

<학술논문>

DOI <http://dx.doi.org/10.3795/KSME-B.2014.38.5.389>

ISSN 1226-4881(Print)
2288-5234(Online)

운전조건 변화가 고온재생기의 성능에 미치는 영향에 관한 실험적 연구

배경진* · 광명석** · 조흥현***

* 한국생산기술연구원 열유체시스템연구실용화그룹, ** 조선대학교 기계공학과

Experimental Study on the Dependence of Variation in Performance of a High-Temperature Generator on Its Operating Conditions

Kyungjin Bae*, Myoungseok Kwak** and Honghyun Cho***

* Thermal & Fluid System R&BD Group, KITECH

** Dept. of Mechanical Engineering, Chosun Univ.

(Received July 4, 2013 ; Revised February 25, 2014 ; Accepted February 26, 2014)

Key Words: Absorption Solution(흡수용액), Concentration(농도), He80%at Transfer Rate(열교환량), Generator(재생기)

초록: 흡수식 냉온수기는 자연에 있는 냉매를 사용함으로써 인해 환경오염이 매우 적어 친환경적이다. 흡수식 냉온수기에서 고효율의 배기가스용 고온재생기는 높은 시스템 성능을 얻기 위한 중요한 요소중에 하나이다. 따라서, 본 연구에서는 운전조건에 따른 흡수식 냉온수기의 배기가스용 고온재생기의 성능을 파악하기 위해 실험장치를 제작하고 실험을 실시하였다. 배기가스용 고온재생기에서 흡수액의 입구상태는 성능변화에 매우 큰 영향을 줌으로 여러 가지 흡수액 농도 조건에서 공기측 입구온도와 질량유량을 변화시켜가면서 고온재생기의 성능을 고찰하였다. 실험결과, 공기측 질량유량비가 80%에서 120%로 증가할 때 흡수액 농도가 56%, 55%, 54%, 53%에서의 열교환량은 각각 30%, 33%, 34%, 37% 정도 증가하였다. 또한 고온재생기의 흡수액 입구농도가 56%, 55%, 54%, 53% 일 때 공기측 입구온도가 170°C에서 210°C로 증가함에 따라 고온재생기의 열교환량은 각각 140%, 160%, 220%, 224% 정도 증가하였다.

Abstract: An absorption chiller-heater using only a natural refrigerant hardly causes any environmental pollution. In an absorption chiller-heater, the performance of its high-temperature generator, which uses exhaust gases, is essential to achieving superior system performance. To investigate the performance of such a high-temperature generator, a laboratory-scale high-temperature generator working with exhaust gases was designed and tested. Changes in the performance of the high-temperature generator as a function of inlet conditions of the absorbing solution, such as air inlet temperature and mass flow, were investigated. It was observed that when the air mass flow rate ratio was increased from 80% to 120%, the heat capacity was increased by 30%, 33%, 34%, and 37%, respectively. Additionally, when the air inlet temperature was elevated from 170°C to 210°C for absorption solution concentrations of 56%, 55%, 54%, and 53%, the heat capacity increased by 140%, 160%, 220%, and 224%, respectively.

- 기호설명 -

D : 직경 [m]

h : 엔탈피 [kJ/kg]

k : 열전도계수 [kJ/m·K]

m : 질량유량 [kg/s]

Q : 열량 [kW]

T : 온도 [°C]

† Corresponding Author, hhcho@chosun.ac.kr

© 2014 The Korean Society of Mechanical Engineers

v	: 속도 [m/s]
ρ	: 밀도 [kg/m^3]
ν	: 점도 [$\text{N}\cdot\text{s/m}^2$]
c_p	: 비열 [$\text{kcal/kg}\cdot\text{K}$]

하첨자

a	: 공기
cw	: 냉각수
ds	: 농용액
ex	: 희용액
HTG	: 고온재생기
in	: 입구
out	: 출구
vap	: 증기

1. 서 론

에너지를 구분별하게 사용한 결과 지구온난화 및 자연환경 파괴로 인해 전세계적으로 고효율 고성능 제품에 대한 관심이 매우 높다. 이 중 열병합발전(Cogeneration or Combined Heat and Power)은 하나의 에너지원으로부터 전기와 냉난방을 동시에 생산하는 시스템으로 발전기에서 나오는 배기가스, 증기 등을 이용하여 흡수식 시스템을 구동시켜 에너지 효율을 높일 수 있다. 전기생산과 냉난방을 위한 기존 시스템의 종합에너지 효율은 40%이지만 열병합발전을 이용함으로써 90%까지도 끌어올릴 수 있게 된다.⁽¹⁾ 일반적으로 소형열병합발전이나 마이크로 가스터빈의 효율은 약 30% 정도로 이때 배기가스 온도가 약 500°C 정도임으로 가스터빈에서 전기를 생성한 후 약 450°C로 높은 온도로 2중 효율 흡수식 냉온수기를 구동할 수 있다.⁽²⁾ 또한 가열된 엔진을 냉각시키는 냉각수온도는 약 95°C 수준으로는 저온재생기로 공급하여 활용할 수 있는 수준이다. 따라서 이미 많은 지역에서 열병합발전을 통하여 전기와 온수를 생산 및 보급해 오고 있는 실정이지만 열병합 발전 및 산업체에서 버려지는 고온의 배기가스 활용에 대한 기술에 대한 연구는 매우 적은 편이다. 따라서 에너지 이용 효율을 개선하기 위해 고온의 배기가스를 활용하는 기술을 개발하는 것이 필수적이며 이러한 배기가스 활용 방법중에 하나가 흡수식 냉·온수기의 적용이다.

기존의 고온재생기에 대한 기존연구를 살펴보면

Park 등⁽³⁾은 고온재생기 내에서 열전달특성에 대한 해석적 연구를 진행하여 실험과 비교하였으며, Kim 등⁽⁴⁾은 배기가스 열교환기를 이중효용 흡수식 냉온수기에 적용하여 실험을 통해 사이클 성능향상에 대한 연구를 진행하였으며 3~5%의 에너지 절약 효과를 볼 수 있다고 보고하였다. 또한 Lee and Cho⁽⁵⁾는 해석적 연구를 통해 평판핀의 형상 비율에 따라 고온재생기 열적 성능변화에 대한 연구를 진행하였으며 이때 최대 열전률을 가지는 평판핀의 형상 비율은 6.8로 제시하였다. 해외의 경우 Varma 등⁽⁶⁾은 대기보다 낮은 압력에서 Libr-water 용액의 풀비등 동안 열전달에 대한 연구를 진행하였으며, Rivera 등⁽⁷⁾은 매끄러운 수직전열관 내부에서 발생하는 Libr-water의 비등특성에 대해 실험적으로 연구하였다. Marcos 등⁽⁸⁾은 Libr-water 용액의 이중효용 흡수식 냉·온수기의 고온재생기를 관형열교환기를 사용하여 고온재생기 내에서의 비등열전달에 대한 연구를 진행하였으며 단상영역과 이상영역으로 구분하여 각각의 열전달 및 압력강하에 대한 연구를 진행하였다.

국외에서는 배기가스를 직접 이용하는 흡수식 냉·온수기는 개발되어 이미 상용화되고 있으나 국내에서 흡수식 냉·온수기에 배기가스를 직접 이용하는 하이브리드 흡수식 냉·온수기에 대한 연구는 전무한 형편이다. 따라서, 본 연구에서는 열병합 발전 및 산업체에서 버려지는 500°C 정도의 배기가스를 흡수식 냉온수기의 구동열원으로 사용하기 위해 Lab. Scale 배기가스 구동 고온재생기를 설계하고 성능평가를 수행하였다. 500°C의 배기가스는 다루기가 매우 어려우므로 Pr수와 Re수를 활용하여 공기와의 무차원 상사를 통해 200°C의 공기열원을 이용하여 실험을 진행하였으며, 운전조건 변화에 따라 성능특성을 고찰하기 위해 공기측 입구온도와 질량유량을 변화시켜가면서 성능특성을 고찰하였다. 배기가스 구동 고온재생기가 개발됨에 따라 흡수식 열원으로 직접 사용되어지는 가스에너지의 사용이 줄어들어 국내의 에너지 소비율 및 CO₂ 발생률을 저감시킬 수 있으며 에너지 공급의 계절적 한계성을 극복할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 실험장치 및 운전조건

2.1 실험장치 및 시스템 설계

Lab. scale 고온재생기의 성능을 측정하기 위해

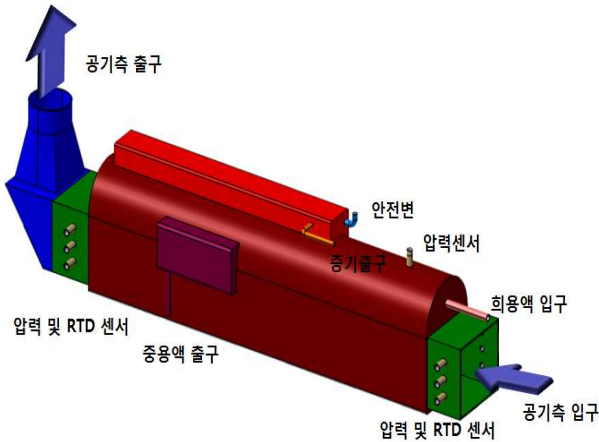


Fig. 1 Main components of a HTG

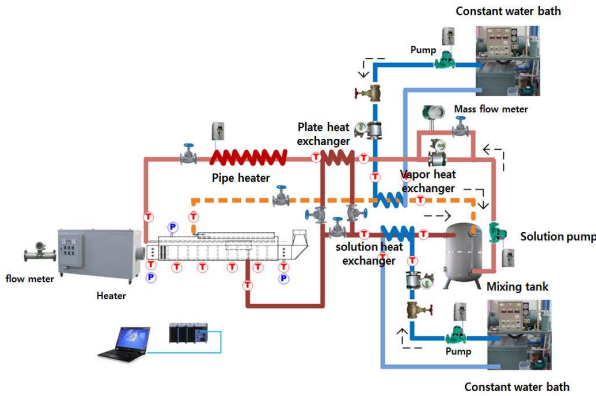


Fig. 2 Schematic of an experimental setup

고온재생기 및 실험장치를 설계 및 제작하였다. Fig. 1은 본 연구에서 설계된 고온재생기로 크기는 278×240×1450 mm이며 고온재생기 내부는 핀-관 열교환기를 적용하였다. 뜨거운 공기는 고온재생기의 공기측 입구 방향으로 들어가 공기측 출구방향으로 통과하면서 핀-관 열교환기의 관안에 있는 흡수액과 열교환 할 수 있도록 설계하였다. 이 때 핀-관은 공기의 방향과 수직으로 설치되어 있다. 내부에 핀-관과 연결되어 있는 흡수액 받이의 회용액 입구로 들어가 공기로부터 열이 전달되어 증기와 농용액으로 분리되고 이는 각각 증기출구와 농용액 출구로 배출되도록 설계되어 있다. 회용액은 공기측 입구의 관을 통하여 공기측 입구로부터 5번째 핀-관 열교환기 위치에서 분사되는 구조로 설계되어 있다. 흡수식 시스템은 진공에서 운전되므로 누설에 대해 매우 민감하다. 따라서 배기가스 구동 고온재생기의 누설을 확인하기 위해 배기가스 고온재생기의 내부에

헬륨가스를 이용하여 진공검사를 실시하였다. 본 연구에서는 관의 내·외경은 각각 41 mm, 49 mm로 설계하였으며, 핀은 두께 1.2 mm, 핀 높이 12 mm로 나선형(Spiral) 원형 핀-관을 사용하였다.

Fig. 2는 고온재생기의 성능을 평가하기 위해 본 연구에서 사용된 실험장치 개략도를 보여주고 있다. 고온의 공기를 만들기 위해 30 kW의 히터를 설계하였으며, 회용액은 인버터로 제어되는 펌프에 의해서 용액탱크로 부터 시스템으로 순환하게 된다. 고온재생기에서 발생한 증기는 재생기의 증기 출구 배관을 통해 냉각부로 이송되며 차가운 냉각수에 의하여 응축된 후 용액탱크로 다시 순환하게 된다. 농용액 냉각장치 역시 온도를 낮추기 위해 증기를 냉각하는 방식과 동일하게 설계되었다. 또한 재생기 입구로 들어가기 전에 회용액의 온도를 정밀하게 조절하기 위해 전력량 조절계를 이용한 파이프 히터를 설치하였다.

2.2 실험결과 처리 및 운전조건

회용액, 농용액, 증기의 입·출구 상태량을 측정하기 위하여 RTD 및 압력계를 주요 위치에 설치하였으며, 회용액의 농도와 질량유량을 측정하기 위해 질량유량계를 설치하였다. 또한 공기측 온도를 측정하기 위하여 공기의 진행방향으로 총 7개의 RTD를 설치하였으며 공기 유량계를 이용하여 공기의 유량을 측정하였다. 본 연구에서 주요 성능에 관한 데이터를 기록하기 위해 정보수집기(Data Logger)와 컴퓨터를 연결하여 실시간으로 필요한 데이터를 받을 수 있도록 설치하였다. 증기의 유량과 농용액의 유량은 간접적인 방법으로 측정되며, 에너지 보존 법칙과 질량 보존 법칙에 의해 각각의 증기와 농용액의 유량을 구할 수 있으며 이는 식 (1)~(4)와 같이 계산된다.

$$Q_{HTG} = [(m_{vap}h_{vap} + m_{ds}h_{ds}) - m_{ex}h_{ex,in}] \quad (1)$$

$$m_{ex} = m_{vap} + m_{ds} \quad (2)$$

$$Q_a = m_a (h_{a,in} - h_{a,out}) \quad (3)$$

$$Q_a = Q_{HTG} \quad (4)$$

여기서, 고온재생기의 입출구에서의 흡수액 엔탈피는 EES Ver 7.1^(9,10)에서 제공하는 물성치를

이용하여 계산하였다.

Lab. scale용 배기가스 고온재생기에서 실제 운전조건인 500°C의 배기가스 온도를 유지하고 제어하는 것은 어렵다. 따라서 주어진 조건에서 공기의 풍량과 온도를 제어가 가능한 범위로 선정하고 배기가스의 열전달성능에 영향을 미치는 온도와 관련된 무차원 변수인 Pr수와 유량에 관련된 Re수를 500°C에 해당하는 배기가스의 입구 온도와 풍량과 상사하여 200°C의 공기의 온도와 풍량으로 설정하였다. 즉, 배기가스와 공기가 동일한 프란틀 수(Pr)와 레이놀즈 수(Re)를 가지도록 설정하여 공기를 이용한 실험의 입구 온도와 풍량을 결정하였다. 이는 배기가스가 가지는 열전달 특성을 가장 유사하게 공기로 변환한 조건으로 식 (5)와 같으며, 식 (6)과 같이 표현되어진다.

$$Pr_{ex} = Pr_a, Re_{ex} = Re_a \quad (5)$$

$$\frac{\mu_{ex} c_{p_{ex}}}{k_{ex}} = \frac{\mu_a c_{p_a}}{k_a}, \frac{\rho_{ex} v_{ex} D}{\mu_{ex}} = \frac{\rho_a v_a D}{\mu_a} \quad (6)$$

이때 배기가스는 LNG가 20% 과잉공기와 연소되었다고 가정하였으며 배기가스의 물성치는 배기가스 성분의 몰분율에 따라 Table 1과 같이 계산되었다.

또한 Lab. scale 배기가스 고온재생기의 다양한 운전조건에서 성능특성을 파악하기 위해 계산된 표준조건을 기준으로 공기의 입구온도를 10°C, 공기 질량유량을 10%, 흡수액의 농도를 1%씩 각각 변화시켜가면서 성능을 측정하였으며 성능실험에 대한 자세한 운전조건은 Table 2에 나타내었다. 본 연구에서 Libr의 입구온도는 138.8°C로 일정하게 유지하였으며 포화상태의 흡수액을 공급하기 위하여 고온재생기에서의 작동압력을 흡수액 농도에 따라 Table 2와 같이 설정하였다. 또한 각각의 흡수액 농도조건에서 포화압력과 고온재생기의 작동압력은 모두 1.2 kPa 이내로 유지하였다. 또한 Table 3은 본 연구에서 사용된 측정장비의 측정범위와 측정오차를 나타내었으며 실험에서 측정된 열전달률의 불확실도는 3.58%로 나타났다.

3. 결과 및 고찰

3.1 공기측 질량유량비에 따른 성능변화 고찰

Fig. 3은 공기측 질량유량비에 따른 고온재생기의 열교환률을 흡수액 입구농도에 따라 비교하여

Table 1 Property of the LNG combustion exhaust gas

Exhaust gas ingredient	Molar fraction	Property		
		C_p	Viscosity	k
Ar	0.0095	0.00496	4.04e-07	0.0003165
CO ₂	0.1186	0.13720	4.05e-06	0.0062820
H ₂ O	0.0946	0.20228	2.69e-06	0.0063135
O ₂	0.0333	0.03497	1.37e-06	0.0020515
N ₂	0.7437	0.833006	2.567e-06	0.0398504
Total	1	1.212419	3.419e-05	0.0548140

Table 2 Operating conditions

Item		Value
Air	Inlet temperature (°C)	170, 180, 190, 200*, 210
	Mass flow rate (kg/s)	0.0564, 0.0634, 0.0705*, 0.0775, 0.0845
Libr	Concentration (%) / Pressure (kPa)	53/101.7, 54/94.97, 55*/88.45*, 56/82.22
	Inlet temperature (°C)	138.8
	Mass flow rate (kg/s)	0.0705

*Basic condition

Table 3 Specifications of test equipments

Parameters	Scale	Measurement error
RTD	-200~600°C	±0.35°C
Absolute pressure transducers	0~1000 Torr	±0.5% of full scale
Difference pressure gauge	0~2 kPa	±0.1% of full scale
Mass flow meter	0~360 kg/h	±0.2% of reading
Volumetric flow meter	0.1~27,000 m ³ /h	±0.5% of reading
Air volumetric flow mater	0.08~24,000 Nm ³ /h	±0.2% of reading

보여주고 있다. 모든 흡수액 입구농도 조건에서 공기측의 질량유량비가 증가함에 따라 고온재생기의 열전달률은 증가하는 경향을 보였다. 이는 공기측의 질량유량비가 증가함에 따라 공기측이 가지는 열용량이 커지고, 관내의 Re수가 증가하

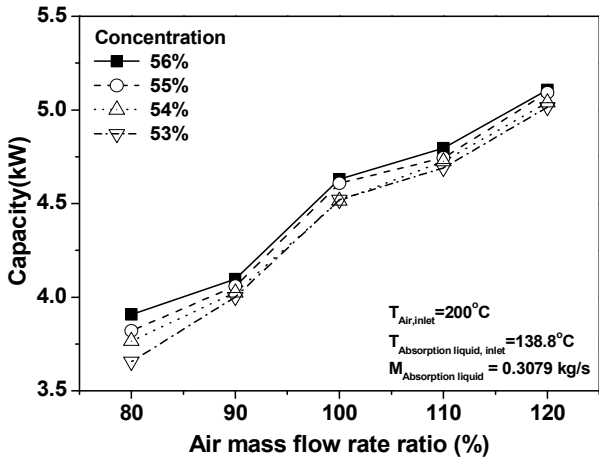


Fig. 3 Comparison of capacity with air mass flow rate ratio

여 공기의 난류정도가 강해지므로 고온재생기에서 열전달 효율이 높아졌기 때문이다. 또한 고온재생기의 흡수액 입구농도가 높을수록 고온재생기의 열교환량이 증가함을 보였다. 이는 본 연구에서 동일한 흡수액 입구온도를 유지하기 위하여 농도가 높은 흡수액의 작동압력을 낮게 유지시켰기 때문에 농도가 높은 흡수액의 경우 흡수액으로부터 분리되는 증기의 양이 증가하기 때문이다. 즉, 현열에 의한 열전달보다 잠열에 의한 열전달률이 증가한다. 따라서 흡수액 농도가 높을수록 고온재생기의 열교환량이 더 크게 증가함을 확인하였다. 하지만 공기측 질량유량비가 증가함에 따라 각 흡수액 농도별 고온재생기의 열교환량의 차이는 조금씩 감소하는 것으로 나타났다. 실험결과 고온재생기의 흡수액 입구농도가 56%, 55%, 54%, 53%일 때 공기의 질량유량비가 80%에서 120%로 증가함에 따라 열교환량은 각각 30%, 33%, 34%, 37% 정도 증가함을 보였다. 이는 기본적으로 작동압력의 차이이며 또한 일정한 온도조건에서 농도가 낮은 흡수액의 경우 흡수액이 가지는 포화온도가 상대적으로 낮기 때문에 공기측 질량유량비가 커짐에 따라 고온재생기 내의 흡수액 온도가 크게 증가하여 증기량이 증가하기 때문이다. 반면 농도가 낮은 흡수액은 고온측 공기의 온도에 흡수액의 포화온도가 가까워지면서 흡수액으로부터 증기로 분리되는 양의 증가 정도가 거의 일정해짐으로 고온재생기의 열전달량 차이가 감소하기 때문이다.

Fig. 4는 각각의 흡수액 입구농도 조건에서 공기의 질량유량비에 따른 흡수액으로부터 증기로

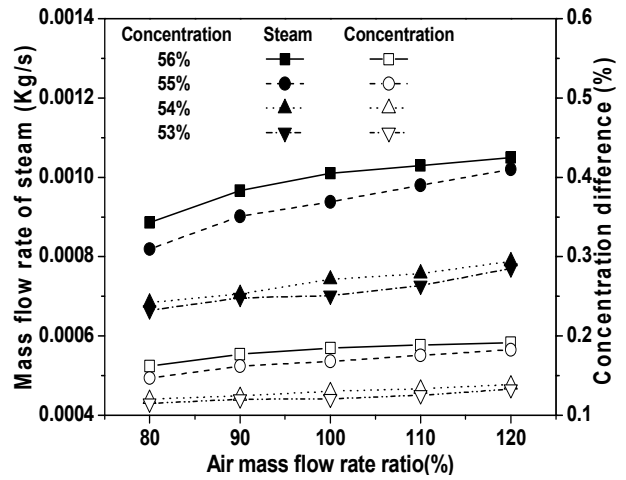


Fig. 4 Comparison of steam generation and concentration difference with air mass flow rate

분리되는 양을 비교하여 보여주고 있다. 고온재생기의 모든 흡수액 입구농도 조건에서 공기의 질량유량비가 증가함에 따라 고온재생기 내부에서 흡수액으로부터 분리되는 증기량은 증가하는 것으로 나타났다. 이는 고온재생기의 열교환량이 증가함에 따라 고온재생기 내의 흡수액 온도가 증가하여 증기의 발생량이 증가하였기 때문이다. 고온재생기의 흡수액 입구농도가 56%, 53%일 때, 공기측의 질량유량비가 80%에서 120%로 증가함에 따라 고온재생기 내부에서 흡수액으로부터 분리되는 증기량은 각각 18.5%, 15.9% 정도 증가하였다. 또한 고온재생기 흡수액 입구농도에 따라 고온재생기의 흡수액 입·출구 농도차를 공기측 질량유량비에 따라 비교하였을 때, 공기측 질량유량비가 증가함에 따라 고온재생기의 흡수액 출구농도는 선형적으로 증가하는 것으로 나타났으며, 이는 고온재생기의 흡수액으로부터 분리되는 증기량과 거의 비슷한 경향성을 보였다. 고온재생기에서 흡수액 출구의 농도는 고온재생기의 흡수액으로부터 분리되어지는 증기량과 큰 관계가 있으며 공기측 질량유량비가 증가함에 따라 고온재생기 내부의 흡수액으로부터 분리되어지는 증기량이 증가하고 이에 흡수액의 농도 또한 증가하는 모습을 보인다.

Fig. 5는 공기측 질량유량비에 따른 고온재생기의 흡수액 출구온도의 변화를 보여주고 있다. 모든 조건에서 공기측 질량유량비가 증가함에 따라 고온재생기의 흡수액 출구온도는 상승하는 것으로 나타났다. 이는 고온재생기의 공기측 질량유

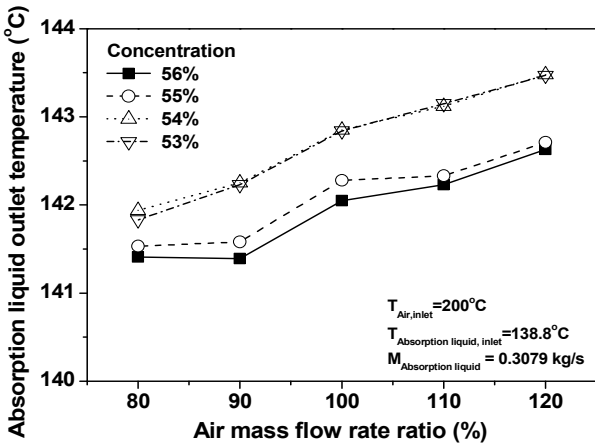


Fig. 5 Comparison of absorption liquid outlet temperature with air mass flow rate ratio

량비가 증가함에 따라 공기측 열교환량이 커지고 고온재생기 출구온도가 비례하여 상승하였기 때문이다. 또한 고온재생기의 흡수액 입구농도가 낮을수록 고온재생기의 흡수액 출구온도는 증가하는 것으로 나타났다. 본 실험에서는 고온재생기의 흡수액 입구농도가 높을수록 상대적으로 낮은 작동압력을 가짐으로 고온재생기 내부의 흡수액으로부터 분리되는 증기량이 증가하고 잠열에 의한 열전달량이 증가하여 고온재생기의 흡수액 입구농도가 높을수록 고온재생기의 출구온도는 상대적으로 낮음을 알 수 있다. 고온재생기의 흡수액 입구농도가 56%, 53%에서 공기측 질량유량비가 80%에서 120%로 증가함에 따라 고온재생기의 흡수액 출구온도는 각각 약 1.2°C, 1.6°C 증가하였다.

Fig. 6은 각각의 흡수액 입구농도에서 공기측 질량유량비에 따른 각각의 핀-관 열교환기 배열 위치에서 측정된 공기측 온도의 변화를 보여주고 있다. 공기측 질량유량이 증가함에 따라 각 배열에서의 공기측 출구온도는 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이는 공기측 질량유량이 증가함에 따라 공기에서 용액으로의 큰 열전달에 의하여 공기의 출구온도가 상승하기 때문이다. 공기측 질량유량이 100%, 고온재생기의 흡수액 입구농도 55%에서 핀-관 열교환기 배열이 입구에서부터 4번째 까지는 공기측 온도의 감소정도는 각각 17.7%, 5.8%, 2.1%, 1.1% 정도이지만 핀-관 열교환기 배열이 5번째부터 출구까지는 각각 약 1.5%로 공기측 온도의 감소정도가 입구로 갈수록 증가하는 것으로 나타났다. 이는 용액분배기의 분

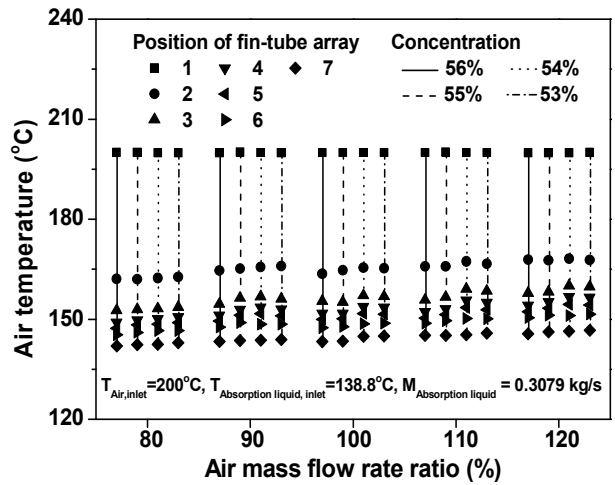


Fig. 6 Comparison of air temperature with air mass flow rate ratio

배 위치가 고온재생기의 입구로부터 핀-관 열교환기의 5번째 열부터 농용액이 분사되는 구조로 되어 있기 때문이다. 즉, 고온재생기 내의 흡수액 온도가 상대적으로 낮아 고온의 공기측 온도의 감소정도가 상대적으로 증가한다.

3.2 공기측 입구온도에 따른 성능 변화 고찰

Fig. 7은 공기측 입구온도에 따른 고온재생기의 열교환량을 고온재생기의 입구농도에 따라 비교하여 보여주고 있다. 모든 흡수액 입구농도에서 공기측 입구온도가 증가함에 따라 고온재생기의 열교환량은 증가하는 것으로 나타났다. 공기측 입구의 온도가 증가함에 따라 고온재생기 입구의 흡수액 온도와 공기의 온도차가 커져 열전달 성능이 향상되므로 고온재생기의 열교환량도 커지게 된다. 또한 공기측 입구온도에 따라 고온재생기의 흡수액 입구농도가 낮을수록 고온재생기의 열교환량은 더 크게 증가하는 것으로 나타났다. 이는 흡수액 입구농도에 따라 고온재생기 내부에서 흡수액으로부터 분리되는 증기량이 서로 다르기 때문이다. 고온재생기의 흡수액 입구농도가 56%, 55%, 54%, 53%일 때 공기측 온도가 170°C에서 210°C로 증가함에 따라 고온재생기의 열교환량은 각각 140%, 160%, 220%, 224% 정도 증가하였다. 또한 공기측 입구온도가 170°C일 때 흡수액 입구에서의 농도차에 따른 고온재생기의 열교환량의 차이는 약 34% 정도로 크게 나지만 공기측 입구온도가 210°C인 경우 고온재생기의 열교환량의 차이는 약 2.4% 정도로 크게 줄어들음을 확

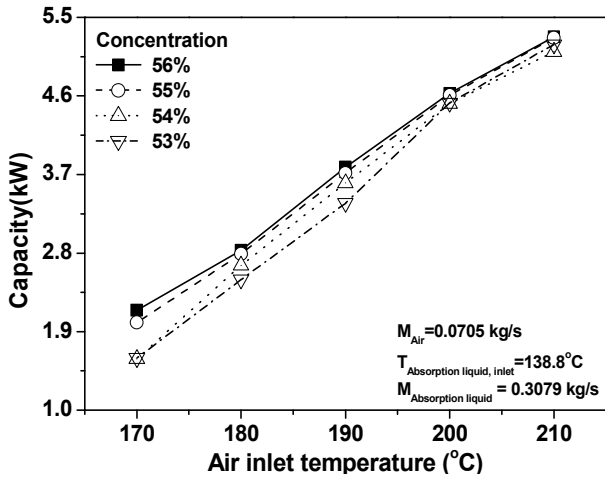


Fig. 7 Comparison of capacity with air inlet temperature

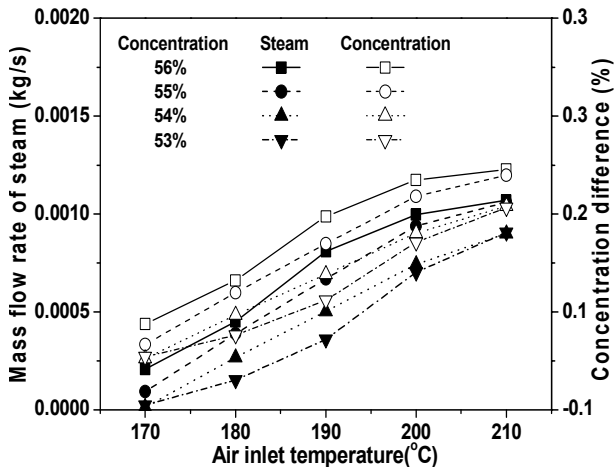


Fig. 8 Comparison of steam generation and concentration difference with air inlet temperature

인할 수 있다.

Fig. 8은 고온재생기의 각각의 흡수액 입구농도에서 고온재생기의 내부의 흡수액으로부터 발생하는 증기량과 농도차를 공기측 입구온도에 따라 보여주고 있다. 고온재생기 입구에서 공기의 온도가 증가할수록 고온재생기 내부의 흡수액으로부터 분리되어지는 증기량은 증가한다. 그러나 고온재생기의 흡수액 입구농도가 56%와 55%인 경우 공기측 입구온도가 190°C, 고온재생기의 흡수액 입구농도가 54%와 53%는 공기측 입구온도가 200°C를 기준으로 이보다 낮은 공기측 온도에서는 입구측 공기온도가 증가할수록 고온재생기 내부의 흡수액으로부터 분리되어지는 증기량의 증가정도는 증가하지만, 그 이상의 공기온도에서는 고온재생기 내부의 흡수액으로부터 분리되어

지는 증기량의 증가정도는 감소하는 것으로 나타났다. 이는 고온재생기의 흡수액 입구농도와 고온재생기 내의 압력에 따라 포화온도가 서로 다르기 때문으로 농도가 높은 56%와 55%는 포화온도는 약 142°C 근처이며, 농도가 낮은 54%와 53%는 약 144°C 정도이다. 즉, 고온재생기의 흡수액 입구농도가 높으면 포화온도가 낮고 고온재생기의 흡수액 입구농도가 낮으면 포화온도가 높기 때문에 고온재생기의 흡수액 입구의 농도가 높은 56%와 55%는 공기측 입구온도가 190°C, 고온재생기의 흡수액 입구농도가 낮은 54%와 53%는 공기측 입구온도가 200°C에서 공기의 온도가 흡수액 포화온도에 가까워지면서 고온재생기 내부의 흡수액으로부터 분리되어지는 증기량의 증가정도가 감소하기 시작하는 것을 확인할 수 있다. 또한 공기온도 및 흡수액 입구농도 낮을 경우 고온재생기 내부의 흡수액으로부터 분리되어지는 증기량은 거의 발생하지 않는 것으로 나타났다. 하지만 실제 사이클에서는 500°C 이상의 고온 배기가스에 의하여 구동되므로 시스템 작동과 용량 확보에는 큰 문제가 없을 것으로 판단된다. 주어진 흡수액 입구농도에서 고온재생기의 흡수액 입·출구 농도차를 비교하면, 공기측 입구온도가 증가함에 따라 고온재생기의 흡수액 출구농도는 증가하여 입·출구의 농도차가 증가하는 것으로 나타났으며, 고온재생기의 흡수액 출구농도의 증가정도는 고온재생기의 흡수액으로부터 분리되는 증기량과 밀접한 연관이 있으며, 농도별 입·출구의 농도차이는 거의 비슷한 경향성 가진다.

Fig. 9는 각각의 흡수액 입구농도에서 공기측 입구온도에 따른 각각의 핀-관 열교환기 배열위치에서 공기측 온도를 비교하여 보여주고 있다. 공기측 입구온도가 증가함에 따라 각각의 핀-관 열교환기에서 공기의 온도는 선형적으로 비례하여 상승하는 것을 볼 수 있다. 이는 공기측 입구온도가 증가함에 따라 공기가 가지는 열용량이 커지고 용액과의 열교환 후 공기측 출구온도가 공기측 입구온도와 비례하여 증가하기 때문이다. 흡수액 입구농도가 55%에서 공기가 고온재생기 입구에서 두 번째 핀-관 열교환기를 지날 때 주어진 입구의 공기온도 조건에서 공기측 온도는 첫 번째에 비하여 각각 8.9%, 12.3%, 15.7%, 17.7%, 21.1%로 크게 감소하는 것으로 나타났지만, 높은 입구측 공기의 온도를 가지는 조건에서

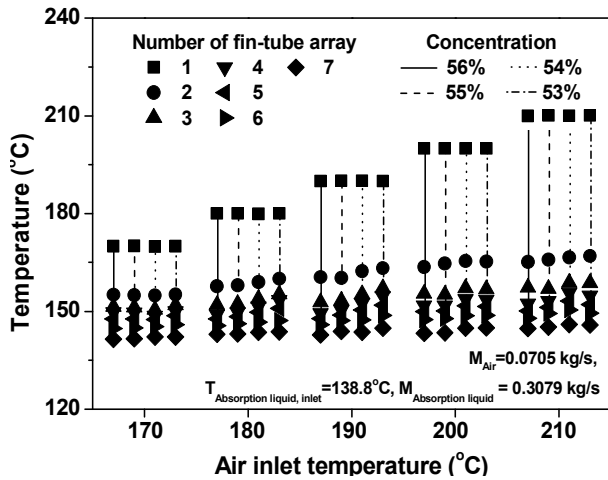


Fig. 9 Comparison of air temperature with air inlet temperature

배열에 따른 온도의 감소정도는 증가하는 것으로 나타났다. 공기측 입구온도가 증가함에 따라 각각의 핀-관 열교환기 배열위치에서의 공기측 온도의 감소정도는 다르게 나타났지만, 핀-관 열교환기의 공기온도는 공기측 입구온도에 비례하여 감소하는 것으로 나타났다.

4. 결론

본 연구에서는 고효율 흡수식 냉·온수기의 성능에 큰 영향을 미치는 배기가스용 고온재생기의 성능특성을 연구하기 위해 500°C의 배기가스 대신 Re수와 Pr수를 고려한 상사법을 이용하여 200°C의 공기 열원으로 대체하여 성능 실험을 수행하였다. 또한 특성파악을 위하여 여러 가지 운전조건 변화에 따른 성능특성을 분석하였다. 본 연구를 통하여 얻은 결과는 다음과 같다.

(1) 고온재생기의 모든 흡수액 입구농도에서 공기측 질량유량비가 증가함에 따라 고온재생기의 열교환량은 증가하는 경향을 보였으며 고온재생기 내부에서 흡수액으로부터 분리되는 증기량은 증가하는 것으로 나타났다.

(2) 고온재생기의 흡수액 입구농도가 각각 56%와 53%일 때, 공기의 질량유량비가 80%에서 120%로 증가함에 따라 열교환량은 각각 30%와 37%, 고온재생기 내부에서 흡수액으로부터 분리되는 증기량은 각각 18.5%와 15.9%, 흡수액 출구온도는 각각 1.2°C와 1.6°C씩 증가하였다.

(3) 공기측 입구온도가 증가함에 따라 고온재생기 열교환량 및 고온재생기 내부의 흡수액으로부

터 분리되어지는 증기량, 흡수액 출구온도는 증가하는 경향을 보였으며, 고온재생기의 흡수액 입구농도가 56%, 55%, 54%, 53%일 때 공기측 온도가 170°C에서 210°C로 증가함에 따라 고온재생기의 열교환량은 각각 140%, 160%, 220%, 224% 정도 증가 하는 것으로 나타났다.

참고문헌 (References)

- (1) Korea Energy Management Corporation, Cogeneration System, *Guide Book of Cogeneration Technology*, pp. 20~35.
- (2) Lee, J. J., 2006, Performance Test of a Micro Gas Turbine and Analysis of Characteristic Parameters, Inha University, Master Thesis of Inha University.
- (3) Park, C. W., Jung, J. S., Chin, S. M., Chung, B. C. and Ryu, B. S., 1998, "An analysis of the Heat Transfer Characteristics of a Regenerator of Absorption Heat Pump with a Capacity of 150 RT," *Proceeding of the Society of Refrigerating and Air Conditioning '98 Conference*, pp. 1512~1517.
- (4) Kim, J. M., Moon, C. G., Kwon, O. K., Yoon, J. I. and Choi, J. W., 1999, *Proceeding of the Society of Refrigerating and Air Conditioning '99 Conference*, pp. 470~474.
- (5) Lee, I. S. and Cho, K. N., 2009, "Effect of the Geometry of Flattened Tube on the Thermal Performance of a High Temperature Generator," *International Journal of Refrigeration*, Vol. 32, pp. 667~674.
- (6) Varma, H. K., Mehrotra, R. K. and Agrawal, K. N., 1994, "Heat Transfer During Pool Boiling of LiBr-water Solutions at Subatmospheric Pressures," *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol. 21, No. 4, pp. 539~548.
- (7) Rivera, W., Xicalse, A. and Garcia-Valladares, O., 2003, "Boiling Heat Transfer Coefficients inside a Vertical Smooth Tube for the Water/Lithium Bromide Mixture," *International Journal of Energy Research*, Vol. 70, pp. 265~275.
- (8) Marcos, J. D., Izquierdo, M., Lizarte, R., Palacios, E. and Infante Ferreira, C. A., 2009, "Experimental Boiling Heat Transfer Coefficients in the High Temperature Generator of a Double Effect Absorption Machine for the Lithium

- Bromide/Water Mixture,” *International Journal of Refrigeration*, Vol. 32, pp. 627~634.
- (9) EES: Engineering Equation Solver, 2008. F-Chart Software Inc.
- (10) Patek, J., Klomfar J., 2006, “A Computational Effective Formulation of the Thermodynamic Properties of LiBr-H₂O Solution from 273 to 500 K over Full Composition Range,” *International Journal of Refrigeration*, Vol. 29, pp. 566~578.