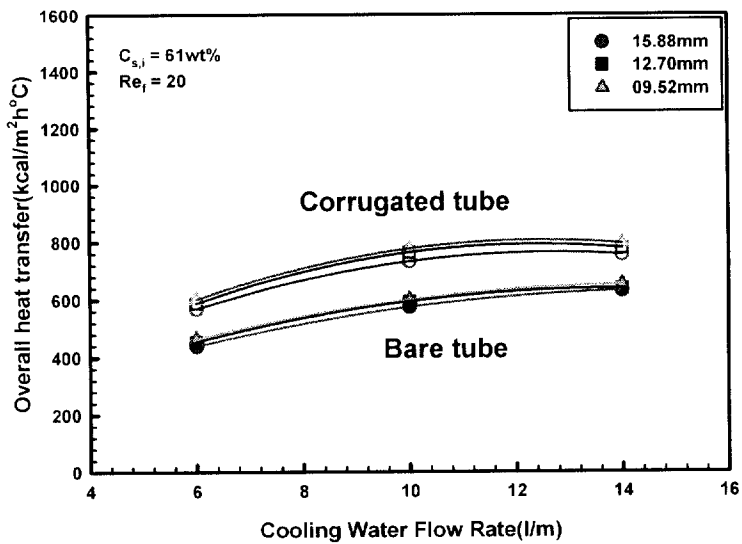


Fig. 3.28 Effect of cooling water flow rate on overall heat transfer coefficient

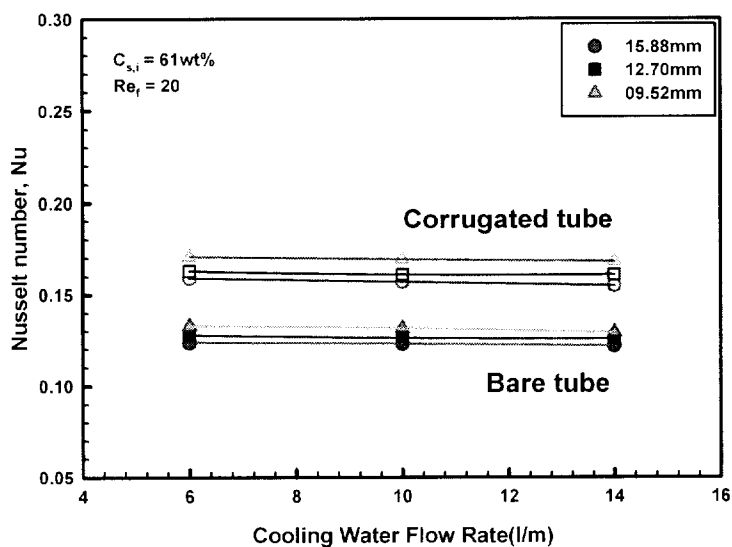


Fig. 3.29 Effect of cooling water flow rate on Nusselt Number

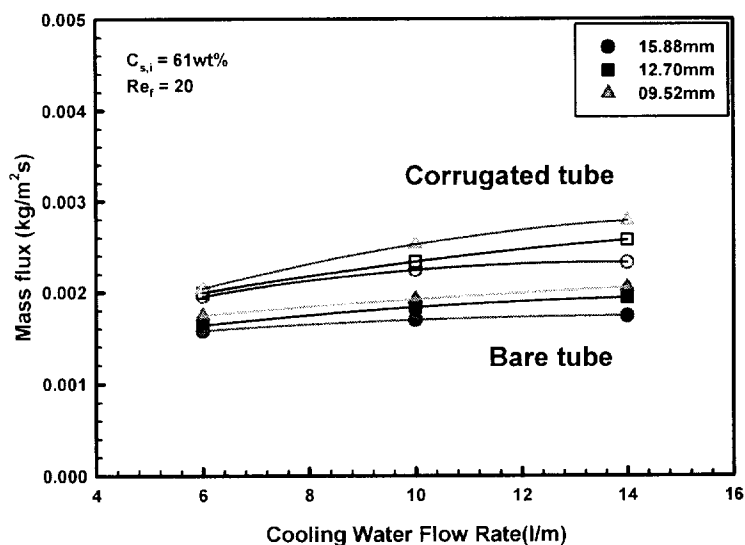


Fig. 3.30 Effect of cooling water flow rate on mass flux

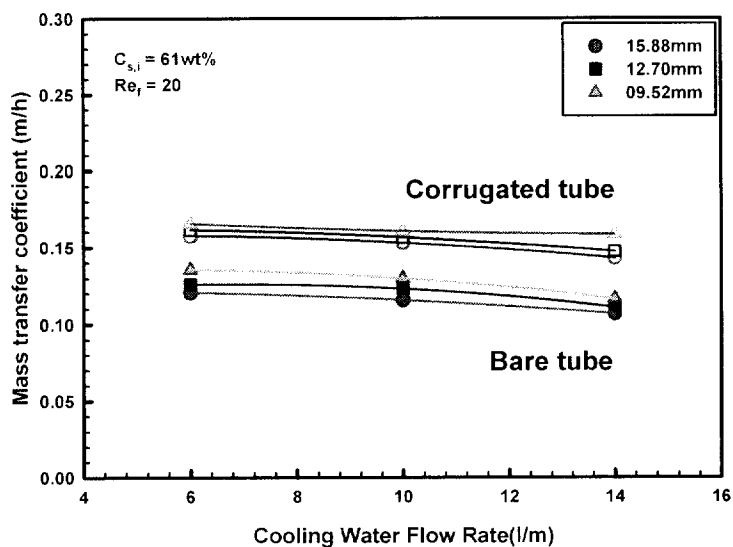


Fig. 3.31 Effect of cooling water flow rate on mass transfer coefficient

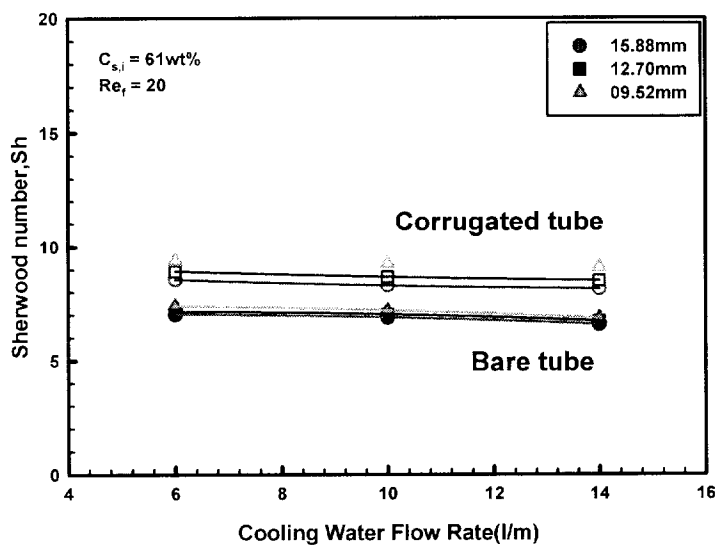


Fig. 3.32 Effect of cooling water flow rate on Sherwood Number

제 5 장 결 론

전열관 및 관경 변화에 따른 흡수기의 열 및 물질전달 특성 파악을 위한 흡수기 실험 장치를 제작하여, 각각의 평활관(Bare Tube)과 전열촉진관(Corrugated Tube)에 관외직경이 15.88 mm, 12.7 mm, 9.52mm 인 전열관을 사용하여 열 및 물질전달 특성을 조사한 결과 본 실험 조건 범위에서 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

계면활성제를 첨가하지 않은 순수 용액일 경우, 용액 유량이 증가함에 따라 열 및 물질 유속, 총괄열전달 및 물질전달류, 무차원수 Nusselt 및 Sherwood number가 선형적으로 증가하는 경향을 보여 주었다. 본 실험 조건 범위에서 저유량에 비해 고유량으로 갈수록 증가폭이 감소하는 추세를 나타내었고, 전열관경이 작을수록 각 값들이 미소하게 높았으며, Bare Tube에 비하여 Corrugated Tube가 평균 28%정도 높은 치수를 보였다.

계면활성제 미 첨가시 순소 용액에서의 냉각수 유량이 증가함에 따라 열 및 물질전달, 총괄열전달 및 물질전달류가 선형적으로 증가하나 증가폭이 줄어들었고, Nusselt 및 Sherwood number는 미미하게 감소하는 경향을 보여 주었다. 소구경일수록 대략 평균 4~5%정도 전열촉진관일수록 대략 평균 20~30정도 높은 값들을 나타내었다.

참 고 문 헌

1. J. I. Yoon, H. K. Oh, T. Kashiwagi, 1995, "Characteristics of heat and mass transfer for a falling film type absorber with insert spring tubes", Transaction of the KSME, Vol. 19, No. 6, pp 1501~1509
2. J. I. Yoon, T. Kashiwagi, 1994, "Computer simulation of triple absorption cycles", Transaction of the JSME, B, Vol. 60, No. 578, pp 304~309
3. J. I. Yoon, H. K. Oh and T. Kashiwagi, 1995, "Characteristic simulation of the waste-heat utilization absorption cycles", Trans. of the JAR, Vol. 12, No. 1, pp 43~52
4. O. K. Kwon, J. K. Lim, and J. I. Yoon, 2000, "Characteristic of heat and mass transfer on helical absorber using new working fluid", Trans. of the KSME, B, pp. 228~233
5. C. G. Moon, E. P. Kim and J. I. Yoon, 2000, "Analysis of performance in plate absorber", Winter trans. of Sarek, pp 483~488
6. O. K. Kwon and J. I. Yoon, 1999, " Heat and mass transfer of helical absorber on household absorption chiller/heater", Trans. of the Sarek, Vol. 11, No. 5, pp 570~578
7. J. I. Yoon, O. K. Kwon and C. G. Moon, 1999, "Influence of surfactant on heat transfer of air-cooled vertical absorber", Trans. of the Sarek, Vol. 11, No. 6, pp 740~748
8. J. I. Yoon, O. K. Kwon and C. G. Moon, 1999, "Experimental study of heat and mass transfer on an absorber with several

- enhancement tubes", Heat transfer-asian research, Vol. 28, No. 8
9. J. I. Yoon, O. K. Kwon and C. G. Moon, 1999, "Experimental Investigation of heat and mass transfer in absorber with enhanced tubes", KSME International journal, Vol. 13, No. 9, pp 640~646
 10. H. Becker and C.H.M. Machielsen, 1987, "Performance of a compact heat and mass transfer of the plate type as an absorber", XVIIth International Congress of Refrigeration, Proceeding, Wien87, Vol. B, pp 144~109
 11. 川又治, 大谷忠男, 石塚伸明, 宮内徳雄, 1985, "吸収冷凍機の吸収器用高性能伝熱管の開発", 日本電線, No. 8, pp. 57~62
 12. 永岡義一, 西山教之, 鯨坂和浩, 中村誠, 1987, "吸収冷温水機の高性能に関する研究開発(第3報)-吸収器・蒸発器の高性能化-", 東京カス株式會社技術研究所 研究報告, 第31號, pp. 113~128
 13. 永岡義一, 西山教之, 鯨坂和浩, 中村誠, 1987, "吸収冷温水機の高性能に関する研究開発(第3報), Vol. 10, No. 2, pp. 219~226
 14. 藤田撿彦, 1988, "吸収冷凍機・ヒートポンプにおける 流下液膜", 冷凍, Vol. 5, No.1, pp. 15~26
 15. 古川雅裕, 佐木直榮, 金子敏之, 野世溪精, 1993, "吸収冷温水機の吸収器用伝熱促進管", 日本冷凍協會論文集, Vol. 10, No. 2, pp. 219~226.
 16. 古川雅裕, 佐木直榮, 金子敏之, 野世溪精, 1993 "吸収冷温水機の吸収器用伝熱促進管", 日本冷凍協,
 17. 古川雅裕, 佐木直榮, 金子敏之, 野世溪精, 1993, "吸収冷温水機の吸収器用伝熱促進管", 日本冷凍協會論文集, Vol. 10, No. 2, pp. 21

9~226.

18. Kashiwagi, T. 1985, "The activity of surfactant in high-performance absorber and absorption enhancement", *Refrigeration*, Vol. 60, No. 687, pp. 72~79.
19. Hozawa, M., Inoue, M., Sato, J., Tsukada, T., and Imaishi, N., 1991, "Marangoni convection during steam absorption into aqueous LiBr solution with surfactant", *J. Chem. Eng. Jpn.* Vol.24, pp. 209~214.
20. Elkassabgi, Y. M. and Perez-Blanco, H., 1991, "Experimental study of the effects of alcohol additives in lithium bromide/water poll absorbers", *ASHRAE Trans.*, Vol. 97, pp. 403~405.
21. Hihara, E. and Saito, T., 1993, "Effect of surfactant on falling film absorption", *Int. J. Refrig.* Vol. 16, pp. 339~346.
22. Jung, S. H., Sgamboti, C., and Perez-Blanco, H., 1993, "An experimental study of the effect of some additives on falling film absorption", *Proc. Int. Absorption Heat Pump Conf.* Vol. 31, pp. 49~55.
23. Kim, K. J., Berman, N. S., and Wood, B. D., 1993, "Experimental investigation of enhanced heat and mass transfer mechanisms using additives for vertical falling film absorber", *Proc. Int. Absorption Heat Pump Conf.*, Vol. 31, pp. 41~47.
24. Grossman, G., 1983, "Simultaneous Heat and Mass Transfer in Film Absorption under Laminar Flow", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol, 26, No. 3, pp. 357~

371.

25. Vilet, G.G. and Andberg, J.W., 1987, "A Simplified Model for Absorption of Vapors into Liquid Films Flowing Over Cooled Horizontal Tubes", ASHRAE Transactions, Vol.93, Part2.
26. Kashiwagi, T., Kurosaki, Y., Nikai, I., 1984, "Heat and Mass diffusions in the Absorption of Water Vapor by Aqueous solution of Lithium Bromide", Trans. of the JAR, Vol. 1, No. 1, pp. 89~98
27. 설신수, 이상용, 박일석, "수평냉각관 외부를 흘러내리는 LiBr-H₂O 수용액의 흡수에 관한 연구", 공기조화냉동공학회 하계학술발표회 논문집, pp523~528
28. 엄기찬, 柏木孝夫, 서정운, 1993, "수직관내를 흘러내리는 액막식 흡수기의 흡수 및 열전달 특성(제2보, 열전달특성)", 공기조화·냉동공학 논문집, 제5권, 제4호, pp. 257~264.
29. Morioka, I., Kiyota, M. 1989, "Absorption of Water Vapor into a Film of Aqueous Solution of LiBr Falling on Horizontal Pipe", JSME Int. J., Series B, Vol. 55, No. 509, pp. 216~220.
30. Kiyota, M., Morioka, I. Ousaka, A. and Fujikawa, K., 1996, "Steam Absorption into Films of Aqueous Solution of LiBr Flowing over Multiple Horizontal Pipes," Journal of the JSME(B), Vol. 62, No. 598, pp. 2344~2349.
31. Janko Remec, Henrik Gjerkes, Branko Gaspersic, 1996, "Absorption of Vapor into Liquid Film on Horizontal Tubes", ASHRAE Transactions, Vol. 102, Pt. 1, pp. 973~979

32. Deng, S.M., Ma, W.B., 1999, "Experimental Studies on the Characteristics of an Absorber using LiBr/H₂O Solution as Working Fluid", International Journal of Refrigeration, Vol. 22, pp. 293~301.
33. Hoffmann, L, I. Greiter, A. Wagner, V. Weiss and G. Alefeld, 1996, "Experimental investigation of heat transfer in a horizontal tube falling film absorber with aqueous solutions of LiBr with and without surfactants", Int J. Refrig. Vol. 19, No. 5, pp. 331~341.
34. 永岡義一, 西山教之, 鯨坂和浩, 中村誠, 1987, "吸収冷温水機の高性能に関する研究開発(第3報)", Vol. 10, No. 2, pp. 219~226
35. Kawamata, O., Otani, T., Ishitulia, N., Aliyanchi, T., 1985, "Development of High Performance Heat Transfer Tubes for Absorber of Absorption Refrigerator", Hitachi, No.8, pp. 57~62.
36. Kunugi, Y., Usui, S., Ouchi, T., and Fukuda, T., 1985, "Heat Transfer Performance of Absorber of Absorption Refrigerating Machine," Trans. of the JAR, Vol. 2, No. 3, pp. 189~195
37. Yoon, J. I., and Oh, H. K., and Kashiwagi, T., 1995, "Characteristics of Heat and Mass Transfer for a Falling Film Type Absorber with Insert Spring Tubes," Transactions of the KSME, Vol. 19, No. 6, pp. 1501~1509.
38. T. Kashiwagi, Y. Kurosaki and I. Nikai, 1984, "Heat and mass diffusions in the absorption of water vapor by aqueous solution lithium bromide", Transaction of the JAR, Vol. 1,

No.1, pp 89~98

39. E.S. Jeong, 1994, "Approximate solution of absorption process in an air-cooled vertical plate absorber", Trans. of the Sarek, Vol.6, No. 4, pp 453~462
40. L. hoffmann, I. Greiter, A. Wagner, V. Weiss and G. Alefeld, 1996, "Experimental investigation of heat transfer in a horizontal tube falling film absorber with aqueous solutions of LiBr with and without surfactants", Int J. Refrig., Vol. 19, No. 5, pp. 331~341
41. Tsufimori, A., Ozaki, E., Nakao, K, 1999, "Charateristics of absorption heat transfer using LiBr+LiI solution", Trans. of the JSRAE, Vol. 16, No. 1, pp. 67~76
42. Furukawa, M., Sasaki, n., Kaneko, T., Noretani, T., 1993, "Enhanced heat transfer tubes for absorber of absorption chiller/heater", Trans. of the JAR, Vol. 10, No. 2, pp. 219~226
43. H. C. Cho, C. D. Kim, I. S. Kim, C. W. Park, Y. T. Kang, 2002, "Charateristics of absorption heat transfer on micro-scale hatched tubes with different surface roughness", Journal of Air-Conditioning and Refrigeration, Vol. 14, No. 8, pp. 641~647
44. 永岡義一, 西山教之, 鯨坂和浩, 中村誠, 1987, "吸収冷温水機の高性能に関する研究開発(第3報)-吸収器・蒸発器の高性能化-", 東京カス株式会社技術研究所 研究報告, 第31號, pp. 113~128
45. T. Fujita, 1993, "Falling Liquid films in absorption machine" Int. J. Refrig., Vol. 16, No. 4

46. Kawamata, O., Otani, T., Oshitulia, N., Aliyanchi, T., 1989,
"Development of High Performance Heat Transfer Tubes for
Absorber of Absorption Refrigerator", Hitachi, No. 8, pp. 5
7~62

감사의 글

대학 생활 9년, 그리고 연구실 생활 5년이라는 시간이 흘러 드디어 졸업 논문을 마치고 대학원 석사 졸업을 하게 되었습니다. 그 동안 지금의 나를 만들어준 많은 어려움과 좌절, 그 속에서의 기쁨과 우정 등이 저에게 정말 잊을 수 없는 추억이었습니다. 아직 해야 할 일도 부족한 점도 많아 많이 아쉽고 매서운 사회에 나서기가 두렵기도 하지만 지금까지의 경험과 추억, 그리고 우정이 있어 당차며 멋있게 나아갈 수 있을 것 같은 자신감이 생깁니다.

생각 해 보면 지금의 제가 될 수 있기까지 도움과 배려를 주신 많은 분들께 너무나 많습니다. 먼저 지금 제가 있게 해 주신 제가 가장 존경하는 저의 은사님이신 윤정인 교수님께 진심으로 감사를 드립니다.

그리고 바쁘신 와중에도 본 논문을 심사해주시고 지도편달 및 유익한 조언을 해 주시어 본 논문의 완성도를 높여 주신 오후규 교수님, 김종수 교수님, 금종수 교수님, 김영수 교수님, 최광환 교수님, 정석권 교수님, 김은필 교수님께도 깊은 감사를 드립니다.

항상 곁에서 많은 지도를 해주신 동명대학 김재돌 교수님, 설원실, 한인근, 최인수, 신진규선배님 및 ENSYS 모든 회원님께 깊은 감사를 드립니다. 물신양면으로 많은 힘을 주신 강기철이사님, 많은 신경을 써 주신 존경하는 큰형님 춘근이형, 자상하시며 항상 뒤에서 보살피 주신 승문이형, 힘들때나 슬플때나 언제나 든든한 나의 후원자인 호생형, 영원한 나의 편이라며 항상 챙겨준 병지니형, 동거동락을 같이 한 내 친구 경현, 친동생 같은 동훈, 연구실의 살림꾼인 광배와 철호, 힘든 일 도맡아 하는 연구실 막내 병주에게 진심으로 감사를 드립니다.

또한 지금은 졸업하여 연구실이 있진 않지만 항상 많은 관심과 도움을 주신 성호형, 동휘형, 용식이형, 기석이형, 동안이형, 기석이형에게 진심으로 감사드립니다.

마지막으로 저를 낳아주시고 지금까지 많은 희생을 감수하시며 뒷바라지해 주신 사랑하는 부모님, 많은걸 희생하는 우리집 기둥인 우리형, 그리고 누나, 나를 사랑해주는 그대와 그리고 영원한 나의 동지인 나의 초등학교, 고등학교, 대학 친구들에게 머리 숙여 감사드리며 도움을 주신 모든 분들에게 이 작은 결실을 바칩니다.