

흡습식 냉동

홍익대학교 기계·시스템디자인공학과
김 병주 교수

1. 머리말

현재 우리나라는 석유 에너지의 불안정한 공급과 가격상승, 이산화탄소 배출에 의한 지구 온난화 문제 등의 에너지환경문제가 대두됨에 따라 에너지 절약의식이 고조되고 있다. 또한 생활수준의 향상으로 쾌적한 생활공간을 추구하면서 최근 냉방기의 설치비율이 급격하게 증가되고 있다. 특히 여름에는 냉방용 전력 소비량이 급증하여 전력 예비율이 위험수위에 도달하여 국가적으로 하절기 전력 수급에 큰 불균형을 초래하고 있다.

이에 따라 에너지원을 석유나 전기로부터 가스로 전환하여 냉난방이 가능한 기기의 필요성이 크게 부각되고 있다. 정부에서는 전력수급의 불균형을 개선하고 에너지원을 다변화하며 국제적인 CFC 규제에도 능동적으로 대처하기 위하여 정책적으로 흡습식 히트펌프 등 가스이용 냉난방기의 개발, 보급 등에 힘쓰고 있다.

흡습식 열펌프의 상용화는 1929년 미국 Servel사의 리튬브로마이드-물계의 흡습식 냉동기의 개발로부터 시작되었다. 1945년에는 Carrier사가 리튬브로마이드-물계의 흡습식 냉동기를 개발하였으며 이를 기점으로 하여 산업용 및 가정용 공조기로서 흡습식 시스템의 생산이 확대되었다.

일본의 경우에는 1958년 가와사키 중공업에서 리튬브로마이드-물계의 흡습식 패키지형 냉동기를 개발하였다. 1961년 미국 Stathan사에 의해 시도되었

던 2중효율화 시험이 1964년 가와사키 중공업에 의해 실현되었고, 1968년에는 2중효율 가스흡습식 냉·온수기를 제작, 판매 하였다. 일본의 흡습식 냉동기는 1970년대 동경 국기관 대형 가스냉방을 계기로 에너지절약형, 콤팩트형, 대용량형, 소용량형, 태양열 이용형, 열펌프 이용형 등 다방면으로 발전하고 있으며, 전세계적으로 흡습식 시스템의 보급 및 기술개발이 가장 활발히 진행되고 있다. 특히 일본에서의 흡습식 냉동기는 리튬브로마이드-물계를 이용하여 발전하였으며 이 중에서도 가스흡습식 냉동기는 개발 이래로 고효율화, 신뢰성, 편리성 및 성능 향상의 측면에서 현저한 기술개발이 이루어졌고 보급도 확대되어 왔다.

국내에서는 1978년 경원세기(주)에서 흡습식 냉동기를 개발한 이래 1982년 2중효율 흡습식 냉동기를 제작, 판매하기 시작하였다. 1985년에는 LG산전에서 흡습식 냉동기를 생산, 판매하기 시작하였고, 이후 만도기계, 대우 Carrier, 린나이, 현대중공업, 삼성중공업등이 참여하여 주로 대형 산업용 흡습식 냉·온수기와 냉·난방기를 생산하고 있다. 특히 최근에 들어 시스템의 성능 향상을 위한 고효율 사이클의 채택과 함께 소형화를 통하여 일반 업소나 가정에 대한 보급 확대를 위한 연구개발이 국내의 가전업계를 중심으로 활발히 진행되고 있다.

본 고에서는 흡습식 냉동기의 일반적인 특성 및 원리에 대하여 살펴보고자 한다.

2. 흡수식 냉동 사이클의 개요

㉑ 흡수식 사이클의 원리

냉방용 공조설비로써 사용되고 있는 냉동기는 증기 압축식 사이클과 흡수식 사이클로 크게 분류할 수 있다. 증기압축식 사이클과 흡수식 사이클은 냉방의 목적은 동일하나 사용하는 에너지원은 다르다. 흡수식 사이클은 연료의 연소열 또는 증기, 고온수 등의 열에너지를 사용한다. 이에 반해 압축식 사이클은 냉매를 압축시키는 압축기의 동력원으로 주로 전기에너지가 사용된다.

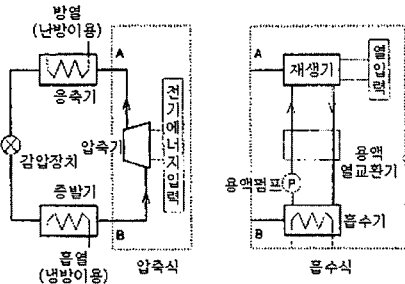


그림 1. 압축기 냉동기와 흡수식 냉동기의 비교

증기압축식 사이클과 흡수식 사이클의 가장 큰 차이점은 그림 1과 같이 냉매(refrigerant)를 저압부에서 고압부로 이송하는 방법에 있다. 증기압축식 사이클에서는 증발기(evaporator)에서 발생한 냉매증기를 압축기(compressor)를 이용하여 고압의 증기로 변환시켜서 응축기로 보낸다. 흡수식 사이클에서는 증발기에서 발생한 냉매증기를 흡수기(absorber)의 흡수제가 흡수한 후 용액 펌프로 가압하고 이는 다시 재생기로 보내어져 고온의 열원에 의해 흡수제 수용액으로부터 발생, 분리된다. 증기압축식 사이클은 냉매의 압력을 높이는데 압축기의 일을 필요로 하므로 일구동(work-operated) 사이클이라고도 하며, 흡수식 사이클에서는 재생기에서 냉매증기를 발생시킬 때 열에너지를 사용하므로 열구동(heat-operated) 사이클이라고도 부른다. 물론 흡수식 사이클에서도 용

액 펌프를 구동하려면 기계적 일을 필요로 하지만 이 일의 양은 증기압축식 사이클에서 압축기의 소요 동력에 비하여 무시할 수 있을 정도로 작다.

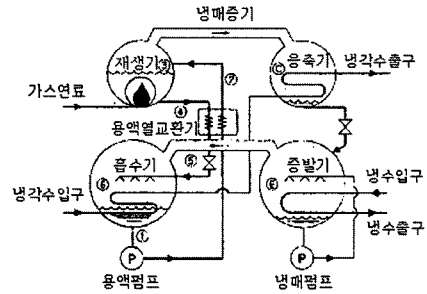


그림 2 흡수식 냉동기의 기본 유동도

흡수식 냉동사이클은 그림 2와 같이 5개의 주요 열교환기, 즉 재생기, 응축기, 증발기, 흡수기, 그리고 용액 열교환기로 이루어지며 그 작동원리는 다음과 같다.

- 1) 증발기에서 발생한 냉매증기가 흡수기에서 흡수제 용액에 흡수된다.
- 2) 흡수과정에서 흡수열이 발생하여 흡수제 용액의 온도가 상승하므로 증기의 흡수력이 감소하게 된다. 그러므로 지속적인 흡수과정을 위하여 흡수기는 냉각수나 공기에 의하여 냉각되어야 한다.
- 3) 흡수기에서 배출되는 흡수제 용액은 용액펌프에 의해 용액 열교환기로 보내지고 재생기에서 배출되는 흡수제 용액과의 열교환으로 온도가 상승된 후 재생기로 공급된다.
- 4) 재생기에서 고온의 열원으로 흡수제 용액을 가열하여 흡수제로부터 냉매를 분리, 발생시킨다.
- 5) 재생기에서 배출되는 고온의 흡수제 용액은 용액 열교환기에서 냉각된 후, 흡수기로 되돌아 온다.
- 6) 재생기에서 발생한 냉매증기는 응축기로 공급되고 냉각수등의 냉각 매체에 의해 응축된 냉매는 팽창밸브를 통과한 후 증발기로 보내어 진다.
- 7) 증발기에서 냉매는 증발하면서 주위로부터 열을 전달받아 냉매 증기로 바뀐 후 흡수기에 공급된다. 흡수식 사이클의 장점은 다음과 같다.

1)시스템의 구성이 간단하며 기계적 구동부분은 용액 펌프와 팬 혹은 냉매펌프 뿐이므로 소요 동력이 적고 소음이 적다.

2)냉매가 자연냉매이므로 CFC계열과 같이 대기의 오존층과 화학적 반응을 하지 않아 환경보존에 위협이 되지 않는다.

3)재생기의 열원으로서 태양열, 지열, 그리고 다량으로 버려지는 폐열을 사용할 수 있으므로 미활용 에너지의 사용이나 에너지 재생이 가능하다.

이에 대해 흡수식 사이클의 단점은 다음과 같다.

1)흡수기 등에서 비교적 큰 전열면적이 필요하므로 제작 및 설치비용이 많이 든다.

2)암모니아의 경우 그 독성이 안전성 문제를 야기한다.

3)리튬브로마이드-물 흡수식시스템의 경우 냉매가 낮은 온도에서 비등하기 위하여 시스템의 고진공이 요구되며 적은 양의 누설이 생겨도 시스템의 성능에 큰 영향을 준다. 그러므로 정기적으로 누입된 공기를 추출할 수 있는 추기장치가 필요하다.

② 흡수제와 냉매

흡수기에서의 흡수과정은 흡수제와 냉매분자의 친화력에 기인하며, 흡수식 사이클에 사용되는 흡수제와 냉매는 다음의 사항을 고려하여 선택되어야 한다.

1)결정화 : 흡수제와 냉매는 각 구성기기의 운전온도의 전 범위에서 결정화에 의해 고상(solid phase)이 되어서는 안된다. 만일 흡수제와 냉매가 고체상태가 되면 유동이 정지하게 되며 운전중단을 일으킬 수가 있다.

2)휘발성비:증발기나 재생기 내에서 두 물질이 쉽게 분리되려면 냉매가 흡수제보다 휘발성이 좋아야 한다.

3)친화력:흡수조건에서 흡수제와 냉매는 서로 강한 친화력을 가져야 한다. 친화력이 높을 때 흡수제의 양을 줄일 수 있으며 용액 열교환기의 크기 또한 줄일 수 있다.

4)안정성:흡수제와 냉매는 화학적으로 거의 완전한 안정성을 가져야 한다. 만일 안정성이 부족하면 불필요

한 가스, 고체, 혹은 부식물 등이 형성되는 문제가 발생한다.

5)잠열:냉매의 잠열이 클수록 냉매와 흡수제의 순환을 최소화 할 수 있다.

현재 가정용이나 산업용으로 많이 사용되고 있으며, 위의 조건에 가장 근접한 흡수제-냉매로는 물-암모니아와 리튬브로마이드-물을 들 수 있다. 물-암모니아는 낮은 온도를 요구하는 대용량 산업용으로 많이 사용되고 있으나, 암모니아의 독성이 문제가 되고 있다. 현재 국내에서 사용되는 흡수식 냉동기의 일반적인 흡수제-냉매는 리튬브로마이드 수용액-물이다. 리튬브로마이드의 화학적 성질은 표 1과 같이 Lithium 또는 Bromide가 각각 알칼리 또는 할로겐족인 것처럼 식염과 대체로 비슷한 특성을 가지고 있다.

| | |
|-----|---|
| 화학식 | LiBr |
| 분자량 | 86.84 |
| 성분 | Li: 7.99%, Br: 92.01% |
| 외관 | 무립, 결정립 |
| 응점 | 547°C |
| 비점 | 1265°C |
| 비중 | 3,464g/cm ³ (고체 : 25°C), 2,370g/cm ³ (고체 : 800°C) |
| 비열 | 0.4128kcal/kg · K (고체 : 25°C) |
| 용해열 | 33.39kcal/kg (응점) |
| 증발열 | 407.9kcal/kg (비점) |
| 용해도 | 184kg/100kg (H ₂ O) (고체 : 25°C) |

(표 1 LiBr의 특성)

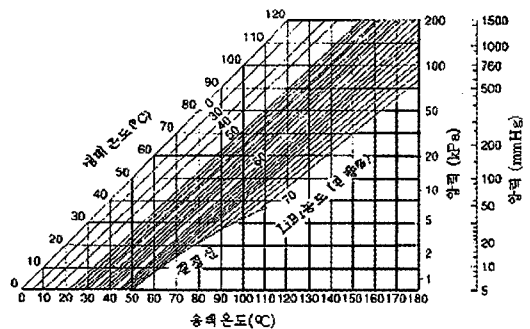


그림 3. Duhring선도

리튬브로마이드-물은 휘발성, 친화력, 안정성 등이 높고 잠열이 크지만 리튬브로마이드가 특정 온도와 압력에 따라 결정화되는 특성이 있으며 물을 냉매로 사용하기 때문에 0°C이하의 저온냉각은 불가능하다. 흡수제 용액은 혼합물로서 그 평형상태는 용액의 온도와 압력의 함수로 주어지며 리튬브로마이드 수용액의 평형상태를 나타내는 Duhring선도가 그림 3에 주어져 있다.

3. 리튬브로마이드 흡수식 냉동사이클

① 일중효용 흡수식 냉동기

일중효용 흡수식 냉동기는 순환사이클이 단순하여 1945년 미국에서 개발된 이래 현재까지 널리 사용되고 있다. 일중효용 흡수식 냉동기의 동력열원은 저온 증기가 일반적으로 사용되고 있으나 근래에는 고저온의 온수가 사용되고 있다. 일중효용 흡수식 냉동기의 주요 구성기기는 증발기, 흡수기, 재생기, 응축기, 용액 열교환기, 흡수액과 냉매펌프 등이며 각 기기의 구성, 배치, 작동은 제조회사마다 다르다.

증발기는 다량의 전열관과 냉매반이, 냉매 산포장치(트레이 또는 스프레이노즐)등으로 구성되어 있고, 내부 압력이 1/100기압 정도로 낮은 상태에서 냉매산포장치를 통하여 냉매인 물을 전열관 위에 산포시키면 물은 증발하여 수증기로 변화하면서 전열관내를 통과하는 물을 냉각시켜 냉수를 만든다. 이때 발생한 수증기는 역시 다량의 전열관과 흡수액 산포장치(트레이 또는 스프레이노즐)등으로 구성된 흡수기로 가고 흡수액 산포장치에서 산포되는 진한 흡수액(농용액)에 흡수된다. 흡수과정에서 발생하는 열은 전열관내를 통과하는 냉각수에 의하여 회수되고, 이 때 흡수액의 수증기 흡수과정을 촉진시키기 위하여 흡수액에 계면활성제인 옥틸알콜을 투입하기도 한다. 증발기에서 발생한 수증기를 흡수하여 묽어진 흡수액(희용액)은 흡수액펌프에 의하여 용액열교환기를 통

과한 후 재생기로 간다. 이때 희용액은 용액열교환기의 셀측을 흐르는 농용액을 냉각시켜 흡수기의 효율을 증대시키며, 자신은 가열되어 온도가 상승하여 재생기의 부하를 경감시키고 흡수식 냉동기의 효율을 향상시킨다. 희용액은 재생기에서 재생기 전열관내를 흐르는 증기 또는 온수에 의하여 가열되어 수증기를 발생하면서 농용액으로 변화하고 이 농용액은 용액열교환기를 통과하여 흡수기로 돌아온다. 재생기에서 발생한 수증기는 응축기에서 전열관내를 흐르는 냉각수에 의하여 냉각되어 물로 응축되고 이 물은 다시 증발기로 보내어짐으로써 일중효용 흡수식 냉동기의 사이클은 완성된다. 그림 4는 일중효용 흡수식 냉동기의 운전 조건을 그림 2의 Duhring선도상에 보여주고 있다.

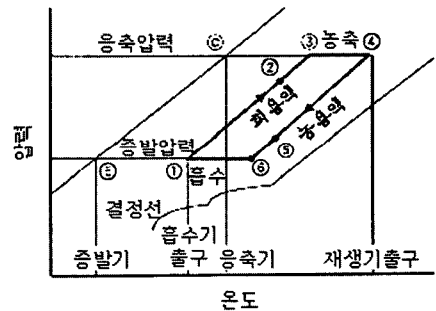


그림 4 일중효용 리튬브로마이드 흡수식 냉동기의 운전조건

냉매펌프, 흡수액펌프 등은 펌프의 흡입헤드(head)를 확보하기 위하여 흡수기, 증발기의 가장 낮은 곳에 설치하고 있다. 또한 용액열교환기는 증발기, 흡수기, 재생기, 응축기 등의 본체열교환기와 별도로 제작되어 역시 본체 하부측면에 부착된다. 용액열교환기는 일반적으로 각 형 셀 튜브(shell and tube)형 열교환기를 사용하며, 튜브의 내측에 희용액을, 외측에 농용액을 순환시켜서 리튬브로마이드 용액이 외측에서 결정되는 경우에 쉽게 결정용해작업을 할 수 있도록 한다.

일중효용 흡수식 냉동기의 가열원으로는 여러 종류

가 이용되고 있으며, 증기를 가열원으로 사용하는 일중효용 흡수식 냉동기는 현재 1 RT당 8 kg/hr 정도의 증기를 소비하고 성능계수가 0.7 정도로 2중효용의 1.2에 비하면 매우 낮아서 불가피하게 저압증기를 사용하는 곳이나 저압증기의 제조가격이 매우 낮은 곳에 적용된다.

② 2중효용 흡수식 냉동기

재생기에서 발생한 냉매증기를 응축기에서 냉매액으로 응축시킬 때 제거하여야 하는 응축열을 재생과정에서 활용하여 흡수식 냉동기의 효율을 증가시킨 것이 2중효용 흡수식 냉동기이다. 현재는 2중효용 흡수식 냉동기와 흡수냉온수기의 수요증가에 의하여 경제적이고 효율적인 설계가 진행되어 성능계수가 평균 1.2 정도, 900 kPa까지 사용할 수 있고 경우에 따라서는 190~220℃의 고온수가 사용된다.

2중효용 흡수식 냉동기의 재생기는 고온재생기와 저온재생기로 구분되며, 고온재생기에서는 증압증기에 의하여 흡수액을 가열하여 냉매증기를 발생시키고, 그 냉매증기가 저온재생기에서 응축할 때 방출하는 열을 이용하여 다시 한번 흡수액을 가열하여 냉매증기를 발생시킨다. 이 냉매증기는 응축기에서 응축되고, 저온재생기에서 응축된 냉매액과 함께 증발기로 간다. 따라서 응축기에서는 부하가 일중효용형에 비하여 1/2 정도로 감소하므로 냉각수의 방출열이 일중효용형에 비하여 3/4로 절감된다.

저온재생기에서 응축하는 냉매가 흡수액을 가열하여 냉매를 증발시키기 위해서는 고온재생기에서 일중효용형보다 높은 압력의 냉매증기가 발생되어야 하므로 증압의 증기가 사용되는 것이다. 흡수액의 비등온도가 일중효용에 비해서 높아짐으로 2중효용 흡수식 냉동기는 고온열교환기, 증기 열회수기 등의 열교환기가 추가로 필요하며 흡수액 펌프의 양정도 높아진다.

2중효용 흡수식 냉동기에서 성능계수의 상승을 위하

여 일반적으로 다음과 같은 방법이 적용된다.

- (1) 고온재생기의 연소효율 향상
- (2) 배기가스열의 회수
- (3) 고온열교환기/저온열교환기의 열교환 효율 향상
- (4) 흡수액 순환량의 감소
- (5) 냉수와 냉각수 조건의 변경

2중효용 흡수식 냉동기와 일중효용 흡수식 냉동기는 1냉동톤당 흡수액순환량, 냉매 순환량이 거의 비슷하므로 흡수기, 증발기, 저온열교환기 등의 구조와 크기는 매우 유사하다. 그림 5는 2중효용 흡수식 냉동기의 계통도이며 그림 6은 그림 5에 지시된 각 지점의 운전조건을 Duhring선도상에 표시하고 있다.

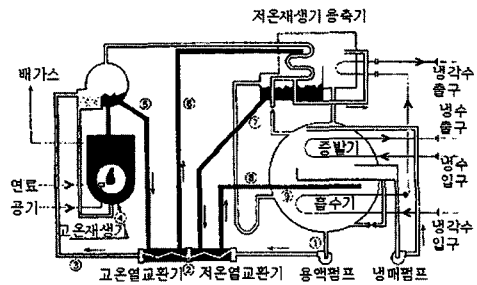


그림 5 이중효용 흡수식 냉동기의 계통도

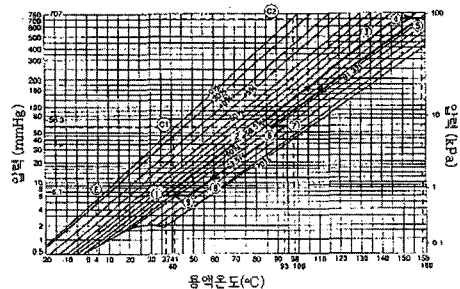


그림 6 이중효용 흡수식 냉동기의 운전 조건

4. 암모니아-물 흡수식 냉동 사이클

암모니아-물 흡수식 냉동기에서 흡수제인 물은 휘발성이 있으므로 흡수액의 재생과정은 부분 증류과정 (fractional distillation)이 된다. 냉매인 암모니아의

특성으로 응축기는 약 20기압에서 운전되고 증발기는 약 5기압에서 운전되며 공랭화가 가능하다.

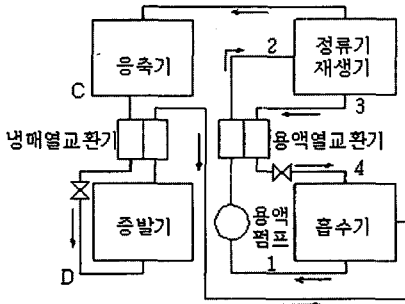


그림 7 암모니아-물 흡수식 냉동사이클의 개념도

① 일중효용 흡수식 냉동사이클

그림 7은 암모니아-물 흡수식 냉동사이클의 개념도로서 리튬브로마이드-물 냉온수기의 기본 구성요소에 추가하여 냉매의 암모니아 농도를 증가시키기 위한 정류기가 재생기와 응축기 사이에 설치되어 있다. 외측에 환이 장착

된 수직 실린더형 압력용기의 재생기에 대하여 가스버너에 의해 직화식으로 열이 공급되며 재생기내에서 비등과정후 상향유동하는 암모니아-물 혼합증기와 하향유동하는 수용액 사이에 열전달과 함께 혼합증기의 분축, 정류과정이 발생한다. 가스버너의 연소과정에 필요한 공기는 응축기 냉각용 공기 환이 형성하는 부압으로 공급되며 연소가스는 응축기와 흡수기를 통과한 공기와 혼합된 후 대기중으로 방출된다.

암모니아성분의 농도가 높은 강액과 낮은 약액사이의 열교환은 용액열교환기에서 발생한다. 흡수기는 수용액-냉각흡수기와 공기-냉각 흡수기로 구성되며 수용액-냉각 흡수기에서 약액은 강액이 유동하는 헬리컬 코일관 외면에 산포되어 증발기로부터 되돌아오는 암모니아 증기를 흡수하고 이 때 흡수열을 관내측의 강액으로 전달하여 열에너지를 회수하므로써 시스템의 성능계수를 향상시킨다. 수용액-냉각 흡수기에

서 미처 흡수되지 못한 냉매증기는 약액과 함께 공기-냉각 흡수기에 유입하여 흡수과정이 완료되고 흡수열은 주위 공기로 배출된다.

수용액 펌프에서 가압된 상대적으로 낮은 온도의 수용액은 흡수기와 재생기로 공급되는 도중에 정류기내의 나선형 관 내측을 통과하면서 관 외측의 암모니아-물 혼합증기를 분축시킨다. 정류기의 기능은 재생기에서 생산되는 혼합증기중 암모니아 성분의 농도를 증가시키고 물성분을 제거하는 것으로 응축액과 혼합증기사이의 대향류 접촉을 향상시키기 위하여 특수 형태의 충전재(packings)를 사용하기도 한다.

공랭형 흡수기와 응축기는 외면에 환이 장착된 관으로 환에 의하여 유도된 주위 공기가 먼저 응축기를 통과한 후 다시 대부분의 공기가 흡수기를 통과하도록 구성되어 있다. 증발기에서 냉수는 나선형으로 가공된 관 외면에 산포되어 관내측의 암모니아의 증발과정에 의해 냉각된다. 증발기에서 배출되는 냉매증기는 냉매 열교환기를 통과하면서 응축기에서 배출되는 냉매액체를 냉각하여 시스템의 냉동효과를 증가시킨다.

그림 8에 암모니아 수용액의 평형상태도상에 암모니아-물 흡수식 냉동사이클의 운전조건이 도시되어 있다.

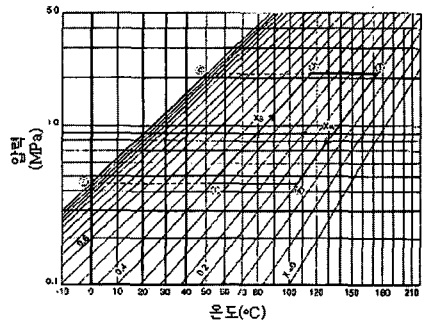


그림 8 암모니아-물 흡수식 냉동사이클의 운전조건

② GAX 사이클

일중효용 암모니아-물 흡수식 냉동사이클은 작동유체의 특성상 그 성능계수가 0.45 정도로 리튬브로마이드-물 흡수식 사이클에 비하여 낮다. 시스템내부의

열회수를 최대한 증가하여 성능계수를 향상시키기 위한 사이클이 GAX (Generator Absorber Heat Exchange) 사이클이다. GAX사이클은 흡수열을 일부 강액의 재생과정에 사용하므로써 사이클의 성능계수를 향상시킨다. 그림 9에 GAX 사이클의 개념도가 주어져 있다. 일중효용 사이클과 동일하게 암모니아수용액은 흡수기와 재생기사이를 순환한다. 흡수기에서 냉매증기의 흡수과정중에 발생한 흡수열을 재생과정에 사용하기 위하여 GAX 열교환기가 설치되어 있다. 사이클의 고효율화를 위하여 AHE(Absorber Heat Exchange)와 GHE (Generator Heat Exchange)의 열교환기를 설치하여 열을 회수한다. AHE열교환기에서는 흡수열을 강액의 예열과정에 사용하고 GHE열교환기에서는 약액의 현열을 강액의 재생과정에 사용한다. 그림 10에 GAX 사이클의 운전 조건이 제시되어 있다.

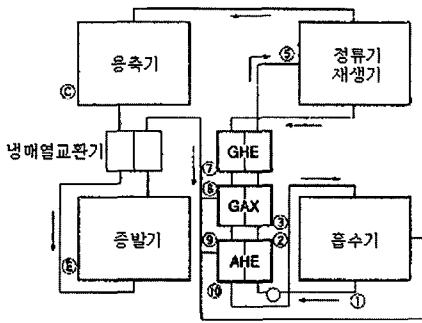


그림 9 GAX사이클의 구성도

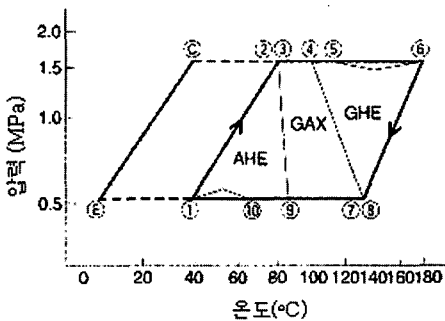


그림 10 GAX사이클의 운전조건

5. 맺는 말

본 고에서는 흡수식 냉동기의 일반적인 특성 및 원리에 대하여 살펴보았다. 현재 국내의 흡수식 냉동기 관련 기술은 상당히 높은 수준이지만 향후 일본이나 중국과의 기술 경쟁을 고려하면 더욱 활발한 연구개발이 요구된다. 흡수식 냉동기의 고효율화를 위한 주요 연구개발분야로

- 1) 흡수식 사이클의 개선
- 2) 고효율의 흡수기와 고성능 전열관 개발
- 3) 연소기기의 고효율화
- 4) 제어시스템의 개선
- 5) 냉매/흡수용액의 개선
- 6) 기타 주변기술 - 고성능 추기시스템 및 시스템 안전성 개선 등

등을 들 수 있으며 이를 위한 산학연의 연구협력이 필요하다. 흡수식 냉동기 분야는 우리나라의 에너지 환경을 고려할 때 국가적으로 육성 개발되어야 산업분야이며 산학연이 협력하여 연구개발에 매진한다면 국가경제에도 크게 기여할 수 있을 것이다.

E-mail: bjkim@wow.hongik.ac.kr

참고문헌

- 오명도, 1993, 흡수식 열펌프를 이용한 냉난방기술, 공기조화 냉동공학, 제 22권, 제 5호, pp. 348-370.
- 유선일, 1994, 흡수식 냉온수기 관련 특허 동향, 냉동공조기술, 제 11권, 제3호, 한국냉동공조기술협회.
- 최순식, 1994, 흡수제에 대하여, 냉동공조기술, 제 11권, 제3호, 한국냉동공조기술협회.
- 柏木 孝夫 김수, 1995, 흡수식 히터펌프의 발전, 가스사업신문사.
- 김병주, 2001, 흡수식 냉동, 설비공학 편람, 제3권, 냉동, 대한설비공학회.
- 정시영, 2001, 흡수식 냉동기에 대한 국내 연구 현황, 설비, 제 11호, 한국설비기술협회.
- 정성환, 2001, 해외의 흡수식 냉동기에 대한 최근 기술 개발 현황, 설비, 제 18권, 제 11호, 한국설비기술협회.