

NH₃/H₂O 혼합냉매를 사용한 압축/흡수식 히트펌프 시스템의 흡수기 최적화에 관한 실험적 연구[§]

김지영*, 김민성*, 백영진*, 박성룡†, 장기창*, 나호상*, 김용찬**

* 한국에너지기술연구원태양열지열연구센터, ** 고려대학교기계공학과

Experimental Study on Optimization of Absorber Configuration in Compression/Absorption Heat Pump with NH₃/H₂O Mixture

Jiyoung Kim*, Minsung Kim*, Young-Jin Baik*, Seong-Ryong Park†, Ki-Chang Chang*, Ho-Sang Ra* and Yongchan Kim**

* Solar Thermal and Geothermal Research Center, Korea Institute of Energy Research,

** Dept. of Mechanical Engineering, Korea Univ.

(Received May 26, 2010 ; Revised December 29, 2010 ; Accepted January 5, 2011)

Key Words: NH₃/H₂O Mixture(암모니아/물혼합물), Hybrid Heat Pump(하이브리드히트펌프), Compression/Absorption (압축/흡수), Absorber(흡수기), Desorber(재생기)

초록: 본 연구는 암모니아/물 혼합냉매를 이용한 압축/흡수식하이브리드 히트펌프 개발에 관한 연구이다. 히트펌프 사이클은 증기압축식과흡수식을 혼합한 개념으로 이단압축기, 흡수기, 재생기, 과열냉각기, 용액열교환기(SHX), 용액펌프, 정류기, 기액분리기 등으로 구성되어 있다. 압축/흡수식 히트펌프는 상변화 열교환과정에서 높은 온도구배를 이용하여 90℃ 이상의 고온을 제조하기 위한 목적으로 고안되었다. 특히 흡수기에서의 응축과정은 비열변화로 인하여 온도변화에 비선형성이 뚜렷한데, 시스템 성능 최적화를 위하여는 흡수기의 설계가 중요하다. 본 연구에서는 다수의 판형열교환기로 흡수기를 구성하였는데 열교환기의 용량, 형태, 배치에 따른 성능특성을 실험적으로 관찰하였다.

Abstract: This research aims to develop a compression/absorption hybrid heat pump system using an NH₃/H₂O as working fluid. The heat pump cycle is based on a combination of compression and absorption cycles. The cycle consists of two-stage compressors, absorbers, a desorber, a desuperheater, solution heat exchangers, a solution pump, a rectifier, and a liquid/vapor separator. The compression/absorption hybrid heat pump was designed to produce hot water above 90°C using high-temperature glide during a two-phase heat transfer. Distinct characteristics of the nonlinear temperature profile should be considered to maximize the performance of the absorber. In this study, the performance of the absorber was investigated depending on the capacity, shape, and arrangement of the plate heat exchangers with regard to the concentration and distribution at the inlet of the absorber.

1. 서론

최근 세계적으로 급격히 에너지 소비가 증가하고 있음에 따라, 현재 소비되는 에너지원의 대부분을 수입에 의존하는 우리나라는 새로운 에너지원 개발과 함께 기존 시스템의 효율향상, 미활용

에너지원의 이용기술 등 다양한 분야의 연구가 이루어지고 있다. 특히 산업분야에서 미활용되고 있는 배열 및 폐열이 많이 존재한다. 이중에 중고온으로 배출되는 폐열인 경우 구조가 간단한 폐열회수 열교환기를 사용함으로써 일부를 회수할 수가 있지만 50℃ 이하의 저온폐수인 경우 공정에 재사용을 위하여는 적절한 승온이 이루어져야 활용이 가능하다. 많은 연구에서 저온의 폐열은 히트펌프를 이용할 경우 효율측면에서 매우 유리한 것으로 알려져 있다. 다만 단순 보일러와 같은 열공급장치에 비해 고가이고 복잡한 구조로 인하여 히트펌프

§ 이 논문은 2010년도 대한기계학회 열공학부문 춘계학술대회 (2010. 5. 13.-14., 전북대) 발표논문임.

† Corresponding Author, srpark@kier.re.kr

© 2011 The Korean Society of Mechanical Engineers

의 설치에 일부 제약이 따른다. 이와 같은 제약에도 불구하고 산업용 히트펌프를 설치하는 이유는 단순히 에너지절약 때문만이 아니라, 공정의 제어를 좋게 할 수 있고, 배출물의 오염감소, 폐열의 온도저감 및 냉각수이용의 절감 등과 같은 장점이 있기 때문이다. 또한 공정에 사용되는 히트펌프의 경우는 냉난방용과는 달리 연중 운전됨에 따라 운전율이 높아 단기간에 경제성을 확보할 수 있다.

또한 정책적으로도 고유가 시대와 온실가스저감에 대한 국제적인 관심을 반영할 수 있도록 버려지고 있는 폐열회수 이용에 많은 관심을 가지고 있다.

본 연구에서는 이와 같이 산업체에 다량으로 분포하고 있는 저온 폐열을 효과적으로 회수, 활용하기 위한 방안으로 증기 압축식과 흡수식 사이클을 상호 보완한 하이브리드 히트펌프 개발에 관한 기초연구를 수행하고 있으며 특히 히트펌프 시스템의 여러 주요 부분 중 열원을 공급하는 흡수기의 최적화에 대한 실험적 연구를 수행하였다.^(1,2)

2. 압축/흡수식 하이브리드 히트펌프

2.1 시스템의 개요

현재 보편화된 히트펌프 기술은 크게 증기 압축식과 흡수식으로 나눌 수 있다. 하이브리드 사이클은 증기압축식과 흡수식 사이클의 단점들을 보완할 수 있는 사이클로 보통 용액순환부를 가진 증기압축식 사이클 또는 압축/흡수 사이클이라고 불리며 작동유체로는 비등점 차이가 큰 냉매와 흡수제의 혼합물을 사용한다. 하이브리드 사이클은 구동하는데 필요한 에너지는 증기 압축식 사이클에서와 같이 냉매증기를 기계적으로 압축시키는

일의 형태로 제공되는 반면 냉·난방효과는 흡수기나 재생기에서 냉매증기와 흡수제의 혼합물로부터 얻을 수 있다. 이러한 하이브리드 사이클은 낮은 압력비로 넓은 온도 구간에 걸쳐 사용 가능하며 흡수기와 재생기에서 작동유체의 온도구배를 이용함으로써 성능계수(COP) 향상 및 작동유체의 농도변화를 통한 용량조절 가능하다.

Fig. 1은 암모니아/물 냉매를 사용한 압축/흡수 하이브리드 히트펌프의 개념도를 나타내었으며 작동원리는 다음과 같다. 우선, 발생기에서는 팽창밸브를 통과하여 저온, 저압의 암모니아/물 혼합물 중 주로 증기압이 높은 암모니아가 저온의 폐열을 열원으로써 증발하게 되며 기액 분리기내에서 용액과 증기로 분리된다. 이렇게 분리된 용액은 정유량펌프를 통해 가압되어 고압의 용액이 되며, 증기는 압축기를 통해 압축된다. 압축된 증기와 고압 용액이 흡수기 입구에서 만나고 흡수과정이 발생한다. 흡수기에서 냉매증기의 흡수가 일어나는 동안 발생하는 흡수열은 공정수(90-100℃)를 제조하는 데 사용된다. 고농도 용액은 팽창밸브를 통해 압력이 낮아지고 재생기로 다시 돌아가는 과정을 이루게 된다. 또한 용액 열교환기에서는 온도가 높은 고농도의 용액과 온도가 낮은 희용액 사이에 열교환이 이루어진다.

또한 암모니아/물을 냉매를 사용한 하이브리드 사이클은 혼합냉매의 상변화시 온도구배가 크게 나타나는 것을 이점으로 이용한 사이클로 기존의 카르노 사이클을 기반으로 한 순수 냉매 이용 증기압축식 사이클의 단점인 온도구배를 지닌 열원과 냉매가 응축이나 증발이 일어날 때 냉매와 열원의 온도구배가 잘 맞지 않음으로 인한 압축일이 증가로 인해 성능이 저하를 초래하는 문제점을 Fig. 2와 같이 로렌츠 사이클을 구현함으로써 해

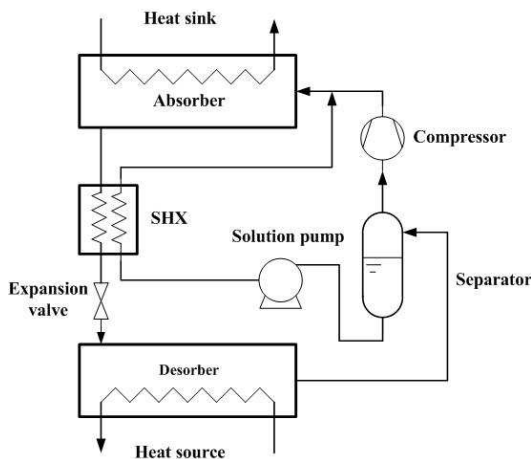


Fig. 1 Schematic diagram of NH₃/H₂O compression/absorption hybrid heat pump

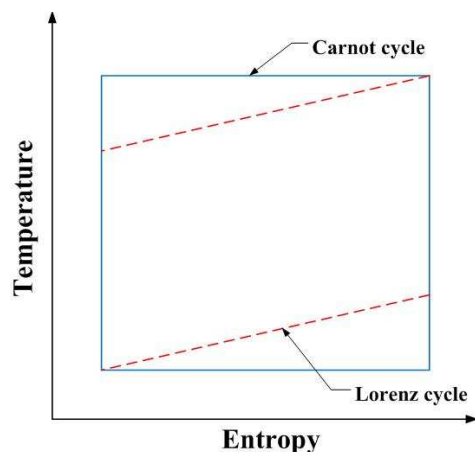


Fig. 2 The Carnot and Lorenz cycle

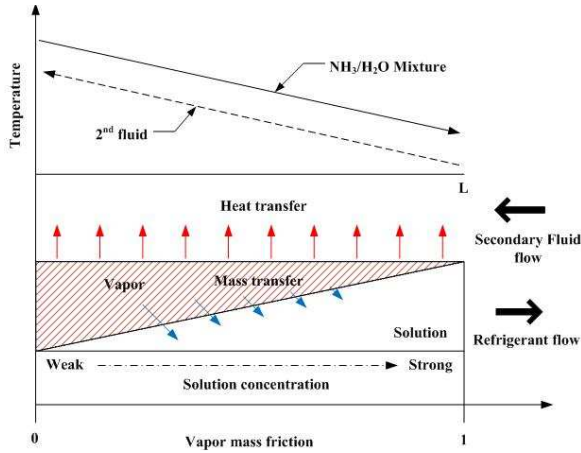


Fig. 3 Heat and mass transfer in the absorber heat exchanger

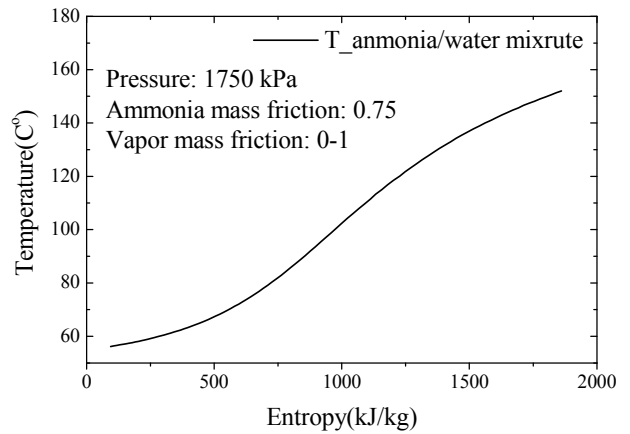


Fig. 4 Temperature profile versus enthalpy

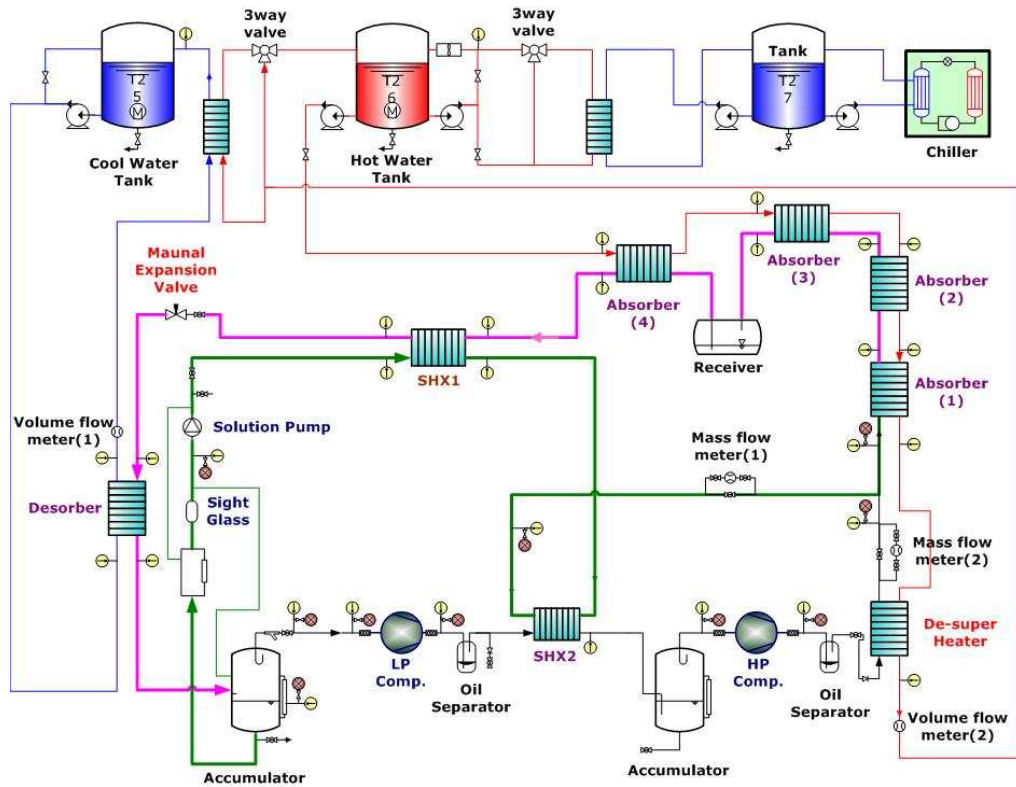


Fig. 5 Schematic diagram of the laboratory hybrid heat pump

소 할 수 있다. Fig. 2 와 같이 냉매와 열원 같은 온도구배이면 최소의 압축일로 최대의 성능을 발휘 할 수 있다.⁽¹⁻⁴⁾

2.2 하이브리드 시스템의 흡수기 최적화

하이브리드 히트펌프에서 흡수작용은 Fig. 1 에서 고온의 암모니아 기체와 저농도의 암모니아 수용액이 혼합된 상태로 흡수기에 유입되면서 시작 된다. 흡수기 내부의 흡수과정 동안 다량의 열을

외부에서 전달받게 되는데, 흡수기 내부에서는 비공비 혼합냉매인 암모니아/물의 높은 온도구배로 물측의 높은 승온을 기대할 수 있다.⁽³⁾ 이 같은 현상은 열교환기에서의 열효율을 증가시킬 수 있는데, 순수 냉매와는 달리 상변화 과정에서 냉매와 열원간의 온도 프로파일을 매칭(matching)시켜 비가역성을 줄일 수 있기 때문이다.

로렌츠 사이클에서의 열교환 과정은 상기와 같은 매칭과정을 통하여 평균온도차가 감소하기 때

Table 1 Experimental configurations

Case 1	Mixer or nozzle
Case 2	Number of Heat exchanger : 2, 3, 4
Case 3	Falling film or Bubble tye
Specifications of absorber heat exchanger (L×W×D)	HX-1 : 516×124×130
	HX-2 : 526×110×85
	HX-3 : 310×110×130

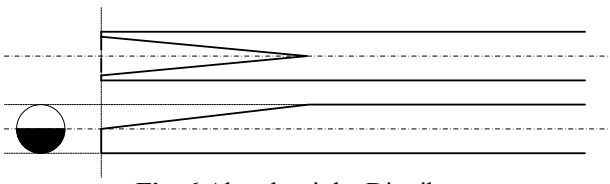


Fig. 6 Absorber inlet Distributor

문에 유효열전달 면적을 늘여야 하며, 아울러 열교환기 내의 유체의 흐름을 대향류로 설정하는 것이 필요하다. Fig. 3은 흡수기 내부를 간략히 묘사한 것으로 흡수가 일어나는 과정을 나타내었다. 고농도의 기체와 저농도의 암모니아 수용액 사이에 농도차로 인한 물질전달이 이루어짐을 예상할 수 있다. 물질전달 현상은 Itrad와 Machielsen⁽⁵⁾의 연구에서 흡수기 내부에서의 온도증가 형상이 선형이 아닌 비선형적으로 증가하는 요인으로 제시하였으며 실제 Fig. 4는 흡수기의 온도 분포를 나타낸 그림으로 압력 1750 kPa 기준으로 건도가 0 - 1로 증가하는 동안 실제 엔탈피 증가에 비해 온도는 비선형적으로 증가함을 알 수 있다. 이는 상변화 과정에서 혼합물의 비열이 변화하기 때문이다. 흡수기에서의 흡수과정이 통상 건도 0.5 - 0.6 이하에서 일어남을 고려할 때, 흡수기 중간지점에서 온도차가 최소가 되는 핀치점(Pinch point)이 발생함을 예상할 수 있다.

3. 실험장치 및 실험 방법

3.1 시스템의 개요

Fig. 5는 실제 실험장치를 나타낸 것이다. 저단 및 고단 압축기는 암모니아의 부식성에 의해 개방형 압축기를 선정하였다. 열교환기는 니켈브레이징(Nickel-brazed) 관형열교환기를 사용하였고, 용액펌프는 고압의 양정에 견딜 수 있는 다이어프램(diaphragm) 왕복동식의 정량펌프를 적용하였다. 기액분리기 및 정류기는 스테인리스스틸(SUS304) 재질로 자체 제작하여 사용하였다. 2차측 유체의 실험조건을 조절을 위하여 삼방밸브, 전기히터를

PID 제어기를 사용하여 일정하게 온도를 유지할 수 있도록 하였다.

3.2 실험방법

본 연구에서 사용된 흡수기는 관형열교환기로 시스템의 콤팩트화를 위해 적용되었다. 흡수기의 입구 조건은 기체와 액상의 암모니아수용액이 혼합되어져 낮은 건도의 2상 상태의 혼합물 상태로 흡수기 입구로 흡입되어 진다. 이 같은 입구 조건에서 흡수가 활발히 일어나기 위해서는 관형열교환기 내부의 각각 채널에 2상냉매의 분배가 잘 일어나야 한다. 이를 위해서 혼합상태를 균질 혼합물로 분배하기 위하여 노즐 및 믹서를 사용했다. 또한 관형열교환기 내부에는 Fig. 6과 같은 분배기를 내부에 삽입하여 삼각입구가 중력방향으로 설치하여 분배에 대한 위험 요소를 최소화하고 흡수가 잘 일어나도록 다양한 형태의 관형열교환기를 적용하여 최적화 실험을 수행하였다. 특히 Kang 등⁽⁶⁾의 연구에 의하면 유하액막형(falling film type) 흡수기보다 기포형(bubble type) 흡수기가 상방유동으로 인한 열전달 특성이 우수함으로써 열교환기를 보다 콤팩트하게 할 수 있으나 압력강하가 높다. 반면 유하액막형은 압력강하가 작다는 이점이 있으나 액막에 의해 열 및 물질 전달 면적이 줄어들게 되며, 기포형에 비하여 액상 냉매의 분배를 잘 고려하여야 하는 단점이 있다. 본 연구에서도 이러한 내용을 바탕으로 흡수기의 최적화에 대한 실험 조건을 설정하고 실험을 수행하였다. Table 1은 본 연구의 실험조합을 나타내며, 이를 통하여 흡수기를 최적화 하고자 한다.⁽⁷⁾

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 믹서 및 노즐 실험

초기 실험은 문헌에 기초하여 흡수기 1(HX-2)은 기포형 타입으로 흡수기 2(HX-1)는 유하액막형으로 2개의 열교환기를 적용하여 실험하였다. Fig. 7은 믹서 및 노즐을 실험을 하기 위한 장치 구성도이며 흡수기 1의 입구에는 약 2m 관을 추가로 설치하여 믹서 및 노즐을 통과한 냉매의 온도를 측정하였다. 실험결과는 Table 2에 나타내었다. 결과로부터 입구부의 노즐과 믹서에 의한 성능차이는 크지 않았다. 혼합 초기에는 분사 직후의 불완전 혼합상태에 의해 Ts1이 노즐쪽이 낮게 나온 것을 알 수 있었다. 실험결과를 보면 기포형 흡수기 1이 유하액막형 흡수기 2에 비해 UA 값이 높은 것을 알 수 있다.

Table 2 Test results of mixer and nozzle test¹

	Refrigerant [°C]				Water [°C]		
	Ts1	Tr1	Tr2	Tr3	Tw1	Tw2	Tw3
Mixer	88.3	88.8	81.9	58.4	49.8	66.7	78.0
Nozzle	86.0	89.1	81.6	60.4	49.8	67.1	78.5
	Heat transfer performance, UA [kW/K]						
	Absorber 1			Absorber 2			
Mixer	0.3163			0.2104			
Nozzle	0.3044			0.2217			

¹ Test pressure $P = 1,060$ kPa, NH₃ concentration $\phi = 53$ %, Total capacity of the mixer and nozzle cases are the same

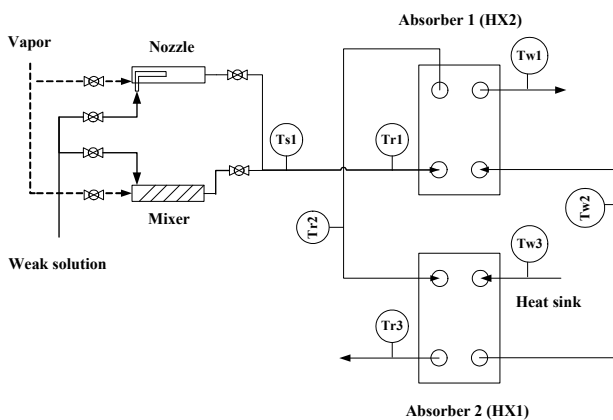


Fig. 7 Test diagram of mixer or nozzle configuration at the absorber inlet

4.2 흡수기 중간 믹서 적용 실험

성능비교를 위해 실험과정에서 고온수온도를 흡수기 입구와 출구에서 각각 50°C, 90°C로 유지하였다. 실험결과 흡수기 출구의 냉매온도가 70°C 정도로 높게 형성되는 것을 볼 수 있었다. 흡수기 토출 온도의 상승은 로렌츠 사이클의 장점을 감소시키는 것이며, 압축기의 압축비를 증가시켜 소비 전력의 증가를 초래 한다. 이 같은 문제를 해결하고자 Fig. 8 과 같이 추가 열교환기 설치 및 흡수기 1 번과 2 번 중간 배관에 믹서를 추가로 설치하여 흡수기 2 번에서의 흡수과정을 촉진하기 위한 실험을 수행하였다.

실험결과는 Table 3 에 나타내었다. 흡수기 열교환기(HX3)를 설치하여 출구의 온도를 약 2-3°C를 낮추는 효과는 있었다. 다만 열교환기 용량 증가에 비해 큰 의미가 없음을 말해주고 있으며, 특히 흡수기 출구의 혼합냉매 상태가 여전히 2 상 상태인 것을 확인할 수 있었다. 두 경우 모두 완전히 흡수되지 않은 암모니아 기체가 수액기 내부에서 부분적으로 흡수가 일어남을 알 수 있었다. 상대적으로 믹서의 긍정적인 효과는 상대적으로 작음

Table 3 Test result of medium mixer test¹

	Refrigerant [°C (quality)]				Water [°C]			
	Tr1	Tr2	Tr3	Tr4	Tw1	Tw2	Tw3	Tw4
Mixer2	92.2 (0.46)	83.9 (0.40)	73.0 (0.29)	67.8 (0.21)	48.1	64.2	77.6	89.6
Tube	91.4 (0.45)	82.1 (0.38)	71.4 (0.26)	68.1 (0.21)	50.0	63.4	76.3	88.6
	Heat transfer performance, UA [kW/K]							
	Absorber 1		Absorber 2		Absorber 3			
Mixer2	0.311		0.290		0.347			
Tube	0.313		0.378		0.196			

¹ Test pressure $P = 1,700$ kPa, NH₃ concentration $\phi = 70$ %, Total capacity of the mixer2 and tube cases are the same.

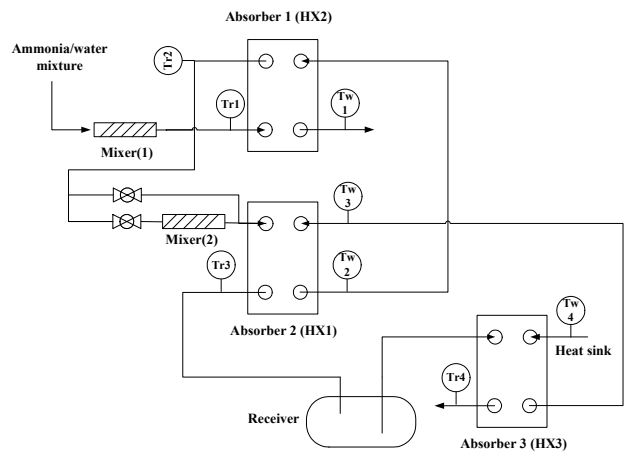


Fig. 8 Test diagram of mixer or tube configuration in the middle of the absorbers

을 알 수 있었다.

보조 실험으로 수액기 후단에 추가 열교환기 설치하였으나, 이는 수액기 전단의 흡수기의 입구 조건을 나쁘게 하여 과냉상태의 냉매가 토출될 것을 요구하는 출구조건이 오히려 나빠졌음을 확인하였다. 이의 결과로 많은 양에 기체 흡입으로 인해 수액기 내부에서 흡수가 일어나는 것으로 예측되었다. 이에 다음 절에서는 흡수기 3 번을 흡수기 전단으로 수정하였으며 흡수기 3 번을 기포식과 유하액막형으로 교차 실험을 수행하였다.

4.3 흡수기 최적조합 선정 실험

흡수식 사이클에서 흡수기는 유하액막형이 가장 이상적이라고 Herold 등⁽⁸⁾의 저서에서 보고되었다. 실제 하이브리드 시스템의 적용에 따른 결과를 알아보고 최적의 흡수기 타입을 알아보기 위해 Fig. 9 같이 실험장치를 구성하여 2 가지 타입에 흡수기에 따른 실험을 수행하였으며 앞서 실험의 결과를 반영하여 흡수기 3 번을 1 번 전단으로 이동 설치

Table 4 Test result of absorber type test¹

	Refrigerant [°C/quality]				Water [°C]			
	Tr1	Tr2	Tr3	Tr4	Tw1	Tw2	Tw3	Tw4
F-F-F ²	91.5 (0.50)	87.9 (0.47)	80.2 (0.41)	62.9 (0.16)	88.3	84.8	73.1	49.6
B-F-F ³	91.6 (0.50)	88.7 (0.49)	81.4 (0.42)	64.6 (0.18)	88.2	86.1	75.0	49.8
Heat transfer performance, UA [kW/K]								
	Absorber 1		Absorber 2		Absorber 3			
F-F-F	0.256		0.325		0.650			
B-F-F	0.221		0.320		0.772			

¹ Total capacity of the mixer and nozzle cases are the same.

² Test pressure $P = 1,780$ kPa, NH_3 concentration $\phi = 73\%$

³ Test pressure $P = 1,850$ kPa, NH_3 concentration $\phi = 73\%$

^{2,3} B : bubble type, F: falling-film type

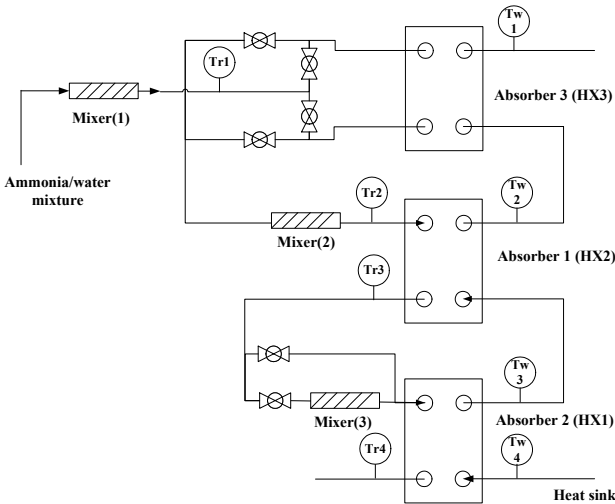


Fig. 9 Test diagram of absorber alignment with falling film type or bubble type configuration

하여 실험하였다. 전체적인 실험 결과는 Table 4에서 나타내고 있으며 흡수기 최종온도(Tr4)가 흡수기 3번 위치를 Fig. 8과 같은 기존의 배치에 비해 Fig. 9와 같이 변경하면서 약 68°C에서 약 63°C로 낮아진 것을 알 수 있으며 흡수기 반응이 더욱 활발해져 온도구배가 증가했고 기존에 비해 열교환 성능이 개선된 것을 알 수 있다.

흡수기 타입에 따른 성능 변화는 크게 나타나지 않지만 기포형이 유하액막형에 비해 압력강하가 크므로 작동압력이 높은 것을 알 수 있다. 비슷한 운전 조건에서 첫 번째 흡수기가 기포형인 경우가 유하액막형에 비해 흡수기 토출온도가 낮은 것을 알 수 있으며 건도 또한 낮게 나왔다. 3번 흡수기에 가장 많은 흡수가 일어난 것은 흡수기 냉매측 입구에서 핀치점이 발생하였고 따라서 3번 흡수기에서 가장 큰 평균온도차가 존재하였기 때문에 사료된다. Fig. 10에 내부 온도 경향에 대한 그래프를 표시하였다. 예상대로 냉매 입구 측에서

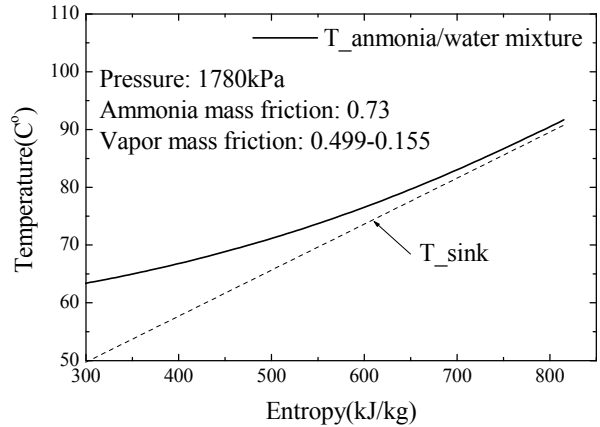


Fig. 10 Temperature profile versus enthalpy

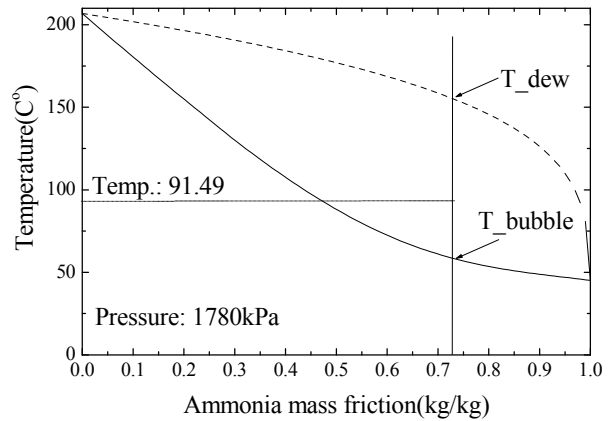


Fig. 11 Dew point and bubble point temperatures for the ammonia/water mixture as a function of ammonia mass fraction at absorber pressure

온도차가 거의 없을 수 있다. 앞서 수행된 실험에 비해 많은 점이 개선되는 것을 알 수 있으나 여전히 흡수기 출구 건도가 액상의 상태가 아님을 알 수 있으며 열교환기 내부에서 핀치점이 발생하여 열전달이 저하되는 것을 알 수 있다.

이와 같은 핀치현상을 방지하기 위하여는 흡수기 입구농도와 함께 고온수의 유량을 증가시켜야 할 것으로 사료된다. 현재 고온수의 유량은 핀치점에 도달하였으므로 유량을 증가시키고 응축압력 상태를 현재와 같은 수준에서 유지할 경우에 최고 성능을 구현할 수 있다. Fig. 11의 농도에 따른 온도 및 암모니아/물 물성치 그래프를 통해서 농도에 따른 흡수기 온도구배 변화를 파악 할 수 있으며 농도가 0에서부터 1로 갈수록 계속적으로 증가되는 것이 아니라 최적점이 있어 이를 기준으로 증감이 바뀌는 것을 알 수 있으며 현재의 조건에서는 최대 온도구배는 0.70 전후에서 나오며, 고온수 입구온도가 50°C임을 고려할 때 현재의 암모니아 농도 0.73은 적절한 수준임을 확인할 수 있다.

이에 현재 운전상태에서 흡수기는 최대의 온도구배를 만들 수 있는 최적조건으로 운전되고 있었음을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구는 산업공정에서 배출되는 다량의 중저온의 폐열을 효과적으로 활용하기 위한 암모니아/물을 냉매로 사용하는 압축/흡수식 하이브리드 히트펌프 개발에 관한 기초 연구로써 최적의 흡수기 구성에 관한 연구를 진행하였다. 흡수기의 선정은 시스템의 콤팩트화를 위해 브레이징 판형열교환기를 선정하였으며 길이, 높이, 폭이 다른 3 가지 열교환기를 사용하여 최적화에 대한 다양한 조건에서 실험을 수행하였으며 다음과 같은 결과를 도출할 수 있었다.

흡수기 입구 상태가 건도가 약 0.5 인 이상 상태로 판형열교환기 입구 냉매 분배를 위해 노즐, 믹서 및 분배기를 적용하였으며 노즐 및 믹서인 경우 서로 비교시 뚜렷한 성능차이를 나타내지 않았다.

흡수기 내부에는 열 뿐만 아니라 물질 전달도 일어나 일정 열량에 따라 온도가 비선형의 형태로 변하는 것을 알 수 있었다. 이는 열교환기 내부에서 핀치점이 생길 수 있으며 이를 최소화하기 위한 최적화가 필요하다. 특히 입구 농도에 따라 흡수기에 최적 조건이 바뀌는 것을 알 수 있으며 운전 조건에 따른 최적 혼합냉매의 농도가 존재하며 본 연구의 운전 조건(50-90℃)에서는 비교적 고농도를 유지해야 원하는 높은 온도구배 및 높은 성능을 얻을 수 있는 결과를 얻을 수 있었다.

후 기

본 연구는 지식경제부가 지원하는 에너지절약 기술개발 사업 중 “천연냉매를 이용한 압축-흡수식 하이브리드 히트펌프 원천기술 개발” (2007-E-

ID11-P-09-0-000)과제의 일환으로 수행되었으며 이의 지원에 감사를 드립니다.

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) Itard, L.C.M. and Machielsem, C.H.M., 1994, “Considerations When Modeling Compression Resorption Heat Pump,” *Int. J. Refrig.*, Vol. 17, No. 7, pp. 453~460.
- (6) Kang, Y.T., Akisawa, A. and Kashiwagi, T., 2000, “Analytical Investigation of Two Different Absorption Modes: Falling Film and Bubbles,” *Int. J. Refrig.*, Vol. 23, No. 6, pp. 430~443.
- (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) Herold, K.E., Radermacher, R., Klein, S.A., 1996, *Absorption Chillers and Heat Pump*, CRC Press, New York, p. 218.