

공냉식 흡수식 냉동기의 특성 해석

권오경*, 문춘근*, 양영명**, 유선일**, 윤정인***
부경대학교 대학원*, 한국가스공사**, 부경대학교***

Characteristic analysis of air-cooled absorption refrigeration machine

Oh-Kyung Kwon*, Choon-Geun Moon*, Young-Myung Yang**, Sun-Il Yu**, Jung-In Yoon***
Graduate School, Pukyong National University*, Korea Gas Corporation**,
Pukyong National University***

Abstract

This paper describes the study of developing air-cooled absorption system which uses a new working solution instead of LiBr solution to improve the performance of system. The absorption chiller-heater considered was an air-cooled, double-effect, $H_2O/LiBr+HO(CH_2)_3OH$ system of parallel flow type. In this study, we found out the characteristic of new working solution through the cycle simulation and compared the result that of LiBr solution to evaluate. The new working fluid has a wider working range with 8% higher crystallization limit at the saturated refrigerant pressure of 0.8kPa. The optimum designs and operating conditions of air-cooled absorption system were suggested based on this cycle simulation analysis. It was demonstrated that new working fluid substantially improves the performance of the absorption refrigeration machine and is expected to increase the COP by as much as 5%.

1. 서론

생활수준의 향상으로 쾌적한 생활공간을 추구함에 따라 냉난방 설치율이 날로 증가하고 있으며 특히 냉방기의 설치가 매년 급격히 증가하게 되어 에너지 수요가 증가하고 있는 실정이다. 이러한 하절기의 냉방 수요 증가에 따른 전력 수급 불균형 문제의 해결과 지구환경 보호차원에서 동력원을 석유나 전기로부터 청정연료인 가스를 사용하는 흡수식 냉난방기가 공조분야를 중심으로 크게 주목을 받고 있다. 현재 국내에서는 $H_2O/LiBr$ 를 작동매체로 사용하는 흡수식 냉방기가 주로 보급되고 있으며, 냉방용량에 있어서도 주로 중대형 건물을 대상으로 한 30RT급 이상의 중대형 수냉형 시스템이 대부분이다. 특히 소형 흡수식 냉방기를 사용하는 곳은 주로 가정용 냉방장치이기 때문에 실제적으로 냉각탑을 설치 운용하기 어려워 가정용을 위해서는 냉각탑을 사용하지 않는 공냉형 소형 흡수식 냉방기의 개발이 필수적이므로 현재 국내외의 여러 연구기관에서 많은 연구⁽¹⁻²⁾가 수행되고 있다. 그러나 공냉형 소형 흡수식 냉방기는 냉각유체로 공기를 사용하

기 때문에 수냉형에 비하여 흡수기의 온도가 10~15℃ 정도 높게 되므로 작동매체로서 H₂O/LiBr를 사용하는 흡수식 시스템의 경우, 흡수제인 LiBr이 고농도에서 결정 되기 때문에 작동범위 측면에서 많은 제약이 있다. 이와 같이 H₂O/LiBr가 갖는 특성상 소형화 및 공냉화에 따르는 여러 제한요소로 인하여, 최근에는 고농도에서 결정화 문제가 없는 안정한 새로운 흡수용액의 개발에 역점을 두고 있다. 흡수용액 및 그 성능에 관한 연구는⁽³⁾ 일본을 중심으로 활발히 진행되고 있으나, 국내의 경우에는 기존의 LiBr에 계면활성제와 부식억제제를 첨가하여 설계·제작하고 있을 뿐이며, 흡수용액에 대한 기초연구 및 응용연구는 대단히 부족한 실정이다.

본 연구에서는 흡수식 냉난방기의 공냉화를 위해 개발된 신작동매체 H₂O/LiBr+HO(CH₂)₃OH(질량비 3.5 : 1)에 대한 이중효용 병렬방식의 시스템 시뮬레이션을 통해 사이클의 성능특성을 파악하고 기존의 LiBr용액과 비교하여 흡수식 냉난방기의 공냉화를 위한 적용성을 검토하고자 한다.

2. 시뮬레이션 모델

2.1 2중효용 사이클의 개요

2중효용 사이클은 용액의 순환방식에 따라 직렬흐름방식(series flow type)과 병렬흐름방식(parallel flow type)으로 나눌 수 있다. 병렬흐름방식에서는 직렬흐름방식에 비해 흡수기 입구부근의 농도가 결정한계선으로부터 좀 더 떨어져 있으므로 용액 결정화의 염려가 상대적으로 적으며, 고온재생기의 압력이 직렬방식보다 낮아지는 장점이 있으므로 공냉화에 적합한 방식으로 본 시뮬레이션에서는 병렬흐름방식을 대상으로 하였다. 병렬흐름방식의 원리는 흡수기에서 농도가 묽어진 희용액이 저온용액 열교환기를 거쳐 일부는 고온재생기(α)로, 다른 일부는 저온재생기($1-\alpha$)로 흐르게 되며 고온재생기에서 재생된 농용액과 저온재생기에서 재생된 중간농도용액이 혼합되어 흡수기로 되돌아오는 방식이다. Fig. 1은 본 연구에서 사용된 공냉형 병렬흐름방식 흡수식 냉동사이클의 개략도를 나타내었고, Fig. 2에는 이 사이클의 각 상태점을 표시한 듀링(Dühring)선도이다.

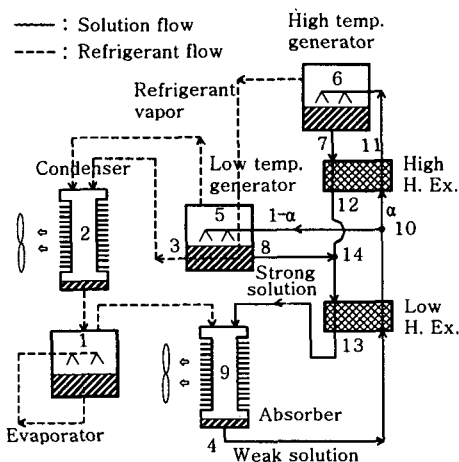


Fig. 1 Schematic diagram of double effect parallel absorption refrigerating machine

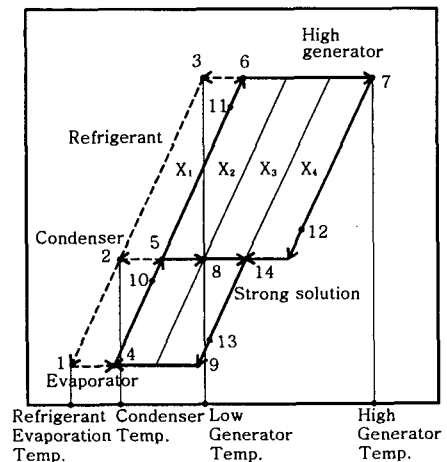


Fig. 2 Dühring diagram of double effect parallel flow cycle

2. 2 시뮬레이션의 계산조건 및 가정

본 시뮬레이션은 가정용 냉방기를 기준으로 하여 1RT급(3.516kW)으로 계산하였으며 흡수기 및 응축기의 냉각원으로 공기를 사용하고, 냉수의 입·출구온도는 12°C 및 7°C로 하였다. LiBr의 열물성치는 McNeely⁽⁴⁾의 식을 참고하였으며, 신흡수용액은 Park 등⁽⁵⁾의 열물성치를 이용하였다. 정상상태에서의 시뮬레이션을 용이하게 하기 위해 다음과 같이 가정하였다.

- ① 사이클상의 각 점에서 온도, 압력, 용액농도는 평형상태이다.
- ② 각 열교환기는 향류형으로 하며, 온도차는 대수평균온도차를 이용한다.
- ③ 순환냉매는 증발기내에서 완전히 증발하여 흡수기의 흡수용액에 흡수된다.
- ④ 기기로부터의 열손실과 관내에서의 압력강하는 무시한다.
- ⑤ 고온재생기에서 발생한 냉매증기의 응축열은 모두 저온재생기내 중간농도용액의 농축을 위해 사용된다.

3. 결과 및 고찰

3. 1 용액분배율의 영향

Fig. 3은 용액분배율(α)의 변화에 따른 COP, 고온재생기의 압력 및 농도의 변화를 나타낸 것이다. 여기서 용액분배율은 흡수기에서 나온 회용액을 고온재생기로 보내는 비율을 의미한다. 그림에서 용액분배율이 증가하면 고온재생기에 유입하는 용액이 증대하여 COP가 감소하고 있다. 용액결정의 위험은 결정선으로부터 여유율 3%을 고려하여 H₂O/LiBr의 경우 67%, H₂O/LiBr+HO(CH₂)₃OH의 경우 75%를 결정한계로 잡았다. 고온재생기의 압력은 H₂O/LiBr에서는 전반적으로 대기압이하로서 용액분배율 변화에 따른 급격한 압력상승은 나타나고 있지 않지만, H₂O/LiBr+HO(CH₂)₃OH의 경우에는 용액분배율이 45% 이상이 되면 대기압을 넘게 된다.

따라서 높은 COP값을 가지며 고온재생기의 압력한계 및 결정한계를 고려해볼 때 적절한 용액은 H₂O/LiBr, H₂O/LiBr+HO(CH₂)₃OH의 경우 36~40%일 때로 판단된다. H₂O/LiBr+HO(CH₂)₃OH의 경우가 적정용액분배율에서 H₂O/LiBr보다 COP에 있어서 5%정도 높게 나타나고 있다.

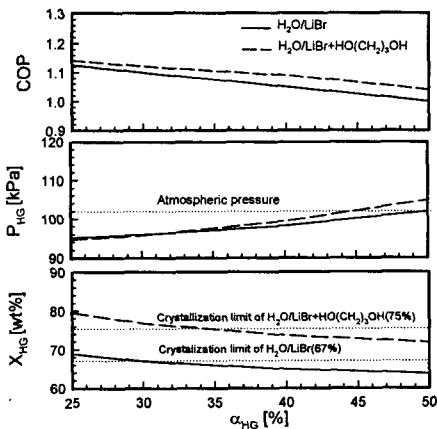


Fig. 3 Influence of weak solution distribution ratio

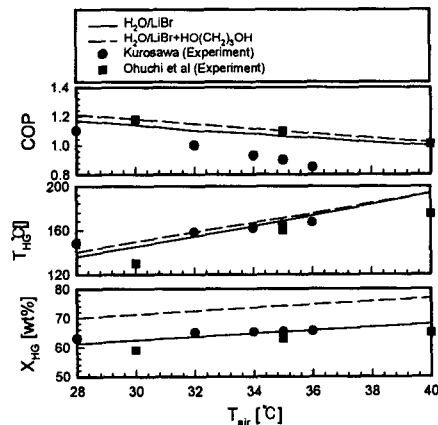


Fig. 4 Influence of cooling air inlet temperature

3. 2 냉각공기 입구온도의 영향

Fig. 4는 흡수기와 응축기의 냉각원으로 사용되는 냉각공기의 입구온도가 하절기 기후조건에 따라 변동하므로 그 변화가 COP 및 고온재생기의 온도, 농도에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 냉각공기온도가 증가할수록 COP는 감소하였으며, 고온재생기의 온도 및 농도는 증가하는 경향을 나타내었다. 특히 냉각공기의 온도가 36℃이상에서는 H₂O/LiBr, H₂O/LiBr+HO(CH₂)₃OH 작동매체 모두 고온재생기의 온도가 170℃를 넘게되어 부식율이 증가하게 될 것으로 예상된다.

시뮬레이션의 타당성을 검증하기 위해서 공냉 흡수식 시스템의 작동매체로서 H₂O/LiBr를 이용한 냉동능력 20RT급의 Kurosawa⁽⁶⁾와 2RT급의 Ohuchi 등⁽⁷⁾의 실험데이터와 비교하였다. 시뮬레이션의 결과와 실험데이터의 값들이 전반적으로 일치하는 결과를 보여 본 시뮬레이션의 모델링은 적절하다고 판단된다. H₂O/LiBr+HO(CH₂)₃OH의 경우가 H₂O/LiBr보다 약 5%정도 높은 COP를 나타냈으며, 고온재생기의 온도 및 농도가 높게 나타났다.

3. 3 냉각공기 유량의 영향

Fig. 5는 냉각공기 유량의 변화가 COP 및 고온재생기의 온도, 농도에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 냉각공기유량이 증가할수록 COP가 증가하는 경향이 나타나며 고온재생기의 압력 및 농도는 낮아지고 있다. 두 작동매체에 있어서 기준조건보다 20%의 냉각공기 유량을 증가시켜도 COP 및 농도에는 거의 변화가 없다는 것을 알 수 있지만 압력은 크게 낮아진다는 것을 알 수 있다.

3. 4 회용액순환량의 영향

Fig. 6은 회용액순환량 변화가 COP 및 고온재생기 온도, 농도에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 여기서 H₂O/LiBr에서 회용액순환량의 기준값 100%는 0.05m³/h이며, H₂O/LiBr+HO(CH₂)₃OH에서는 0.044m³/h를 기준조건으로 하여 비교하였다. H₂O/LiBr+HO(CH₂)₃OH의 적정 회용액유량은 H₂O/LiBr계와 비슷한 상태인 고온재생기의 압력과 결정 여유율을 고려하여 결정하였으며, 신 흡수용액은 용액의 결정온도를 기존의 LiBr수용액보다 넓게 사용할 수가 있어서 흡수용액의 유량을 줄이는 것이 가능하다. 그럼에서 COP는 회용액순환량이 증가함에 따라 감소하게 된다. 그러나 회용액순환량이 증가하면 고온재생기의 온도 및 농도를 낮게 억제할 수 있음을 알 수 있다.

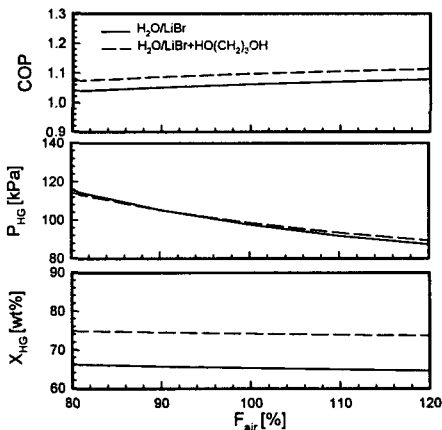


Fig. 5 Influence of cooling air flow rate

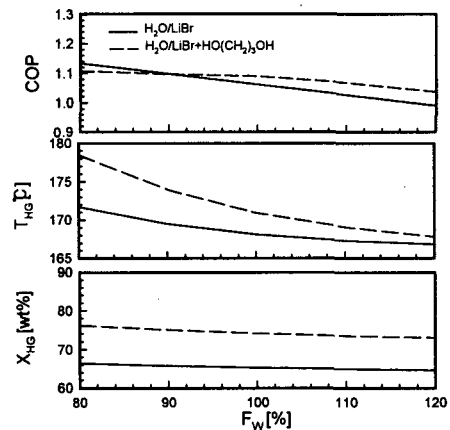


Fig. 6 Influence of circulation weak solution

3. 5 냉수입구온도의 영향

Fig. 7은 냉수입구온도의 변화가 COP 및 고온재생기의 압력, 농도에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 냉수입구온도의 변화는 냉동부하의 변동에 의하여 발생된다. 그림에 의하면 냉수입구온도의 상승에 의해 COP의 상승, 고온재생기의 압력 및 농도가 감소함을 알 수 있다. H₂O/LiBr+HO(CH₂)₃OH의 경우가 H₂O/LiBr의 경우보다 약 5%정도 높은 COP를 나타나고 있다.

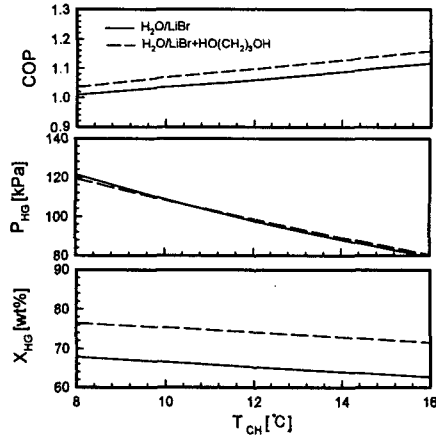


Fig. 7 Influence of chilled water inlet temperature

4. 결론

H₂O/LiBr+HO(CH₂)₃OH 작동매체를 이용한 사이클 시뮬레이션을 통해 현재 상용화되고 있는 H₂O/LiBr 작동매체와 성능특성을 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) H₂O/LiBr+HO(CH₂)₃OH는 기존의 H₂O/LiBr보다 8%의 넓은 작동범위를 가짐으로써 공냉화가 가능한 용액입을 알 수 있었으며, COP에 있어서 전체적으로 5%정도 성능이 향상된 결과를 보였다.
- (2) 용액분배율은 냉방성능 최대구간이 있으나 고온재생기의 압력 및 결정한계 등을 고려해 볼 때 적절한 용액분배율은 H₂O/LiBr, H₂O/LiBr+ HO(CH₂)₃OH의 경우에 36~40%일 때 였다.
- (3) 냉각공기 입구온도는 커질수록 냉방성능이 저하되며, 36°C 이상이 되면 H₂O/LiBr, H₂O/LiBr+HO(CH₂)₃OH 두 작동매체 모두 고온재생기의 온도의 증가로 부식율이 커질 것이므로 이에 대한 대책이 필요하다.
- (4) 두 작동매체에서 냉각공기량을 증가시키면 고온재생기의 압력은 크게 낮아지지만, COP 및 고온재생기의 농도에는 거의 변화가 없다는 것을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 산업자원부 에너지절약기술개발사업의 지원으로 수행되었으며 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. 尹政仁, 吳厚圭, 柏木孝夫, 1995, "排熱利用吸收サイクルの特性シミュレーション", 日本冷凍協會論文集, Vol.12, Vo.1, pp. 43~52.
2. M. D. Oh, S. C. Kim, Y. L. Kim and Y. I. Kim, 1993, "Cycle Analysis of Air-Cooled, Double Effect Absorption Heat Pump with Parallel Flow Type", International Absorption Heat Pump Conference, pp. 117~123.
3. 柏木孝夫, 1993, "吸收冷凍サイクルとその作動媒體", 冷凍, Vol. 68, No.789, pp. 1~4.
4. McNeely, L.A. 1979, "Thermodynamic Properties of Aqueous Solution of Litium Bromide", ASHRAE Transactions, Vol.85, Pt.1, pp. 413~434.
5. Park Young, Kim Jin-Soo, and Lee Huen, 1997, "Physical properties of the lithium bromide + 1, 3propanediol + water system", Int J. Refrig., Vol.20, No.5, pp. 319~325.
6. Kurosawa, S., Fujimaki, S., 1989, "Development of air-cooled double-effect gas-fired absorption water chiller-heater", Refrigeration, Vol.64, pp. 39~49.
7. Ohuchi, T., Kunugi, Y., Aizawa, M. and Kawakami, R., 1991, "Development of Absorption Air-conditioners", Proceedings of Absorption Heat Pump Conference '91 Tokyo, Japan, pp. 219~224.