

일본 흡수식 기술 여행기

최근 일본에서 진행되고 있는 흡수식 냉동기 및 냉온수기의 최신 기술동향을 분야별로 소개한다.

강 용 태

서 론

현재 사용되고 있는 흡수식 냉동기의 냉매/흡수제로는 물/리튬브로마이드와 암모니아/물이 있다. 대형 공조용 시스템으로 널리 쓰이고 있는 물/리튬브로마이드(H₂O/LiBr) 시스템은 물의 우수한 열역학적 특성과 무독성, 장치의 안전성 등의 장점이 있으나 증발온도가 0℃ 이하로는 불가능하며 결정화 문제로 인해 공랭화가 불가능하고 물의 비체적이 커 시스템의 용적이 상대적으로 크다는 단점이 있다. 이에 비해 암모니아/물(NH₃/H₂O) 시스템은 암모니아 자체의 독성과 작동압력이 고압이라는 약점이 있으나 환경친화적 자연냉매이며 결정화 문제가 없어 공랭화가 가능해 소형으로 만들 수 있다는 점과 최대 -70℃까지 증발온도를 얻을 수 있어 저온획득이 용이하다는 장점 등으로 기대를 모으고 있다.

본 소고에서는 2002년 1월 15일부터 24일까지의 일본 흡수식 냉동기 제작회사들과 냉동학회 등을 방문하여 조사된 최신의 흡수식 기술개발동향을 물/리튬브로마이드와 암모니아/물 시스템으로 나누어 기술별로 소개한다.

본 론

물/리튬브로마이드 시스템

• Gaspack 시스템

Gaspack 시스템은 흡수식 냉온수기를 소형화하여 본체와 냉각탑을 한 개의 패키지로 제품화한

것으로 선두회사는 Sanyo, Hitachi, Yazaki 등이 있다. 기존의 흡수식 냉온수기에는 본체 외에 냉각탑 설비, 냉각수 라인, 수전설비 등이 추가로 필요했던 것에 비해 Gaspack은 이동 및 설치가 매우 간편하다는 장점이 있다. 현재 30~100 RT급의 Gaspack이 개발되어 제품화 되고 있으며 냉매/흡수제로는 물/리튬브로마이드가 사용되고 있고 COP는 1.01~1.07 수준이다. 흡수식 냉온수기를 소형화할 때 기술적으로 가장 큰 애로점은 불응축가스 발생에 의한 성능저하이다. 불응축가스가 발생하면 대형에서보다 소형으로 갈수록 그 영향이 현저하여 성능저하 현상이 두드러지는데 Gaspack에서는 부식방지제에 의한 수소가스의 발생 억제를 위해 몰리브덴을 사용하고, 이젝터(ejector)를 사용하여 응축기에서 불응축가스를 추기하는 방식을 택한다. 성능향상을 위해 이중효용 방식을 적용하고 용액의 흐름은 병류형(parallel type)이다. 병류형은 직류형(series type)에 비해 유량 제어가 까다롭고 장치가 상대적으로 복잡하지만 성적계수가 높고 무엇보다도 결정화 현상의 위험이 현저히 줄어든다는 장점이 있다. 현재 생산되는 Gaspack의 부분부하 운전범위는 30~100% 이다. 향후 Gaspack 시스템에 대한 연구방향은 30RT급 이하의 소형화와 더불어 성능향상 쪽으로 진행될 것으로 예상된다. Gaspack에 대한 사진이 그림 1에 나타나 있다.

• 공랭식 시스템

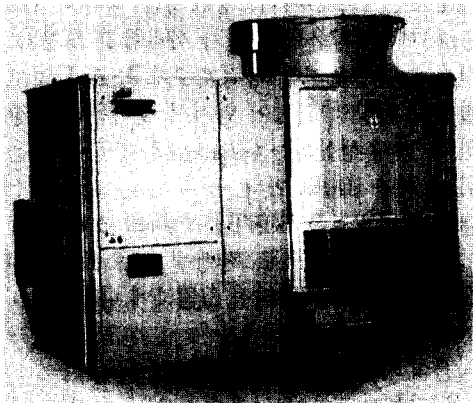
물/리튬브로마이드 흡수식 냉온수기를 공랭화시킨 타입으로 Yazaki 및 Hitachi 제작소에서 개

강 용 태 | 경희대학교 기계산업시스템공학부(vtkang@khu.ac.kr)

발되었으나 현재는 Yazaki에서만 제품을 생산하여 시판중에 있다. 흡수식 냉온수기는 기본적으로 수냉형이므로 냉각탑과 냉각수 설비가 추가로 요구된다. 일반적으로 흡수식 시스템이 공랭화가 아닌 수냉형을 사용하는 가장 큰 이유는 공기에 비해 높은 열전달계수와 흡수기 냉각수입구 온도 제어의 용이함 때문이다. 흡수기 냉각수 입구의 온도는 32℃로 유지되는데 이보다 더 떨어지거나 올라갈 경우 결정화 및 성능저하의 위험이 있다. 공랭형의 경우 외부 대기가 흡수기의 용액을 냉각시키게 되는데 이럴 경우 대기의 온도는 제어하기가 곤란하여 결정화의 위험을 방지할 수 없으며 열전달계수가 물에 비해 1/10 이하이기 때문에 핀관을 사용하게 되고 그에 따라 열교환기의 가격도 높아지게 된다는 단점이 있다.

Hitachi의 공랭식 시스템에서는 용액으로 3성분 혼합액(ternary mixture)을 사용하여 결정화의 위험을 줄였고 COP는 0.7의 수준이며 성능향상을 위해 이중효용 및 병류형(parallel type)의 용액흐름 방식을 택하였다. 그러나 흡수기와 응축기를 공랭화 함에 따라 용적이 커지게 되고 그에 따른 단가상승으로 인해 경제성이 없다고 판단되어 현재는 개발중단상태이다.

Yazaki의 공랭식 흡수식 냉동기는 흡수제로 4성



분 혼합액(LiBr/H₂O, LiCl, LiNO₃, LiI)을 사용하여 결정화의 위험을 줄였고 이중효용형이며 용액흐름은 수정된 병류형타입이다. 성적계수는 0.85이나 용량이 8RT로 상당 수준까지 소형화에 성공했다. 기존의 시스템이 대부분의 전열관을 구리로 사용한데 비해 증발기(구리), 고온재생기(스테인레스강)를 제외한 열교환기의 전열관을 탄소강(carbon steel)을 사용했다는 것이 큰 차이점이다. 이로 인한 제작 단가상승이 예상되며 발생기의 최고온도는 175℃, LiBr의 농도는 최고 65%이다. 2001년도의 설치 Unit 수는 10대 이내로 알려져 있다.

- ACA(absorber-condenser-absorber) flow
기존의 흡수식 냉온수기의 냉각수 계통 구조는 흡수기로 들어가 응축기로 나오는 방식으로 Hitach 제작소에서 채택하고 있다. ACA flow type은 응축기에서 나온 냉각수를 흡수기를 한 번 더 거쳐 나가게 하는 방식이다. 이 방식을 적용할 경우 기존의 방식에 비해 냉각수의 양이 줄어들어 펌프동력의 절감, 흡수기를 통한 내부 열 회수효과로 인해 농도폭이 상승하고 동시에 흡수성능 향상에 기인한 성능향상의 장점이 있다.
- 2단 흡수-증발 사이클
암모니아/물 흡수식 냉동기의 증발온도를 -50℃ 이하로 낮추기 위하여 흡수기/증발기를 2단으로 구성한 사이클이다. 상대적으로 고압인 증발/흡수부와 저압인 증발/흡수부로 구성되어 고압측은 냉방용으로, 저압부는 냉동용으로 동시에 운전될 수 있다는 장점이 있다. 이것은 냉방과 저온냉동이 동시에 필요한 맥주공장, 화학공장, 제약회사, 식품창고 등에 적용될 수 있으며 현재 6대가 생산되어 설치, 운영중이다. 용량은 100~300RT까지 있고 COP는 0.58 정도이다.
- 고온재생기 개발
기존의 흡수식 냉온수기의 고온재생기 구조는

버너의 연소실에서 배출된 연소가스가 열교환기 내부를 통하여 나가면서 용액에 열을 전달하는 방식이었다. 이번에 개량된 방식은 버너의 형태를 변경하여 연소실을 따로 두지 않고 판형버너에서 그대로 열교환기 내부로 화염이 입사되는 형태로서 기존에 비해 연소효율이 높아지게 되어 고온재생기의 용적이 현저히 줄어드는 효과를 얻을 수 있다. 이에 따른 생산단가를 낮출 수 있게 되고 성능을 향상시킬 수 있는 장점이 있다.

• 새로운 대체냉매

흡수식 냉온수기 및 냉동기에 사용되는 냉매로는 물과 암모니아, 흡수제로는 리튬브로마이드와 물이 널리 쓰여 왔다. 냉매/흡수제로 물/리튬브로마이드를 사용하는 경우 빙점 이하의 증발온도를 얻을 수 없으며 열교환기 용적이 커지는 단점이 있으며 암모니아/물의 경우 상대적으로 낮은 COP와 정류기 등의 추가 구성요소와 기본 부품들이 고價라는 단점이 있었다. 이런 문제점을 해결하기 위해 새로운 냉매/흡수제로 2-Methyl-Ethyl/Hexan

Prophyle에 대한 연구가 진행되고 있다. 이는 기존의 냉매/흡수제들의 단점을 상당 부분 해소시켜 주리라 기대된다.

• On-line 농도측정법

기존의 흡수식 냉온수기의 용액농도를 측정하는 방법은 일반적으로 용액을 직접 추출하여 굴절률계 또는 비중계를 이용하여 측정하는 방식이 대부분이었다. 그러나 이 경우 추출시부터 측정시까지의 시간에 의한 오차와 실시간으로 각 지점의 농도를 동시에 측정하기가 매우 곤란하다는 단점이 있었다. 이에 따라 mocromotion社의 m-point라는 장치를 농도측정이 필요한 지점에 설치하여 밀도를 측정하여 농도로 환산함에 따라 실시간으로 여러 지점의 농도를 동시에 취득할 수 있게 되었다. 그러나 가격이 매우 高價라는 단점이 있다.

암모니아/물 시스템

• 암모니아 대형 저온 흡수식 냉동기

Daikin 사의 경우 50~100RT급으로 냉매/흡수제로는 암모니아/물을 사용한다. 기존의 일반적인 암모니아 시스템과 달리 응축기 출구에서 냉매액의 일부를 정류기로 역류시킨 후 분사하여 암모니아 증기 중의 수증기를 제거함으로써 암모니아 증기의 농도를 높이는 효과를 얻을 수 있는 Two reflux 방식을 적용했다. Two reflux type의 경우 증발온도 -30℃, 50RT 기준으로 0.42의 성적계수를 얻을 수 있으면 Three reflux type을 적용하면 0.48~0.5까지 성능향상이 가능하다. 용액 펌프는 Cando type으로 가격이 고가이다. 구동열원이 증기인 경우 흡수기의 전열판은 스테인레스강을 사용하고 나머지 모든 열교환기에는 탄소강의 판형 열교환기이다. 가스직화식인 경우는 재료는 동일하고 용액열교환기의 형상이 Shell&Tube형으로 변경된다. 현재까지 약 20대의 저온 암모니아 흡수식 냉동기가 일본 내에서 설치되어 운전 중이며 도시에 있는 발전소에서 버려지는 폐열을 재활용할 수 있는 시스템이다. 표 1에 현재까지

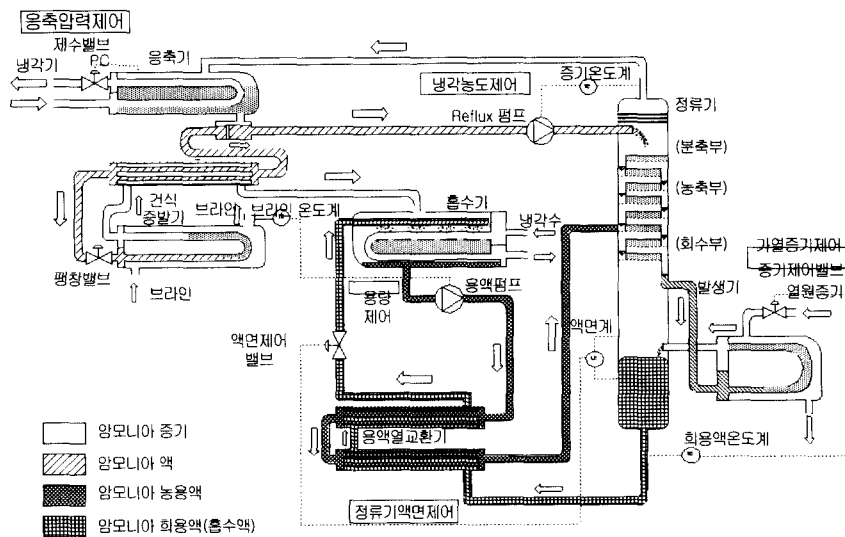
<표 1> 암모니아/물 저온 흡수식 변동기 설치실적(Dakin 제공 2002년)

번호	납입선	장소	용도	용량		설치연도
				USRT	중발온도 ℃	
1	식품공장	三重현	동결건조 및 냉동창고 냉각	250	-48	S51
2	식품공장	三重현	동결건조 및 냉동창고 냉각	220	-48	S53
				110	-20	
3	식품공장	三重현	동결건조 및 냉동창고 냉각	220	-48	S57
				110	-20	
4	식품공장	三重현	동결건조 및 냉동창고 냉각	120	-53	S60
				310	-48	
5	화학공장	大阪附	반응로 냉각(하이브리드형)	40	-60	1996
6	식품공장	大阪附	맥주제조공정 냉각	550	-15	1996
7	화학공장	大阪附	화학반응로 냉각	250	-35	1997
8	식품공장	東京都	맥주제조공정 냉각	70	-10	1997
9	식품공장	大阪附	약품제조공정 냉각	110	-15	1998
10	식품공장	愛媛현	제조공정 냉각	250	-15	1998
11	식품공장	愛媛현	제조공정 냉각	250	-15	1998
12	식품공장	東京都	유제품 냉각	550	-15	1998
13	화학공장	愛媛현	화학제품 프레스 냉각	220	-35	1998
14	식품공장	愛媛현	제조공정 냉각	550	-15	1998
15	식품공장	愛媛현	제조공정 냉각	550	-15	1998
16	연구소	東京都	빙축열과 칼리나사이클의 조합	100	-11	1999
17	화학공장	大阪附	반응로 냉각(하이브리드형)	40	-60	2000
18	화학공장	神奈川	드라이아이스 제조(하이브리드형)	76	-55	2001
19	식품공장	京都附	제조공정의 브라인 냉각	40	-40	2001
20	화학공장	兵庫현	브라인 냉각	50	-30	2001

일본 Daikin 사에서 제작/설치하여 운전중인 암모니아/물 저온냉동기가 나타나 있다. hitachi zosen 의 경우 냉매/용액으로 NH₃/H₂O 와 NH₃/LiNO₃ 두 가지가 개발되고 있다. NH₃/H₂O 시스템은 개발완료상태로 지난 5년간 13대가 설치되어 운전 중에 있으며 NH₃/LiNO₃ 시스템은 현재 3RT급으로 프로토타입의 형태로 운전 중에 있다. 적용업종은 화학공정 및 저장, 아이스크림 공장, 식품공장, 아이스링크 등이다. COP는 NH₃/H₂O 시스템의 경우 0.4, NH₃/LiNO₃ 시스템은 0.56이며 증발온도와 브라인 온도는 -35℃ 이다. 발생기의 방식은 증기구동형과 가스직화식 두 종류가 있으며 증기구동형의 경우 20~250RT의 용량 범위를 갖는다. 초기 투자비는 직화식이 더 큰 것으로 알려져 있다. 열교환기의 형태는 흡수기, 응축기, 증발기, 용액열교환기 등 대부분이 판형이며 증기구동형에서는 발생기도 판형열교환기로 제작이 가능하다. 농도범위는 NH₃/H₂O 시스템의 경우 11~14%, NH₃/LiNO₃ 시스템의 경우 40~50%이며 정류기가 기준보다 크게 설계되어 있어 줄일 필요가 있다. 투자회수기간은 100RT, 증기구동형의 경우

3~4년이며 판매가격은 20RT 기준으로 약 2500만 엔으로 책정되어 있다. 이는 동일용량의 압축식이 500만엔인 점을 고려할 때 상대적으로 높은 가격이나 구매시 약 50%의 정보보조금이 지급되므로 가격경쟁력이 있을 것으로 판단된다.

Takuma의 경우 용량이 60kW(약 17RT)로서 성능계수(COP)는 0.36~0.38이며, 증발기에서의 냉매 증발온도는 -25℃로 -20℃의 브라인을 얻을 수 있다. 기기의 운전압력은 고압이 약 16기압(bar), 저압은 약 1기압(bar)이다. 또한, 응축기에서 증발기로 유입되는 유량과 정류기로 유입되는 리플렉스 유량의 비를 조절하여 성능향상을 도모하고 있다. 발생기의 열구동 방식은 증기구동이고, 대부분의 열교환기의 방식은 Shell and tube형을 채택하고 있다. 기기를 구성하는 재료는 모두 스테인레스강으로 이루어져 있으며, 용액열교환기의 경우 탄소강을 쓸 수도 있다. 용액펌프는 다이어프램 펌프로서 일본산의 “제국전기”사의 펌프를 채택하고 있다. takumadptj 개발된 소형 (17RT) 암모니아/물 저온 흡수식냉동기가 그림 2에 나타나 있다.



[그림 2] 소형암모니아/물 저온냉동기사이클

- 하이브리드형 흡수식 냉동기

물/리튬브로마이드 사이클과 암모니아/물 사이클을 병합하여 하나의 사이클로 형성한 흡수식 사이클로 Daikin에서 개발 운전되고 있다. 암모니아/물 시스템의 흡수기에서의 발열을 물/리튬브로마이드 시스템의 증발기가 흡수하여 흡수성능을 향상시키는 효과를 얻을 수 있으며 -60°C 의 증발온도를 얻을 수 있다. 이는 최근에 설치/운전되는 신세대 흡수식 냉동기이며 이를 적용할 경우 약 28%의 에너지 절감효과, 초기비용의 23% 감소, 고가의 암모니아 충전량 40% 감소, -60°C 의 저온 취득 등의 장점이 있다.

- 코제너레이션 사이클

발전사이클과 흡수식 시스템을 병합한 하이브리드 사이클로 현재 동경 와세다 대학교에서 시범운전 중에 있다. 기본적인 작동원리는 발전사이클에서 터빈을 통해 배출된 고온의 배기가스를 흡수식 냉동기의 열원으로 사용되는 것으로써 폐열회수에 의한 에너지 재활용 효과가 있다.

결론

지금까지 최근 일본에서 진행중인 흡수식냉동기의 기술개발 동향을 소개하였다. 기술개발의 큰 두 흐름

은 초 소형 열교환기의 개발과 성능향상을 위한 새로운 사이클 개발이다. 흡수식 시스템은 증기압축식 시스템과 달리 대부분이 열교환기로 구성되어 있다. 따라서 열교환기 자체의 성능이 전체 시스템의 성능에 큰 영향을 미치므로 열교환기의 설계가 시스템 성능향상의 관건이다. 그 중에서도 고온재생기와 흡수기, 용액 열교환기가 성적계수에 민감한 구성요소이므로 소형화 및 고유효도를 위한 연구가 지속적으로 필요할 것으로 사료된다. 고성능 사이클로는 현재까지 제안된 흡수식 사이클로 7중효용 까지 개발된 상태이다. 그러나 삼중효용부터 그 이상은 고온에 의한 부식현상 등 기술적인 문제로 실제 제품으로 설치 운전되는 것은 없고 이중효용까지만 제품화 되고 있는 실정이다. 일본의 경우 사이클 개발을 통해 현재의 이중효용 실제 COP 1.01에서 1.1을 거쳐 용액루프를 하나 추가시킨 2단 이중효용을 적용하여 1.3의 COP를 얻는 것이 현재 진행중인 연구의 중요한 목표이다. 최근에 삼중효용용 사이클에 대한 컨소시엄형 공동연구가 정부주도로 다시 시작되고 있는데, 효용수를 늘리면 그만큼 동일한 열량을 투입했을 때 성적계수가 향상되는 효과가 있으므로 열교환기 최적설계와 더불어 성능향상을 위한 중요한 요소로 판단된다. ●