

국내외 흡수식 냉동기의 연구개발 동향

그동안 흡수식 냉동기 관련 연구 개발 정보는 냉동 공조관련 저널 및 세미나를 통하여 여러 정보가 공개되었고 그 상세 내용도 이미 많이 알려졌다. 본 집필에서는 아직 국내에서 상용화되지 않은 흡수식 냉동기 관련 기술 및 제품과 새로운 연구개발 동향을 알리고자 한다.

머리말

흡수식 냉동기는 열을 이용하여 냉방을 하는 기기로 국내외에서는 중대형 건물의 냉방에 주요기기로 역할을 해오고 있다. 흡수식 냉동기는 그동안 일반적으로 가스나 석유에너지에 의한 직화식이 주를 이루어 왔으며 국내에 보급되어 있는 비율도 매우 많은 편이다. 하지만 지구 온난화에 의한 화석에너지 사용량 저감 노력과 석유 가스 에너지가 고가화됨에 따라 기존의 흡수식 냉동기 제품도 그에 따른 변화를 겪고 있다. 흡수식 냉동기분야에서 이와 관련된 변화로는 크게 2가지로 이루어지고 있다. 첫째, 에너지 절감과 CO₂ 저감을 위해서는 화석연료의 사용량을 절감해야 하므로 가스에너지 절약 및 CO₂ 배출량 감소를 위한 고효율 시스템 개발, 둘째, 신재생 에너지와 산업체에서 무효로 버려지는 열에너지를 회수하기 위한 배열 회수용 흡수식 냉동기로 볼 수 있다.

박찬우

전북대학교 기계설계공학부

cw-park@jbn.ac.kr

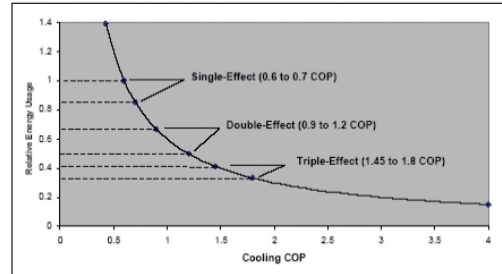
고효율 시스템 개발

흡수식 냉동기는 재생기에서 발생하는 재생 냉매의 응축열을 재활용하는 재생기수에 따라 일중효율과 이중효율, 삼중효율로 나누어진다. 표 1에 보듯이 일반적으로 일중효율은 100℃ 이하의 폐열 온수를 이용하는 시스템에서 사용되고 있으며 열역학적인 관점에서 이상적인 COP는 1.2 정도이지만 실제 기기는 0.7 정도이다. 한편 이중효율과 삼중효율 냉동기는 이론적으로 각각 약 2.0과 2.7 정도이지만 실제 기기는 각각 1.0~1.35와 1.6 정도이다. 이러한 실제 기기의 COP를 이론적인 값에 근접시키기 위하여 많은 노력이 이루어지고 있다. 현재 흡수식 냉동기회사의 고효율 기기의 개발은 일중효율보다는 이중효율 및 삼중효율 흡수식 냉동기 개발에 초점을 맞추어지고 있다. 그림 1은 COP 변화에 따른 에너지 사용량의 변화를 COP 0.6의 일중효율기준으로 나타낸 것으로 그림에서 보듯이 COP 1.8 정도의 삼중효율이 되면 에너지 사용량이 일중효율의 30% 정도만 사용하게 된다.

이중효율 흡수식 냉동기 고효율화

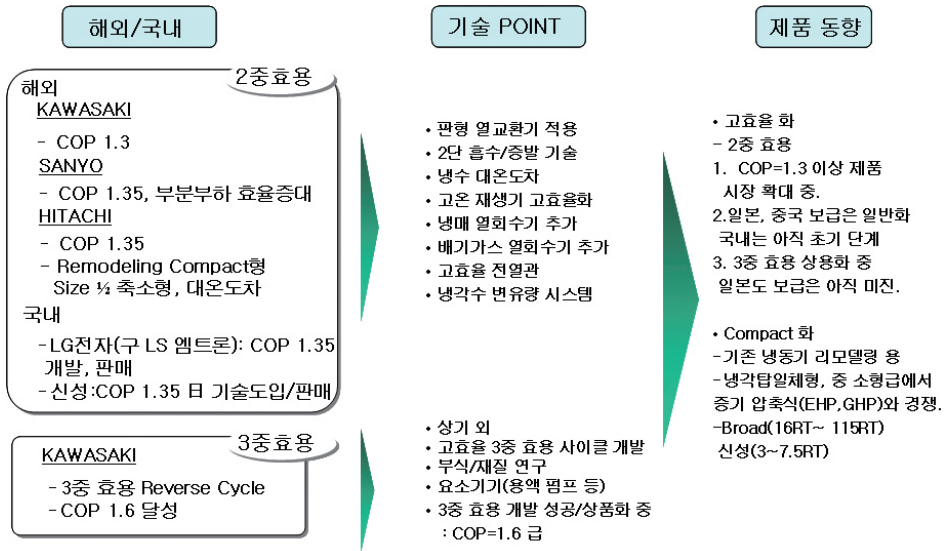
〈표 1〉 흡수식 냉동기의 이상적 효율과 실제 효율

	일중효율 흡수식 냉동기	이중효율 흡수식 냉동기	삼중효율 흡수식 냉동기
냉각수 온도	32℃	32℃	32℃
냉수 온도	7℃	7℃	7℃
열원 온도	100℃	150℃	200℃
이상적 COP	1.28	2.07	2.69
실제 기기 COP	0.70 - 0.75	1.0 - 1.35	~ 1.61
η (실제 COP/ 이상적 COP)	0.55 - 0.59	0.48 - 0.63	~ 0.6



〈그림 1〉 COP 변화에 따른 에너지 사용량의 변화(일중효율기준)

현재 상업화되고 있는 COP 1.35급의 중대형급 고효율 이중효율 흡수식 냉동기는 2000년도 초반에 일본을 중심으로 개발 후 출시되었으며, 현재는 잠재적 시장이 가장 큰 중국시장에서도 고효율 제품이 대부분 비중을 차지하고 있다. 국내시장에도 과거와 달리 정부주도하에 고효율 에너지 기기 차별화 정책의 영향으로 과거의 저가 COP 1.0급의 저효율 제품에서 COP 1.3 이상의 고효율 기기 제품으로 바뀌어 가고 있다. 고효율 기기의 대표적인 예로는 흡수식 냉방 시스템의 선진국인 일본의 파나소닉社(구 Sanyo社)와 Hitachi社의 COP 1.35급 직화식 냉온수기이다. 국내에서도 LG전자(구 LS 엠트론社)가 국책과제를 통하여 COP 1.35 고효율 제품이 개발되어 흡수식 냉동기의 자체 개발 및 공급이 가능하게 되었다. 국내의 흡수식 냉동기의 수준도 이중효율의 경우 COP 1.35의 수준을 이미 달성하고 상용화되었으며 시장도 과거의 COP 1.0 급의 저효율 흡수식 냉동기 시장에서 고효율 시장으로 형성되었다. 그림 2는 고효율 흡수식 냉동기의 국내의 기술 현황으로 적용 기술의 동향을 알 수 있다. 여기서 특이한 점은 흡수식 냉동기도 고효율화와 더불어 콤팩트화가 진행되어 압축식 냉동기와 경쟁을 같이하고 있다는 것이다. 이는 흡수식이 압축식 냉동기와의 경쟁으로 일어난 영향이며 향후 이러한 경향은 계속될 것으로 파악되고 있다.



[그림 2] 고효율 흡수식 냉동기의 국내의 기술 현황

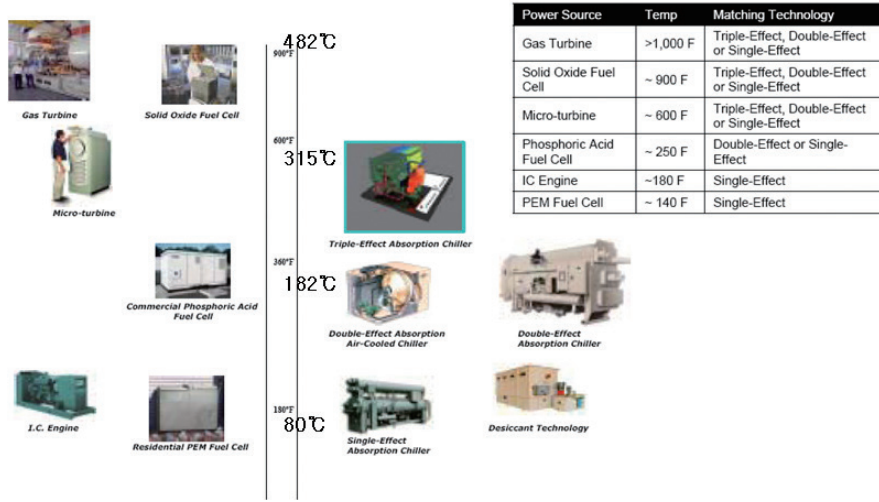
배열 회수 열원이용 흡수식 냉동기 개발

현재 정부의 저탄소 녹색성장의 강력한 의지, 탄소 배출권 거래 등 새로운 환경시장의 급성장 등 기후변화 협약에 대응이 필요함에 따라 소형 열병합 발전기술은 국가기술지도(NTRM)의 핵심과제 중 하나로 연료전지, 스팀링, 내연기관(ICE) 등 다양한 기술을 사용한 Micro CHP 기술에 대해 원천기술 확보 및 유럽 선진국과의 경쟁을 위해 연구개발 및 보급이 진행 중이다. 국내 가정용 Micro CHP는 아직 상용화된 제품이 없으나 연구진행 중인 과제로는 연료전지의 경우 2004년 1 kW급 연료전지 시스템 실증 사업을 시작으로 1만 호 시범 보급사업이 시행 중이며, 스팀링 엔진을 이용한 Micro CHP는 최근 개발을 시작했다. 발전 방식이냐 어떻든 향후에는 이러한 분산발전 시스템이 보급됨에 따라 따라 이러한 발전 시스템에서 나오는 배열을 적절하게 이용하기 위한 냉열병합발전(CCHP) 시스템의 수요가 증가

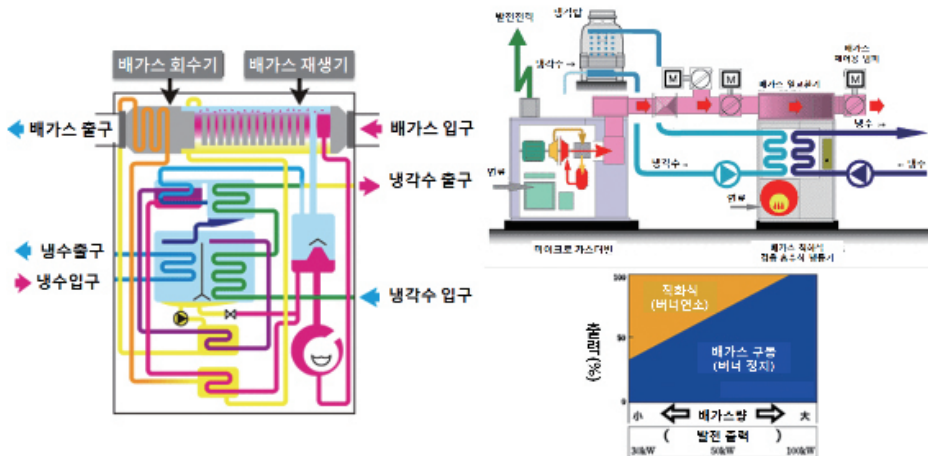
하리라고 예상됨에 따라 이에 따른 배열 회수용 냉방시스템의 개발이 활발하게 이루어지고 있다. 특히, 최근 미국과 일본 중심의 분산형 소형열병합발전 방식은 기존 열병합발전시스템의 가스엔진, 가스터빈방식과 다르고 초기투자 측면에서 경쟁력이 높으며 시스템 효율이 높아 마이크로가스터빈 열병합발전시스템에 대한 관심이 집중되고 있다. 산업체 및 분산발전 시스템에서 배열의 종류는 종류별로 매우 다양하다. 그림 3은 발전시스템의 배열 열원과 이에 상응할 수 있는 흡수식 및 흡착식 냉동기의 종류를 나타낸 것이다.

배온수와 배가스/ 직화식 열원을 사용하는 1-2중 겸용흡수식 냉동기는 대표적인 배열회수 열원 흡수식 냉동기로 그동안 많이 알려졌으며 국내에서도 삼중테크와 LG전자 등에서도 국책 연구개발을 통하여 상용화 및 상용화 준비 중에 있다.

일본의 Yazaki社에서는 중소형급 배가스/ 직화식 겸용 흡수식 냉동기를 개발 판매하고 있는데 그림 4에서 보는 바와 같이 소형 가스터빈(MGT)의 배가스 열을 직접 이용하여 이중효용



[그림 3] 배열 열원과 흡수식 냉동기의 적용



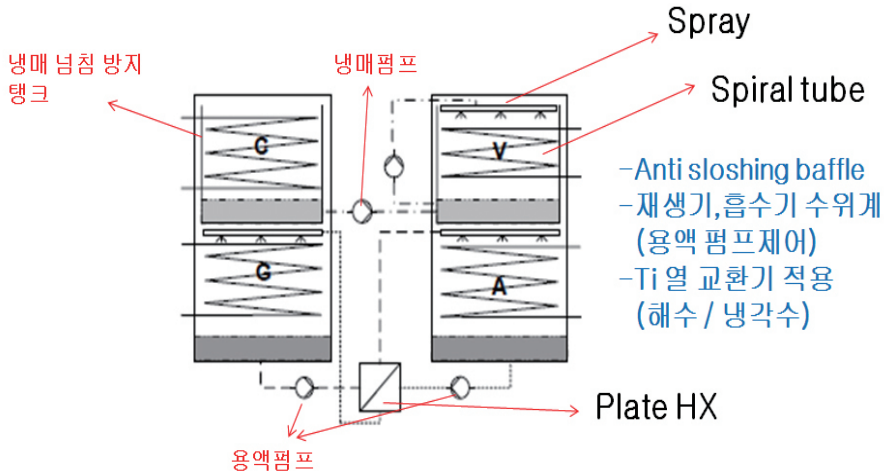
[그림 4] 배가스 열원 이용 하이브리드 타입 직화식 흡수식 냉동기(日, Yazaki社)

흡수식 냉동기의 보조 열원으로 사용하고 있으며 MGT에서 발전 출력이 많을 경우에는 무연료 운전이 가능하게 된다.

선박용 흡수식 냉동기 개발

최근 조선 업계는 고유가와 환경규제에 대응하여 친환경 고효율 선박 개발이 진행 중에 있다.

기준에는 선박의 가치와 기술 척도를 선박의 크기와 속도로 평가하였으나, 현재는 연비 경쟁력과 환경 규제 적합성으로 평가를 받고 있다. 일반적으로 선박이 1년간 사용하는 유류비는 선박 가격의 20~30%에 달하며 선박 노후화가 진행될수록 유류비 부담이 증가한다. 국제 해사기구(IMO, International Maritime Organization)는 2013년부터 이산화탄소 총량 규제제도인 선박제종연비



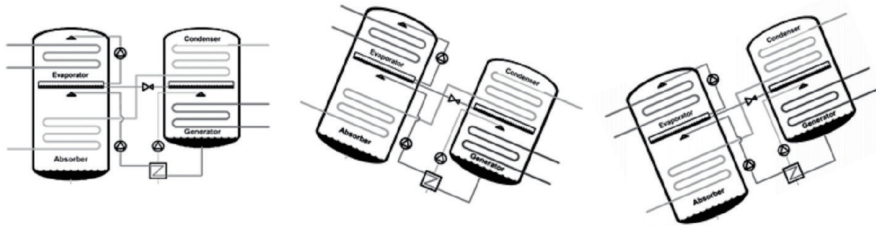
[그림 5] 선박용 흡수식 냉동기구조 (C:응축기, G: 재생기, V: 증발기, A: 흡수기, EAW, German) (독일, EAW社)

지수(EEDI, Energy Efficiency Design Index)규제를 도입하여 EEDI가 일정 수준을 넘지 못하면 선박을 운항할 수 없도록 규제하고 있다(EEDI: 선박의 연비 효율을 나타내는 지수로, 1 ton의 화물로 1해상 마일(1,852 km)을 운반할 때 나오는 CO₂ 배출량을 지칭). 이와 관련하여 국내외의 선박회사는 고효율 선박을 개발에 큰 중점을 두고 있는 상황이다. 이와 관련하여 현대중공업은 친환경 선박엔진(G Type) 개발과 삼성중공업은 세이버핀 이라는 주조물을 선박 외부에 장착하여 유동저항을 줄여주는 기술을 적용하고 있다. 아울러 대우조선은 선박의 폐열 회수장치를 통한 연료 절감 기술을 적용하고 있다.

특히, 그동안 선박에서의 냉동공조시스템의 칠러는 증기 압축식 냉동기가 주류를 이루어 냉방부하가 선박의 연료 절감에 큰 장애가 되어왔다. 일반적으로 선박에서 요구되는 전체 전기량의 5~15% 정도를 압축식 냉동기 구동에 사용하며 LNG 운반선이나 냉동 컨테이너 선박은 이보다 더 많은 에너지를 사용한다고 한다. 하지만 최

근에는 선박의 엔진에선 발생하는 냉각 폐열을 흡수식 냉동기에 활용함으로써 냉방에너지 사용량 및 CO₂ 발생량을 절감하고자 하는 노력이 이루어지고 있다.

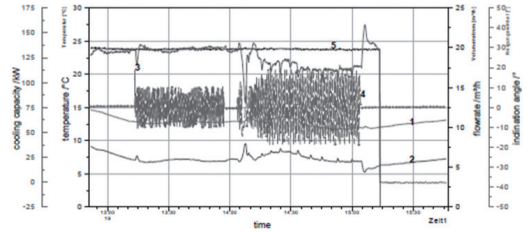
그림 5는 해외업체 개발된 선박용 흡수식 냉동기의 구조를 나타낸다. 선박용 흡수식 냉동기는 지상건물용과 달리 파도 및 너울 등에 선박이 전후좌우로 움직이며 기존방식의 흡수식 냉동기를 적용할 경우 성능이 저하될 우려가 있다. 선박이 흔들림에 따라 재생기와 흡수기의 물/LiBr 흡수액이 증발기와 응축기로 범람하여 냉매가 흡수액으로 오염이 될 우려가 있다. 그리고 선박의 전후좌우 흔들림이나 엔진, 프로펠러 등에서 발생하는 진동으로 인하여 전열관에 흡수액, 냉매 분배 및 유하액막식 전열관에 흡수액과 냉매의 젖음률이 불량해질 수 있다. 따라서 기존의 증발기/흡수기, 응축기/ 재생기의 수평 배열 방식과 달리 흡수기 위에 증발기, 재생기 위에 응축기 상하로 설치하고 냉매 넘침 방지 탱크를 설치하여 선박의 전후좌우 흔들림에도 냉매가 흡수액으로 오



[그림 6] 선박용 흡수식 구동 조건

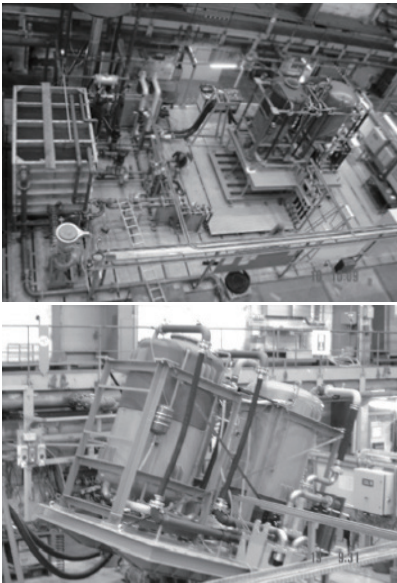
<표 2> 선박용 흡수식 설계 요구사항

- 큰 너울에도 안정성 유지(독일 선급 기준): +/-22.5° dynamic, 15° static
- 높은 냉각용 해수 온도에도 안정성 유지 (36~38℃)
- 기계적 강도: +/- 0.8g 가속험 과 진동(너울에 의한 동적 가속)
- 엔진, 프로펠러 등에 의한 지속적인 진동에 안정성유지

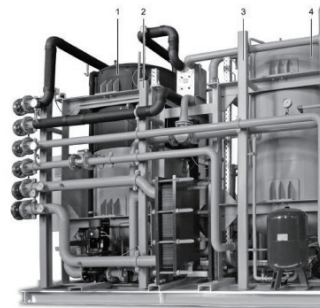


1-temp. chilled water in; 2-temp. chilled water out; 3-cooling capacity; 4-slope; 5-chilled water flow rate

[그림 8] 실험 장치 측정 결과 (140kW 용량)



[그림 7] 선박용 흡수식 실험 장치 (+/- 20° Rising table, 독일 해양 실험센터, Weber, 2006)



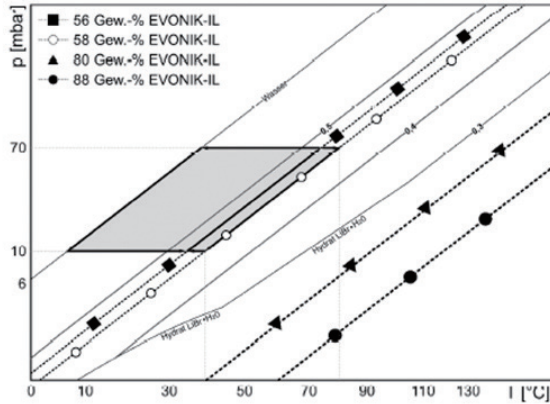
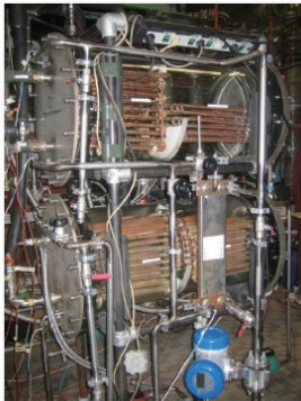
Heating capacity	186 kW
Cooling capacity	140 kW
Thermal COP	0.75
Heating water inlet/ outlet temperature	95℃ / 85℃
Chilled water inlet/ outlet temperature	15℃ / 9℃
Cooling water inlet/ outlet temperature	32℃ / 37℃

[그림 9] 선박용 흡수식 냉동기 외부 구조 및 성능 지표

염되는 상황을 방지하였다. 또 탱크 내부에는 흡수액과 냉매가 탱크에 충격을 주거나 수위가 떨리는 현상을 방지하기 위하여 안티 슬로싱 격벽 (Anti sloshing baffle)을 설치하였다. 아울러 냉매와 흡수액이 고압부와 저압부의 차압으로 자연스럽게 흘러감에 따라 별도로 설치하지 않았던 냉

매/ 흡수액 펌프를 액위 변동에 따른 흐름의 안전성을 고려하여 추가 설치하였고, 재생기와 흡수기 수위계를 이용하여 펌프 제어를 하였다.

선박의 전후좌우 흔들림과 진동을 고려하여 유하액막식 증발기와 흡수기의 냉매와 흡수액 분배는 수평성이 요구되는 tray 방식을 지양하고 스



[그림 10] H₂O/ILs 적용 시험용 흡수식 냉동기(좌측) 와 듀링선도(실선: H₂O/LiBr, 점선: H₂O/ILs, 결정화곡선이 없음)

<표 3> 시스템 성능 비교

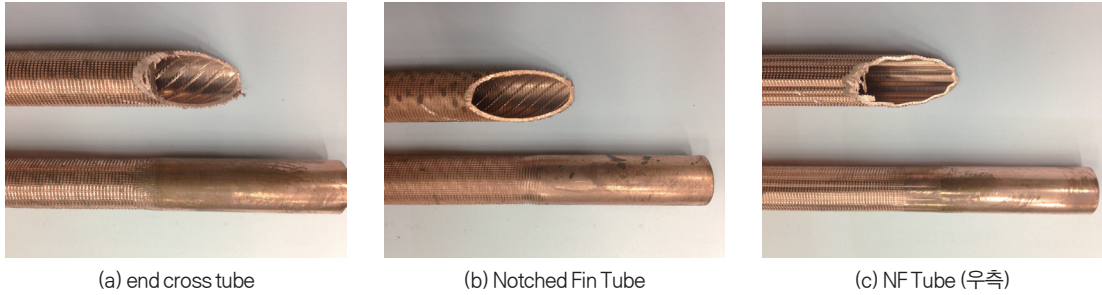
	Water/IL3	Water/LiBr	Water/LiBr
m_Sd[g/s]	21±0.1	21±0.1	43±0.2
V_Sd[l/h]	65±1	50±1	100±2
Q_E[kW]	2.6±0.5	2.6±0.5	4.0±0.5
COPI[-]	0.78±0.20	0.65±0.15	0.70±0.10

※ 여기서 m_s_d, V_s_d는 용액순환량을 지칭.

프레이(Spray) 방식을 사용하였다. 증발기와 흡수기의 전열관도 흡수액과 냉매의 균등한 액막 유량과 젖음을 고려하여 앞뒤 기울기에 취약한 기존의 직관 방식을 사용하지 않고 스프이럴(Spiral) 타입의 전열관을 적용하여 전후좌우 기울기에 따른 젖음률 감소 현상을 최소화시켰다. 아울러 흡수기/ 응축기 냉각용으로 해수를 사용하므로 이들 전열관은 해수 부식에 강한 Ti소재를 사용하였다. **그림 6**은 너울 등에 의해서 선박안의 흡수식 냉동기가 수평이 기울어질 수 있는 상황을 예시한 것이고, **표 2**는 선박용 흡수식 설계 요구사항(독일 선급기준)을 나타낸다. **그림 7**은 실험실에서 선박 시뮬레이터를 이용하여 흡수식 냉동기의 성능을 측정하는 것이며, **그림 8**과 **그림 9**는 성능 시험장치 측정결과 및 성능 지표를 나타낸다.

새로운 흡수 물질 개발 및 적용

기존의 흡수식 냉동기는 H₂O/ LiBr 수용액과 NH₃/H₂O 이 주류를 이루어 왔다. 하지만 이러한 작동유체는 심각한 단점을 갖고 있는데 LiBr 수용액은 부식과 결정화 문제를, NH₃은 독성과 폭발성, 고압 및 동관의 부식성이라는 문제로 인하여 시스템 적용에 애로를 겪고 있다. 이에 이러한 문제점에서 자유로운 새로운 흡수제에 관심을 많이 갖게 되었는데 근래에 이온 액체(ionic liquids, ILs)에 그 초점이 맞추어지고 있다. 이온 액체는 상온 상태 및 그 이하 온도에서도 액체 상태로 존재하게 된다. 특히 무시할 만한 포화압력(vapor pressure), 비화염성, 열적인 안정성, 낮은 녹는점, 상온에서 300℃에 이르는 광범위한 범위에서 액체 상태, 좋은 용해성 및 기타 여러 좋은 특성으로 인하여 이온 액체는 흡수식 냉동기와 열펌프에서 새로운 형태의 흡수제로 가능성을 갖게 되었다. 하지만 일부 이온 액체는 높은 점성으로 유해액막식 열교환기 및 기타 열교환기의 열/물질전달 특성에 적절치 않은 영향을 주어 최근에는 이를 개선한 이온 액체의 연구가 수



(a) end cross tube

(b) Notched Fin Tube

(c) NF Tube (우측)

[그림 11] 선박용 흡수식 냉동기 외부 구조 및 성능 지표

행되고 있다. 현재까지 이온 액체를 흡수식 냉동기와 열펌프에 적용한 사례는 아직 그다지 많지 않다. 최근 일부 연구에서 이러한 흡수제를 적용한 흡수식 시스템을 시험을 수행하였다. 그림 10은 H_2O/ILs 적용 시험용 흡수식 냉동기(좌측)와 듀링선도를 나타낸다. 표 3은 시스템 성능 비교 결과를 나타낸다. 실험조건은 제한적이지만 $H_2O/LiBr$ 보다 우수한 결과를 나타내었다. 그리고 이 작동유제의 본격적인 적용을 위해 앞으로 보다 광범위한 연구가 필요하다.

새로운 전열 촉진관 적용 및 개발

흡수식 냉동기는 증발기, 흡수기, 저온 재생기, 응축기 등의 요소 부품이 동관으로 된 가공관으로 이루어져 있다. 따라서 그동안 대부분 전열관은 각 부분 요소마다 최적의 전열관을 사용하여 왔으나, 최근에는 재료 변경에 따른 원가 절감과 여러 가지 다양한 표면 가공과 코팅 등으로 성능 향상이라는 두 마리 토끼를 다 잡으려는 노력이 이루어지고 있다. 특히, 그동안 증발기 등에 고효율 전열관으로 사용해오던 end cross tube 외에 Notched Fin tube, 기존의 floral tube(화병관)에 표면 가공한 NF Tube (Notched Flower Tube) 등이 새로이 사용되고 있다. 이에 대한 전열 성능 정보가 증발기 외 다른 요소에서도 적용

되어 연구가 활발히 이루어지고 있다(그림 11).

결론

점점 증가하는 화석 연료의 소비에 따른 온실가스 영향은 그 심각성이 날로 커지고 지구 곳곳에 기후 이상 및 해수면 상승에 따른 해일의 피해를 더욱 크게 해주고 있다. 따라서 배가스 배출량이 적은 고효율 기기 개발과 폐열을 사용하는 흡수식 시스템이 더욱 중요시되고 있다. 아울러 하절기 전기수요 피크 절감을 위한 가스냉방의 필요성이 더욱 중요시되면서 흡수식 냉동기의 보급 확대를 위한 관련 기술이 매우 절실한 상황이다. 이러한 것은 흡수식 냉동 관련 특정 분야 기술로만 해결될 것이 아니라 고효율 사이클 기술, 신 흡수물질 개발기술, 요소기기 개발기술 등이 종합적으로 이루어질 때 가능하게 된다. 특히 시스템을 고효율화하면서 제조 원가를 절감하는 설계가 앞으로 흡수식 냉동 보급에 큰 기여를 하리라 판단된다.

참고문헌

1. 박찬우, 2011, 흡수식 냉동기의 해외개발 동향 및 전망, 한국설비기술협회
2. 가스냉방 심포지엄, 2004, IIR 한국 위원회, 대

한설비공학회.

3. 기후변화협약대응 흡수식 냉동기 개발 동향, 2005, 대한설비공학회 HARFKO 학술강연회 및 신기술발표회

4. 아시아투데이, 2013.03.19

5. <http://www.yazaki-airconditioning.com/company.html>

6. Performance simulation of the absorption chiller using water and ionic liquid 1-ethyl-3-methylimidazolium dimethylphosphate as the working pair, Volume 31, Issue 16, November 2011, Pages 3316-3321

7. https://www1.eere.energy.gov/manufacturing/distributedenergy/pdfs/absorption_future.pdf The Future of Absorption Technology in America, A CRITICAL

LOOK AT THE IMPACT OF BCHP AND INNOVATION

8. M-C Schneider, R. Schneider, O. Zehnacker, O. Buchin, F. Cudok, A Kuhn, T. Meyer, F Ziegler, Mseiler, 2011, Ionic liquid: new high-performance working fluids for absorption chillers and heat pumps, ISHPC 11, Italy

9. Mathias Safarik, Lutz Richter, Gregor Weidner, Yves Wild, Peter Albring, 2011, Application of absorption chillers on vessels, ISHPC 11, Italy

10. <http://blog.daum.net/kepc2020/608>

11. 이준하, 박찬우, 2014, 전열관 종류에 따른 Falling film 재생기 전열 성능, 대한설비공학회 하계학술발표대회 