<학술논문> **DOI http://dx.doi.org/10.3795/KSME-B.2011.35.12.1367** ISSN 1226-4881

# 천연혼합냉매를 이용한 압축/흡수식 고온히트펌프의 실험적 연구§

김지영*· 박성룡*· 백영진*· 장기창*· 나호상*· 김민성*†· 김용찬**
* 한국에너지기술연구원 신재생에너지연구본부, ** 고려대학교 기계공학과

# Experimental Study on Compression/Absorption High-Temperature Hybrid Heat Pump with Natural Refrigerant Mixture

Jiyoung Kim*, Seong-Ryong Park*, Young-Jin Baik*, Ki-Chang Chang*,
Ho Sang Ra*, Minsung Kim*† and Yongchan Kim**
*New and Renewable Energy Department, Korea Institute of Energy Research,
** Dept. of Mechanical Engineering, Korea Univ.

(Received May 16, 2011; Revised September 27, 2011; Accepted October 4, 2011)

**Key Words** : Natural Refrigerant Mixture(천연혼합냉매), Compression/Absorption(압축/흡수), Hybrid Heat Pump(하이브리드 히트펌프), Absorber(흡수기), Desorber(재생기)

**초록**: 본 연구에서는 천연냉매를 적용한 압축/흡수식 하이브리드 고온제조 히트펌프를 실험적으로 연구한 결과를 제시하였다. 압축/흡수식 히트펌프는 기존의 증기압축 히트펌프에 비해 고온영역을 포함한 넓은 생산 온도범위, 높은 승온기능, 다양한 용량 제어방법 등 여러가지 장점을 가지고 있다. 제작된 하이브리드 히트펌프는 현재 실제 산업현장에 적용하기 이전의 초기 시제품 단계로 실험실에 설치하여 운전하였으며, 주요 구성부품으로는 이단압축기, 흡수기, 재생기, 과열냉각기, 용액 열교환기, 용액펌프, 기액분리기/정류기 등이다. 성능실험에서 50℃의 열원을 고온 및 저온열원으로 사용한 결과 90℃ 이상의 고온수 토출과 10 kW급의 난방 용량을 얻을 수 있었다. 혼합냉매의 성분비 변화에 따른 압축기/펌프 유량의 순환비 변화 및 다양한 성능변화를 실험적으로 관찰하였으며, 시스템의 효율과 용량에 있어 최적 성분비가 존재함을 확인하였다.

**Abstract**: This research concerns the development of a compression/absorption high-temperature hybrid heat pump that uses a natural refrigerant mixture. Heat pumps based on the compression/absorption cycle offer various advantages over conventional heat pumps based on the vapor compression cycle, such as large temperature glide, temperature lift, flexible operating range, and capacity control. In this study, a lab-scale prototype hybrid heat pump was constructed with a two-stage compressor, absorber, desorber, desuperheater, solution heat exchanger, solution pump, liquid/vapor separator, and rectifier as the main components. The hybrid heat pump system operated at 10-kW-class heating capacity producing hot water whose temperature was more than 90°C when the heat source and sink temperatures were 50°C. Experiments with various $NH_3/H_2O$ mass fractions and compressor/pump circulation ratios were performed on the system. From the study, the system performance was optimized at a specific $NH_3$ concentration.

- 기호설명 -

CR : 순환비(circulation ratio)
$\dot{m}$ : 질량유량(kg/s)
$Q$ : 열량(kW)
$T$ : 온도(℃)

하첨자

comp : 압축기
in : 입구
out : 출구
ws : 희용액
vap : 냉매증기
abs1 : 흡수기 1번
abs2 : 흡수기 2번

§ 이 논문은 2011 년도 대한기계학회 열공학부문 춘계학술대회(2011. 5. 12.-13., 롯데부여리조트) 발표논문임
† Corresponding Author, minsungk@kier.re.kr
© 2011 The Korean Society of Mechanical Engineers

tot : 총량

## 1. 서 론

현재 우리나라에서 소비되는 에너지원의 대부분을 수입에 의존하고 있으며 새로운 에너지원 개발과 함께 기존 시스템의 효율향상, 미활용 에너지원의 이용기술 등 다양한 분야의 연구가 필요한 시점이다. 특히 산업분야에서 활용되지 못하고 외부로 배출되는 폐열이 다량 존재하는 것으로 조사되고 있다. 이 중 50℃ 이상의 중고온인 경우 간단한 폐열회수 열교환기를 사용함으로써 일부를 회수할 수가 있으나 50℃ 이하의 저온 폐열인 경우 주변 공정에 다시 사용하기에는 온도가 낮아, 재사용을 위해서는 적절한 고온으로 승온이 이루어져야 한다. 이와 관련된 선행 연구결과를 살펴보면 저온 폐열을 히트펌프로 승온할 경우 효율측면에서 유리하지만 연소식 보일러에 비해 고가이고 복잡한 구조로 인하여 보급이 더딘 편이다.[1,2] 그러나 이러한 제약에도 불구하고 산업용 히트펌프를 설치하기 위한 노력이 계속되고 있는데 그 이유는 에너지절약 때문만이 아니라 공정의 제어를 좋게 하고, 배출열의 온도를 낮춤으로써 주변 환경적 영향을 최소화하여 환경 관련 비용을 절감할 수 있으며, 냉각수이용 측면에서 유리하기 때문이다. 뿐만 아니라 공정에 사용되는 히트펌프인 경우 계절에 따라 운전율이 크게 변화하는 건물 냉난방용과는 달리 상시 운전율이 높아 투자비용 회수 기간이 짧아 경제성이 비교적 유리하다.

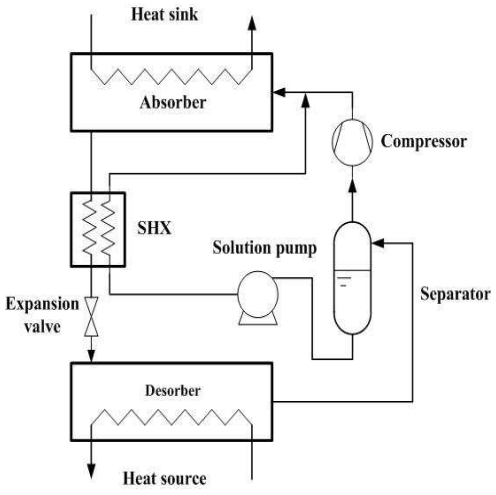


**Fig. 1** Schematic diagram of $NH_3/H_2O$ compression/absorption hybrid heat pump

본 연구에서는 산업체에 다량으로 분포하고 있는 50℃이하 수준의 저온 폐열을 효과적으로 회수하여 90℃이상의 고온수로 생산하는 것을 목표로 하는 히트펌프를 실험실 규모로 제작하여 성능실험을 수행하였다.

현재 실험용 시제품은 증기압축식과 흡수식 사이클을 상호 보완한 하이브리드 사이클을 기본으로하여 냉매는 친환경 자연냉매인 암모니아/물 혼합냉매를 적용하였으며 히트펌프의 온수용량은 10 kW 급으로 열원온도는 50℃, 공급온도는 90℃으로 설계하였고 다양한 성능실험을 통하여 운전특성을 확인하는 연구를 진행중에 있다.[2]

## 2. 압축/흡수식 하이브리드 히트펌프

증기압축식 히트펌프 사이클과 흡수식 사이클 방식은 다양한 영역에서 적용되고 있으나, 시스템의 제한적인 특성으로 인해 적용영역은 좁은 편이다. 또한 승온 온도의 한계, 유동적이지 못한 운전범위, 용량제어 한계 및 순수냉매를 사용하는 압축식 히트펌프 사이클인 경우 응축이나 증발시 작동유체간의 온도구배 차이에 의한 열교환성능 저하, 흡수식 사이클의 낮은 성능계수 등이 있다. 이 같은 약점을 해소하고 기존 사이클의 단점을 보완하려는 목적으로 두 개념이 결합된 하이브리드 사이클이 제안되었다. 기존 연구로는 기본 하이브리드 사이클에 대한 연구부터[3] 흡수기와 재생기간의 내부열교환을 통하여 압축기 효율향상을 도모할 수 있는 내부열교환식(DAHX, Desorber-Absorber Heat eXchange) 하이브리드 사이클에 대한 연구[4] 등 다양한 형태로 연구가 수행되고 있다.

Fig. 1은 압축/흡수식 하이브리드 히트펌프 시스템의 개념도이다. 암모니아 수용액은 상변화에 따른 온도차이가 높아서 냉매와 2차유체가 흡수기와 재생기를 통과하는 과정에서 온도변화가 크게 일어난다. 재생기에서는 암모니아 농용액이 저온저압으로 팽창된 이후 0.25 정도의 저건도 영역에서 증발과정이 시작되며, 이후 열을 흡수하면서 건도 0.5 주변까지 도달하게 된다. 증발과정에서 온도가 상승하게 되는데, 대부분 암모니아 기체가 분리되는 과정이다. 흡수기 전단의 희용액과 냉매증기의 혼합과정에서 고온의 반응열이 발생하고 흡수기 내부에서 발생한 열의 방출에 따른 응축과 흡수가 동시에 일어나게 된다. 흡수기와 재생기의 상변화 열교환 과정은 등온과정이 아닌 온도구배가 있는

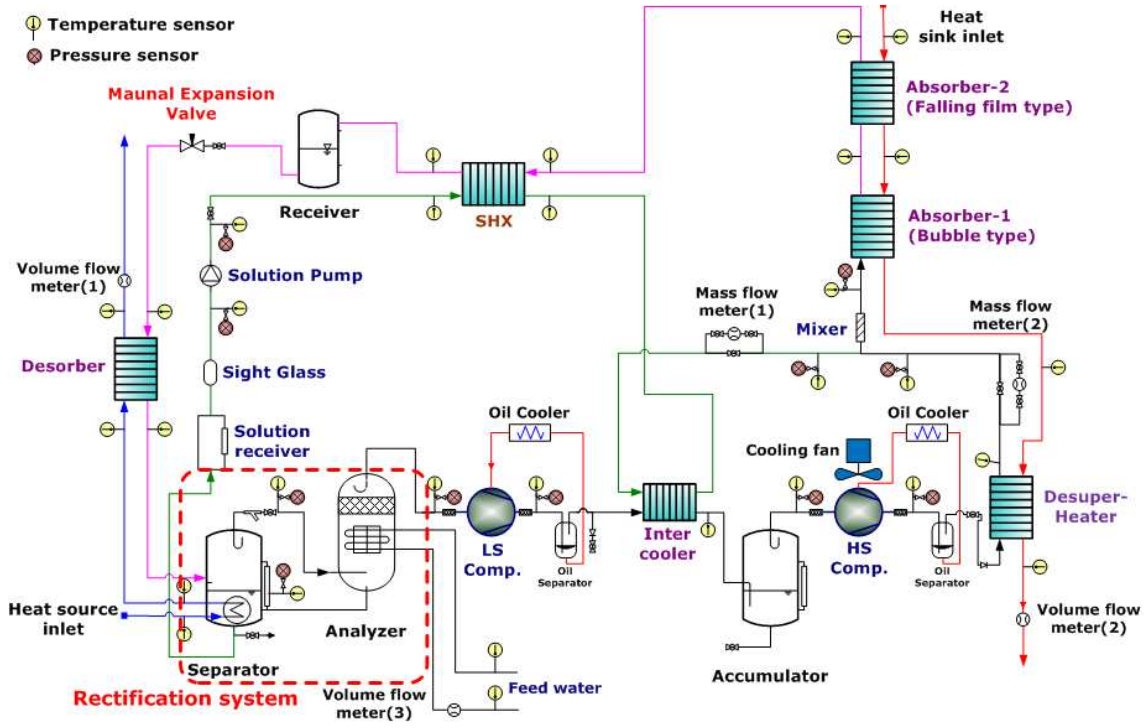


**Fig. 2** Schematic diagram of compression/absorption high temperature hybrid heat pump

변온과정이며 냉매측 온도구배와 열원 및 열침의 온도구배를 매칭시킴으로써 이상적인 로렌츠 사이클(Lorentz cycle)에 접근 할 수 있다. 이는 열교환기의 비가역적 손실을 줄이고 열교환 효율을 증가시켜 히트펌프의 성능계수를 증가시키는 요인이 된다. 추가적으로 흡수기에서 토출되는 포화상태의 농용액과 용액펌프에서 재생기로부터 펌핑되는 희용액이 용액열교환기(SHX, Solution Heat eXchanger)에서 열교환되어 농용액은 과냉 상태가 되고 희용액은 예열되어 흡수기 입구에서 좀 더 높은 온도를 얻을 수 있다. 또한 압축기 전단에는 기액분리기를 설치하여 상단에서 배출되는 암모니아 기체는 압축기에서 고온고압 상태로 압축되고, 하단의 저농도의 희용액는 고양정 왕복동식 용액펌프에 의해 가압되어 순환한다.

## 3. 실험장치 및 실험방법

### 3.1 실험장치의 개요

Fig. 2는 하이브리드 히트펌프 실험장치의 흐름도를 보여주고 있다. 암모니아 압축시 고온토출에 의한 냉동유 탄화현상이 발생하는데, 토출온도를 낮추기 위하여 2단 압축시스템으로 설계하였다. 저단(LS, Low-pressor Stage) 및 고단(HS, High-pressure Stage) 압축기는 모두 암모니아용 개방형 압축기로 체적비 3:1로 선정하였다. 흡수기와 재생기는 니켈브레이징(Nickel-brazed) 판형열교환기를 사용하였다. 흡수기에서는 냉매의 열방출에 따라 암모니아 기체가 희용액에 흡수가 원활하게 발생하는 것이 중요한데, 이를 위하여 2개의 판형열교환기를 사용하였다. 이에 1번 흡수기는 열교환기 하단부로 희용액과 냉매증기가 혼합되어 상향유동에서 흡수가 발생하는 기포형(bubble type)으로, 2번 흡수기는 하향유동의 유하액막형(falling-film type)으로 구성하였다. 재생기 입구의 농용액의 온도를 감소시키고 희용액에 온도를 증가시키기 위한 용액열교환기와 중간냉각기(intercooler)를 설치하였다. 또한 압축기인 경우 토출온도의 상승을 억제하기 위한 헤더 상부에 냉각팬을 설치하였으며 용액펌프는 고압의 양정에 견딜 수 있는 다이어프램(diaphragm) 왕복동식의 정량펌프를 적용하였다. 기액분리기/애널라이저는 스테인리스강(SUS-304) 재질로 자체 제작하여 사용하였으며 흡수기와 재생기에 흐르는 2차유체는 대향류로 유로가 형성되도록 하였다. 재생기 2차측 유로는 기액분리기 하단 내부열교환기를 통과하여 하단의 희용액과 일차적으로 열교환할 수 있도록 구성하였다.[5,6]

### 3.2 실험방법

실험방법은 기액분리기(separator) 하단의 희용액

농도를 기준으로 초기 저농도 상태에서 암모니아 기체를 일정 주기로 시스템에 충전하여 조성비 변화에 따라 시스템 성능과 운전 현상을 파악해보았으며 희용액의 성분비와 압축기/펌프의 냉매 질량 순환비에 따라 실험하였다. 암모니아/물의 혼합냉매 성분비는 하이브리드 히트펌프에서 중요한 성능인자로 전체 냉매의 질량에 대한 암모니아의 질량비를 나타내는 값을 의미한다.

그러나 실제 시스템의 운전됨에 따라 각각의 부속기기 농도는 변하게 되며 열을 방출하는 흡수기의 입구는 압축기에서 토출된 암모니아 기체와 용액펌프를 통과하는 희용액과의 유량비, 즉 순환비(circulation ratio)에 의해 농도 및 순환유량이 변하게 된다. 실제 흡수기에서 형성되는 고온수준이나 열용량은 순환비에 의해 큰 영향을 받게 되는데, 이러한 순환비는 다음과 같이 정의 할 수 있다.[7]

$$CR = \frac{\dot{m}_{ws}}{\dot{m}_{vap}} \quad (1)$$

실험조건은 흡수기 및 재생기의 2차 유체 입구 조건을 일정하게 유지하였으며 흡수기인 경우 2차 측 물 입구온도 50℃, 유량 0.250 $m^3/h$, 재생기는 물 입구온도 50℃, 유량 0.300 $m^3/h$로 고정하였다. 압축기와 펌프는 인버터를 설치하여 저단 압축기는 45 Hz, 고단 압축기는 36 Hz, 용액펌프는 5 Hz로 일정하게 유지하여 실험을 수행하였다. 암모니아 농도는 정지상태에서 기액분리기의 하단의 암모니아 희용액 농도를 나타낸다. 0.20의 낮은 성분비에서 시작하여 암모니아를 기액분리기에 주입하여 성분비를 0.44까지 상승시키며 실험하였다. 암모니아 성분비가 상승함에 따라 압축기 전반부의 압력변화가 발생하는데, 이에 의해 순환비의 변화는 0.9~2.2의 범위에서 실험할 수 있었다. Table 1은 전체적인 실험조건을 표로 나타내었다.

**Table 1** Experimental condition

| *Item* | *Unit* | *Value* |
|---|---|---|
| LS compressor speed | Hz | 45 |
| HS compressor speed | Hz | 36 |
| Solution pump speed | Hz | 5 |
| Absorber water flow rate | $m^3/h$ | 0.250 |
| Absorber water inlet temperature | ℃ | 50 |
| Desorber water flow rate | $m^3/h$ | 0.300 |
| Desorber water inlet temperature | ℃ | 50 |
| NH3 mass fraction* | % | 0.20~0.44 |
| Circulation ratio, CR | - | 0.9~2.2 |

* Concentration of NH3/H2O weak solution in the separator at turned-off state

## 4. 실험결과 및 고찰

Fig. 3은 Fig. 2의 전체 실험장치도에서 정류시스템(rectification system)의 세부사항을 나타내었다. 실험 초기에는 하부에 가열부가 설치된 기액분리기만으로 실험을 수행하였는데, 압축기로 희용액의 일부가 액적(mist) 상태로 흡입되는 것을 관찰하였으며, 추후 이를 방지하기 위해 기액분리기 출구에 수분 응축을 위한 냉각코일이 포함된 애널라이저(analyzer)를 추가 설치하여 정류시스템을 완성하였다. 이를 통해 압축기 입구의 암모니아 기체 순도를 고농도로 유지할 수 있었다. Fig. 4는 기액분리기 및 정류기 내부 냉매 상태를 나타낸 온도-성분비 그래프로서 재생기 출구의 기액분리된 용액의 농도는 2번에서 1번 상태로 움직인다. 냉매증기 측은 기액분리기 출구 내부에 애널라이저를 설치함으로써 상태는 3에서 4로 이동하여 정류기 내부 냉매증기의 암모니아 순도가 증가되는

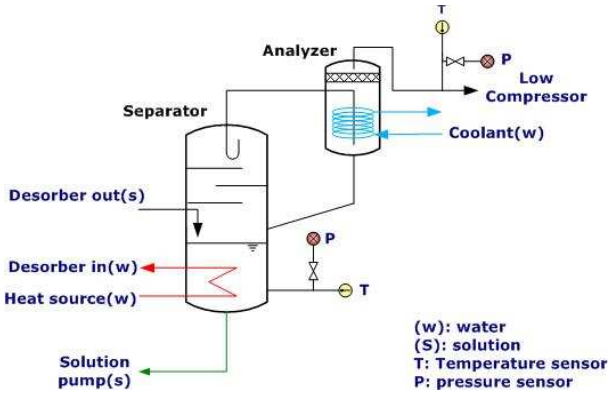


**Fig. 3** Schematic diagram of rectification system

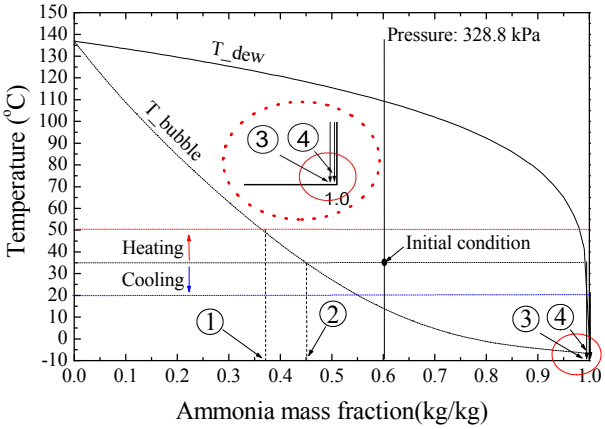


**Fig. 4** Temperature-composition of ammonia/water mixture in the separator and analyzer

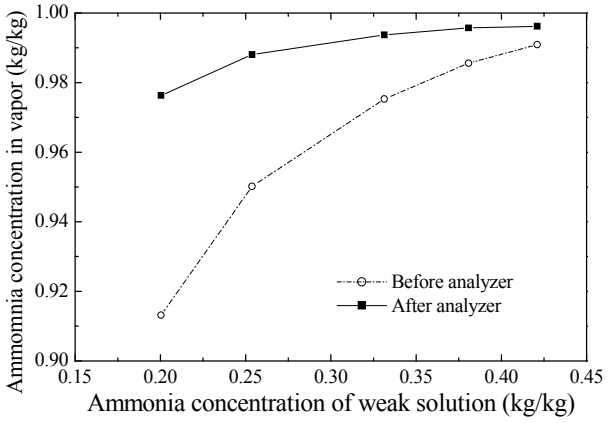


**Fig. 5** Vapor concentration at compressor inlet as a function of the weak solution concentration

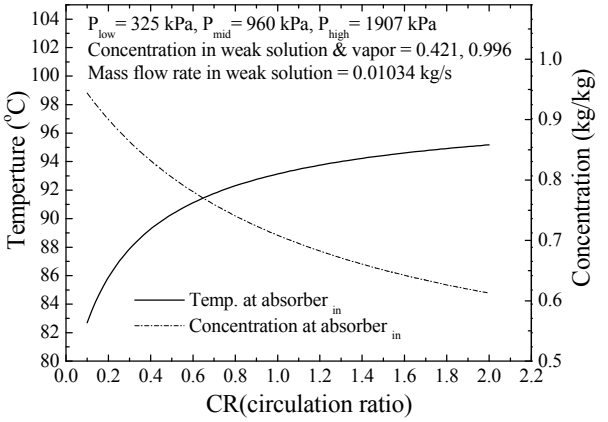


**Fig. 6** Temperature and concentration in the weak solution as a function of the circulation ratio

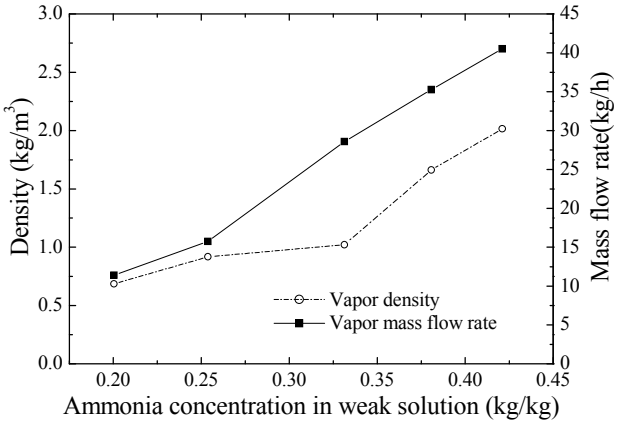


**Fig. 7** Density and mass flow rate at $comp_{in}$ as a function of the ammonia concentration in weak solution

것을 알 수 있다.

Fig. 5는 애널라이저의 냉각코일 입구 냉각수 온도가 약 15℃이고 기액분리기 하부 가열코일에 가

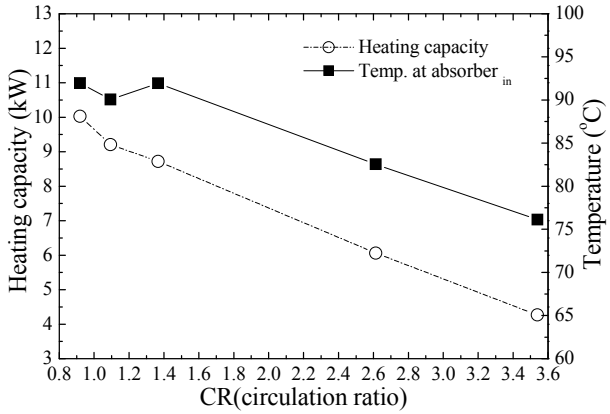


**Fig. 8** Heating capacity and Temperature at absorber inlet as a function of the circulation ratio

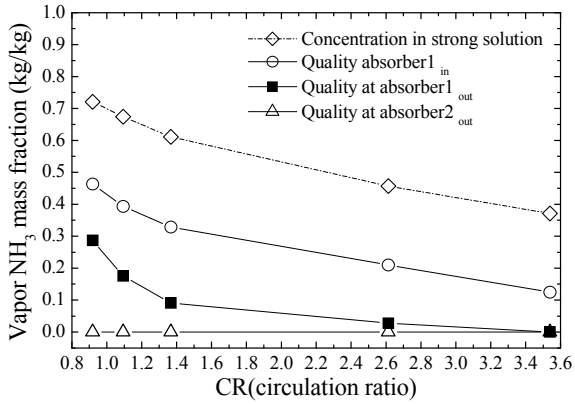


**Fig. 9** Quality and concentration at absorber as a function of the circulation ratio

열수 온도는 약 50℃일 때 기액분리기/정류기 내부에서 농용액에서 희용액과 냉매증기로 분리 과정을 나타낸 그래프이다. 정류과정을 통해 냉매증기의 농도가 증가함을 알 수 있으며 특히 희용액의 농도가 0.42 이상일 경우 냉매증기의 농도는 0.995이상의 순도를 확보할 수 있는 반면 저농도 운전시 정류과정을 통하여서만 고순도의 냉매증기를 발생시킬 수 있음을 예측할 수 있다.

Fig. 6은 Baik et al.(2004)의 모델에 의해 순환비에 따른 흡수기 입구 혼합 후 생성온도 및 농도를 예측한 그래프이다.[(2)] 실제 희용액의 유량은 펌프의 회전수에 따라 일정하게 유지되며 희용액의 유량을 일정하게 고정하였을 때의 예측 결과값이다. 혼합 전 희용액의 온도는 75.9℃, 냉매증기의 온도는 80.0℃이며 순환비가 증가함에 따라 혼합 후 온도가 증가함을 알 수 있으며 농도는 반대로 감소한다. 실제 혼합후의 온도는 혼합전의 온도보다

높은데 이는 암모니아와 물의 혼합시 발열반응 때문이다. 주지할 사항은 순환비의 증가에 따라 생산온수의 온도는 증가하나 순환유량이 감소로 인해 전체열량은 감소한다. 이는 농도조건에서 가장 좋은 성능을 보이는 순환비가 존재한다는 것을 의미한다.

Fig. 7은 기액분리기 하부 희용액 농도 변화에 대한 압축기 입구 냉매증기의 밀도 및 질량유량 변화량에 관한 그래프이다. 희용액의 농도가 증가할수록 압축기 입구압력이 상승하고 냉매증기 밀도가 증가하여 압축기 체적용량이 증가한다.

Fig. 8은 순환비에 따른 흡수기에서의 난방용량 및 흡수기입구의 온도를 나타낸 것으로 0.9 부근에서 최대용량과 최대온도가 구현 되는 것을 알 수 있었다. 이 때, 흡수기 출구의 2차유체인 물온도는 88℃가 얻어졌으며, Fig. 2의 과열냉각기(desuperheater)를 통과할 때 90℃ 이상의 온수온도를 획득하였다. 그러나 기존 문헌의 결과에 비추어 볼 때 추가적인 암모니아 농도 상승시에는 용량은 증가하나 생산온도는 오히려 감소할 수 있음을 예측할 수 있다.[4] 실제 실험에서 0.9 이하의 실험에서는 시스템 고압이 2,000 kPa를 초과하게 되어 설계상의 안전율을 초과하여 추가실험은 진행하지 않았다.

Fig. 9는 순환비에 따른 흡수기 1, 2 주변 건도 및 농도 변화를 보여주고 있다. 흡수기의 내부는 희용액에 냉매증기의 흡수반응 과정으로 완전히 흡수가 일어나면 흡수기 최종 출구에는 건도는 0이 된다. 순환비가 2.6인 경우 이미 1번 흡수기에서 흡수반응이 대부분 마무리되어 2번 흡수기는 20% 이하의 부하를 담당하였으며, 순환비가 3.5에 도달하면 2번 흡수기에서는 거의 흡수 반응이 일어나지 않는 것으로 확인할 수 있었다. 입구 암모니아 농도가 낮아 흡수할 암모니아의 비율이 상대적으로 적기 때문이다. Fig. 10은 순환비에 따른 흡수기 1, 2의 발생 열량 비율을 나타낸 것으로 Fig. 9에 나타나 결과와 비슷한 경향을 나타내며 순환비가 3.5와 2.6인 경우 전체 발생열량의 대부분이 흡수기1에 집중되며 생산열량이 설계용량에 1/2수준에 불과하다. 순환비가 1.0 전후로 흡수기1, 2의 열전달량이 역전되는 것을 관찰할 수 있는데 기체유량이 많아 유하액막조건에서 흡수가 더 많이 발생하기 때문이다.[8,9] 이는 순환비의 설정에 있어 중요한 점을 시사하는데, 두 개의 흡수기 중 한쪽에 용량이 편중될 경우 실제 흡수기의 용량보다 낮은 난방용량을 얻게 된다. 두 열교환기에서의

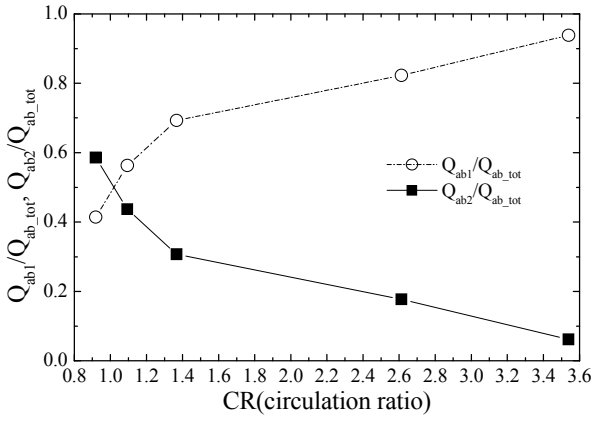


**Fig. 10** Heating capacity ratio at absorber as a function of the circulation ratio

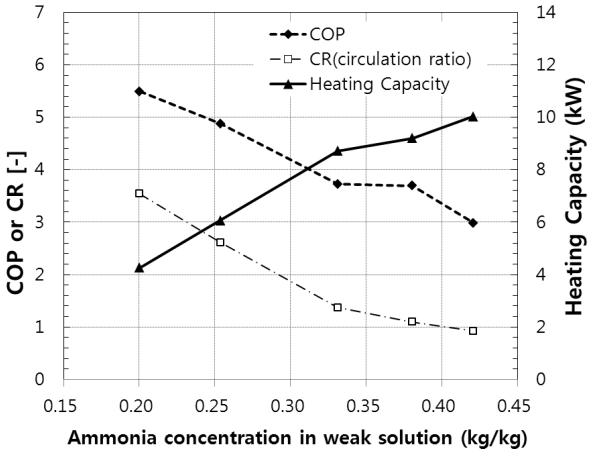


**Fig. 11** Performance parameters as a function of the ammonia concentration in weak solution

용량이 비슷할 경우, 비로소 높은 용량을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

Fig. 11은 희용액의 암모니아 농도에 따른 COP, 순환비, 난방용량을 나타내었다. Fig. 8에서와 같이 암모니아의 농도가 낮을수록 생산온도가 낮아지게 되는데, 이는 재생기와 흡수기의 평균온도차가 낮아져서 Fig. 11에서와 같이 COP가 개선되는 것으로 이해할 수 있다. 반대로 암모니아의 농도가 증가할수록 토출온도가 상승하지만 COP가 낮아지는 것을 알 수 있다. 순환비는 농도가 증가할수록 떨어지는 것을 알 수 있는데, 이는 암모니아의 농도가 높아질수록 전단압력이 상승하여 압축기의 체적용량이 증가하게 되면서 순환비가 감소하게 되는 것을 알 수 있다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 산업공정에서 배출되는 중저온 폐열을 고온으로 재활용하기 위하여 압축/흡수 개념을 통합한 하이브리드 히트펌프 연구를 수행하였다. 암모니아/물 혼합냉매를 이용하였으며, 실험실 규모의 실험을 통하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

정류시스템으로 기액분리기와 애널라이저를 함께 설치함으로써 압축기 입구의 암모니아 농도를 0.99 이상으로 유지하고 수분유입을 최대한 방지할 수 있었다. 압축기 입구에서의 암모니아 순도 0.01이하의 적은 변화에도 성능변화가 클 수 있으며, 희용액의 암모니아 농도가 낮은 경우 압축기에 액압축을 방지하기 위하여 애널라이저 입구 냉각수 온도가 충분히 낮아야 한다.

최종 설계온도 및 용량을 달성하기 위한 인자로는 초기에 충전된 암모니아 농도가 매우 중요하였다. 실험에서 토출온도를 올리기 위하여는 암모니아 성분비를 적정선 이상으로 높이는 것이 중요하였는데, 성분이 증가할수록 흡수기 입구의 혼합온도가 상승하여 2차유체 출구온도도 높아졌다. 실험결과 열원온도 50℃ 조건으로 희용액에서 암모니아의 성분비가 0.421, 흡수기의 입구 순환비 약 0.9일 때 설계치인 용량 10 kW, 2차유체 출구온도가 90℃에 도달하였다.

암모니아 농도에 따라 순환비가 크게 변하였으며, 흡수기에서의 열교환 성능 또한 크게 차이나는 것을 알 수 있었다. 순환비가 2.6 이상일 경우 2번 흡수기 용량이 전체 흡수기 용량의 20% 이하로 낮아졌다. 순환비가 1에 접근할수록 전체적인 흡수반응이 활발히 일어나서 흡수기 용량이 증가하였다. 순환비가 높을 경우 생산온도는 낮았으나 희용액의 양이 상대적으로 증가하여 작은 용량의 흡수기로도 충분한 흡수가 이루어졌다.

## 후 기

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20102010101051)

## 참고문헌

(1) Kim, M., Baik, Y.-J., Shin, K.-H., Park, S.-R., Chang, K.-C., Lee, Y.-S. and Ra, H.-S., 2006, “Development of a Compression/absorption Hybrid Heat Pump System Using NH3/H2O Mixture for High Temperature Generation,” *Proc. of the SAREK 2007 Summer Annual Conference*, pp.1249~1254.

(2) Baik, Y.-J., Park, S.-R., Chang, K.-C. and Ra, H.-S., 2004, “Simulation of Compression/absorption Hybrid Heat Pump System using Industrial Wastewater Heat Source,” *Korean J. of Air- Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol.16, No.12 , pp.1117~1126.

(3) Baik, Y.-J., Park, S.-R., Kim, S.-J., Chang, K.-C. and Ra, H.-S., 2005, “Evaluation of DAHX Cycle in a Hybrid Heat Pump Hot Water Maker,” *Proc. of the SAREK Summer Annual Conference*, pp.159~165.

(4) Åhlby, L., Hodgett, D. and Berntsson, T., 1991, “Optimization Study of the Compression/absorption Cycle,” *Int. J. Refrig*., Vol.14, pp. 16~23.

(5) Kim, J., Kim, M., Baik, Y.-J., Park, S.-R., Chang, K.-C., Ra, H.-S. and Kim, Y.-C., 2010, “Experimental Study on the Operating Characteristic of Compression/ Absorption Hybrid Heat Pump System Over Composition of Mixtures,” *Proc. of the SAREK 2010, Summer Annual Conference*, pp.855~860.

(6) Kim, J., Kim, M., Baik, Y.-J., Park, S.-R., Chang, K.-C., Ra, H.-S. and Kim, Y.-C., 2010, “Experimental Study on the Operating Performance of a 10kW-Class Compression/ Absorption Hybrid Heat Pump System,” *Proc. of the KSME 2010, fall Annual Conference*, pp.2647~2652.

(7) Nordtvedt, S.R., 2005, “Experimental and theoretical study of a compression/absorption heat pump with ammonia/water as working fluid,” Ph. D. dissertation, *Norwegian University of Science and Technology*, Kjeller, Norway

(8) Kim, J., Kim, M., Baik, Y.-J., Park, S.-R., Chang, K.-C., Ra, H.-S. and Kim, Y.-C., 2010, “Experimental Study to Optimize Absorber of Compression/Absorption Heat Pump Using NH3/H2O Mixture,” *Proc. of the KSME 2010, Spring Annual Conference*, pp.377~383.

(9) Kim, J., Kim, M., Baik, Y.-J., Park, S.-R., Chang, K.-C., Ra, H.-S. and Kim, Y.-C., 2011, “Experimental Study on Optimization of Absorber Configuration in Compression/ Absorption Heat Pump with NH3/H2O Mixture,” *Trans. of the KSME (B)*, Vol. 35, No. 3, pp. 229~235.