

기포 펌프를 적용한 흡수식 열펌프용 고온 재생기의 작동 특성 실험

Experiments on a Regenerator with Thermosyphon for Absorption Heat Pumps

박 찬 우*, 정 종 수**, 남 평 우***
C. W. Park, J. Jurng, P. W. Nam

Key words : Absorption heat pump(흡수식 열펌프), High-temperature generator(고온재생기), Thermosyphon(기포 펌프), Surface flame burner(표면 연소기)

Abstract

Experiments were carried out to study the operation characteristics of a regenerator with a thermo-syphon pump and a surface-flame burner for a lithium bromide (LiBr)-water absorption heat pump.

A cylindrical-shape metal-fiber burner and commercial grade propane were used. The emission of carbon monoxide and nitric oxide was measured by a combustion gas analyzer. Ther regeneration rate of water vapor as a refrigerant was measured. It could be as a reference value showing the performance of the regenerator. The circulation rate of the LiBr-water solution was also measured from both the tanks for the weak-and the strong-solution. Using a refractometer, the LiBr concentration in the solution was calculated from the measured refractory index of the solution. Temperature of the solution and the condensed water was recorded at several points in the experimental apparatus with thermocouples, using a personal computer. This data collecting system for measuring temperature was calibrated with a set of standard thermometers.

The generating rate of water vapor as refrigerant increased linearly with heat supplied. It was about 4.0g/s with the heat supplied at a rate of 16,500kcal/h. The circulation rate of LiBr solution also increases with the heat supplied. The difference in LiBr concentrations between the weak and the strong solution was in the range of 1 to 5% when the concentration of the strong solution was about 60%. It was dependent upon both the heat supplied and the circulation rate of the solution. The initial concentration and the level of the LiBr solution in

* 한양대 대학원

** 한국과학기술연구원

*** 한양대 학교 기계공학과

the regenerator were measured and recorded before experiments. The effect of them on the generating rate of water vapor and the circulation rate of the solution was also studied. The generating rate of water vapor was not strongly dependent upon both the level of the LiBr solution and the initial LiBr concentration. However, the concentration difference of the solution increases with the initial level of the LiBr solution.

기 호 설 명

A : tank의 면적 [cm^2]
 t : 시간 [sec]
 ρ : 밀도 [g/cm^3]
 h : 높이 [cm]
 \dot{m}_{vap} : 냉매 생성율 [g/sec]

1. 서 론

흡수식 냉동기용의 고온 재생기에 대한 연구는 예상의로 그다지 많지 않고 대부분 흡수식 냉동기 전체 시스템의 성능시험의 일부로 간주되어 왔으며 고온재생기 자체에 대한 연구는 발표된 논문도 흔치 않다. 기존의 LiBr-물 흡수식 열펌프용 고온 재생기는 건 타입(Gun-Type)의 버너를 사용하는 것이 일반적이므로, 버너로부터의 고온의 화염이 연소실 벽면에 직접 접촉하는 것을 방지하기 위해 버너의 화염 길이를 고려하여 연소실의 체적을 어느 정도 이상의 크기로 설계하므로 고온재생기의 소형화 문제가 전체 흡수식 열펌프 시스템의 소형화에 커다란 장애가 되는 측면이 있다. 또한 흡수식 열펌프의 소형화를 위해서 용액 순환 펌프를 사용하지 않는 것이 세계적인 연구 개발의 추세이므로 이에 따라 기포 펌프 등의 적용이 요구되고 있다.

고온 재생기에 대한 기존의 연구로는 Kamoshida and Isshika⁽¹⁾ 등의 대기압 하에서의 LiBr 수용액 및 LiBr/LiCl 혼합 수용액의 비등 특성에 대한 연구와 Furukawa and Enomoto⁽²⁾의 연구가 대표적으로 후자의 연구에서는 실제 사용되고 있는 흡수식 Chiller/heater의 고온 재생기를 대상으로 재생기 내에서의 강제 대류 비등 열전달 성능을 실

험적으로 연구하였는데, 이 실험에서는 기존의 건 타입(Gun-Type)버너를 사용한 고온 재생기에서 LiBr 수용액의 비등 특성, 열량 및 작동 유체의 변경에 따른 고온 재생기 각 부분의 열전달 계수 및 열 유속을 측정하였다.

국내의 연구로는 흡수식 열펌프의 고온 재생기에 대한 이론 해석 연구⁽³⁾, 가스 직화식 냉·난방기의 운전 특성에 대한 사이클 시뮬레이션(Cycle Simulation) 연구⁽⁴⁾ 등이 있다. 전자의 연구에서는 고온 재생기를 연소 지역과 증발 지역으로 나누고, 연소 지역은 연료의 이론 발열량으로부터 출구 화염온도를 구하고, 증발 지역에서는 ϵ -NTU 방법으로 용액 온도와 농도를 구하였다. 후자의 연구에서는 사이클 시뮬레이션의 결과와 실험결과를 비교하여, 고온 재생기의 공급 열량 및 용액 순환량 변화에 따른 냉동능력 특성변화 등을 연구하였다. 이 연구의 결과, 정격 가스 공급량까지는 공급 가스량 증가에 따라 냉동능력이 선형적으로 증가하나, 정격 이상의 가스량에 대해서는 냉동능력의 증가폭이 감소하고 재생기의 온도, 압력 상승 및 과농에 의한 결정 발생 위험이 커진다고 하였다. 한편 이 연구에서는 용액 순환량이 적은 편이 냉매 발생량이 증가하고 농용액 농도도 상승하여 냉동 능력이 증가하며 이러한 현상은 고온 재생기의 현열량이 감소하기 때문이라고 발표하였다. 그러나 어느 정도 이상으로 과도하게 용액 순환량이 줄면 재생기의 온도 및 압력이 지나치게 상승하여, 결정을 석출시키게 되므로 안전 운전에 나쁜 영향을 미칠 수 있다고 보고하였다. Herold⁽⁵⁾는 그의 논문에서 기존의 재생기 구조의 개선책을 논하면서 재생기의 크기를 줄이고 고효율화하기 위해서는 버너 부분에서 복사열을 적극적으로 이용할 수 있는 구조가 되어야 한다고 하여 앞으로의 흡수식 냉동기의 최적화

방법을 제시하고 있다.

본 연구에서는 LiBr-물 흡수식 열펌프의 소형화를 위해서 용액 순환 펌프를 사용하는 대신 기포 펌프(thermosyphon)를 적용하고, 동시에 배출가스 특성이 우수한 표면 화염 방식 연소기(surface-flame burner)를 적용하여 공랭식의 소형 흡수식 열펌프용 고온 재생기를 설계, 제작하였으며 이에 대한 성능 시험을 수행하였다. 또한 본 연구에서 설계한 장치는 용액 열교환기, 응축기 등을 재생기와 일체형이 되도록 설계되어 전체 시스템을 소형화할 수 있다는 장점이 있다.

2. 실험 장치 및 방법

본 연구에서는 실험용 소형 흡수식 열펌프용의 고온 재생기를 설계, 제작하여 작동 특성에 대한

실험을 수행하였으며 실험용 고온 재생기 시작품의 개략도는 Fig.1과 같으며 내부 장치의 구조를 Fig. 2에 나타내었다.

실험용 소형 흡수식 열펌프용의 고온 재생기는 몇 개의 주요 부분으로 구성되어 있다. 즉 연소기, 연소실, 연소기 주위의 용액 저장 탱크(reservoir), 용액과 연소 가스 사이에 대류 열전달에 의한 열교환이 일어나는 열교환 전열관, 응축기, 농용액 저장 탱크, 냉매 저장 탱크, 농용액과 냉매의 혼합(mixing) 탱크, 용액 열교환기 등의 주요 부분으로 구성되어 있다. 연소실 벽에는 용액 저장탱크를 관통하는 화염 관측창을 설치하여 표면연소기의 화염의 연소 상태를 관찰할 수 있도록 되어 있다.

연료와 공기의 혼합기는 연소기에 공급되기 직전에 미리 적당한 비율로(공기비 1.6) 혼합된 예혼합기의 상태로 연소실 내에 설치되어 있는 메탈 화

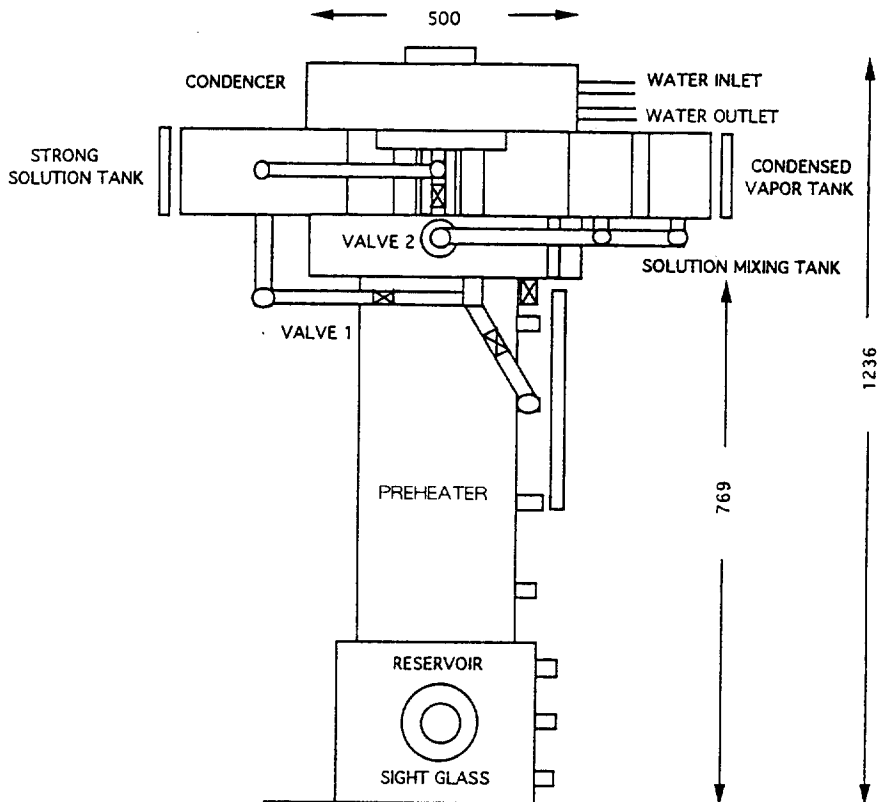


Fig. 1 Schematic diagram of a generator [mm]

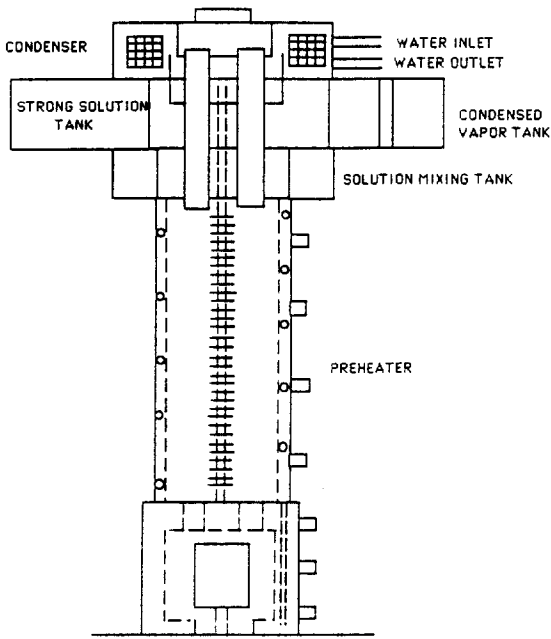


Fig. 2 Cross-sectional view of a regenerator

이버 버너(metal fiber burner)로 공급되며, 메탈 화이버 버너 표면에서 연소가 이루어진다. 주로 버너 표면에 형성된 화염과, 화염으로부터 열을 받아 약 1,200°C 정도의 고온으로 가열된 메탈 화이버 버너 표면으로부터의 복사 열전달에 의해 주로 연소실 벽면이 가열되고, 연소실 벽면을 통하여 용액 저장기 내에 저장되어 있는 희용액이 가열된다. 한편 연소실로부터 유출되는 고온의 연소 가스는 용액 저장기 상부의 4개의 연소 가스 배출관을 통과하여 전열 실내의 5개의 전열관에 열을 전달하고 약 200°C 정도로 온도가 낮아져서, 연도를 지나 배기구로 배출된다.

한편, 연소실을 둘러싸고 있는 용액 저장 용기(reservoir)내의 LiBr 희용액은 연소실 벽면을 통하여 전달된 열을 흡수하여 온도가 상승함에 따라 벽면을 따라 상승하면서 기포가 형성되며 비등하기 시작한다. 용액 저장기 내에서 형성되기 시작한 기포는 5개의 전열관 내부를 통하여 상승하며 기포 펌프(thermo-syphon)의 원리에 따라 기포와 함께 용액이 상승한다. 이 때 용액과 기포는 연소 가스에 의하여 가열된 전열관으로부터 열을 흡수, 온도

가 더욱 상승하여 비등 현상이 가속된다. 전열관 상부의 기액 분리기에 도달한 기포와 용액은 전열관 말단부 끝에서 플러딩(flooding)되어 냉매 증기와 농용액으로 분리된다. 여기에서, 농용액은 기액 분리기 바닥에 설치된 용액관을 통하여 농용액 탱크로 이동하고, 발생 증기는 엘리미네이터(eliminator)를 지나 냉매 응축기(condenser)에서 응축된 후 냉매 저장 탱크에 저장된다. 농용액 탱크로 전달된 고온의 농용액은 용액 열교환기에서 열을 전달하고 냉각되어 저온 농용액이 되며, 이 저온 농용액은 냉매-용액혼합 탱크 내에서 냉매 탱크로부터 나온 냉매와 혼합, 희석되어 비교적 저온의 희용액이 된다. 냉매-용액 혼합 탱크 내에 저장되었던 저온의 희용액은 고온 재생기의 표면부에 설치되어 있는 희용액 예열기를 통과하면서 열을 흡수하여 온도가 상승하여 다시 용액 저장 용기(reservoir)로 돌아간다. 연소 가스의 열을 최대한 흡수하기 위하여 고온 재생기를 둘러싼 형태로 희용액 예열기를 설치하였으며 열교환을 촉진하기 위하여 용액이 고온 재생기 주위를 돌면서 저장 용기 측으로 내려가도록 내부에 강봉 코일(coil)로 나선형의 유로를 형성하였다.

응축기 상부에는 진공 펌프를 연결하고 밸브를 설치하여 진공 작업을 할 수 있도록 하였으며, 각각의 탱크의 내부를 균압으로 유지하기 위하여 응축기와 냉매 및 용액 저장 탱크 사이를 균압관으로 연결하였다.

본 시작품에서는 용액의 농도를 변경하는 등의 시험 조건의 변경이 용이하도록 냉매 저장 탱크를 2개 설치하였는데, 실용화 시에는 냉매 저장 탱크는 1개로도 충분할 것이다. 한편 냉매 저장 탱크의 용액 저장 탱크에는 레벨 게이지를 설치하여 탱크 내부의 액의 높이를 측정할 수 있도록 하였다.

본 연구의 실험 장치 개략도는 Fig.3와 같다.

실제 시스템의 저온 재생기를 대신하여 냉각수를 외부로 순환시켜 응축 온도를 약 93°C 정도로 유지하도록 하여 고온 재생기 내의 압력이 일정하게 되도록 하였다. 순환 냉각수의 입, 출구 온도의 변화에 따른 고온 재생기 압력을 측정해 본 결과 고온 재생기의 압력은 냉각수 입구 온도에 따라 민감하게 변화하였다. 따라서 본 실험에서는 냉각수의

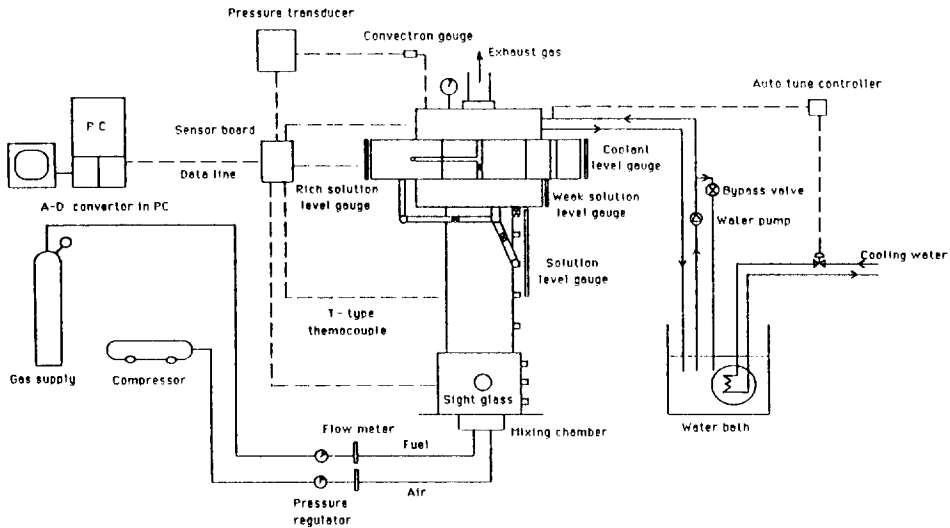


Fig. 3 Schematic diagram of experimental apparatus

입구 온도를 가능한 한 일정하게 유지할 수 있도록 냉각수 순환 탱크 내에 열교환기를 설치하고 이 열교환기에 약 20°C 정도의 냉수를 순환하도록 하고 순환량을 조절하여 고온 재생기가 실험 조건으로 설정한 압력에 대해 변화하는 것을 가능한 한 억제하였다. 재생기 내부 압력의 측정을 위해서 고온 재생기 상부에 눈금식 진공(vacuum) 게이지(범위: -76cmHg~0cmHg)를 설치하였으며, 컨벡트론(convectron) 방식 진공 게이지(범위: 10^{-1} torr~990torr)를 사용하여 압력 데이터를 기록하였다. 이 압력 게이지 들은 수은 진공 마노미터를 이용하여 보정하여 사용하였다.

고온 재생기의 성능을 가장 잘 나타내는 지수는 냉매 증기 발생량 및 용액 순환량이다. 본 실험에서 냉매 증기 발생량은 냉매 저장 탱크의 유출 밸브를 닫고 냉매 탱크 내의 냉매 수위의 증가를 일정 시간 동안 측정하여 계산하였으며, 동일한 원리에 따라서 용액 순환량을 희용액 탱크로부터 측정하였다.

용액의 농도의 측정에는 측정 위치로부터 일부 추출한 용액의 굴절률을 굴절률계(refractometer)를 사용하여 측정하여 용액의 굴절률로부터 농도를 추정하는 굴절률 농도측정법을 사용하였다. 냉매-

용액 혼합 탱크(희용액 탱크)에 부착된 용액 추출용 밸브로부터 희용액을 추출하여 희용액의 농도를 측정하였고, 농용액 탱크에 설치한 용액 추출용 밸브를 통하여 추출한 농용액의 굴절률로부터 농용액의 농도를 추정하였다. 재생기 내의 각 부분에서의 용액, 냉매, 냉각수 및 배출가스 등의 온도를 냉매-용액 혼합 탱크 등에 설치한 13개의 T-type의 열전대(thermocouple)를 이용하여 측정하였는데, 열전대로부터의 온도 신호를 A/D 변환하여 퍼스널 컴퓨터의 데이터 처리 시스템을 이용하여 실험 도중 연속적으로 신호를 기록하도록 하였으며, 희용액의 온도는 냉매-용액 혼합 탱크에서, 냉매의 온도는 응축기와 냉매 저장 탱크를 연결하는 연결관에서, 농용액의 온도는 기액 분리기와 농용액 저장 탱크를 연결하는 연결관에서 각각 측정하였다. 본 연구에서 연료로는 저위 발열량이 약 13,000kcal/kg 인산용 LP가스(Liquid Petroleum Gas, $C_3H_8 + C_4H_{10}$)를 사용하였으며 기준 실험 조건은 버너에 대하여 연료 유량이 약 9l/min, 공기 유량 344l/min, 공기비 1.6, 공급 입열량은 13,000kcal/h이다. 한편 응축 온도는 93°C, 초기 용액 농도는 56% 정도이다.

본 연구에서는 입열량 등 여러 가지 작동 조건을

변경하면서 이러한 변화가 냉매 증기 발생량 및 농도, 용액 순환량에 미치는 영향을 검토하는 등의 성능 시험을 수행하였다.

3. 실험 결과 및 검토

3.1 공급 열량에 따른 냉매 생성량 및 용액 순환량

본 연구에서는 연소 장치에 공급되는 입열량을 변화시키면서 냉매 생성량, 각 부분의 온도 변동 등에 대한 실험을 수행하였다. 공급되는 입열량은 13,000kcal/h를 기준 조건(100%)으로 하여 80%, 120%, 140% 등 4가지 조건에 대하여 실험을 수행하였다.

Fig.4는 공급 입열량 변화에 따른 냉매 생성량의 변화를 나타낸 그림이다.

냉매의 생성량은 냉매 저장 탱크의 출구 측 밸브를 차단하고 냉매 수위의 상승 속도를 측정하여 구하였다. 냉매 수위는 냉매 저장 탱크 외부에 설치된 유리관에서 측정할 수 있으며, 측정시에는 초시계(stopwatch)를 사용하여 수위가 10mm 상승하는데 소요되는 시간을 측정하였다. 내경이 10.4cm인 냉매 저장 탱크의 내부 단면적은 약 85cm²이므로 10mm 상승에 대한 소요 시간을 $t(\text{sec})$ 라고 하면 냉매 생성량은 다음식으로 계산할 수 있다.

$$\dot{m}_{\text{vap}} = \rho A \frac{dh}{t} \quad (1)$$

본 연구에서는 응축 온도를 대략 일정한 값으로 고정하여 실험을 수행하였으므로 냉매의 밀도를 1g/cm³으로 가정하여 냉매 생성량을 계산하였다. 일반적으로 냉매 탱크 내의 냉매의 수위가 10mm 상승하는데 소요되는 시간은 10~40초 정도로, 냉매 생성량은 1.5~4.0g/s의 범위이다.

이 그림에서 관찰되는 것과 같이 입열량이 기준 조건(13,000kcal)의 80~140%의 범위에서 냉매 생성량은 거의 입열량의 증가에 따라 직선적으로 증가한다. 입열량이 약 18,000kcal/h인 입열량 140% 조건에서의 냉매 생성량은 4.0g/s 정도로 정격 조건(2.5g/s)에 비해 약 60% 정도 증가였다. 80% 이하의 입열량에서는 냉매 생성량이 급격히 감소하며, 예를 들어 70% 정도에서는 응축 온도를 93℃로 유지하기 어려울 정도로 장치 내의 온도가 낮아지며 냉매 생성량도 80% 조건의 1/2 이하로 감소하였다.

Fig.5은 회용액 탱크 측에서 용액 출구 밸브를 차단한 후 용액 수위의 상승을 측정하여 추정된 용액 순환량을 나타내고 있다. 기포 펌프의 입열량이 증가함에 따라 용액 순환량이 증가하는 것을 관찰할 수 있다. 이러한 현상은 입열량의 증가에 따라 기포 펌프 전열관 내의 용액의 상승이 활발해지고

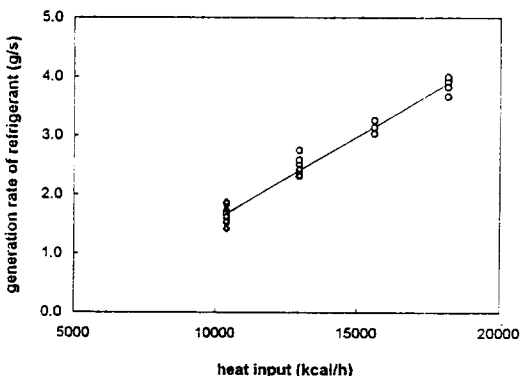


Fig. 4 Variation of the refrigerant generation rate with heat input

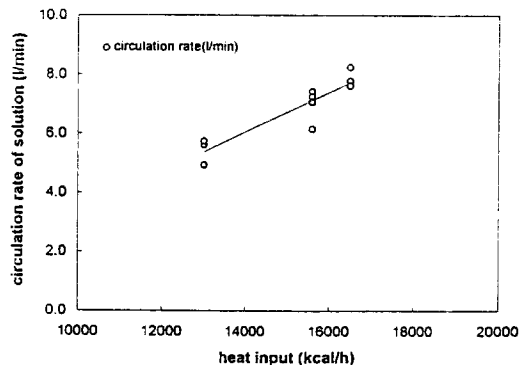


Fig. 5 Variation of the circulating rate of the solution with heat input

따라서 용액 순환량이 입열량에 거의 비례하여 증가하는 것으로 생각된다.

Fig.6은 입열량의 변화에 대한 농용액 측과 희용액의 농도의 측정치를 나타낸 그림이며, 본 연구에서는 앞서 설명한 대로 각 부분의 용액을 추출하여 굴절율법에 의해 용액의 농도를 측정하였다. 본 실험에서는 장치 내의 결정 석출 문제를 완화시키기 위하여 용액의 작동 범위를 실제 기기에 비해 상당히 낮은 52~57% 정도로 낮추어 실험을 수행하였으며 농용액과 희용액의 농도차도 약 1% 정도로, 비교적 크지 않게 유지하였다. 이 그림에서는 입열량의 증가에 따라 농용액의 농도는 서서히 상승하고 희용액의 농도는 서서히 감소하여 농도차가 증가하는 현상이 관찰되었다. 이는 입열량이 증가 할수록 용액의 비등현상이 활발해져 기포 발생량이 증가하면 용액의 냉매(물)와 흡수제(LiBr)의 분리가 활발하여서 농용액의 농도는 증가 하게도니다. 그와 반대로 농용액과 냉매와 혼합되는 희용액의 농도는 감소되어 진다. 이는 입열량에 따른 증기 발생량의 증가율이 용액 순환량의 증가율 보다 더 크기 때문에 일어나는 현상으로 본다. 이는 Fig.4의 입열량에 따른 증기 발생 증가율과 Fig.5의 용액 순환 증가율의 기울기에서 약간의 그 차이를 볼 수 있다.

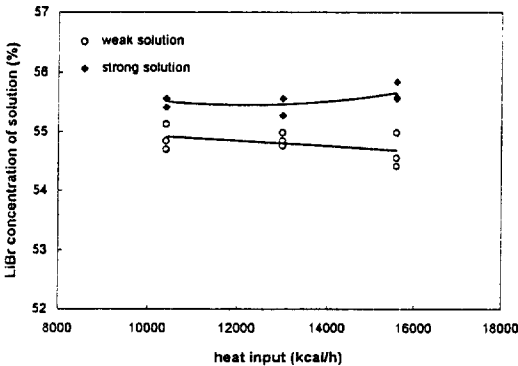


Fig. 6 Variation of the LiBr concentrations in the rich-and weak-solution with heat input

3.2 전열관 내 용액 수위 변경에 따른 영향

본 연구에서는 장치 내의 용액의 전열관 내의 수위 변경에 따른 재생기의 작동 특성을 알아보기 위한 실험을 수행하였다. 앞서 설명한 대로 용액 순환량과 냉매 생산량 사이에는 전체 열펌프의 성능을 최적화할 수 있는 적절한 비율이 존재하므로 본 연구에서는 용액 순환부인 농용액 탱크 등에 설치되어 있는 밸브의 개도를 조정하여 용액 순환에 적절한 저항치를 가하여 동일한 초기 용액 충전량에 대하여 용액 순환량을 변경시키면서 전체 열펌프 성능에 미치는 영향을 분석하였다. 즉, 농용액 탱크를 이용하여 용액을 일부 저장함으로써 용액 전열관 내의 용액의 수위를 조절하는 방법을 사용하였다. 농용액 탱크는 내부의 높이가 15.6cm, 내부 단면적이 491cm²로, 본 실험에서는 농용액 탱크의 출구 밸브와 상부 탱크에서 직접 희용액 탱크로 연결되어 있는 바이패스용 용액 밸브의 개폐를 조절하여 용액의 수위를 0, 2, 8.5, 11 및 13.5cm로 조정하여 실험을 수행하였다. 단, 농용액 탱크 내의 용액의 수위가 11cm 이상이면 농용액 탱크의 연결관과 상부 탱크 등에도 농용액이 저장되는 효과가 나타나므로 실험 결과의 분석 시에는 이 효과를 고려하여야 한다.

Fig.7은 이 실험 결과 얻어진 냉매 생성량의 변화를 나타낸 그림이며, Fig.8은 순환량을 나타낸

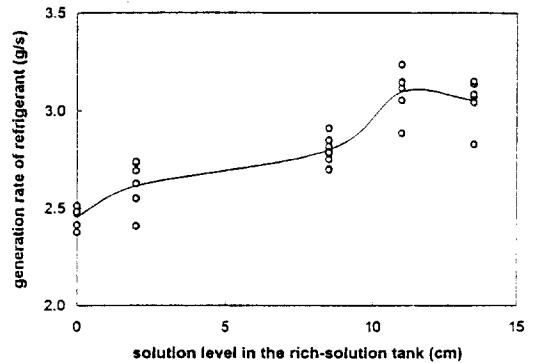


Fig. 7 Variation of the refrigerant generation rate with the solution level in the rich-solution tank

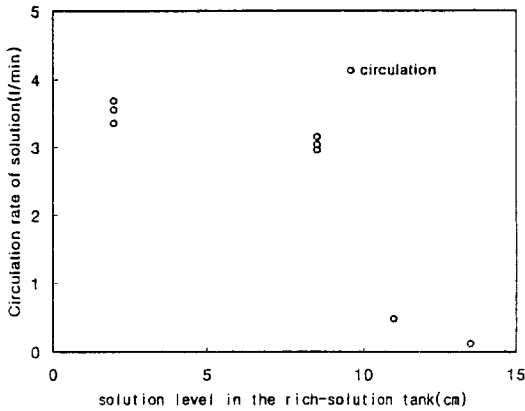


Fig. 8 Variation of the circulating rate of the solution with rich solution tank level

것이다. 이 그림에서는 농용액 탱크의 수위를 기준으로 하여 냉매 생성량 및 순환량의 변화를 나타냈다. 이 때의 실험 조건은 입열량 13,000kcal/h, 응축온도는 90°C로 기준 조건과 동일하다.

농용액 탱크 출구의 밸브를 닫아 농용액 탱크내 용액을 저장하여 전열관 내 수위가 하강함에 따라 냉매 생성량이 증가하는 것을 이 그림에서 관찰할 수 있다. 이러한 실험조건에서는 농용액 탱크의 수위가 상승하면 하단부의 기포 펌프 전열관 내의 용액 수위가 낮아지게 된다. 특히 농용액 탱크의 용액 수위가 8.5cm에서 11cm로 증가하는 동안 냉매 생성량의 평균치는 2.8g/s에서 3.1g/s로 약 10% 정도 증가하는 현상이 나타난다. 이 경우 농용액 탱크의 물 출구 측 밸브(밸브 1)는 완전히 닫힌 상태로, 바이패스측 밸브(밸브 2)의 개도를 조절하는 상태이다. 이러한 현상은 순환량의 감소로 용액을 가열하는데 요구되어지는 현열량의 감소로 생기는 현상으로 본다. 한편, 농용액 탱크의 수위를 11cm에서 13.5cm로 증가시키면, 이제까지의 경향과는 달리 냉매 생성량은 거의 포화 상태에 이르고 오히려 약간 감소하는 현상을 보였다.

Fig.8의 용액의 순환량을 보면 농용액 탱크의 수위가 높아짐에 따라, 즉 기포 펌프 전열관 내의 용액 수위가 낮아짐에 따라 그 양이 감소함을 보이고 있다. 특히 용액의 순환량이 급격히 감소하는 11cm 부분은 증기발생이 가장 활발한 부분에 해당

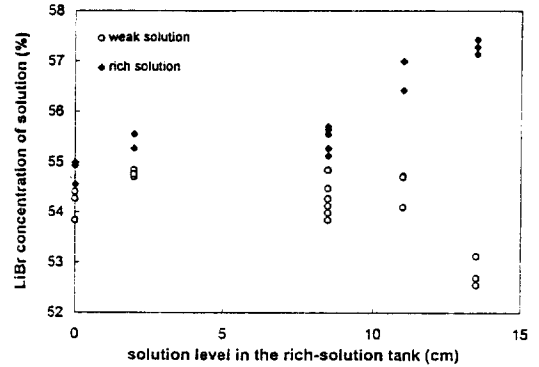


Fig. 9 Variation of the LiBr concentrations in the rich-and weak-solution with the solution level in the rich-solution tank

되며, 13.5cm가 되는 부분에는 순환량이 거의 미소한 상태가 된다.

Fig.7에서 높이 13.5cm 부근에서 냉매 생성량 증가가 포화(saturation)되는 현상이 발생하는 이유는 이 조건 부근에서 기포 펌프의 양액 능력이 급격히 떨어지는 현상이 발생하여, 이로 인한 용액 순환 부진이 용액을 가열하기 위한 현열량 면에서는 이득이 있으나, 용액이 양액 되어 엘리미네이터(eliminator)에서 증기와 용액이 분리되는 효과를 잃게 되므로 전반적인 냉매 발생능력은 약간 감소한다고 본다. 그리고 이때의 용액 저장용기(reservoir) 내의 온도를 분석하여 보면 냉매 발생량이 약간 감소될 때, 용액 순환부진으로 인해 온도가 과잉 상승되어 용액이 결정화 될 징후가 보였다.

Fig.9은 농용액 탱크 내의 농용액의 수위 변화에 따른 농용액 및 희용액 농도의 변동을 나타내는 그래프이다.

농용액 탱크 내의 용액 저장 수위가 상승함에 따라 농용액의 농도는 상승하고, 희용액의 농도는 낮아지는 것이 뚜렷하게 관찰된다. 용액의 수위가 8.5cm에 도달할 때까지는 농용액 및 희용액의 농도에 큰 변동이 없는 반면, 이 이상의 수위가 되면 농용액과 희용액의 농도의 차가 뚜렷하게 나타나는 것을 알 수 있다. 이는 양액량이 급격히 감소하여 농용액의 절대량이 줄기에 희용액 탱크에서의 농도는 낮아지게 된다. 각 위치에서의 농도의 차는 용

액 수위 8.5cm 이상에서 급격히 상승하여 13.5cm 일 때의 농도차가 약 4% 정도로, 2cm일 때의 농도차 0.6%의 약 7배 정도의 매우 큰 값이다. 한편, 앞 절의 Fig.7에 대한 설명에서는 농용액 탱크 내의 용액 수위가 11cm에서 13.5cm로 증가할 때, 냉매 생성량에는 약간 줄어드는데 반하여 이 그림에서 보면 농도차는 2%에서 4%로 약 2배가 되는 현상이 관찰된다. 이러한 현상은 Fig.7에서 설명 하였듯이 용액 순환 부진으로 비록 증기발생량은 약간 감소하였지만, Fig.8과 비교해 볼 때, 증기 발생 감소량보다 양액량 감소율이 더 커서 소량의 농용액 농도는 더욱 올라가게 되고 이와 비교적 다량의 응축된 냉매와 혼합되어서된 희용액 탱크의 희용액의 농도는 더욱 묽어지게된다. 이러한 현상은 열사이펀의 특성 연구⁽⁶⁾에서도 비슷한 결과를 보이고 있다. 즉 기포 펌프의 양액 한계 구역 근처에서는 양액 높이변화에 따른 기포 발생량(m_{vap})의 변화보다 양액량의 변화가 더욱 크기 때문이다.

이러한 현상은 이 보다 용액의 순환 능력을 더 줄일 때 심해지며, 이 때는 농용액은 양액이 안되어 농도측정이 불가능하였으며, 희용액 탱크 내의 농도는 더욱 묽어지며, 용액 저장 용기(reservoir) 내의 농도 및 온도가 과잉 상승하며, 용액이 결정화 되어지는 현상이 관측되었다. 그러므로 정격 부하 운전시 용액의 충전량을 결정하기 위해서는 이러한 점을 고려하여 결정이 발생하는 전열관내 수위 이하의 운전을 피해야 한다고 본다.

3.3 충전 용액의 초기 농도 변화에 따른 영향

본 연구의 고온 재생기와 같이 기포 펌프 형태의 전열관을 설치한 경우 최적 용액 충전량 외에도 충전 용액의 초기 농도도 전체 열펌프 성능에 큰 영향을 미치게 될 것이다.

본 연구에서는 장치 내의 충전 용액의 농도를 변경하기 위한 방법으로 2개의 냉매 저장탱크 중 1개를 사용하였다. 냉매 저장탱크에 냉매를 일부 저장하면 장치 내의 농도가 증가한다. 본 연구에서 기준 조건으로 사용한 용액의 농도는 약 55~56%이다. 이 상태에서부터 시작하여 냉매 저장탱크를 채우면 Fig.10의 그래프에 나타낸 대로 용액의 농도가 증가한다.

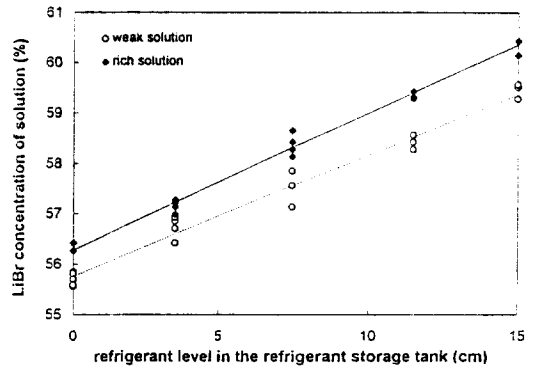


Fig. 10 Variation of the LiBr concentrations in the rich-and weak-solution with the refrigerant level in the refrigerant storage tank

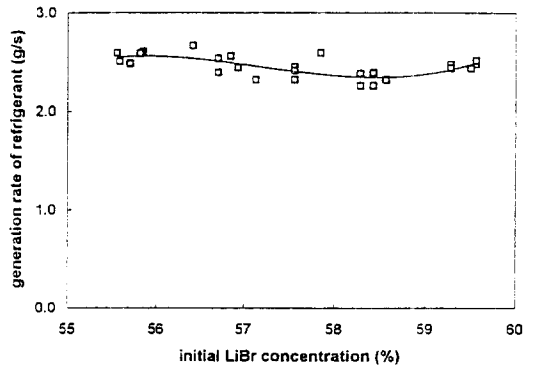


Fig. 11 Variation of the refrigerant generation rate with the solution initial LiBr concentrations in the solution

이 그림에서 보면 냉매 저장탱크의 냉매 수위가 냉매 저장탱크가 거의 채워지는 상태인 15cm에 이르기까지 농용액 및 희용액의 농도가 수위의 증가에 따라 거의 직선적으로 비례하여 증가하고 있다. 본 실험에서 냉매 저장 탱크 1개를 사용해서 도달한 희용액의 최고 농도는 59.5%, 농용액은 61.6%로 처음 충전 하였던 용액보다 약 5%정도 LiBr 농도가 증가하였다.

냉매 저장탱크의 냉매 수위의 변화에 따른 희용액의 초기 충전 농도와 냉매 생성량과의 관계를 나타낸 그래프가 Fig.11 이다.

실험 전의 예측과는 달리 냉매 저장탱크의 냉매 수위가 증가함에 따라 회용액의 초기 충전 농도가 55% 부터 약 60% 정도까지 변화하는 구간에서도 냉매 생성량에 큰 변화가 나타나지 않는 것을 알 수 있다. 회용액 농도가 58%일 때 약간 냉매 생성량이 작아지는 점이 눈에 띄기는 하지만 없으며 다시 회복되었으며 전체적으로는 평균치인 2.5g/s 부근에서 변동이 크지 않다. 즉, 냉매 생성량은 용액의 초기 충전 농도의 변화에는 큰 영향을 받지 않는 것으로 생각된다.

4. 결 론

본 연구에서는 공랭식 흡수식 열펌프의 고온 재생기의 소형화를 목표로 표면 연소방식의 연소기 및 기포 펌프를 적용한 고온 재생기를 설계하여 이에 대한 제작, 성능 실험 등을 수행하였다.

본 연구의 수행 결과 얻어진 결론을 정리하면 다음과 같다.

1) 공급되는 입열량을 13,000kcal/h를 기준 조건(100%)으로 하여 80%, 120%, 140% 등 4가지 입열량 조건에 대하여 실험을 수행한 결과 이 범위에서 냉매 생성량은 거의 입열량의 증가에 따라 직선적으로 증가한다. 각 부분의 용액을 추출하여 굴절율법에 의해 측정된 용액의 농도는, 입열량의 증가에 따라 농용액의 농도는 서서히 상승하고 회용액의 농도는 서서히 감소하였다. 기포 펌프 부위의 입열량이 증가에 따라 기포 펌프 전열관 내의 용액의 상승이 활발해져서 용액 순환량이 증가한다.

2) 농용액 탱크 출구의 밸브를 조절하여 기포 펌프 내의 용액 수위를 변화시키는 실험을 수행한 결과, 전열관 내 용액 수위가 낮아짐에 따라 냉매 생성량이 증가한다. 그러나 양액 한계에 이르면 오히려 약간 감소하는 현상이 발생한다. 용액 수위 변화에 따른 농용액 및 회용액 농도는, 농용액 탱크 내의 용액 저장 수위가 상승함에 따라 농용액의 농도는 상승하고, 회용액의 농도는 낮아져서 농용

액과 회용액의 농도차가 커지는데, 이는 용액 순환량과 증기 발생량의 비에 관련 된다.

3) 냉매 탱크를 이용하여 충전 용액의 농도를 회용액의 농도를 55.5~59.5%의 범위로 변화시키더라도 냉매 생성량은 큰 변화가 없이 기준 조건에서의 냉매 생성량인 2.5g/s 부근의 값을 보이며, 냉매 생성량은 초기 용액의 충전 농도에는 큰 영향을 받지 않는 것으로 보인다.

참 고 문 헌

1. Kamoshida, J. and Isshiki, N., 1993, "Heat Transfer to Water and Water/Lithium Halide Salt Solutions in Nucleate Pool Boiling", International Absorption Heat Pump Conference, ASME, ASE-Vol. 31, pp. 501~507.
2. Furukawa, M., Enomoto, E., and Sekoguchi, K., 1993, "Boiling Heat Transfer in High Temperature Generator of Absorption Chiller/Heater", ASE-Vol. 31, International Absorption Heat Pump Conference, ASME, pp. 517~523.
3. 이주현, 유선일, 김호영, 1994, "흡수식 열펌프의 고온재생기에 관한 이론 해석", 대한기계학회 '94년도 춘계학술대회논문집(II), pp. 139~142.
4. 박성연, 설신수, 김양규, 홍용규, 1995, "가스직 화식 흡수식 냉·난방기의 운전특성에 관한 연구", 공기조화냉동공학회 1995년도 하계학술발표 논문집, pp. 399~403.
5. Keith E. Herold, 1995, "Design Challenges in Absorption Chillers", Mechanical Engineering, Oct. 1995, pp. 80~83.
6. 정시영 등, 1996, "소형 공랭식 흡수식 히트펌프 기술개발에 관한 연구", 통산 산업부.
7. 정종수 등, 1995, "소형공랭식 흡수식 열펌프의 요소기기 설계 및 제작 기술 개발", 한국과학기술연구원 연구보고서 BSM0500-5478-2.